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

MASTER ACADEMIQUE HARMONISE

Programme National

MISE A JOUR 2026-bis

Domaine	Filière	Spécialité
Sciences et Technologies	***Génie des Procédés***	***Génie des Procédés des Matériaux***



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



مواءمة

ماستر أكاديمي

Mise à jour 2026-bis

الميدان	الفرع	التخصص
علوم و تكنولوجيا	هندسة الطرائق	هندسة الطرائق للمواد

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
Génie des Procédés	Génie des procédés des matériaux	Génie des procédés	**1**	**1.00**
		Génie des matériaux	**2**	**0.80**
		Chimie des matériaux (Domaine SM)	**3**	**0.70**
		Physique des matériaux (Domaine SM)	**3**	**0.70**
		Chimie inorganique (Domaine SM)	**4**	**0.65**
		Autres licences du domaine ST	**5**	**0.60**

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

Semestre 1 : Génie des procédés des matériaux

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 Crédits : 8 Coefficients : 4	Classe et structure des matériaux	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Chimie Physique des silicates	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2 Crédits : 10 Coefficients : 5	Thermodynamique technique	4	2	1h30	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Cristallographie	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Caractérisation des matériaux	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits :11 Coefficients : 7	Instrumentation et mesures	4	2	1h30		1h30	45h00	55h00	40%	60%
	Méthodes électrochimiques	4	2	1h30		1h30	45h00	55h00	40%	60%
	Caractérisation des matériaux	1	1			1h30	22h30	2h30	100%	
	Programmation avancée python	2	2	1h30		1h30	45h00	05h00	40%	60%
UE Transversale Code : UET 1.1 Crédits: 1 Coeff. :1	Respect des normes et règles d'éthique et d'intégrité	1	1	1h00			15h00	10h00		100%
Total semestre1		**30**	**17**	**13h00**	**6h00**	**6h00**	**375h00**	**375h00**		

Semestre 2 : Génie des procédés des matériaux

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 2.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Opérations unitaires II	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Procédés de transformation	4	2	1h30	1h30		67h30	82H30	40%	60%
	Procédés de mise en forme	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Fondamentale Code : UEF 2.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Diagrammes de phases	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Technologie des Fours Industriels	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 8 Coefficients : 4	Vieillissement et dégradation des matériaux	3	2	1h30		**1h00**	**37h30**	**37h30**	40%	60%
	Surfaces et interfaces	3	1	1h30		**1h00**	**37h30**	**37h30**	40%	60%
	TP Elaboration des matériaux	**1**	**1**			**1h00**	**15h00**	**10h00**	100%	
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 4 Coefficients : 4	Lean start-up	2	2	1h30	1h30		45h00	55h00	80% (20% Atl + 60% Prj)	20%
	Eléments d'IA appliquée	2	2	1h30	1h30		45h00	5h00	40%	60%
Total semestre 2		**30**	**17**	**13h30**	**7h30**	**4h30**	**382h30**	**367h30**		

Semestre 3 : Génie des procédés des matériaux

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 2.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Milieux poreux et dispersés	4	2	1h30	1h30	-	45h00	55h00	40%	60%
	Matériaux polymériques et composites	6	3	3h00	1h30	-	67h30	82h30	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Technologie des verres	4	2	1h30	1h30	-	45h00	55h00	40%	60%
	Technologies des céramiques et liants	4	2	1h30	1h30	-	45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	Application des matériaux dans la dépollution	2	1	-	-	1h30	22h30	27h30	100%	
	Modélisation et Optimisation des procédés	3	2	1h30	-	1h30	45h00	30h00	40%	60%
	Application des matériaux catalytiques à la réaction chimique	2	1	1h30	-	-	22h30	27h30		100%
	Analyse du cycle de vie des matériaux et calcul du bilan économique	2	1	1h30	-	-	22h30	27h30		100%
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 3 Coef : 3	Chemical reverse engineering	2	2	1h30	1h30 atelier		45h00	5h00	40%	60%
	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	1h00	-	-	15h00	10h00	-	100%
Total semestre 3		**30**	**17**	**14h30**	**6h00**	**4h30**	**375h00**	**375h00**		

Orientations générales sur le choix des matières de découverte :

1- Verres et céramiques
2- Asservissement et Régulation
3- Matériaux pour l'optique, l'électronique et l'optoélectronique
4- Nanotechnologie et nanomatériaux
5- Matériaux biocompatibles
6- Management des Ressources technologiques
7- Soudage et CND
8- Verres et céramiques
9- Asservissement et Régulation
10- Matériaux pour l'optique, l'électronique et l'optoélectronique
11- Nanotechnologie et nanomatériaux
12- Matériaux biocompatibles
13- Management des Ressources technologiques
14- Soudage et CND

Semestre 4

Stage en entreprise ou dans un laboratoire de recherche sanctionné par un mémoire et une soutenance.

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	550	09	18
Stage en entreprise ou dans un laboratoire	100	04	06
Séminaires	50	02	03
Autre (Encadrement)	50	02	03
Total Semestre 4	750	17	30

Ce tableau est donné à titre indicatif

Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master

- Valeur scientifique (Appréciation du jury) /6
- Rédaction du Mémoire (Appréciation du jury) /4
- Présentation et réponse aux questions (Appréciation du jury) /4
- Appréciation de l'encadreur /3
- Présentation du rapport de stage (Appréciation du jury) /3

III - Programme détaillé par matière du Semestre S1

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.1
Matière 1: Classe et structure des matériaux
VHS: 67h30 (Cours: 1.30h00, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

La connaissance et la caractérisation de solides ayant des formes, tailles et structures parfaitement contrôlées est devenue indispensable, du fait de leur large utilisation dans l'industrie : catalyseurs de craquage ou de synthèse des hydrocarbures, charges introduites dans les élastomères ou les peintures, pigments, adsorbants utilisés pour la purification ou l'analyse chimique (tamis moléculaires, adsorbants pour chromatographie), liants hydrauliques (bétons), poudres destinées à la préparation d'émulsions (émulsions de produits pour traitements agricoles)…
L'objectif du cours est de fournir à l'étudiant une vision claire sur les grandes classes des matériaux, sur leurs caractéristiques physico-chimiques pour pouvoir donner leur limite d'utilisation

Connaissances préalables recommandées:

.
Chimie générale, chimie organique, thermodynamique fondamentale

Contenu de la matière:

Chapitre 1.Matériaux inorganiques (5 Semaines)

I- Introduction : cohésion dans les solides cristallins, propriétés physique des matériaux.
II- Métaux et alliages
III- Les céramiques et verres
IV- Endommagement des matériaux avec le temps

Chapitre 2. Matériaux organiques (5Semaines)

I- Présence des polymères dans l'environnement
II- Classification des polymères synthétiques et naturels
III- Place des matériaux polymériques par rapport aux métaux céramiques
Morphologie des polymères (semi cristallins et amorphes

Chapitre 3. Classement des polymères par leurs propriétés (5 Semaines)

I- Propriétés thermiques
II- Propriétés mécaniques
III- Propriétés électriques
IV-Propriétés optiques

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

1- Microstructure et propriétés des matériaux.
Collectif Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées (ENPC)
Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)
2- Propriétés des matériaux naturels
3- Matériaux (coffret de 4 volumes) - AMC, hors série
Acier - Bois - Terre cuite – Verre, Collectif Groupe Moniteur

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.1
Matière 1: Chimie Physique des Silicates
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Comprendre et assimiler les mécanismes physico-chimiques mis en jeu lors de la transformation de la matière sous l'effet de la température (interactions entre des particules, mécanismes de frittage, fusion, clinkérisation…), l'interaction avec l'environnement, l'hydratation des liants hydrauliques…

D'autre part, il leur sera donner une vue détaillée de la chimie, de la microstructure et des performances des matériaux de structure (cimentaires. Céramiques, vitreux…).
Aussi, quelques questions de recherche sur ces matériaux seront introduites

Connaissances préalables recommandées:

- Notions sur la cristallographie
- Structures et défauts- Cristallographie-
- Diagrammes de phases- Microstructure des matériaux non organiques
- Potentiel et équilibres chimiques. Frittage, fusion, microstructure

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Bases théoriques **(2 semaines)**

1.Bases thermodynamiques :
2.Le potentiel chimique
3.L'équilibre chimique et le produit de solubilité
4.Les diagrammes de phases
5.Sous - saturation et dissolution
6.Sursaturation et précipitation (nucléation - croissance)
7.Mûrissement d'Oswald

Chapitre 2. Elément silicium **(4Semaines)**

1 Présentation, Origine, Abondance

2 Préparation du Silicium (élémentaire au laboratoire, production industrielle)

3 Propriétés physico-chimiques,

4 Propriétés cristallographiques (Micro et nanostructures)

5 Corps simples à base de Si

6 Corps composés du Si (Silice, Silanes, Siliciures métalliques, Silicones)

Chapitre 3. Les silicates **(4Semaines)**

1 Aluminosilicates

2 Synthèses et transformations des silicates

* Voie sèche

* Action de l'eau

2 Structures cristallines des silicates

Tectosilicate, Phyllosilicate, Inosilicate (polymère en chaîne simple ou double) ,

Cyclosilicate (polymère en cycle), Sorosilicate (dimère), Nésosilicate (monomère)

Chapitre 4. La silice **(5Semaines)**

1 Physico-chimie
* Transformations polymorphiques
* Fusion, dévitrification, Vaporisation
* Réactions chimiques
2 Préparation artificielle du SiO2
3 Différentes formes de silice (Quatrz, Tridymite, Cristoballite, Autres formes)
4 Zones de stabilités des différentes variétés de silice
5 Utilisations

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques: (Si possible)

-*Gilles Mertens, Jan Elsen, Dominique Laduron et Raymond Brulet, Mineralogy of the calcium-silicate phases present in ancientmortarsfrom Tournai,* ,ArcheoSciences, revue d'Archéométrie
-*Jean WYART, « SILICATES »,* EncyclopædiaUniversalis.
URL : http://www.universalis.fr/encyclopedie/silicates/
-*Jean-Pierre Mercier et Ernst Maréchal, Traité des matériaux, vol. 13 : Chimie des polymères : synthèses, réactions, dégradations, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996.*

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.2
Matière 1: Thermodynamique appliquée
VHS: 67h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits: 6
Coefficient: 3

Objectifs de l'enseignement:

L'enseignement du cours de thermodynamique appliquée doit donner aux étudiants de Génie des Procédés des connaissances scientifiques sur les turbomachines, la psychrométrie et l'humidification de l'air. De plus, il permet l'application de la thermodynamique aux processus irréversibles et aux cycles moteurs, de réfrigération et aux pompes à chaleur.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie générale, thermodynamique et chimie minérale des semestres précédents.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Les turbomachines **(3 Semaines)**

I.1 Pompes
I.2 Ventilateurs
I.3 Compresseurs
I.4 Turbines

Chapitre 2. : Psychrométrie **(4 Semaines)**

II.1 Mélange gaz-vapeur et saturation adiabatique
II.2 Diagramme psychrométrique
II.3 Humidification de l'air

Chapitre 3. Cycles thermodynamiques **(4 Semaines)**

III.1 Cycle et rendement de Carnot
III.2 Cycles moteurs et de réfrigération
III.3 Systèmes de chauffage de climatisation et de ventilation.
III.4 Pompes à chaleur et cogénération

Chapitre 4. Thermodynamique des processus irréversibles **(4 Semaines)**

IV.1 Conservation de l'énergie dans les systèmes ouverts
IV.2 Bilan entropique d'un système ouvert
IV.3 Exergie physique et chimique
IV.4 Pertes exergétiques d'un système ouvert

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

Smith, E.B, Basic, Chemical Thermodynamics, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, 1977.
Stanley I.Sandler, Chemical and Engineering Thermodynamics, Wiley, New York, 1977.
Lewis G.N., Randal M., Thermodynamics, Mac Graw Hill
Hougen O.A., Watson K.M., Chemical process principles, Vol II: Thermodynamics, John Wiley and sons
Brodyanski V., Sorin M., Le Goff P. The efficiency of industrial processes, exergy analysis and optimization, Amsterdam, Elsevier, (1994).
Wuithier, P, le pétrole, raffinage et génie chimique, édition technip 1972
Abbott M; Théorie et applications de la thermodynamique, série schum, Paris 1978
Kireev, V. Cours de chimie physique, Edition Mir, Moscou 197

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.2
Matière 1: Cristallographie
VHS: 45H00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient :2

Objectifs de l'enseignement:

Connaissance des lois générales régissant la géométrie des cristaux et reconnaissances macroscopiques des principales familles des matériaux.

Connaissances préalables recommandées:

Matière de physique, de chimie générale et minérale des semestres précédents et structure de la matière.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Notions de base sur la symétrie **(3 Semaines)**

Chapitre 2. Structures et groupes **(3 Semaines)**
2. La structure de groupe
3. Les groupes ponctuels et réseaux de Bravais
4. Les groupes de symétrie 3D
5. Représentation des groupes

Chapitre 3. Empilement moléculaire **(3 Semaines)**

Chapitre 4. Structures usuelles **(3 Semaines)**
a) Structure de NaCl
b) Structure de CsCl
c) Structure de blende (ZnS)
d) Structure rutile

Chapitre 4. Défauts de réseaux **(3 Semaines)**

a)Solides stœchiométriques
b)Solides non stœchiométriques

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

• *J.-J. Rousseau, 'Cristallographie géométrique et radiocristallographie avec exercices corrigés', Edition Masson, Paris 1995.*
• *J.-J. Rousseau, Cristallographie géométrique et radiocristallographie. Dunod 2000.*
• *E. Mooser, 'Introduction à la physique des solides', Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne 1993.*

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEM1.1
Matière 1: Caractérisation des Matériaux
VHS: 22H30 (Cours: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient :1

Objectifs de l'enseignement :

Formation aux méthodes physiques d'analyse usuelles dans les laboratoires de contrôle et de recherche. en analyse des matériaux.
Acquérir un savoir et un savoir-faire en matière d'évaluation et de maîtrise des propriétés de surface des matériaux

Connaissances préalables recommandées : Chimie Physique, chimie Analytique

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Analyses thermiques **(3 Semaines)**
. Analyse thermo différentielle (ATD)
. Analyse thermo gravimétrique (ATG)
. Calorimétrie Différentielle à Balayage (DSC)

Chapitre 2. Analyses microscopiques et de porosité **(4 Semaines)**
1. Microscopie électronique à balayage (MEB)
2. Microscopie électronique à transmission (MET)

Chapitre 3. Analyses diffractométriques
- Diffraction des rayons X **(4 Semaines)**

Chapitre 4. Méthodes spectroscopiques **(4 Semaines)**
- Spectroscopie UV-Visible
- Spectroscopie d'absorption atomique
- Spectroscopie FTIR

Mode d'évaluation Examen: 100 %

Références bibliographiques:

1. Thermal Analysis (3rd Edition),
2. W. Wendlandt, John Wiley and Sons (USA), 1986.
3. Thermal Analysis, B. Wunderlich, Academic Press (USA),1990.
4. Thermal Characterization of Polymeric Materials, E.A. Turi, Academic Press (USA), 1981.
5. Thermal Analysis of Foods, V.R. Harwalkar, Elsevier (UK), 1990.
6. Thermal kinetic TG-analysis of metal oxalate complexes, Li Jun &co, ThermochimicaActa, 406 (2003) 77-87.
7 - J. Grimblot, L'analyse de surface des solides par spectroscopies électroniques et ioniques, Masson (1995)
8 - J.W. Niemantsverdriet, Spectroscopy in catalysis, VCH (1993)

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : Instrumentation et mesures
VHS : 45h (cours : 01h30, TP : 01h30)
Crédits : 3
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant va apprendre les principes d'Instrumentation et Régulation (Métrologie Contrôle des procédés, Grandeurs physiques, capteur passif, actif, intégré, Caractéristiques, Transmetteur et les normes et Schéma fonctionnel.

Travaux pratiques (suivant les capacités techniques de l'établissement)

Connaissances préalables recommandées :

Mécanique générale, électricité, Eléments de base de l'électronique.

Contenu de la matière :

Chapitre1 : Introduction **(1 semaine)**
Chapitre2 : Différents types de mesures **(3 semaines)**
- 2.1 Mesures des grandeurs acoustiques et vibratoires
- 2.2 Mesures des grandeurs hydrauliques et pneumatiques
- 2.3 Mesures des grandeurs mécaniques
- 2.4 Mesure des grandeurs thermiques
- 2.5 Mesure des grandeurs dimensionnelles
- 2.6 Mesure des grandeurs électriques
- 2.7 Mesure des grandeurs optiques
- 2.8 Mesure des volume, masse, temps

Chapitre3 : Contrôle non destructif **(1 semaine)**
Chapitre4 : Organisation, méthodes et techniques de mesure **(2 semaines)**
Chapitre5 : Etalonnage **(1 semaine)**
Chapitre6 : Traitement du signal **(3 semaines)**
Chapitre7 : Traitement des Données **(2 semaines)**
Chapitre8 : Initiation aux plans d'expérience **(2 semaines)**

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques :

1. *"Mesures physiques et instrumentation: Analyse statistique et spectrale des mesures, capteurs », Barchiesi, Dominique, Paris, Ellipse, 2003.*
2. *« Les capteurs en instrumentation industrielle », Asch, Georges, Paris, Dunod, 1999.*
3. R.J. Goldstein, "Fluid Mechanics Measurements", 1983.

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEM1.1
Matière 1 : Méthodes électrochimiques d'analyse
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Connaissances préalables recommandées:

-Chimie des solutions, notions en électrochimie.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Voltampérométrie **(4 Semaines)**

Chapitre 2. Potentiomètrie **(4Semaines)**

Chapitre 3. Ampérométrie. **(4Semaines)**

Chapitre 4. Coulométrie **(3Semaines)**

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

1. *Allen J. Bard, Electrochimie : principes, méthodes et applications, Masson, 1983.*
2. *Fabien Miomandre, Said Sadki, Pierre Audebert, Electrochimie des concepts aux applications, Dunod, 2005.*

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEM1.1
Matière 1: Caractérisation des Matériaux
VHS: 22h30 (TP : 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:
Formation aux méthodes physiques d'analyse usuelles dans les laboratoires de contrôle et de recherche. Présenter au niveau du laboratoire (TP) quelques méthodes modernes employées (suivant les capacités en matériel de l'établissement) en analyse des matériaux.
Acquérir un savoir et un savoir-faire en matière d'évaluation et de maîtrise des propriétés de surface des matériaux

Connaissances préalables recommandées : Chimie Physique, chimie Analytique

Contenu de la matière:

TP 1. Analyses thermiques
. Analyse thermo différentielle (ATD)
. Analyse thermo gravimétrique (ATG)
. Calorimétrie Différentielle à Balayage (DSC)
. Analyse par pyrolyse (pyrolyse couplée à la GCMS, Py-GCMS)
. Analyse Thermomécanique Différentielle (DMA)

TP 2. Analyses microscopiques et de porosité
1. Microscopie électronique à balayage (MEB)
2. Microscopie électronique à transmission (MET)
3. AFM
4. BET
5. Porosimétrie

T.P 3 . Analyses diffractométriques

T.P 4 . Méthodes spectroscopiques

T.P 5. Nouvelles méthodes de caractérisation des matériaux polymériques

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 100 % ;]

Références bibliographiques:
1. Thermal Analysis (3rd Edition),
2. W. Wendlandt, John Wiley and Sons (USA), 1986.
3. Thermal Analysis, B. Wunderlich, Academic Press (USA),1990.
4. Thermal Characterization of Polymeric Materials, E.A. Turi, Academic Press (USA), 1981.
5. Thermal Analysis of Foods, V.R. Harwalkar, Elsevier (UK), 1990.
6. Thermal kinetic TG-analysis of metal oxalate complexes, Li Jun &co, ThermochimicaActa, 406 (2003) 77-87.
7 - J. Grimblot, L'analyse de surface des solides par spectroscopies électroniques et ioniques, Masson (1995)
8 - J.W. Niemantsverdriet, Spectroscopy in catalysis, VCH (1993)

Semestre: S1
Unité d'enseignement: UET 1.1.1
Matière : Programmation avancée en Python
VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Objectifs de la matière :

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 :

- 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
- Maitriser l'automatisation de tâches
- Maitriser 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 5 : 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 6 : 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 cours
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-taches : 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
[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/

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UET 1.2
Matière : Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité
VHS : 15h00 (Cours : 1h00)
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 technologies

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

Mode d'évaluation :

Examen : 100 %

Références :

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. L'abc du droit d'auteur, organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture(UNESCO)
4. E. Prairat, De la déontologie enseignante. Paris, PUF, 2009.
5. Racine L., Legault G. A., Bégin, L., Éthique et ingénierie, Montréal, McGraw Hill, 1991.
6. Siroux, D., Déontologie : Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, Paris, Quadrige, 2004, p. 474-477.
7. Medina Y., La déontologie, ce qui va changer dans l'entreprise, éditions d'Organisation, 2003.
8. Didier Ch., Penser l'éthique des ingénieurs, Presses Universitaires de France, 2008.
9. Gavarini L. et Ottavi D., Éditorial. de l'éthique professionnelle en formation et en recherche, Recherche et formation, 52 | 2006, 5-11.
10. Caré C., Morale, éthique, déontologie. Administration et éducation, 2e trimestre 2002, n°94.
11. Jacquet-Francillon, François. Notion : déontologie professionnelle. Le télémaque, mai 2000, n° 17
12. Carr, D. Professionalism and Ethics in Teaching. New York, NY Routledge. 2000.
13. Galloux, J.C., Droit de la propriété industrielle. Dalloz 2003.
14. Wagret F. et J-M., Brevet d'invention, marques et propriété industrielle. PUF 2001
15. Dekermadec, Y., Innover grâce au brevet: une révolution avec internet. Insep 1999
16. AEUTBM. L'ingénieur au cœur de l'innovation. Université de technologie Belfort-Montbéliard
17. Fanny Rinck etléda 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
18. Didier DUGUEST IEMN, Citer ses sources, IAE Nantes 2008

19. 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
20. 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.
21. Publication de l'université de Montréal, Stratégies de prévention du plagiat, Intégrité, fraude et plagiat, 2010.
22. Pierrick Malissard, La propriété intellectuelle : origine et évolution, 2010.
23. Le site de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle www.wipo.int
24. http://www.app.asso.fr/

III - Programme détaillé par matière du Semestre S2

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF2.1
Matière 1: Opérations unitaires II
VHS: 45h00 (Cours: 1h30 ; TD : 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

- Faire acquérir les connaissances de base en opération unitairesmécaniques et diffusionnelles, de séparation et d'ajustement de taille mettant en jeu des solides (agglomération, fragmentation et séparation des solides, filtration, cristallisation ;
- Expliquer les concepts à la base des différentes opérations de séparation et d'ajustement de taille et de forme ;
- Rendre l'étudiant apte à choisir et à dimensionner le type d'équipement approprié à une situation donnée (séparateur, broyeur, mélangeur..).

Connaissances préalables recommandées:

Transfert de matière, Transfert de chaleur et transfert de quantité de mouvement

Contenu de la matière:

Chapitre 0 : Rappels de thermodynamique (1 Semaine)

- Equilibre liquide-vapeur
- Règle des phases

Chapitre I : Procédés d'agglomération et de fragmentation des solides (3 Semaines)

- Agglomération des solides (Généralités ; Mécanismes d'agglomération ; Agglomération sans compression (granulation) ; Agglomération avec compression ; Enrobage)
- Fragmentation des solides (Généralités ; Conditions et techniques de broyage ; Appareillage ; Energie de broyage ; Séparation des solides)

Chapitre III : Opérations d'humidification (3 Semaines)

(Définition de l'humidité ; Notions de température humide (sèche et de rosée) ; Diagramme de l'air humide (Mollier, Carrier, etc…) ; Opérations unitaires sur l'air humide ; Transfert simultané de matière et de chaleur ; Saturation adiabatique ; Saturation isotherme ; Déshumidification).

Chapitre IV:Séchage et Evaporation (3 Semaines)

- Séchage (Modes de séchage des solides ; Humidité des solides ; Vitesse de séchage ; Durée de séchage ; Séchage continue et discontinu ; Technologies usuelles de séchage ; Dimensionnement d'un sécheur).

Chapitre V : Tours de contact gaz-liquide (2 Semaines)

-Tours de refroidissement
- Dimensionnement d'une tour

Chapitre VI : Séparation Solide-Liquide (2 Semaines)

(Séparation par membranes, Filtration,…)

Mode d'évaluation : Continu : 40 % ; Examen : 60 %

Références :

1) **Ernest E. Ludwig**, Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants Volume 1, Third Edition
2) **Ernest E. Ludwig**, Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants Volume 2, Third Edition
3) **Ernest E. Ludwig**, Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants Volume 3, Third Edition
4) **R. K. Sinnott**, Chemical Engineering, Volume 6, Third edition Chemical Engineering Design
5) **J. F. Richardson, J. H. Harker and J. R. Backhurst**, Chemical Engineering Volume2 Fifth Edition *Particle Technology and Separation Processes*
6) **James G. Speight**, Chemical and Process Design Handbook.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF2.1
Matière 2: Procédés de transformation
VHS: 67h30 (Cours: 1h30 ; TD : 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Connaître les principes fondamentaux des procédés de mise en forme (granulation, broyage, séchage,…) et de mise en œuvre (formulation, mélange, dosage, manutention,…).
Cette matière associe étroitement la compréhension de la structure et des propriétés des matériaux, l'élaboration et la mise en œuvre des matériaux à des fins industrielles. Elle permettrait à l'étudiant de suivre les différentes étapes de transformations et mises en forme d'un matériau qu'il soit organique (polymères et composites) ou inorganique (verres céramiques, métal, liants,…..) avant de le mettre entre les mains d'un ingénieur. Elle permet également à l'étudiant d'établir un lien entre les causes et effets de la dégradation des matériaux afin d'en optimiser les usages.

Connaissances préalables recommandées:

L'étudiant doit avoir des connaissances en chimie des matériaux, chimie minérale, chimie organique, chimie des polymères, chimie des silicates, Chimie physique et Génie chimique (thermodynamique, chimie de surfaces, cinétique chimique, lois de transfert, ….)

Contenu de la matière

Chapitre I : (3 semaines)

Notions sur les procédés technologiques de fabrication des matériaux

- Définition d'un procédé industriel
- Notions sur l'optimisation des procédés
- Paramètres d'influence du procédé

- Passage de la méthode à la technique vers le procédé
- Comparaison entre procédé à l'échelle du Laboratoire et à l'échelle Industrielle
- Mise en place du procédé industriel
- Etapes du processus de fabrication des matériaux

Chapitre II: Typologie des procédés **(3 semaines)**

- Primaire : Mise en forme à partir d'un semi-produit
- Secondaire : Mise en forme de surface fonctionnelle
- Tertiaire : Amélioration de la qualité pièce (polissage)

Mode d'évaluation :

Continu : 40 % Examen : 60 %

Références :

1- **Austin, L. G., Klimpel, R. R., Luckie, P. T:** Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, Edition: SME, New-York, USA, 1984
2- **A. Gupta** : Mineral processing design and operations: An introduction, Edition Lavoisier 2008
3- **R.P King:** Modelling and simulation of mineral processing systems, Edition Butterworth-Heinemann 2001
4- **B.A. Wills** : Will's mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery Edition Butterworth-Heinemann 2006
5- **Barin I., Knacke O., and Kubachewsky**,**O.,**Thermochemical Properties of Inorganic Substances, Edition Springer Verlag, Berlin, (1977).
6- **G. Chaussin, G. Hilly** - Métallurgie - Dunod Tome 1 : alliage métallique, Tome 2 : élaboration des métaux, 1966.
7- **Schönert K.,** Size Reduction (Fundamentals) – Chap 1, in Ullmann's Encyclopedia of Industrial chemistry. Vol. B2: Unit operations I, p. 5.1-5.14. Ed: Vch Verlagsgesellschaft mBh Weinheim (1988)
8- **Pomeran Y.,**Wheat : Chemistry and technology, AACC, St Paul USA, (1998).
9- **Buchel. K.H, H.M. Moretto et P.Woditsch.,** Industrial Inorganic Chemistry, John Wiley-VCH verlag, Weinheim (2000).
10- **Buckton G**., Interfacial phenomena in drug delivery and targeting. Drug targeting and delivery, ed. A.T.F.a.G. Gregoriadis, Harwood academic publishers (1995).
11- **Godet L.,** Broyage fin du talc par jet d'air opposé, in Génie Chimique-Génie des procédés, Institut National Polytechnique de Lorraine (2001).
12- **Henry Le Chatelier**, « Chimie des silicates », Edition « A. Hermann et Fils »,1914.
13- **Arnold Lassieur**, « Analyse des silicates », Edition « Dunod »,1951.
14- **R. Kern,** « Cours de minéralogie structurale des silicates », Edition « LMC »,1958.
15- **Eitel, Wilhelm**, "The Physical Chemistry of the Silicates",Edition "The University of Chicago Press",1954.
16- **Michel-Lévy Albert et Wyart Jean**, « Reproduction Artificielle De Minéraux Silicatés à Haute Pression », Edition « Siège De La société Géologique »,1947.
17- **Marc Carrega** , Matériaux industriels - matériaux polymères, Edition Dunod, juin 2000.
18- **Jean-Pierre Cohen,** Polymère : La matière plastique, Edition Belin, 2007.
19- **Marc Carrega** , Matières plastiques - Aide-mémoire, 2ème édition Dunod, 7 octobre 2009.
20- **Jean Pierre Mercier,** chimie des polymères, synthèses, réactions, dégradations, 1ère édition, 1993.
21- **Adda Y., Dupouy J.M.,** « Eléments de métallurgie physique", Documentation Française, Paris 1976.
22- **Bernard J., Michel A., Philibert J., Talbot J**., « Métallurgie générale », 2ème édition Masson, Paris 1984

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 2.1
Matière 1: Procédés de mise en forme
VHS: 22h30 (Cours: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement :
Mettre en pratique les méthodes élémentaires de mise en forme des matériaux

Connaissances préalables recommandées :
-Notions de mathématiques générales
-notions de Chimie physique et Génie chimique (thermodynamique, chimie de surfaces, cinétique chimique, lois de transfert, ….)
-Notions chimie minérale et organique

Contenu de la matière :

Chapitre I: Classification des procédés de mise en forme **(3 semaines)**

***Chapitre II** : Mélange des poudres*
Chapitre III** : Broyage(3 Semaines)**
Chapitre IV** : Granulation par voie humide(3 Semaines)**
***Chapitre V** Granulation par voie sèche*
***Chapitre VI**. Encapsulation*

Exemple de Procédés de mise en forme des matériaux métalliques (3 semaines)

-Préparation des matières premières
- Processus de fusion des composés métalliques
- Processus de :
    a. Forgeage ;
    b. Fonderie ;
    c. Frittage ;
    d. Emboutissage.

Exemple de Procédés de mise en forme des polymères et des composites(Mise en forme des composites à matrice thermodurcissable) :
- Procédés industriels de transformation et fabrication des polymères (en masse, en solution, en émulsion, en suspension, …)
- Solidification et mise en forme des polymères
(Procédé d'extrusion monovis et bivis : extrusion de profilés, extrusion soufflage, extrusion gonflage, Soufflage de corps creux, Filage textile, Calandrage, Thermoformage).
-Procédés de moulage :
    a. Moulage par injection base pression de résine liquide (RTM) ;
    b. Moulage par injection de résine réactive renforcée fibres longues (S-RIM) ;
    c. Moulage au contact ;
    d. Moulage par injection – réaction (R-RIM) ;
    e. Comparaison des divers procédés de mise en forme et de fabrication.

Mode d'évaluation : 100% examen

Ouvrages

6- ***Austin, L. G., Klimpel, R. R., Luckie, P. T*:** Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, Edition: SME, New-York, USA, 1984

7- ***A. Gupta*** : Mineral processing design and operations: An introduction, Edition Lavoisier 2008

8- ***R.P King*:** Modelling and simulation of mineral processing systems, Edition Butterworth-Heinemann 2001

9- ***B.A. Wills*** : Will's mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery Edition Butterworth-Heinemann 2006

10-***Barin I., Knacke O., and Kubachewsky,O.,***Thermochemical Properties of Inorganic Substances, Edition Springer Verlag, Berlin, (1977).

.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 2.2
Matière 1: Diagrammes de phases
VHS: 45h00 (Cours: 1h30 ; TD : 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Découvrir les transformations solide-solide et les effets des traitements thermiques portant sur les alliages.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie Générale ; Notions de base de la thermodynamique, enthalpies et entropies

Contenu de la matière :

Introduction

Chapitre I. Bases thermodynamiques (4 Semaines)

- Les fonctions
- Les solutions
- Les composés
- Les mesures calorimétriques

Chapitre II. Représentation graphique des résultats expérimentaux (3 Semaines)

Chapitre III. Principes de construction des diagrammes enthalpiques (4 Semaines)

- Systèmes binaires
- Systèmes ternaires
- Applications

Chapitre IV. Techniques de l'étude des diagrammes de phases (4 Semaines)

- Dilatométrie
- Calorimétrie
- Analyse thermique

Mode d'évaluation :

40% Contrôle continu et 60 % Examen

Références

-**J. Bénard, A. Michel, J. Philibert, J. Talbot** : Métallurgie générale, Masson éd., Paris, 1984, 2ème éd., 651p.
-**J.-P. Baïlon, J.-M. Dorlot** : Des Matériaux, Presse Internationales Polytechniques, Montréal, 2000, 3ème éd., 736p.
-**M.F. Ashby, D.R.H. Jones** : Matériaux, 2. Microstructure et mise en œuvre, Dunod éd., 1991, 385p.
-
http://fr.wikiversity.org/wiki/Introduction_%C3%A0_la_science_des_mat%C3%A9riaux/Diagrammes_binaires.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 2.2
Matière 4: Technologie des Fours industriels
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Cette matière permettra aux étudiants d'aborder les phénomènes de combustion et transfert de chaleur dans les fours industriels qui sont à l'origine de méthodes de fabrication, mise en forme et obtention des différents types des matériaux.

Les fours sont la pièce maitresse dans l'industrie des matériaux. Dans cette optique, l'étudiant doit en mesure de savoir la combustion et ses réactions chimiques, calcul de combustion, les combustibles, le pouvoir calorifique, température réelle de combustion, classification des fours selon la circulation des fumées. A la fin, l'étudiant doit être capable de faire un bilan énergétique d'un four pour essayer de minimiser la chaleur perdue.

L'objectifdu cours est de fournir à l'étudiant une vision claire sur la combustion, sur les différents fours de l'industrie des matériaux, sur leurs caractéristiques physico-chimiques pour pouvoir décrire leur d'utilisation

Connaissances préalables recommandées:

Transfert de chaleur, chimie organique, thermodynamique appliquée, classe et structure des matériaux

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Combustion dans les fours industriels (3 Semaines)

1. Notions sur la combustion
2. Les combustibles : solides, liquides, gazeux
3. Les réactions de combustion
4. Gaz brulés
5. L'enthalpie de formation
6. Température de flamme
7. Pouvoir calorifique
8. Entropie absolue
9. Le diagramme d'OSWALD
10. Procédés de combustion

Chapitre 2. Classification des fours (3 Semaines)

1. Fours continus
2. Fours discontinus
3. Chauffage direct
4. Chauffage indirect
5. Fours à haute température
6. Fours à basse température

Chapitre 3. Transfert de chaleur dans les fours (3 Semaines)

1. Fours à haute température
2. Fours à basse température
3. Rôle de la conduction
4. Chauffage à courants parallèles et chauffage à contre-courant
5. Fours discontinus

Chapitre 4. Calcul thermique des fours (3 Semaines)

1. Bilan énergétique
2. Flux thermiques admissibles
3. Qualité du chauffage
4. Puissance installée
5. Dimensionnement des fours

Chapitre 5. Isolation des fours (3 Semaines)

1. Conception générale
2. Définitions
3. Physique des matériaux réfractaires
4. Chimie des matériaux réfractaires
5. Interactions entre les réfractaires et le four
6. Dimensionnement des parois réfractaires

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références:

1. **Introduction aux transferts thermiques, Cours et exercices corrigés**
   J.-L. Battaglia, A. Kusiak, J.-R. Puiggali, 2ème Eds. DUNOD, 2014.
2. **Énergie, pollution de l'air et développement durable**
   C. Ronneau, Presses universitaires de Louvain, 2004
3. **Techniques de l'ingénieur, Fours industriels**
   I. JACUBOWIEZ, 1998

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEM 2.1
Matière 1:Vieillissement et dégradation des matériaux
VHS: 37h30 (Cours: 1h30 ; TP : 1h00)
Crédits: 3
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Sensibiliser les étudiants sur les problèmes de vieillissement des matériaux plastiques et solides, dont l'étude est l'un des points clés du développement de ces matériaux. Cette matière doit permettre l'étude des phénomènes et des réactions qui se produisent à diverses interfaces du matériau. Les attaques chimiques externes, la corrosion et les résistances des matériaux vis-à-vis des substances chimiques font l'objet de l'enseignement de la matière.

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances requises pour suivre cette matière se résument en chimie générale, chimie physique, chimie et analytique et en physique des matériaux.

Contenu de la matière:

Chapitre I : Phénomènes de corrosion (5 Semaines)

- Corrosion humide : Phénomènes électrochimiques à l'interface métal-solution, cinétiques de corrosion, courbes de polarisation, passivité et métaux passivables.
- Corrosion sèche : Approche thermodynamique : diagrammes d'Ellingham.
- Approche cinétique : cinétique de la formation des couches d'oxydes, méthodes d'études et mécanismes de l'oxydation et de la protection.
- Phénomènes de diffusion atomiques dans les métaux.
- Corrosion dans la pratique industrielle.
- Approche économique et phénoménologique.
- Etude de cas réels.

Chapitre II : Vieillissement et Dégradation des matériaux (5 Semaines)

- Vieillissement naturel : le rayonnement solaire, la température, l'oxygène et l'ozone, l'humidité et la pluie, la neige, la grêle et le sable, le vent, autres facteurs.
- Vieillissement Physique et dégradation : vieillissement photochimique, vieillissement thermique,vieillissement hydrolytique.
- Vieillissement chimique : Définitions, Les réactions de photo oxydation, vieillissement sans transfert de masse, vieillissement par absorption de solvant, vieillissement par migration d'adjuvants, fissuration sous contrainte en milieu tensioactif.
- Les techniques de caractérisations : techniques non destructives, techniques destructives.

Chapitre III : Protection des matériaux contre la corrosion (5 Semaines)

- Protection électrochimique (protection anodique et applications, protection cathodique, applications et calculs, protection par inhibiteurs et applications).
- Méthodes de protection contre la corrosion sèche, par revêtement, par dépôt de métaux, par vaporisation de composes inhibiteurs, méthodes d'études de revêtements de surfaces, détermination des critères de choix d'une méthode de protection.

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références

- **Centre français de l'anticorrosion** : La Commission Corrosion sous contrainte-fatigue-corrosion du Centre français deticorrosion « Interactions hydrogène-matériaux et corrosion-déformation », Recueil des journées jeunes chercheurs 2010, Edition « Presses De L'Ecole Des Mines », 2010.
- **Dieter Landolt**, « Traite des matériaux t.12 ; corrosion et chimie de surfaces des métaux », Edition « Presses Polytechniques Romandes », 1993
- **Collectif, « Corrosion et protection de matériaux à haute température** », Edition « Presses De L'Ecole Des Mines », 2011.
- **Marc Neveux**, « La corrosion des conduites d'eau et de gaz », Edition « Eyrolles », 1968
- **Ropital François**, « Corrosion and degradation of metallic materials, understanding of the phenomena and applications in petroleum and process industries », Edition « Technip", 2010.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEM2.1.
Matière 2:Surfaces et interfaces.
VHS: 37h30 (Cours: 1h30 ; TP : 1h00)
Crédits: 3
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Comprendre les mécanismes mis en jeu à la surface et aux interfaces des matériaux en interaction avec un gaz ou un solide

Connaissances préalables recommandées:

- Notions de mathématiques générales
- Notions de Chimie physique et Génie chimique (thermodynamique, chimie de surfaces, cinétique chimique, lois de transfert, ….)
-Notions chimie minérale

Contenu de la matière:

Chapitre 1 :

- **Introduction générale**
- **Notion de surface et d'interface, surface propre.**
- **Domaine d'application des surfaces et interfaces**

Chapitre II : Adsorption des gaz (3 Semaines)

- Introduction
- Forces intervenant entre une molécule de gaz et la surface d'un solide
- Type d'adsorption
- Chaleur d'adsorption
- Techniques expérimentales de détermination d'isothermes d'adsorption
- Étude thermodynamique de l'adsorption

Chapitre III : Isotherme d'adsorption du type I (3 Semaines)

- Introduction
- Isotherme d'adsorption en monocouches localisées
  - Equation de Freundlich
  - Equation de Langmuir

Chapitre IV : Isotherme d'adsorption en multicouches (3 Semaines)

- Modèle de BET

Chapitre V : Techniques de caractérisation de surfaces (6 Semaines)

- Méthodes spectroscopiques
  - Spectroscopie Auger
  - Spectroscopie des photoélectrons X (XPS)
- Méthodes Microscopiques :
  - Microscopie à champs proches (AFM, STM)
  - Microscopie électroniques à balayage
  - Microscopie à transmission

- Méthodes porosimétriques
- Prosimètrie à mercure
- Thermoporosimétrie
- Physisorption d'azote

Mode d'évaluation :

Contrôle continu : 40 % ; Examen : 60 %.

Références:

1. **PannetierSouchay**, Cinétique chimique Ed. Masson 1964.
2. **J.E. Germain**, Catalyse hétérogène Ed. Dunod 1959.
3. **J.J. Fripiat**, Chimie physique des phénomènes de surface, Ed. Masson 1971.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEM2.1
Matière 1: TP Elaboration des matériaux
VHS: 15h00 (TP: 1h00)
Crédits: 1
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Mettre en pratique les méthodes élémentaires de mise en forme des matériaux

Connaissances préalables recommandées:

- Notions de mathématiques générales
- Notions de Chimie physique et Génie chimique (thermodynamique, chimie de surfaces, cinétique chimique, lois de transfert, ….)
-Notions chimie minérale et organique

Contenu de la matière: Au choix

TP1 : Préparation du silicium élémentaire
TP2 : Echantillonnage, dosage et homogénéisation des poudres
TP3 : Broyage discontinu du clinker à ciment
TP4 : Approche cinétique de la réduction de taille des particules solides
TP5 : Cinétique de décomposition du calcaire en milieu homogène et hétérogène
TP6 : Elaboration du verre et vitrification
TP7 : Synthèse macromoléculaire
TP8 : Elaboration d'un matériau composite
TP9 : Synthèse d'une zéolithe
TP10: Polymérisation en émulsion

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu 100%

Références :

1-Michel Fontanille Yves Gnanou, Chimie et physico-chimie des polymères, Dunod 3e édition, 2013.
2-Thibaut Starzyk, Frederic, matériaux micro et mésoporeux, Ed. Dunod 2004.

Semestre: S2
Unité d'enseignement: 1.2.1
Matière : 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 :

- Maitrise 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 automatqiue (Machine Learning)
    - Apprentissage profound (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 œuvre avec **Scikit-learn**.
4. **Exercices :**
    - Manipulation de matrices avec la bibliothèque NumPy (Python)
    - Exercice sur la régression linéaire (utiliser une bibliothèque Python comme Scikit-learn par exemple)
    - Expliquer la bibliothèque Matplotlib (Python)
    - …

Chapitre 3 : Apprentissage automatqiue (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'entrainement 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, Sigmoïde, 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) :

- Reconnaissance des caractères manuscrits
- Prédiction des catastrophes naturelles
- Développer un Chatbot capable de répondre aux questions fréquentes d'une entreprise, de manière naturelle.
- Développer un système capable de distinguer les sons normaux d'une machine de ceux indiquant une anomalie (roulement défectueux, vibration excessive, etc.)

- 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 évènement.
- …

Travaux pratiques :

TP 01 : Initialisation

TP 02 :

- Implanter 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 es notions vues au cours

TP 04 :

- Utilisation Scikit-learn pour entrainer un modèle de classification simple
- …….

TP 05 :

- Implanter 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 MINIST)
- …

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=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'apprentisage 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.Belhadef, I.Djemal : Méthode TALN – Cours de l'unievrsité de Msila - Algérie

Semestre: 2
Unité d'enseignement : UET 1.1
Matière : Lean Start-Up 2
VHS : 45h00 (Cours : 1h30, Atelier : 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Ce cours prolonge le module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1. L'étudiant y apprend à transformer les hypothèses validées en produit minimum viable (MVP) et à mobiliser l'intelligence artificielle et la méthode TRIZ pour résoudre les contradictions techniques propres à l'innovation. Il se familiarise avec les indicateurs de performance d'une startup, en particulier le modèle AARRR, et apprend à décider, sur la base de ces indicateurs, s'il faut changer de cap (Pivot) ou poursuivre dans la même direction (Persevere). Le cours aborde enfin les sources de financement d'une startup et les stratégies de croissance, avant de se conclure par un projet intégrateur, le Startup Lab, mené en équipe tout au long du semestre et soutenu devant un jury sous la forme d'un pitch final.

Connaissances préalables recommandées:

Avoir suivi le module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1, notamment les notions de démarche Lean Startup, de Customer Discovery et de Business Model Canvas.

Contenu de la matière:

VI. Le produit minimum viable (MVP) (3 semaines)

- Définition et rôle du MVP dans la démarche Lean Startup
- Types de MVP : numérique, expérimental, service simulé
- Test des hypothèses critiques
- Prototypage rapide et outils de création de prototypes (Figma, Glide, Bubble, Canvas)
- Mesurer l'échec dans le délai le plus court possible

VII. Intelligence artificielle et méthode TRIZ au service de l'innovation (3 semaines)

- L'intelligence artificielle dans l'entrepreneuriat : génération d'idées, analyse de marché, développement du MVP, marketing
- Présentation de la méthodologie TRIZ
- Les contradictions techniques et la solution idéale finale
- Combinaison de l'intelligence artificielle et de TRIZ
- Les startups Deep Tech

VIII. Mesure de la performance et gestion de l'échec (3 semaines)

- Les indicateurs clés de performance (KPIs) et le management d'une startup
- Le modèle AARRR : Acquisition, Activation, Rétention, Revenu, Recommandation
- L'adéquation produit-marché (Product-Market Fit) et l'adéquation problème-solution (Problem-Solution Fit)
- Taux de rétention, taux d'attrition (Churn) et rythme de consommation de trésorerie (Burn Rate)
- Les indicateurs d'apprentissage (Learning Metrics)
- La gestion précoce de l'échec et les critères d'arrêt d'un projet (Kill Criteria)

IX. Pivoter ou persévérer : Pivot vs Persevere (2 semaines)

- Le changement de cap partiel ou total (Pivot) et la persévérance (Persevere)
- Les signaux qui motivent un changement de direction
- Les différents types de pivot
- Les indicateurs qui appuient la décision

X. Financement, croissance et expansion (2 semaines)

- Les sources de financement : autofinancement, investisseurs providentiels (business angels), capital-risque, financement participatif
- Les étapes successives du financement d'une startup
- Les stratégies de croissance rapide à faible coût (Growth Hacking)
- Les moteurs de croissance (Engines of Growth) : viral, payant, organique
- L'entonnoir marketing (Funnel Growth) et les boucles de croissance (Growth Loops)
- Les stratégies d'expansion internationale

XI. Projet intégrateur : Startup Lab et soutenance finale (2 semaines)

- Synthèse du projet mené en équipe, du choix du problème à la stratégie de financement et de croissance
- Préparation et présentation du pitch final devant un jury d'évaluation

Mode d'évaluation:

Examen final : 20 %. Travaux pratiques et ateliers : 20 %. Projet collectif (Startup Lab) : 60 %.

Références bibliographiques

1. Maurya, A. (2012). Running Lean.
2. Croll, A., Yoskovitz, B. (2013). Lean Analytics.
3. Doerr, J. (2017). Measure What Matters.
4. Weinberg, G., Mares, J. (2015). Traction: How Any Startup Can Achieve Explosive Customer Growth.
5. Eyal, N. (2014). Hooked: How to Build Habit-Forming Products.
6. Grove, A. S. (1983). High Output Management.
7. Horowitz, B. (2014). The Hard Thing About Hard Things.
8. Agrawal, A., Gans, J., Goldfarb, A. (2018). Prediction Machines.
9. Iansiti, M., Lakhani, K. R. (2020). Competing in the Age of AI.
10. Altshuller, G. (1999). The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity.
11. Ikovenko, S. (2003). TRIZ: The Theory of Inventive Problem Solving.
12. Graham, P. (2013). Do Things That Don't Scale.
13. McKinsey Global Institute (2023). The State of AI in Business.
14. Stanford University (2024). Artificial Intelligence Index Report.

Annexe - Glossaire des concepts clés

Cette liste reprend, en français, les notions avancées mobilisées dans le cours, en continuité directe avec le glossaire du module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1.

Terme	Définition
MVP (produit minimum viable)	Version la plus simple d'un produit, permettant de tester les hypothèses avec un minimum d'effort.

Terme	Définition
Market Fit	Concordance entre le produit proposé et les attentes du marché.
Product-Market Fit	Situation dans laquelle le produit répond réellement à un besoin du marché.
TRIZ	Méthodologie scientifique et structurée de résolution de problèmes innovants.
Technological Contradiction (contradiction technique)	Situation où l'amélioration d'une caractéristique d'un produit en dégrade une autre.
Deep Tech Startup	Entreprise fondée sur des sciences et des technologies de pointe.
Data-Driven Decision (décision fondée sur les données)	Décision appuyée sur des données mesurées plutôt que sur l'intuition.
KPIs (indicateurs clés de performance)	Indicateurs essentiels au suivi de la performance d'une startup.
AARRR	Modèle de mesure de la croissance en cinq étapes : acquisition, activation, rétention, revenu, recommandation.
Acquisition	Étape consistant à attirer des utilisateurs vers le produit ou le service.
Activation	Moment où l'utilisateur retire une première valeur réelle du produit.
Retention Rate (taux de rétention)	Proportion d'utilisateurs qui continuent d'utiliser le produit dans le temps.
Churn Rate (taux d'attrition)	Proportion d'utilisateurs qui abandonnent le produit.
Burn Rate	Rythme mensuel de consommation du capital disponible.
Runway	Durée pendant laquelle la startup peut fonctionner avant épuisement de ses fonds.
Kill Criteria (critères d'arrêt)	Conditions justifiant l'arrêt d'un projet jugé non viable.
Learning Metrics (indicateurs d'apprentissage)	Indicateurs centrés sur ce que l'équipe a appris, plutôt que sur le profit.
Pivot	Changement radical ou partiel de la stratégie du projet, décidé sur la base des indicateurs.
Persevere (persévérance)	Décision de poursuivre le projet dans la même direction stratégique.
Traction	Preuve tangible et mesurable de croissance sur le marché.
Growth Hacking	Ensemble de stratégies de croissance rapide et peu coûteuses.
Engines of Growth (moteurs de croissance)	Mécanismes de croissance d'une startup : viral, payant ou organique.

Terme	Définition
Viral Coefficient (coefficient viral)	Mesure du taux auquel les utilisateurs en attirent de nouveaux.
Funnel Growth (entonnoir de croissance)	Représentation du parcours de conversion d'un utilisateur.
Growth Loops (boucles de croissance)	Mécanismes de croissance autoalimentée générant continuellement de nouveaux utilisateurs.
LTV (valeur vie client)	Valeur totale qu'un client est susceptible de générer durant toute sa relation avec l'entreprise.
CAC (coût d'acquisition client)	Coût moyen nécessaire pour obtenir un nouveau client.
Network Effects (effets de réseau)	Phénomène par lequel la valeur d'un produit augmente avec le nombre de ses utilisateurs.
Investment Readiness (maturité pour l'investissement)	Degré de préparation d'un projet à lever des fonds auprès d'investisseurs.

IV - Programme détaillé par matière du Semestre S3

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEF3.1. 1
Intitulé de la matière : Milieux poreux et dispersés
VHS : 45H00 **(Cours : 1h30 ; TD : 1H30)**
Crédit : 4
Coefficient : 2

Semestre *:* S3

Objectifs de l'enseignement (*Décrire ce que l'étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière – maximum 3 lignes).*

L'objectif est de maitriser les processus d'élaboration de certains polymères à l'échelle industrielle en étudiant leurs propriétés et domaines d'utilisation.

Connaissances préalables recommandées (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes).*

Les connaissances requises pour suivre ce module sont la chimie organique, la chimie minérale, la chimie générale, ainsi que la rhéologie.

Contenu de la matière :

Chapitre 1. Granulométrie **2 Semaines**

Morphologie d'un grain, analyse granulométrique et utilisation de l'analyse granulométrique.

Chapitre 2. Broyage et fragmentation **3 Semaines**

Opération de broyage, criblage et tamisage. Lois énergétiques de fragmentation.

Chapitre 3. Ecoulement des fluides à travers un milieu poreux **3 Semaines**

Ecoulement d'un seul fluide à travers un milieu poreux. Modèle de Kozeny, modèle de faisceaux de pores tortueux. Equation d'Ergun. Calcul de la perte de charge des colonnes garnies.

Filtration à débit constant , filtration à pression constante, application filtration à gâteau.

Chapitre 4. Mouvement des grains dans les fluides **3 Semaines**

Ecoulement d'un seul fluide autour d'un grain, mouvements verticaux de grains dans un champs de pesanteur, calcul de la vitesse terminale de chute libre, mouvement à deux dimensions.

Chapitre 5. Sédimentation **2 Semaines**

Décantation par gravités : dimensionnement d'un décanteur
Decantation par centrifugation : dimensionnement d'un cyclone à gaz.

Chapitre 6. Fluidisation **2 Semaines**

Fluidisation homogène : Etude expérimentale de la perte de charge et la porosité du lit, seuil minimum de fluidisation. Etude théorique d'expansion du lit et fluidisation hétérogène.

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références :

1. DULLEN(F.A.L)-Porous media: fluid transport and port structure (milieux poreux: transport des fluides et structure poreuse) 1979 Academic Press.New York.
2. Rhodes, M., Introduction to ParticleTechnology, 2nd Ed., Wiley (2008).
3. Raffinage et Genie Chimique Tome II.P.Wuithier.Editions Technip. Paris 1965.
4. Gibilaro, L. G., Fluidization - Dynamics, Butterworth - Heinemann (2001).

5. Perry R. H., D. W. Green And J. O. Maloney, "Perry's Chemical Engineers' Handbook " seventh edition, , McGraw Hill, 1999
6. Coulson J.M., J.F Richardson, J.R Backhurst And J.H. Harker, "Chemical Engineering", volume two, Fifth edition, Pergamon Press, 2002.

McCabe W.L., J.C. Smith and P. Harriott, "Unit Operations of Chemical Engineering", seventh edition,ed.McGraw-Hill,2004.

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEF3.1. 2
Intitulé de la matière : Matériaux Polymères et composites
VHS : 67H30 (Cours : 3h00 ; TD : 1H30)
Crédit : 6
Coefficient : 3

Semestre *:* S3

Objectifs de l'enseignement (*Décrire ce que l'étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière – maximum 3 lignes).*

L'objectif est de maitriser les processus d'élaboration de certains polymères à l'échelle industrielle en étudiant leurs propriétés et domaines d'utilisation. Ainsi, l'accent sera mis sur les composites à matrices, polymères, métalliques ou céramiques, avec des renforts fibreux ou particulaires. Des adjuvants et des additifs sont donc mélangés à ces matériaux afin d'obtenir des matériaux dont les propriétés sont adaptées à diverses utilisations. L'objectif sera de comprendre les modes d'action des stabilisants et des additifs utilisés lors de la mise en œuvre de ces matériaux

Connaissances préalables recommandées (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes).*

Les connaissances requises pour suivre ce module sont la chimie organique, la chimie minérale, la chimie générale, ainsi que la rhéologie.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Définitions des polymères Industriels **2 Semaines**
- Définitions fondamentales des polymères
- Définitions des polymères industriels

Chapitre II : Elaboration des Polymères industriels **2 Semaines**
- Matériaux utilisés
- Procédés d'élaborations

Chapitre III : Propriétés des polymères industriels **2 Semaines**
- Propriétés chimiques et électrochimiques
- Propriétés physiques
- Propriétés mécaniques
- D'autres propriétés et d'domaines d'emplois

Chapitre IV : Généralités sur les matériaux composites **3 Semaines**
Définition et classification des composites
- Fractions volumiques, fractions massiques
- Eléments constituants les matériaux composites, (les résines, les charges et additifs, les fibres et tissus, les principales fibres)

Chapitre V : Additifs dans les matériaux composites **3 Semaines**
- Rôle des additifs

Différents types d'additifs : pigment colorants, stabilisants UV, stabilisants IR, stabilisants thermiques, compatibilisants, agents antistatique, retardateurs de flammes
- Charges et renforts

Chapitre VI : Méthodes de mise en œuvre des matériaux composites **3 Semaines**
- Formulations adaptées pour répondre aux procédés de transformation et aux propriétés recherchées

- Transformation des composites
- Procédés de mise en œuvre et structure des matériaux composites
- Renforcement des résines thermodurcissables
- Utilisation des demi-produits, architecture des composites SMC, BMC, Stratification, pultrusion, RTM et RIM, Moulage par projection
- Traitement de surface, découpe et assemblage des composites
- Renforcement des résines thermoplastiques : Injection, fabrication et moulage des plaques en TRE, Autres procédés
- Renforcement des mousses rigides ou semi-rigides **:** Moulage entre moule et contre-moule, moulage par projection

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

1. Marc Carrega , Matériaux industriels - matériaux polymères, Edition Dunod, juin 2000.
2. Jean-Pierre Cohen, Polymère : La matière plastique, Edition Belin, 2007
3. Marc Carrega , Matières plastiques - Aide-mémoire, 2ème édition Dunod, 7 octobre 2009.
4. Jean pierre mercier, chimie des polymères, synthèses, réactions, dégradations, 1ère édition, 1993.

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEF3.2.1
Intitulé de la matière : Technologie des verres
VHS : 45H00 **(Cours : 1h30 ; TD : 1H30)**
Crédit : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement (*Décrire ce que l'étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière – maximum 3 lignes).*
L'objectif est d'étudier l'état vitreux et les propriétés des verres industriels, ainsi que les procédés d'élaboration et de mise en forme.

Connaissances préalables recommandées (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes).*
Pour bien suivre cette matière l'étudiant doit avoir des connaissances en chimie des silicates, en diagramme des phases, thermodynamique et en cristallographie.

Contenu de la matière : Technologie des verres

Chapitre I- Etude de l'état vitreux selon les différentes théories **3 Semaines**
Chapitre II- Etude des propriétés des verres industriels **3 Semaines**
II-1 : Propriétés optiques
II-2 : Propriétés mécaniques
II-3 : Propriétés thermiques
II-4 : Propriétés électriques
II-5 : Propriétés phonique
II-6 : Propriétés chimiques
Chapitre III- **3 Semaines**
Etudes des matières premières de fabrication des verres industriels
III-1 : Propriétés des matières premières
III-2 : Traitement des matières premières
III-3 : Préparation des mélanges de départ
Chapitre IV- Elaboration de la fonte vitreuse et fusion du verre **3 Semaines**
IV-1 : Déshydratation du mélange
IV-2 : Réaction en phase solide
IV-3 : Fusion du mélange vitreux
IV-4 : Affinage et homogénéisation du mélange vitreux
Chapitre V : Procédés de mise en forme et types de verres **3 Semaines**
I- Mise en forme des verres plats
II- Mise en forme des verres creux
III- Mise en forme des verres d'optique
IV- Fibres de verre

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

1. Collectif, « Industries de fabrication mécanique du verre », Edition « Documentation Francaise », 2006.
2. J. Travail, « Fabrication du verre à la main, semi-automatique et mixte », Edition « Centre De Ressources Interactif », 2010.
3. J. Travail, Verre (fabrication mécanique), Edition « Centre De Ressources Interactif », 2010.
4. Collectif, « Fabrication et travail du verre »,Edition « Lebègue et Schepens », 1907.

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEF3.2.2
Intitulé de la matière : Technologie des céramiques et Liants
VHS : 45H00 **(Cours : 1h30 ; TD : 1H30)**
Crédit : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement (*Décrire ce que l'étudiant est censé avoir acquis comme compétences après le succès à cette matière – maximum 3 lignes).*
L'objectif est d'étudier les processus de fabrication des matériaux céramiques et liants, les différents types des matériaux céramiques et liants, leurs propriétés et domaines d'utilisation.

Connaissances préalables recommandées (*descriptif succinct des connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement – Maximum 2 lignes).*
Pour bien suivre cette matière l'étudiant doit avoir des connaissances en chimie des silicates, chimie minérale, diagramme des phases, thermodynamique, cristallographie et rhéologie.

Contenu de la matière : Technologie des céramique et Liants

Chapitre I- Préparation des masses céramiques **2 Semaines**
I-1 : Effet du broyage sur les propriétés des matériaux céramiques
I-2 : La nature colloïdale des masses plastiques
I-3 : Etude de la rhéologie des masses céramiques
I-4 : Etude du pH dans la céramique

Chapitre II- Processus de séchage des produits céramiques **2 Semaines**
II-1 : Système eau- argile
II-2 : Etude du retrait au séchage
II-3 : Paramètre influant sur le retrait
II-4 : Courbe de séchage
II-5 : Processus de séchage

Chapitre III- Processus de cuisson des produits céramiques **2 Semaines**
III-1 : Formation du tesson céramique
III-2 : Emaillage des produits céramiques
III-3 : Courbe de cuisson et contrôle du processus de cuisson

Chapitre IV- Processus de fabrication du ciment Portland **2 Semaines**
IV-1 : Préparation du mélange cru
IV-2 : Déshydratation du cru
IV-3 : Décomposition des carbonates
IV-4 : Réactions en phases solides
IV-5 : Réaction solide-liquide
IV-6 : Refroidissement du clinker

Chapitre V- Propriétés du ciment Portland **2 Semaines**
V-1 : Propriétés chimiques
V-2 : Propriétés minéralogiques
V-3 : Propriétés structurales et morphologiques

V-4 : Propriétés physiques et mécaniques
V-5 : Utilisation des Ajouts

Chapitre VI- Fabrication et propriétés d'autres liants hydrauliques 2 Semaines

VI-1 : Fabrication de la chaux
VI-2 : Fabrication des plâtres
VI-3 : Ciments spéciaux
VI-4: Normalisation relative aux ciments

Chapitre VII - Contribution à la protection de l'environnement 1 Semaine

VII-1 : Utilisation des déchets industriels dans la fabrication du ciment
VII-2 : Minimisation des émissions des gaz polluants (CO_2, SO_X, NO_X, …)

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

1. C.A. JOUENNE, « Traité de céramiques et matériaux minéraux », Edition « SEPTIMA », 1984.
2. Lurcat Jean, « La céramique », Edition « Académie des Beaux-Art », 2004.
3. Taylor Louisa, « Le grand livre de la céramique, outils et techniques d'aujourd'hui », Edition « Pyramyd », 2011.
4. Pescheteau-Badin-Ferrien, « Porcelaines, Faïences Françaises, Livres sur la Céramique », Edition « CHEZ L'AUTEUR », 1991.
5. Collectif, «Industrie de la fabrication des ciments», Edition «Document. Française», 2006.
6. J.Boero, « Fabrication et Emploi des Chaux Hydrauliques et Ciments »,Edition « BERANGER »1925.
7. Collectif, «Industrie de la fabrication des ciments», Edition «Document. Française», 2003.
8. J.Fritsch, « Fabrication du ciment », Edition « Self-Edition Scientifique et Industrielle », 1911.
9. L. Blondiau « Le ciment métallurgique sursulfaté, Principes de fabrication, propriétés chimiques physiques et mécaniques », Edition « Revue des matériaux de construction et de travaux publics », 1939.
10. Collectif, « Industrie de la fabrication des ciments », Edition « Documentation Française », 2003.

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEM 2.1
Matière 1 : Application des matériaux dans la dépollution des eaux
VHS : 22h 30mn (TP : 1h30)
Crédit : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Formation de spécialistes de terrain ayant des solides connaissances théoriques et pratiques des problèmes de nuisances véhiculés par l'air. Les étudiants formés, pourront prendre en charges les problèmes de contrôle et de maîtrise de la qualité de l'air et mettre au point l'instrumentation et les techniques nécessaires

Connaissances préalables recommandées :
Chimie, chimie-physique, thermodynamique, équilibres chimiques, cinétique de réaction chimique, physico-chimie des polluants.

Contenu de la matière : (TP au choix)
TP N 1 : Procédés de fabrication de matériaux poreux et divisés (Charbons actifs, Zéolithes, Argiles modifiées, tamis moléculaires (aluminophospahtes) ….

TP N 2: Adsorption *en mode discontinu (Mode batch)* de polluants organiques (acides humiques ou phénols ou…,…) sur un adsorbant (zéolithe synthétique, charbon actif, argile modifiée,….)

TP N 3: Adsorption *en mode dynamique sur lit fixe* de polluants organiques (acides humiques ou phénols ou…,…) sur un adsorbant (zéolithe synthétique, charbon actif, argile modifiée,….).

TP N 4 : Adsorption *en mode discontinu(Mode batch)*d'un métal lourd (Ni, Co, Cu, Zn …) sur un adsorbant (zéolithe synthétique, charbon actif, argile modifiée,….)

TP N 5 : Adsorption *en mode dynamique sur lit fixe* d'un métal lourd (Ni, Co, Cu, Zn …) sur un adsorbant (zéolithe synthétique, charbon actif, argile modifiée,….)

TP N 6 : Elaboration d'échangeurs d'ions : Echangeurs de synthèse (polymères) et échangeurs naturels (zéolithes).

TP N 7 : Application des échangeurs d'ions dans la déionisation

TP N 8 : Application des échangeurs d'ions dans l'adoucissement et purification de l'eau

TP N 9 : Elimination de la pollution des eaux par coagulation et floculation par emploi des argiles, silices activées, ..).

TP N 10 : Elimination de la pollution des eaux par électrocoagulation.

TP N 11 : Dégradation de polluants organiques (pesticides, colorants…) par emploi de matériaux adsorbants et/ou catalytiques (zéolithes, Argiles anioniques, argiles pontées, oxydes de titane, …)

Mode d'évaluation : Contrôle continu : 100%

Références *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

1. G. BURGOT, J.L. BURGOT Méthodes instrumentales d'analyse chimique et applications : méthodes chromatographiques, électrophorèses et méthodes spectrales,
2. A. BAILLY, M. CLERC-RENAUD, E. RUTMAN, C. TERNANT Techniques de l'Ingénieur volume BE5 réf BE9271) : traitement de l'air et climatisation,
3. R. EECKELAERS Les échangeurs d'ions et leur utilisation dans l'industrie,
4. J. REGALBUTO. Catalyst preparation: Science and engineering. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2007. UK
5. JIMMY L. HUMPHREY , GEORGE E. KELLER, Techniques, sélection, dimensionnement (Industries Techniques), Edition Dunod
6. KOLLER (Emilian), « Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues », ed dunod 2004.
7. *BLAISE* JEAN-FRANCOIS, Décoloration des eaux usées de levurerie par adsorption sur charbon,*Revue du génie et de la science de l'environnement*, 2004, 3(4): 269-277.
8. GANGNEUX et D. WATTIEZ, Synthèses et études de celluloses échangeuses d'ions. Leur emploi dans l'épuration des eaux résiduaires de l'industrie textile-III, European Polymer Journal, Vol. 12, pp. 551 to 557. Pergamon Press 1976.
9. G. BURGOT, J.L. BURGOT Méthodes instrumentales d'analyse chimique et applications : méthodes chromatographiques, électrophorèses et méthodes spectrales,
10. A. BAILLY, M. CLERC-RENAUD, E. RUTMAN, C. TERNANT Techniques de l'Ingénieur volume BE5 réf BE9271) : traitement de l'air et climatisation,
11. R. EECKELAERS, Les échangeurs d'ions et leur utilisation dans l'industrie,

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEM 2.1
Matière 2 : Modélisation et Optimisation des Procédés
VHS : 45h00 (Cours : 1h30 ; TP : 1h30)
Crédit : 3
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :
Fournir à l'étudiant les méthodes de recherche nécessaires à la méthodologie et de la recherche expérimentale et l'optimisation des procédés

Connaissances préalables recommandées :
Notions d'Analyse et d'Algèbre ; Notions de Chimie Physique et Génie Chimique (thermodynamique, chimie de surfaces, cinétique chimique, lois de transfert, ….) ; Notions de Chimie Minérale et Organique

Contenu de la matière :

Introduction	**1 Semaine**
Chapitre I : Méthodologie de la recherche scientifique	**2 Semaines**
Chapitre II : Analyse de quelques stratégies	**2 Semaines**
Chapitre III : Matrice d'Hadamard	**2 Semaines**
Chapitre IV : Etude quantitative des facteurs	**2 Semaines**
Chapitre V : Etude quantitative des réponses	**2 Semaines**
Chapitre VI : Optimisation et méthode de Simplex	**2 Semaines**

TP1 : Modélisation numérique de la structure d'un matériau composite
2 Semaines

Mode d'évaluation: Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références *(Livres et polycopiés, sites internet, etc).*

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 : GFGP Récent progrès en génie des procédés, Vol 2 N°6. Tech & Doc Lavoisier 1988.
4. **Poux, Martine,** Génie des procédés durables : Du concept à la concrétisation industrielle, Ed. Dunod 2010.

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEM 2.1
Matière 3 : Application des matériaux catalytiques a la réaction chimique
VHS : 22h30 (Cours : 1h30)
Crédit : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Ce cours permet d'appréhender toutes les facettes de la catalyse hétérogène. Préparation, caractérisation, mise en forme, utilisation, régénération, c'est à dire toute la durée de vie du catalyseur.

Connaissances préalables recommandées :
Cinétique et catalyse, méthodes d'analyse des surfaces, génie chimique.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Rappels de concepts de base en catalyse hétérogène : Catalyse Redox, Catalyse Acide-base **1 Semaine**

Chapitre II : Préparation et caractérisation des catalyseurs hétérogènes **2 Semaines**

Chapitre III : Mise en forme des catalyseurs et activation. **2 Semaines**

Chapitre IV : Catalyseur en fonctionnement : Diffusion, réaction, désactivation… **4 Semaines**

Chapitre V : Régénération des catalyseurs. **2 Semaines**

Chapitre VI : Procédés industriels de catalyse hétérogène : **4 Semaines**

1. Raffinage du pétrole et pétrochimie
2. Chimie
3. Chimie Fine
4. Protection de l'environnement (traitement des gaz d'échappement, combustion catalytique, piles à combustibles…)

Mode d'évaluation : examen100%

Référence :

1. Génie chimique- cinétique et catalyse hétérogène, B. Gilot, R. Guiraud, Ed. Ellipses
2. Catalyse hétérogène, P. Selwood, Burnell, Ed. Technip
3. Cinétique de réaction en catalyse hétérogène, Boudart, Ed. Masson
4. Applied heterogeneous catalysis, J. F. Lepage, Ed. Technip

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UEM2.1
Matière 4 : Analyse du cycle de vie des matériaux et calcul du bilan économique
VHS : 22h30 (Cours : 1h30)
Crédit : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

L'objectif est de faire des bilans économiques et environnementaux pour optimiser les dépenses et améliorer l'impact environnemental de l'industrie des matériaux.

Connaissances préalables recommandées :

Les connaissances demandées pour étudier cette matière sont la thermodynamique, le transfert de chaleur, la pollution atmosphérique, la pollution en déchet solide.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction **2 semaines**
- Rappels sur la thermodynamique
- Rappel de la chimie de l'environnement et la pollution

Chapitre II : Calcul du bilan économique de fabrication des matériaux **6 semaines**
I- Détermination des paramètres de l'entrée et la sortie
II- Etablissement des équations numériques
III- Calcul du bilan thermique
IV- Calcul du bilan énergétique global
V- Détermination du bilan économique final

Chapitre III : Analyse du Cycle de Vie (ACV) des matériaux **7 semaines**
I- Notions de l'ACV
II- Détermination des impacts environnementaux des matériaux avant, lors et après la fabrication et l'utilisation
III- Etablissement des formules de calculs
IV- Calcul de l'ACV
V- Commentaires sur l'écologie des matériaux analysés

Mode d'évaluation :

Examen : 100 %

Références:

1. Léon Perlemuter et Gabriel Perlemuter CSI 2.2 - Cycles de la vie et grandes fonctions, 2010.
2. Daisaku Ikeda, Le cycle de la vie : Perspective bouddhique, 2006.
3. Philippe Osset et Laurent Grisel, L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service : Applications et mises en pratique, 2008.

Semestre : 3
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 (vieillissement prématuré, 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, shampooings, 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.
- T**echniques de l'Ingénieur**, *Procédés chimiques : Dossier complet*.

Semestre : 3
Unité d'enseignement: UET 2.1
Matière 1 :Recherche documentaire et conception du mémoire
VHS : 15h00 (Cours: 1h00)
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 du 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.*