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 polymères*** |



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 البلمرات |

# 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 polymères | Génie des procédés | **1** | **1.00** |
| | | Génie des matériaux | **1** | **1.00** |
| | | Chimie des matériaux (Domaine SM) | **2** | **0.80** |
| | | Physique des matériaux (Domaine SM) | **3** | **0.70** |
| | | Chimie organique (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**

| Unité d'enseignement | Matières | Crédits | Coefficient | Volume horaire Hebdomadaire | | | Volume Horaire Semestriel (15semaines) | Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines) | Mode d'évaluation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Intitulé | | | **Cours** | **TD** | **TP** | | | **Contrôle Continu** | **Examen** |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 1.1.1<br>Crédits : 8<br>Coefficients : 4 | Transfert de chaleur et de masse approfondi | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Thermodynamique et diagrammes d'équilibre | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 1.1.2<br>Crédits :10<br>Coefficients : 5 | Chimie macromoléculaire | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Physico-chimie des macromolécules | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Surfaces et interfaces des polymères | 2 | 1 | 1h30 | | | 22h30 | 27h30 | | 100% |
| UE Méthodologique<br>Code : UEM 1.1<br>Crédits : 10<br>Coefficients : 6 | Formulation et élaboration des polymères | 6 | 3 | 1h30 | 1h30 | 1h30 | 67h30 | 82h30 | 40% | 60% |
| | Rhéologie des polymères | 3 | 2 | 1h30 | | 1h30 | 45h00 | 30h00 | 40% | 60% |
| | Programmation avancée python | 2 | 2 | 1h30 | | 1h30 | 45h00 | 5h00 | 40% | 60% |
| **UE Transversale<br>Code : UET 1.1<br>Crédits : 2<br>Coefficients : 2** | Respect des normes et règles d'éthique et d'intégrité | 1 | 1 | 1h00 | | | 15h00 | 10h00 | | 100% |
| **Total semestre 1** | | **30** | **17** | **13h00** | **7h30** | **4h30** | **375h00** | **375h00** | | |

**Semestre 2**

| Unité d'enseignement | Matières / Intitulé | Crédits | Coefficient | Volume horaire Hebdomadaire | | | Volume Horaire Semestriel (15semaines) | Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines) | Mode d'évaluation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **Cours** | **TD** | **TP** | | | **Contrôle Continu** | **Examen** |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 1.2.1<br>Crédits : 10<br>Coefficients : 5 | Mise en œuvre des polymères | 6 | 3 | 3h00 | 1h30 | | 67h30 | 82h30 | 40% | 60% |
| | Mélange des polymères | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 1.2.2<br>Crédits : 8<br>Coefficients : 4 | Polymères conducteurs | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Membranes polymères | 4 | 2 | 3h00 | | | 45h00 | 55h00 | | 100% |
| UE Méthodologique<br>Code : UEM 1.2<br>Crédits : 8<br>Coefficients : 4 | Méthodes physiques d'analyse | 5 | 3 | 1h30 | 1h30 | **1h00** | **60h00** | **65h00** | 40% | 60% |
| | Logiciels appliqués | 3 | 1 | 1h30 | | 1h00 | 37h30 | 37h30 | 40% | 60% |
| UE Transversale<br>Code : UET 1.2<br>Crédits : 4<br>Coefficients : 4 | **Lean Start-up** | **2** | **2** | **1h30** | **1h30** | | **45h00** | **5h00** | **80%<br>(20% Atl + 60%Prj)** | **20%** |
| | Eléments d'IA Appliquée | 2 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 5h00 | 40% | 60% |
| **Total semestre 2** | | **30** | **17** | **15h00** | **7h30** | **3h30** | **390h00** | **360h00** | | |

**Semestre 3**

| Unité d'enseignement | Matières | Crédits | Coefficient | Volume horaire Hebdomadaire | | | Volume Horaire Semestriel (15semaines) | Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines) | Mode d'évaluation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Intitulé | | | **Cours** | **TD** | **TP** | | | **Contrôle Continu** | **Examen** |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 2.1.1<br>Crédits : 10<br>Coefficients : 5 | Propriétés des polymères | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Mécanique des polymères | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Applications industrielles | 2 | 1 | 1h30 | | | 22h30 | 27h30 | | 100% |
| UE Fondamentale<br>Code : UEF 2.1.2<br>Crédits : 8<br>Coefficients : 4 | Les Bio-polymères | 4 | 2 | 1h30 | 1h30 | | 45h00 | 55h00 | 40% | 60% |
| | Vieillissement et dégradation des polymères | 2 | 1 | 1h30 | | | 22h30 | 27h30 | | 100% |
| | Recyclage et valorisation des polymères | 2 | 1 | 1h30 | | | 22h30 | 27h30 | | 100% |
| UE Méthodologique<br>Code : UEM 2.1<br>Crédits : 9<br>Coefficients : 5 | Caractérisation des polymères | 6 | 3 | 1h30 | 1h30 | 1h30 | 67h30 | 82h30 | 40% | 60% |
| | Modélisation des procédés | 3 | 2 | 1h30 | | 1h30 | 45h00 | 30h00 | 40% | 60% |
| UE Transversale<br>Code : UET 2.1<br>Crédits : 3<br>Coefficients : 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** | | |

**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 indicatifEvaluation 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

**Orientations Générales sur le choix des matières de découverte :**

1. Polymères et environnement
2. Développement des matériaux composites
3. Classes des matériaux et des polymères
4. Verres et Céramiques
5. Application sur Codes Numériques
6. Asservissement et Régulation
7. Matériaux pour l'Optique, l'Electronique et l'Optoélectronique
8. Nanotechnologie et Nanomatériaux
9. Matériaux Biocompatibles
10. Management des Ressources Technologiques
11. **Soudage et** CND
12. Traitements de Surface
13. Stratégie et Management des Entreprises
14. Valorisation et recyclage des Matériaux
15. Hygiène, Sécurité et Environnement
16. Etude des Vibrations des Equipements Industriels
17. Electrochimie

## III - Programme détaillé par matière du semestre S1

**Semestre : 1**
**Unité d'enseignement : UEF 1.1.1**
**Matière : Transfert de chaleur et de masse approfondi**
**VHS : 45h (cours : 01h30, TD : 1h30)**
**Crédits : 4**
**Coefficient : 2**

## Objectifs de l'enseignement :

Maîtriser les notions de base des trois modes de transfert thermique
Savoir écrire un bilan et construire un modèle élémentaire

**Connaissances préalables recommandées :**

Formation en mathématiques et physique ou mécanique
Connaissances en thermodynamique appliquée

**Contenu de la matière :**

**Chapitre 1:Conduction (4 semaines)**

- Loi de Fourier et loi de Fourier généralisées, tenseur des conductivités thermiques, conductivités thermiques, diffusivités thermiques et effusivités.
- Equation de la conduction (EC), conditions aux limites linéaires et exemples de conditions nonlinéaires.
- Solutions en transitoire à une dimension : Utiliser l'analyse de Fourier et la transformation de Laplace.
- Les ailettes longitudinales et transversales, montrer l'établissement des équations dans les deux cas.
- Proposer quelques solutions
- Opportunité d'emploi et optimisation.
- Les profils les plus courants (Rectangulaires, trapézoïdales).

**Chapitre 2 : Transfert de chaleur par rayonnement (5 semaines)**

- Lois et définitions en transfert radiatif. La loi de Planck, la loi de Kirchhoff, la formule de Bouguer.
- Les propriétés radiatives des surfaces. Echanges entre surfaces séparées par un milieu transparent.
- Loi de Beer. Propriétés radiatives des gaz (MST). Propriétés radiatives des particules. Etablissement de l'équation detransfert radiatif(ETR).
- Quelques solutions approchées de l'ETRsimplifiée.

**Chapitre 3:Convection (3 semaines)**

- Rappels d'analyse dimensionnelle,utilité des nombres sans dimension.
- Couches limites mécanique et thermique, méthodes intégrales.
- Equations de la convection, modélisation d'un problème de convection.
- Solutions de quelques problèmes de convection. Convection forcée dans un cylindre. Convection naturelle sur une plaque plane verticale et dans une cavitérectangulaire.

**Chapitre 4 : Transferts thermiques lors des changements de phases (2 semaines)**

- Condensation sur une plaque plane verticale et sur un cylindre horizontale, théorie du film de Nusselt. Utilisation pratique des corrélations.
- Ebullition des substances pures, principaux paramètres intervenant lors de l'ébullition. Evaluation des taux de transfert dans ce mode et erreurs inhérentes.

**Chapitre 5 : Transfert de masse** **(1semaine)**

- Equation de diffusion, loi de Fick
- Transfert simultané de chaleur et de masse
- Mécanisme de diffusion massique
- Diffusion convective

## Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

**Références bibliographiques** :


1. *H. S. Carslaw, Introduction to the mathematical theory of the conduction of heat in solids, Mc Millan and Co ed., 1921, , 2ndedition.*
2. *H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, Conduction of heat in solids, 2nd edition, Clarendon press ed.,1959*
3. *Latif Jiji, Heat Conduction, Jaico Publishing House,2003.*
4. *Ozisik, M. N., 1980, Conduction Heat Transfer, John Wiley and Sons, NewYork.*
5. *Gebhart, Heat transfer, Mc Graw Hill editor,1971*

A. *B. De Vriendt, La transmission de la chaleur, Tome 2, Introduction au rayonnement thermique, Gaetan Morin,1983*

6. *Bejan, A. D. Kraus, Heat transfer handbook, John Wiley Editor,2003*
7. *Vedat S. Arpaci, Conduction Heat transfer, 1966 by Addison-Wesleypublishing.*
8. *R. Ghez, A Primer of Diffusion, John Wiley and Sons Editor, 1988, 2ndedition*
9. *Chandrasekhar, radiative transfer, Dover publication,1960*
10. *M. F. Modest, Radiative heat transfer, Academic Press, 3nd edition,2012*
11. *M. Quinn Brewster, Thermal radiative transfer and properties, Wiley Inter-science Publication,1992*
12. *Hottel, H. C, and A. F. Sarofim, Radiative Transfer, McGraw-Hill, New York,1967*
13. *R. Siegel and J. R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, 5$^{th}$Edition, Ed. Taylor and Francis,2010.*
14. *M. NecatiOsizik, Radiative transfer and interactions with conduction and convection, Ed. J. Wiley andSons*
15. *R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot,Transport phenomena, Wiley editor,1960*
16. *Rjucsh K. Kundu, I. M. Cohen, Fluid Mechanics, 2nd Edition, Academic Press,2002*
17. *D. P. Kesseler and R. A. Greenkorn, Momentum, Heat, and Mass transfer: Fundamentals, M. Dekker,1999.*
18. *Kreith, F.; Boehm, R.F. et al., Heat and Mass Transfer, Mechanical Engineering Handbook Ed. Frank Kreith, CRC Press LLC,1999.*
19. *H. D. Baehr and K. Stephan, Heat and Mass transfer, 2nd revised edition, Springer Verlag editor,2006.*

**Semestre: 1**
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.1**
**Matière: Thermodynamique et diagrammes d'équilibre**
**VHS: 45 h (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

L'étudiant devra être capable d'utiliser les outils thermodynamiques afin de mener l'étude concrète des systèmes physico-chimiques à l'équilibre ou en cours d'évolution.
L'outil et concepts développés dans ce cours seront directement appliqués au cours de lecture utilisant les diagrammes de phases

**Connaissances préalables recommandées:**

Structure de la matière, probabilité et statistique, cristallographie, thermodynamique

**Contenu de la matière:**

1. **LES EQUILIBRES ET LES CONDITIONS D'ÉQUILIBRE :**
   Affinité chimique et équilibres chimiques, Condition d'équilibre, Critère thermodynamique d'évolution spontanée, Constante d'équilibre et la loi d'action des masses, équilibres chimiques (équilibre vrai, apparent, stabilité, instabilité, métastabilité, et équilibre Thermique). **(4 semaines)**
2. **CHANGEMENT DETATS DU CORPS PURS ETUDE DES EQUILIBRE ENTRE SES PHASES :**
   définitions utiles (les phases, composant, composition d'un mélange, règle des phases). Changement d'états du corps purs (Définition des différents types de corps purs). Changement d'état d'un corps pur. Température de saturation. Règle des phases pour un corps pur. Définition des enthalpies et des entropies de transition de phase (enthalpies de transition de phase. Relation entre les enthalpies et les entropies de changement de phase. Diagramme d'état de corps pur (diagrammes de phase de corps pur et graphique tridimensionnel volume-température-pression, diagramme (P, T) de changement d'état, diagramme (P,V) Pression de vapeur saturante. Le titre massique de la vapeur saturante ($x_v$) et la règle des moments. Relations générales d'équilibre -Relation de Clausius-Clapeyron. **(4 semaines)**
3. **LES DIAGRAMMES DES EQUILIBRES DE PHASES BINAIRES : EQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR, EQUILIBRE LIQUIDE-LIQUIDE, EQUILIBRE LIQUIDE-SOLIDE :**
   - Condition d'équilibre entre phases
   - Les équilibres liquide-vapeur (ELV) : Description des équilibres: Potentiel chimique et Fugacité. Equilibre liquide-vapeur dans une solution idéale : Loi de Raoult (Condition d'équilibre, représentation graphique de la loi de Raoult). **(2 semaines)**
   - **Diagrammes d'équilibre binaire liquide-vapeur:** Diagramme isotherme (T=cte) d'équilibre liquide-vapeur pour un mélange idéal (Equations d'équilibres, Construction d'un diagramme d'équilibre, Equation de la courbe d'ébullition, Equation de la courbe de rosée).Diagramme isobare (P=cte) d'équilibre liquide-vapeur pour un mélange idéal (Température d'ébullition $T_E$, Température de rosé $T_R$ ,Construction d'un diagramme isobare, Description du diagramme isobare (P=cte) d'équilibre liquide-vapeur pour un mélange idéal, Théorème des moments chimiques (la règle de bras de levier). Diagrammes binaires non idéaux (équilibre azéotrope). **(2 semaines)**
   - **Systèmes binaires isobare liquide-liquide :** (Analyse thermique, Condition d'équilibre liquide-liquide, La séparation de phases). Diagramme isobare de liquides partiellement miscibles (Description de la courbe de miscibilité, Règle du bras de levier (Règle des moments chimiques). Diagramme isobare de liquides non miscibles **(1 semaine)**

- Système binaire isobare liquide-solide : Les alliages métalliques (Solutions solides, Diagrammes d'équilibre binaires, Solidification d'un métal pur,Solidificationd'un Alliage. Construction d'un diagramme d'équilibre (alliage binaire A/B). Diagramme liquide –solide. Solubilité d'un solide dans un mélange liquide. Forme les plus courantes de diagrammes de phases (Diagramme avec un point eutectique. Diagramme à solution solides solubles en toutes proportions). Thermodynamiques des mélanges des polymères. **( 2semaines)**

4. **LES DIAGRAMMES DE PHASES TERNAIRES** *:*

Diagrammes de phases ternaires ( Un exemple de diagramme de phases, Diagramme à point critique, Diagrammes ouverts , Équilibres à trois phases, Extraction à un seul étage, Étage d'extraction. **( 2semaines)**

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

**Références bibliographiques:**


1. *P. Perez, Thermodynamique : Fondement et applications, Masson et Cie,1997.*
2. *M. Karapetianz, Thermodynamique chimique, Ed. Mir, Moscou,1975.*
3. *L. Couture ; C. Chahine ; R. Zitoun, Thermodynamique : cours et exercices et problèmes résolus, Dunod, Paris,1989*

**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**
**Matière: Chimie macromoléculaire VHS:**
**45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

**Objectifs de l'enseignement:**

Ce cours a pour objet de présenter en détail l'architecture des chaînes macromoléculaires ainsi que les possibilités de développement de ces chaînes. Assimiler le degré de polymérisation des polymères (longueur des chaînes)…etc.

**Connaissances préalables recommandées:**

Bases de la cinétique chimique et de la chimie organique ainsi que des notions de structure de la matière

**Contenu de la matière:**

**Généralités** :

1. Définition (macromolécule, polymère, polymères de synthèse, polymères naturels)
2. Polymères synthétiques

**Chapitre I : Classification des polymères** : **(2 semaine)**

- Polymère d'addition
- Polymère de condensation

**Chapitre II. Polymérisation d'addition ou polyaddition: (3 semaines)**

**a-** Monomères de polyaddition et voies de polymérisation (effets électroniques et stériques sur la polymérisabilité)
**b-** Etape d'initiation ou amorçage
**c-** Etape de propagation (polymérisation)
**d-** Etape de terminaison

**Chapitre III. Polyaddition radicalaire (3 semaines)**

1. Initiation et initiateurs
   - **a)** Peroxydes
   - **b)** azoïques
   - **c)** Disulfures
   - **d)** Systèmes redox
   - **e)** Initiation photochimique
2. Propagation ou polymérisation
3. Terminaison
   - **a)** Par dismutation
   - **b)** Par couplage
   - **c)** Par transfert de chaine
4. Inhibiteurs de polymérisation radicalaire

a) Exemples de réaction d'inhibition de polymérisation
b) Auto-inhibition

5. Cinétique de polymérisation radicalaire
6. Degré de polymérisation et constantes de transfert de chaîne

**Chapitre IV. Polymérisation cationique ( 3semaines)**

1. Initiation et initiateurs cationiques
   - **a)** Acides de BrØnstëd
   - **b)** Acides de Lewis
2. Propagation ou polymérisation

3. Terminaison (notion de polymérisation vivante)
    - **a)** Par transfert de chaîne au monomère
    - **b)** Par transfert au contre-ion (terminaison spontanée)
    - **c)** Par couplage avec contre-ion
    - **d)** Terminaison avec un agent de transfert de chaîne
4. Cinétique et degré de polymérisation
5. Effet de solvant
6. Applications industrielles

**Chapitre V. Polymérisation anionique (3 semaines)**

1. Initiateurs anioniques
    - **a)** Initiateurs nucléophiles
    - **b)** Initiateurs par transfert d'électrons
2. Propagation
3. Terminaison (notion de polymérisation vivante)
    - **a)** Par ajout d'un agent de transfert (protogènes)
    - **b)** Elimination d'hydrure
    - **c)** Terminaison intra moléculaire
    - **d)** Terminaison par transfert au solvant
4. Cinétique de la polymérisation anionique
5. Effet du solvant
6. Applications

**Chapitre VI. Copolymérisation radicalaire (3 semaines)**

1. Types de copolymérisation
    - **a)** Copolymère séquencé (bloc)
    - **b)** Copolymère alterné
    - **c)** Copolymère statistique
    - d) autres polycondensations

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

**Références bibliographiques**


a) F. A. Bovey and F. H. Winslow, *Macromolecules: An Introduction to Polymer Science*, Academic Press, New York, 1979.

b) G. Odian, *Principles of Polymerization*, John Wiley & Sons, Inc., 4th Ed., New Jersey, 2004.

c) R. W. Lenz, *Organic Chemistry of Synthetic High Polymers*, Interscience Publishers, New York, 1967.

d) D. Braun, H. Cherdron, M. Rehahn, H. Ritter, and B. Voit, *Polymer Synthesis: Theory and Practice*, Springer-Verlag , 4th Ed., Heidelberg, 2005.

*e)* *G. Champetier, La Chimie Macromoléculaire*, Tomes I et II, Éditions Hermann, Paris, 1970.

f) F. W. Billmeyer, *Textbook of Polymer Science*, Wiley-Interscience, 2nd Ed., New York, 1971.

**Semestre: 1**
**Unité d'enseignement: UEF 1.1.2**
**Matière: Physico-chimique des macromolécules**
**VHS: 45h (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

Comprendre les notions de bases du comportement statistique des polymères et voir comment ces notions interviennent dans le comportement des systèmes polymères.

**Connaissances préalables recommandées:**

Calcul matriciel, méthodes numériques, résistance des matériaux.

**Contenu de la matière:**

*Introduction de la notion de macromolécule*

**Chapitre 1: Structure moléculaire des polymères (2 semaines)**

- *Microstructure, configuration et tacticité des chaines moléculaires*

**Chapitre 2: Structures conformationnelles et morphologies *(2 semaines)***

- *Architecture des polymères synthétiques*
- *Polymères monodimensionnels et tridimensionnels*
- *Notions de flexibilité et rigidité des chaines moléculaires*

**Chapitre 3: Etat amorphe et transition vitreuse (1 semaine)**

- *L'état cristallin- cristallinité*

**Chapitre 4: Les polymères en solution (4 semaines)**

- *Thermodynamique des solutions macromoléculaires*
- *Paramètre d'interaction soluté - solvant et notion de potentiel chimique*
- *Notion du volume exclu et du second coefficient de Viriel*
- *Distributions moléculaires et notion d'hétérogénéités de la composition dans un échantillon de polymère.*
- *Les fonctions de distribution - Propriétés des solutions macromoléculaires et grandeurs moyennes observables Chromatographie d'exclusion stérique*
- *Osmométrie - Viscosimétrie- Diffusion de la lumière*

**Chapitre 5: Les polymères stimulables *(3 semaines)***

- à la température (thermosensibles) : *LCST / UCST*
- *au pH (sensibles au pH)*
- *à la lumière (photosensibles)*

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

***Références bibliographiques:***

**Michel Fontanille** et Yves Gnanou, Chimie et Physico-chimie des polymères, Ed Dunod (2013) Paris.

1. *Initiation à la science des polymères GFP Volumes 2, 8, 10 et 17*
2. *- De la macromolécule au matériau polymère J. L Halary& F. Lauprêtre Belin*
3. *- Physique des polymères tome I P. Combette& I. Ernoult Hermann*

4. - *Introduction to Physical Polymer Science L.H. Sperling Wiley*

-

**Semestre: 1**
**Unité d'enseignement: UEF1.1.2**
**Matière: Surfaces et interfaces des polymères**
**VHS: 22h30 (Cours : 1h30)**
**Crédits: 2**
**Coefficient: 1**

## Objectifs de l'enseignement:

Acquérir les connaissances de base sur les notions fondamentales de phénomènes de surface et de tension interfaciale. A l'issue de cet enseignement, l'étudiant doit être capable d'assimiler les phénomènes de rétention superficielle et de les relier à l'énergie de surface de la matière.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions de base de la chimie, états de la matière, tensio-activité, adsorption.

**Contenu de la matière:**

Chapitre 1: Thermodynamique des surfaces **(1 semaine)**

Chapitre 2- Dépôt sur un substrat **(1 semaine)**

Chapitre 3- Greffage chimique en surface polymère **(2 semaines)**

Chapitre 4- Adsorption en surface des polymères **(3 semaines)**

Chapitre 5-Balance de Langmuir **(2 semaines)**

Chapitre 6-Activation des surfaces polymères par rayonnement **(2 semaines)**

Chapitre 6- Caractérisation des surfaces (FTIR, XPS, AFM) **(4 semaines)**

**Mode d'évaluation :** Examen : 100%.

**Références bibliographiques**:

*K. Oura, Lifshits V.G, Surface science, Springer, New York, 2003*
*Chems Eddine Chitour, Physico – chimie des surfaces, 2eme édition augmentée, office des publications universitaires, Alger, 2004*
*Dervichian,Agentdesurface,émulsionnants,mouillants(techniquedel'ingénieur),ParisFrance*
*Fripiat, Chimie physique des phénomènes de surfaces, Ed Masson, Paris1971*
*Boudart, Cinétique des réactions - catalyse hétérogène, Ed. Masson, Paris, 1982*
*www.techniquedelingenieur.com*

**Semestre: 1**
**Unité d'enseignement: UEM1.1**
**Matière: Formulation et élaboration des polymères**
**VHS: 62h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30, TP: 1h30)**
**Crédits: 6**
**Coefficient: 3**

## Objectifs de l'enseignement:

Acquérir les techniques de base pour la préparation des polymères, assimiler les systèmes de formulation des ingrédients. Après avoir appréhendé les différents types de synthèse des polymères, l'objectif sera de comprendre les modes d'action des stabilisants et des additifs utilisés dans une formulation.

### Connaissances préalables recommandées:

Notions de base de la chimie organique, de la réaction chimique, liaison chimique, chimie macromoléculaire, Se familiariser avec la formulation de produits polymères. Reconnaître les principaux additifs. Attribuer pour chaque famille d'additifs la propriété visée.

### Contenu de la matière :

**Partie 1: Techniques de Polymérisation (6 semaines)**

1. *Polyaddition radicalaire*
   - **a)** Polymérisation homogène
     -polymérisation en masse
     -polymérisation en solution
   - **b)** Polymérisation hétérogène
     - polymérisation en suspension
     - polymérisation en émulsion
     - polymérisation par précipitation
2. *Polycondensation*
   - **a)** Polycondensation par fusion
   - **b)** Polycondensation en solution
   - **c)** Polycondensation interfaciale

**Partie 2: Réactivité et Réactions des Polymères (4 semaines)**

Fonctionnalisation et modification chimique des polymères

**Partie 3: Rôle des additifs dans la formulation des produits polymères sur les : (5 semaines)**

a) propriétés mécaniques
b propriétés optiques
c)propriétés électriques
d) propriétés de surface
e)propriétés d'inflammabilité
f) propriétés de résistance chimique
g) propriétés de résistance aux UV et aux oxydants
h) propriétés de résistance à la biodégradation

**TP :** Suivant les capacités des établissements\\

**Mode d'évaluation:** Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

**Références bibliographiques:**

-*Mark & Herman, Les Matières plastiques, Time Inc., USA, 1973*
-*Ehrenstein, Gottfried W., Matériaux polymères : structure, propriétés et applications Nouv. éd. Hermès science publications, Paris, 2000.*
-*Polymères : de la polymérisation aux propriétés premier colloque franco-mexicain, Grenoble, 1995, Polytechnica, Paris, 1996*
*www.techniquedelingenieur.com*

**Semestre: 1**
**Unité d'enseignement: UEM1.1**
**Matière: Rhéologie des polymères**
**VHS: 45h00 (Cours : 1h30, TP: 1h30)**
**Crédits: 3**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

Permettre à l'étudiant de connaitre les principaux types de comportements rhéologiques des fluides et particulièrement les polymères à l'état liquide et à l'état de fusion et leurs applications à la mise en forme.

**Connaissances préalables recommandées:**

Connaissances de base en chimie et en physique.

**Contenu de la matière :**

**Rhéologie des liquides ( 7 semaines)**

- Principes de fonctionnement des différents rhéomètres.
- Fluides Newtoniens
- Fluides non Newtoniens
  • Fluide non newtonien au comportement indépendant du temps (Fluide sans contrainte critique, (pseudoplastique ou rhéofluidifiant, dilatant), Fluide à contrainte critique (de Bingham, de Casson…)
  • Fluide visqueux dépendants du temps (Fluide thixotrope, Fluide rhéopexe
- Solides purement élastiques linéaires
- Viscoélasticité des polymères fondus
  • Comportement viscoélastique (Mise en évidence, L'effet Weissenberg...).

**Rhéologie des polymères solides (8 semaines)**

- Rappels sur les tenseurs et notations indicielles
- Rappels sur les relations contrainte/déformation en élasticité linéaire
- Différents comportements viscoélastique des polymères
- Comportement sous charges statiques (fluage,relaxation)
  • Le Principe de superposition deBoltzman
  • Les Modèles : Modèles de Maxwell, de Kelvin-Voigt,...
  • Expériences de fluage et de relaxation
  • Notion de temps de relaxation
- Comportement viscoélastique des polymères, sous charges dynamiques (Module complexe)
- Essais à l'état solide (Fluage et relaxation, Traction, Torsion, Choc, Fatigue, Rupture, Analyse mécanique dynamique)

TP : (Suivant les capacités de l'établissement)

- TP Viscosimétrie : détermination de la viscosité et du comportement rhéologiques de différents fluides (newtoniens et non newtoniens)
- TP de rhéométrie (rhéologie de propriétés complexes, mesurer la viscosité de solutions polymères diluées, mesurer la viscoélasticité des polymères…)

**Mode d'évaluation:** Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

**Référencesbibliographiques:**

*R. I. TANNER " Engineering rheology" Oxford Science Publications, 1992.*
*C. L. ROHN " Analytical polymer Rheology" Hanser, New York, 1995.*
*J. M. PIAU et J.F. AGASSANT « Rheology for polymer melt processing », Elsevier, 1996.*
*DEALY / SAUCIER "Rheology in plastics quality" , SPE – Hanser, 2000*
*C.W. MACOSKO, Rheology : principles, measurements and applications, ed. VCH, 1994.*
*I.M WARD "Mechanical properties of solid polymers" John Wiley and sons, London 1971*
*J.D FERRY "Viscoelastic properties of polymers" John Wiley Eds. New-York, 1980*
*JENKINS "Polymer science" Vol 1 and 2, North Holland Pub, Amsterdam, 1972 M.DOÎ et S.F EDWARDS "The phenomenological theory of linear viscoelastic behaviour" Springer**

**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 technologie**

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 bibliographiques :**

1. Charte d'éthique et de déontologie universitaires,

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

# III - Programme détaillé par matière du semestre S2

**Semestre : 2**
**Unité d'enseignement : UEF 1.2.1 Matière : Mise en œuvre des polymères VHS : 67h30 (cours : 3h00, TD : 1h30)**
**Crédits : 6**
**Coefficient : 3**

**Objectifs de l'enseignement :**

L'utilisation à l'échelle industrielle des polymères et conditionnée par leur mise en œuvre et leur transformation. L'étudiant est introduit dans ce cours aux deux grandes familles des polymères et aux techniques spécifiques de mise en œuvre.

**Connaissances préalables recommandées :**

Notions de base de la chimie macromoléculaire et de la physico-chimie des polymères.

## Contenu de la matière :

I- Introduction : Influence de la structure des polymères sur leur transformation **(2 semaines)**

II- Stockage et prétraitement des polymères : Stockage des matières à transformer, Prétraitement (pré séchage, préformage et préchauffage). **(2 semaines)**

III- Mise en œuvre des systèmes liquides : procédés de moulage par trempage, enduction, coulée, injection-réaction(R.I.M). **(2 semaines)**

IV- Transformation des polymères à l'état plastique: procédés d'extrusion et de moulage: extrusion de tubes et profilés, de plaques, feuilles, films, fibres et filaments, soufflage de gaines. Moulage par injection, par transfert, par compression, calandrage, revêtements. **(2 semaines)**

V- Transformation des polymères à l'état viscoélastique : Thermoformage, extrusion-soufflage de corps creux, injection-soufflage de corps creux. **(3 semaines)**

VI- Application de la rhéologie à la conception : Filières d'extrusion, moules d'injection, moules de compression, calandres. **(3 semaines)**

VII- Régénération des déchets des polymères : Déchets industriels, déchets non industriels. **(1 semaines)**

## Mode d'évaluation :

Contrôle continu: 40%; Examen : 60%.

## Références bibliographiques :


- C. G. Gogos et Z.Tadmor: Principles of PolymerProcessing, John Wiley, New York (1978)
- J. Bost: Matières Plastiques - Technologie et Plasturgie, Lavoisier, Paris (1982)
- P. Dubois : Plastiques Modernes, Lavoisier, Paris (1963)
- L. Mascia: Thermoplastics - materials Engineering, Elsevier publishing Co. Inc, New York (1989)
- J. F. Agassant, P. Avenas et J. Ph. Sergent: Mise en Forme des Matières Plastiques, Lavoisier, Paris (1986)

**Semestre: 2**
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.1**
**Matière: Mélange des polymères**
**VHS: 45 h (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement :

L'objectif du cours de mélanges polymère est de fournir les informations les plus complètes sur tous les aspects de la science de mélange de polymères et de la technologie des plastiques. En conséquence, ce module peut être considéré comme comportant deux parties : Les principes fondamentaux et la Technologie.

### Connaissances préalables recommandées :

Notions de base de la chimie organique, de la chimie macromoléculaire et la physique des polymères

### Contenu de la matière :

1. Introduction aux mélanges de polymères : Résines et leurs mélanges, Polymères spéciaux et leurs mélanges, mélanges biodégradables, mélange et recyclage. **(2 semaines)**
2. Thermodynamique des mélanges de polymères : mélanges polymères liquides. Séparation de phase. Méthodes de mesure. **(2 semaines)**
3. Cristallisation, structure morphologique et fusion des mélanges de polymères : mélanges miscibles, mélanges immiscibles. **(2 semaines)**
4. Compatibilisation des mélanges de polymères : Types de mélanges de polymères. Compatibilisation par addition d'un agent compatibilisant : formation de copolymères greffés, formation de copolymère bloc, réticulation covalente. **(2 semaines)**
5. Morphologie des mélanges de polymères : méthodes microscopiques **(1 semaines)**
6. Préparation des mélanges de polymères : Principes fondamentaux du mélange, méthodes de mixage et équipements, traitement réactif (compatibilisation). **(2 semaines)**
7. Propriétés et performances des mélanges de polymères **(2 semaines)**
8. Application des mélanges de polymères **(2 semaines)**

## Mode d'évaluation :

Contrôle continu: 40%; Examen : 60%.

### Références bibliographiques :

L. A. Utracki, Polymers blends Handbook, vol.1, Kluwer Academic Publishers, (2002), Dordrecht, The Netherlands.
L. A. Utracki, Polymer Alloys and Blends, Hanser Publishers, (1989), Munich, Germany.
M. M. Coleman, J. F. Graf and P. C. Painter, Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends, Technomics Publishing, (1991), Lancaster, U.K.
Datta, S., and Lohse, D. J., Polymeric Compatibilizers: Uses and Benefits in Polymer Blends, Hanser Pub., (1996), Munich, Germany.
O. Olabishi, L. M. Robeson and M. Y. Shaw, Polymer-Polymer Miscibility, Academic Press, (1979), New York.

**Semestre : 2**
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**
**Matière: Polymères conducteurs**
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

L'objectif du cours sur les polymères conducteurs est de fournir aux étudiants les informations les plus complètes sur ce nouvel aspect de la science des polymères, par la présentation d'une classe de composés organiques auxquels sont données des propriétés conductrices de l'électricité par différents traitements chimiques (dopage) ou par structuration du matériau.

### Connaissances préalables recommandées:

Notions de base en électrochimie, en électricité et en chimie macromoléculaire.

### Contenu de la matière:

1. Introduction **(2 semaines)** : Théorie des polymères conjugués, Délocalisation électronique, Méthodes de dopage, Synergie des propriétés optiques et électroniques, Évolution de la conductivité électrique des polymères

2. Classification des polymères électrochimiquement actifs : polymères Redox, polymères issus d'amines aromatiques, composites conducteurs. **(3 semaines)**

3. Synthèses chimiques et électrochimiques des polymères conducteurs : Polyacétylène hélicoïdal, les Poly(arylenevinylènes), la polyaniline, le polypyrrole, les polythiophènes. **(3 semaines)**

4. Transformations Redox et processus de transport : transport d'électrons, d'ions, couplage, phénomènes de relaxation et d'hystérésis. **(3 semaines)**

5. Application des polymères conducteurs : Dépôt par film mince et microstructuration (revêtements antistatiques, absorption par micro-ondes, Microélectronique), dispositifs électroluminescents et électrochromes, corrosion protection, senseurs, détecteurs de gaz, Electroanalyse et biosenseurs, Matériaux pour les technologies énergétiques. **(4 semaines)**

## Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40%; Examen : 60%.

### Références bibliographiques:


- G. Inzelt, ConductingPolymers. A New Era in Electrochemistry, Springer, (2012), Dordrecht, The Netherlands
- T. A. Skotheim and J. R. Reynolds, Handbook of Conducting Polymers. Conjugated Polymers, Theory, Synthesis, Properties and Characterization, CRC Press Taylor & Francis, (2007), Boca Raton, FL, USA.
- F. Monfort-Windels, Rendre les polymères conducteurs: État de l'art, Lavoisier, (1999), France.
- P. Chandrasekhar, Conducting Polymers, Fundamentals and Applications: A Practical Approach, Springer Science+Business Media, (1999), New York, USA.
- L. Rupprecht, Conductive Polymers and Plastics In Industrial Applications, Plastics design Library, (1999), Norwich, USA.

**Semestre : 2**
**Unité d'enseignement: UEF 1.2.2**
**Matière: Membranes polymères VHS:**
**45h (Cours: 3h00)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

Les membranes ont acquis une place importante dans la technologie chimique et servent de plus en plus dans un large éventail d'applications biomédicales. L'objectif de ce cours est de présenter une des plus importantes utilisations industrielles des polymères dans la séparation membranaire.

### Connaissances préalables recommandées:

Notions de base de chimie des surfaces, de chimie des solutions et de chimie physique des polymères.

### Contenu de la matière:

1. Introduction, types de membranes : membranes poreuses symétriques, membranes denses, membranes chargées, membranes asymétriques, membranes échangeuses d'ions. **(2 semaines)**

2. Microfiltration : fabrication et structure de la membrane, détermination de la taille des pores, caractéristiques de rétention, applications (stérilisation, filtration de particules, métaux lourds...) **(2 semaines)**

3. Ultrafiltration : fabrication et structure de la membrane, détermination de la taille des pores, caractéristiques de rétention, applications (industries pharmaceutiques, séparation eau-pétrole, décontamination, traitement des effluents industriels,...) **(4 semaines)**

4. Osmose inverse: fabrication de membranes d'osmose inverse (plates, spiralées, tubulaires, à fibres creuses), applications : Osmose inverse industrielle dans les raffineries, osmose inverse et contrôle de la pollution, osmose inverse et désalination de l'eau de mer, ... **(2 semaines)**

5. Electrodialyse : membranes types (homogènes, hétérogènes), caractéristiques de rétention, applications : membranes bipolaires, électrodes et piles de puissance,... **(3 semaines)**

6. Membranes de séparation des gaz : transport des gaz, fabrication et structure des membranes, applications : séparation du dioxyde de carbone, séparation oxygène/azote, déshydratation,... **(2 semaines)**

## Mode d'évaluation: Examen 100%.

### Références bibliographiques:

M. C. Porter, Handbook of Industrial Membrane Technology, Noyes Publications, (1990), Westwood, USA.
D. Bouyer, C. Faur, C. Pochat, Procédés d'élaboration de membranes par séparation de phases, Techniques de l'Ingénieur, Article / Réf : J2799 V1, (2011).
L. Auvray, F. Devreux, B. Duplantier, Physique des membranes et des polymères biologiques, Ed. Écolepolytechnique, (2003), Paris, France.
M. Mulder, Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, (1991), Dordrecht, The Netherlands.
R. W. Baker, Membrane Technology and Applications, McGraw-Hill, (2000), New York, USA.

**Semestre: 2**
**Unité d'enseignement: UEM1.2**
**Matière : Méthodes physiques d'analyse**
**VHS: 60h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30, TP: 1h00)**
**Crédits: 5**
**Coefficient: 3**

## Objectifs de l'enseignement:

Le but du présent module consiste en la connaissance des techniques de caractérisation des matériaux polymères et assimiler les notions de base dans la synthèse et le comportement des macromolécules.

**Connaissances préalables recommandées:**

Notions de base de la chimie organique, macromoléculaire ainsi que la physico-chimie des polymères.

**Contenu de la matière :**

1. Techniques de caractérisation spectrométriques : les spectroscopies Infrarouge et Raman, la RMN et la spectrométrie de masse, **(6 semaines)**
2. Techniques microscopiques de caractérisation des matériaux : microscopie optique, microscopie électronique à balayage et en transmission, **(2 semaines)**
3. Techniques de diffraction des rayonsX, **(2 semaines)**
4. Méthodes d'analyse thermique : analyse thermique différentielle,Thermogravimétrie. **(3 semaines)**
5. Méthodes mécaniques : tests statiques et dynamiques. **(2 semaines)**

**TP** : (Suivant les capacités de l'établissement)

- TP Viscosimétrie:détermination de la masse moléculaire d'unpolymère par viscosimétrie (Relation de Mark–Houwink) ou par chromatographie de perméation sur gel(GPC).
- TP de spectroscopie infrarouge:synthèse d'un polymère et analyse de sa structure par spectroscopie FTIR.
- TP d'analyse thermique: Etude de la stabilité thermique d'un polymère par analyse thermogravimétrique ou Etude des transitions de phase d'un plastique par analyse thermique différentielle(ATD).
- TP d'analyse mécanique : Etude du comportement en traction (en compression) d'un polymère,charge de rupture, déformation, module d'élasticité. Etude de l'écoulement d'une solution de polymère par rhéométrie.

## Mode d'évaluation:

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

**Références bibliographiques:**

J.Prud'homme,R.E.Prud'homme:Synthèseetcaractérisationdesmacromolécules.Lespressesde l'Université de Montréal, 1981,Canada.

P.J. Flory: Principles of polymerchemistry, Cornell. University Press, 1953, Ithaca New York

I.M. Ward, Mechanical properties of solid polymers. Wiley -Interscience, 1971, London

J.R. BILLEYER, Text book of polymer science. John Wiley, 1971, New York

F. Rouessac, A. Rouessac, Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes, Ed. Dunod, 2004, Paris

**Semestre: 2**
**Unité d'enseignement: UEM1.2**
**Matière: Logiciels appliqués**
**VHS: 37h30 (Cours : 1h30, TP: 1h00)**
**Crédits: 3**
**Coefficient: 1**

## Objectifs de l'enseignement:

- Cours sur les méthodes numériques (méthode des éléments finis et méthodes des volumes finis).
- Se familiariser avec les logiciels de simulation de la mise en œuvre des polymères et les écoulements de ces matériaux non Newtoniens.

**Connaissances préalables**

**recommandées:Contenu de la matière :**

**Suivant les capacités de l'établissement**

Cours : Les méthodes de discrétisation utilisées dans les logiciels de simulation numérique (Méthode des éléments finis, méthode des volumes finis)

TP : Simulation par des codes de calcul utilisés par les moulistes et les plasturgistes (simulation du remplissage simple : Visualisation de l'écoulement matière, cartes des températures, des vitesses, des pressions, des contraintes de cisaillement…)
TP : Simulation numérique des fluides non Newtoniens (en particuliers les fluides viscoélastiques et viscoplastiques)

**Mode d'évaluation:** Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

**Références bibliographiques:**

**Semestre: S2**
**Unité d'enseignement: 1.2.1**
**Matière : Eléments d'intelligence artificielle appliquée**
**VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)**
**Crédits: 2oefficient: 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

**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. |
| **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. |

| Terme | Définition |
|---|---|
| **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. |
| **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. |

## III - Programme détaillé par matière du semestre S3

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.1**
**Matière : Propriétés des polymères**
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

## Objectifs de l'enseignement:

Ce cours a pour objectif d'appréhender les propriétés physiques et chimiques des polymères pour une application visée. 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 l'effet des propriétés physico-chimiques des polymères lors de leur mise en œuvre.

## Connaissances préalables recommandées :

Connaissances en physico-chimie des polymères

## Contenu de la matière :

I. Solubilité des polymères **(4 semaines)**
   - A. Généralités : Forces intermoléculaires-solubilité, solvants cinétiques et solvants thermodynamiques.
   - B. Paramètres de solubilité (Hildebrand, Hansen, Teas)
     - B.1. Equation de Small (constantes d'attraction molaires de Small, constantes d'attraction molaires de Hoy)
     - B.2. Paramètres de solubilité des polymères à partir de celles des solvants et non-solvants
     - B.3. Densités des polymères pour le calcul des paramètres de solubilité
   - C. Identification des polymères à partir des testes de solubilité
   - D. Paramètre d'interaction de Flory et paramètre de solubilité

II. Morphologie et propriétés thermiques des polymères **(4 semaines)**
   - A. Morphologie
     - A.1. Etat amorphe et état cristallin/Température de transition ($T_g$) vitreuse et température de fusion ($T_m$).
     - A.2. Taux de cristallinité
     - A.3. Facteurs affectant $T_g$ et $T_m$ : Equation de Fox-Flory, Equation de Flory
     - A.4. $T_g$ d'un copolymère : Equation de Wood, équation de Gordon
   - B. Analyse thermique d'un polymère
     - B.1. Analyse thermogravimétrique (ATG) et stabilité thermique des polymères
     - B.2. Analyse thermique différentielle (DTA, DSC) et les différents phénomènes (oxydation, réticulation, cristallisation)
     - B.3. Réarrangement thermique de la structure des polymères

III. Polymères à l'état fondu et en solution **(4 semaines)**
   - A. Polymères à l'état fondu
     - A.1. Indice fluidité (MFI)

A.2. Viscosité d'écoulement d'un polymère à l'état fondu : Equation de WLF

B. Polymères en solution diluée

B.1. Viscosité d'une solution diluée d'un polymère

B.2. Viscosité intrinsèque [η] et Masse moléculaire moyenne en viscosité $M_v$ : Equation de Mark-Houwink-Sakurada

IV. Réactivité chimique et réactions des polymères **(3 semaines)**

Fonctionnalisation et modification chimique

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%, examen : 60 %

## Références bibliographiques pour cette matière


1. Beth A. Miller-Chou, Jack L. Koenig, A Review of Polymer Dissolution, *Progress in Polymer Science*, 28, 1223-1270, 2003.
2. Robert A. Orwoll, Pamela A. Arnold, Polymer-Solvent Interaction Parameters χ, in: *Physical Properties of Polymers Handbook*, J. E. Mark (Editor), AIP Press, New York, Chap. 14., pp. 177-196.
3. H. Burrel, Solubility Parameter Values, in: *Polymer Handbook*, J. Brandrup and E. H. *Immergut (Editors)*, 2nd Edition, John Wiley & Sons-Interscience, New York, pp. *IV337*-IV359, 1975.
4. "Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Polymers", in: *Biosurfaces: A Materials Science and Engineering Perspective*, KanteshBalani, VivekVerma, Arvind Agarwal, and Roger Narayan (Editors). First Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 329-344, 2015.
5. Lawrence E. Nielsen, *Mechanical Properties of Polymers*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1962.
6. F. A. Bovey and F. H. Winslow, *Macromolecules: An Introduction to Polymer Science*, Academic Press, New York, 1979.
7. G. Odian, *Principles of Polymerization*, John Wiley & Sons, Inc., 4th Ed., New Jersey, 2004

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.1**
**Matière : Mécanique des polymères**
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

**Objectif de l'enseignement**
Connaitre le principe des essais normalisés de caractérisation mécanique des polymères et choisir un matériau polymère en fonction de l'application

**Connaissances préalables recommandées :**

Connaissances élémentaires en mécanique et en rhéologie

**Contenu de la matière :**

**1**. Rappels de quelques notions sur les polymères : **( 3 semaines )**

1.1 Polymère semi-cristallins

1.2 Polymères amorphes

1.3 Température de transition vitreuse

**2**. Mécanique des polymères en quasi-statique **( 4 semaines )**

2.1 Relations contrainte/déformation en visco-élasticité linéaire

2.2 Différents comportements et modèles viscoélastiques des polymères (Maxwell, Kelvin-Voigt, …)

2.3 Comportement sous charges statiques (fluage, relaxation)

2.4 Notion de temps de relaxation

**3**. Mécanique des polymères en dynamique **( 4 semaines )**

3.1 Effet de la rampe déformation ou contrainte (LVE et point de gel)

3.2 Effet de la température (Températures de fusion et de gélation)

3.3 Effet de la fréquence d'oscillation

**4**. Essais à l'état solide (Traction, Torsion, Choc, Fatigue, Rupture,) **( 4 semaines )**

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%, examen : 60 %

**Références bibliographiques pour cette matière**


- TIMOSHENKO S. and COODIER J.N. "Theory of Elasticity" McGraw-Hill 3rd Ed., New York, 1970.
- HENRY J.P et PARSY F. "Cours d'élasticité", Dunod Université, Bordas, Paris, 1982.
- GEORGE DIETER, Mechanical Metallurgy, International Student Edition, 1976.

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**
**Matière: Applications industrielles**
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**
**Crédits: 2**
**Coefficient: 1**

**Objectif de l'enseignement**

L'objectif dans cette unité est de permettre à l'étudiant de situer l'importance notamment des polymères synthétiques et semi-synthétiques dans les secteurs industriels à grande application de ce type de matériaux.

**Connaissances préalables recommandées :**

**Contenu de la matière :**

- **Introduction** : Place des polymères en industrie **(2 semaines)**
- **Chapitre 1**: Application des polymères en cosmétique **(3 semaines)**
- **Chapitre 2**: Application des polymères en pharmaceutique **(3 semaines)**
- **Chapitre 3**: Application des polymères en industrie alimentaire **(2 semaines)**
- **Chapitre 4**: Application des polymères en construction et bâtiments **(2 semaines)**
- **Chapitre 5**: Application des polymères en industries automobile et aéronautique **(1 semaine)**

**Mode d'évaluation :** examen : 100 %

**Références bibliographiques pour cette matière**


- Additives in polymers: industrial analysis and applications, *Jan C. J. Bart* , John Wiley & Sons Ed (2005)
- Filled Polymers: Science and Industrial Applications , *Jean L. Leblanc (2009)CRC Press*

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.1**
**Matière : Les Biopolymères**
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)**
**Crédits: 4**
**Coefficient: 2**

**Objectif de l'enseignement**

L'objectif dans cette unité est de permettre à l'étudiant d'identifier les différents polymères issus de la biomasse et d'origine bactérienne. A la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de situer les principales tendances actuelles d'application des biopolymères.

**Connaissances préalables recommandées :**

Connaissances en chimie organique descriptive

**Contenu de la matière :**

**Introduction** : Les raisons et enjeux de l'utilisation des biopolymères en remplaçant les polymères dérivés de pétrochimie. **(2 semaines)**

- Approches de la biodégradabilité / Biodégradabilité et Biofragmentabilité **(2 semaine)**
- Processus de biodégradation
- Mesure de la Biodégradabilité
- Normes de la biodégradation

- Les polyméres biodégradables **(2 semaines)**
- Propriétés des biopolyméres **(2 semaines)**
- Agro-polymères Cellulose. Chitine-chitosane. Amidon. Lignines. Protéines. **(2 semaines)**
- Polyesters biodégradables **(2 semaines)**

-PHA, PLA et PCL (synthèse, producteurs, grades, propriétés et applications) **(2 semaines)**
- Matériaux biosourcés et non biodégradables **(1 semaines)**

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%, examen : 60 %

**Références** *(Livres et polycopiés, Technique de l'ingénieur, sites internet, etc).*

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**
**Matière: Vieillissement et dégradation des polymères**
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**
**Crédits: 2**
**Coefficient: 1**

**Objectif de l'enseignement**

À l'issue de cet enseignement, l'étudiant doit être capable de mettre en œuvre ces connaissances pour analyser le comportement d'un matériau polymère à la fatigue et aux différents facteurs physiques et chimiques causant sa dégradation.

**Connaissances préalables recommandées :**

Connaissances en chimie macromoléculaire

**Contenu de la matière :**

**CHAPITRE I** :Vieillissement physique des polymères***(*4 semaines)**
I.1. Définitions et rappels.
I.2. Dégradation avec transfert de masse.
I.3. Dégradation sans transfert de masse.
I.4. Mécanismes.
I.5. Relations structure-propriétés.
I.6. Fissuration sous contrainte en milieu tensioactif.
**CHAPITRE II** :Vieillissement chimique des polymères ***(*4 semaines)**
II.1.Introduction.
II.2. Hydrolyse.
II.3. Les coupures des chaînes statistiques.
II.4. La dépolymérisation.
II.5. Les aspects généraux des réactions d'oxydation.
II.6. Modifications structurales induites par l'oxydation. À l'échelle moléculaire. À l'échelle morphologique.
II.7. Conséquences de l'oxydation sur les propriétés physiques et mécaniques des polymères.
**CHAPITRE III** : Dégradation thermique et thermo-oxydation des polymères **(3 semaines)**
III. 1. Introduction.
III. 2. Le mécanisme et la cinétique de la dégradation.
**CHAPITRE IV** :Dégradation photochimique et photo-oxydation des polymères**.(4 semaines)**
IV. 1. Introduction
IV.2. Oxydation sous irradiation
IV .3. Le mécanisme et schémas de base de la dégradation photochimique oxydative.
IV.4. Variations de masse molaire, propriétés optiques, propriétés électriques, température de transition vitreuse et fusion, propriétés mécaniques dans le cas d'une dégradation photochimique.

**Mode d'Evaluation : 100% examen**

**Références bibliographiques pour cette matière**

1. Emmanuel RICHAUD, Jacques VERDU, Vieillissement chimique des polymères et Cinétique de dégradation.Techniques de l'Ingénieur: traité Matériaux plastiques et composite : éditeur. Paris, 2002.
2. Jacques VERDU,Vieillissement oxydant des polymères, LAVOISIER,Ouvrage 390 p, 2012.
3. Bruno FAYOLLE, Jacques VERDU,Vieillissement physique des matériaux polymères. Techniques de l'Ingénieur : traitéMatériaux /Corrosion /Vieillissement,éditeur. Paris, 2005.
5. B. Jacques and al. "Hydrolytic ageing of polyamide 11. 1. Hydrolysis kinetics in water," Polymer, 43, 24, 6439–6447, 2002.

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEF 2.1.2**
**Matière: Recyclage et valorisation des polymères**
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**
**Crédits: 2**
**Coefficient: 1**

**Objectif de l'enseignement**

À l'issue de cet enseignement, l'étudiant doit être capable de connaitre les différents procédés de recyclage des matières plastiques.

**Connaissances préalables recommandées :**

**Contenu de la matière :**

**Chapitre I** : Notions de base sur le recyclage des polymères **(2 semaines)**
**Chapitre II** : Déchets des matières plastiques **(2 semaines)**
**Chapitre III** : Les différents procédés de recyclage des polymères **(4 semaines)**
**Chapitre IV**: Recyclage sous forme de mélanges de déchets de polymères **(3 semaines)**
**Chapitre V**: Valorisation des polymères recyclés **(4 semaines)**

**Mode d' Evaluation : 100% examen**

**Références bibliographiques pour cette matière**


- M. Reyne. « Les plastiques : polymères, transformations et applications » Hermes, Paris (1991).
- M. Maes. « Déchets industriels : mode d'emploi », Technique & Documentation Lavoisier, Paris (1986).
- P. Gautron. « Plastiques : valorisation et recyclage des déchets », Techniques de l'Ingénieur, A3830, (1993).

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEM 2.1**
**Matière: Caractérisation des polymères**
**VHS: 67h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30, TP: 1h30)**
**Crédits: 6**
**Coefficient: 3**

## Objectif de l'enseignement

Dans ce cours sont traités différentes techniques appliquées à la caractérisation des matériaux polymères. A l'issue de ce cours l'étudiant doit connaître le principe des différentes techniques de caractérisation. Il doit pouvoir différencier entre les techniques utilisées dans l'analyse qualitative et quantitative des polymères

**Connaissances préalables recommandées :**

Connaissances en méthodes physiques d'analyse

**Contenu de la matière :**

- **Chapitre 1**: Caractérisation des polymères par RMN **(3 semaines)**
- **Chapitre 2**: Caractérisation des polymères par DRX **(3 semaines)**
- **Chapitre 3**: Caractérisation des polymères par DSC **(3 semaines)**
- **Chapitre 4**: Caractérisation des polymères par CPG **(3 semaines)**
- **Chapitre 5**: Caractérisation des polymères par diffusion de la lumière **(3 semaines)**

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%, examen : 60 %

## Références bibliographiques


- Characterisation Of Polymers By Thermal Analysis , *W.M. Groenewoud, Elsevier Science Ed (2001)*
- Modern Spectroscopy, Fourth Edition, *J. Michael Hollas*John Wiley & Sons (2004)
- Handbook for the Chemical Analysis of Plastic and Polymer Additives , CRC Press Michael Bolgar, Jack Hubball, Joe Groeger, Susan Meronek, CRC Press (2007)

**Semestre: 3**
**Unité d'enseignement: UEM 2.1**
**Matière: Modélisation des procédés**
**VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TP: 1h30)**
**Crédits: 3**
**Coefficient: 2**

## Objectif de l'enseignement

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants de maitriser les connaissances essentielles à la modélisation, oprimisation et simulation des procédés chimiques.

**Connaissances préalables recommandées :**

## Contenu de la matière :

**Chapitre1**: **( 2 semaines)**
Introduction à la modélisation, la conception, simulation

**Chapitre 2**: **( 3 semaines)**
Différents types de simulation, les étapes de simulation et les logiciels de simulation

**Chapitre 3**: **( 3 semaines)**
Présentation du Chemcad,

- Organisation et structure du Chemcad
- Bases de données des constituants
- Modèles thermodynamiques
- Systèmes d'unités et conversion

**Chapitre 4**: **( 3 semaines)**
Les modules Chemcad

- Classement par phénomène

**Chapitre 5**: **( 3 semaines)**
Applications

- Distillation flash L/V , LLV
- Distillation multiétages
- Réacteurs chimiques

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu : 40%, examen : 60 %

**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.*