

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

نموذج مطابقة و مواعمة

عرض تكوين ماستر أكاديمي
2026 – 2025

التخصص	الشعبة	ميدان
الكيمياء الصيدلانية	الكيمياء	علوم المادة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**Canevas de mise en conformité et
harmonisation**

OFFRE DE FORMATION

L.M.D. MASTER ACADEMIQUE

2025 – 2026

Domaine	Filière	Spécialité
SCIENCES DE LA MATIERE	CHIMIE	CHIMIE PHARMACEUTIQUE

– Fiche d'organisation semestrielle des enseignements
(S1, S2 et S3)

Master Chimie Pharmaceutique. Filière Chimie

Semestre 1 :

Unités d'Enseignement	Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé	15 semaines	C	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1 Crédits : 18 Coefficient : 9	Chimie organique hétérocyclique	67h30	3h	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Méthodes spectroscopiques d'analyse	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Technologie des médicaments-Pharmacie galénique	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Molécules bioactives - Méthodes d'extraction	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 1 Crédits : 9 Coefficient : 5	Biochimie - Microbiologie	67h30	1h30	1h30	1h30	82h30	3	6	50%	50%
	TP Méthodes d'extraction et d'analyse physico-chimiques	37h30			2h30	37h30	2	3	50%	50%
UE Découverte Code : UED 1 Crédits : 2 Coefficient : 2	Réacteurs chimiques et bioréacteurs	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
	Législation et déontologie pharmaceutique	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
UE Transversale Code : UET 1 Crédits : 1 Coefficient : 1	Intelligence artificielle et Machine Learning 1	22h30			1h30	2h30	1	1	50%	50%
Total Semestre 1		375h	13h30	7h30	4h00	375h	17	30		

Semestre 2 :

Unités d'Enseignement	Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé	15 semaines	C	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2 Crédits : 18 Coefficient : 9	Synthèse asymétrique	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Pharmacognosie et phytochimie	45h00	3h00			55h00	2	4	33%	67%
	Méthodes séparatives chromatographiques et électrophorétiques	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Chimie inorganique pharmaceutique	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 2 Crédits : 9 Coefficient : 5	Contrôle qualité des formes pharmaceutiques et techniques séparatives	45h00	1h30		1h30	55h00	2	4	50%	50%
	Modélisation moléculaire - Drug Design & IA	60h30	1h30	1h30	1h00	65h00	3	5	50%	50%
UE Découverte Code : UED 2 Crédits : 2 Coefficient : 2	Catalyse organométallique	45h00	1h30	1h30		05h00	2	2	33%	67%
UE Transversale Code : UET 2 Crédits : 1 Coefficient : 1	Intelligence artificielle et Machine Learning 2	22h30			1h30	2h30	1	1	50%	50%
Total Semestre 2		375h	13h30	7h30	4h00	375h	17	30		

Semestre 3 :

Unités d'Enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire			Autres*	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 3 Crédits : 18 Coefficient : 9	Polymères appliqués aux médicaments	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Méthodes de couplage d'analyse	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Biopharmacie-Pharmacocinétique	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Métrologie et validation de méthodes par l'intelligence artificielle	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 3 Crédits : 9 Coefficient : 5	Chimie thérapeutique	60h00	1h30	1h30	1h00	65h00	3	5	50%	50%
	Formulations pharmaceutiques	45h00	1h30		1h30	55h00	2	4	50%	50%
UE Découverte Code : UED 3 Crédits : 2 Coefficient : 2	Reverse engineering	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
	Exploration de logiciels libres et open source de la spécialité	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
UE Transversale Code : UET 3 Crédits : 1 Coefficient : 1	Entrepreneuriat, Startup et Innovation	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
Total Semestre 3		375h	15h00	7h30	2h30	375h	17	30		

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle.

CONTENUS PEDAGOGIQUES

Adapter le programme des cours et travaux dirigés (TD) en fonction du volume horaire hebdomadaire présentiel (VHH présentiel) et du volume horaire hebdomadaire personnel (VHH personnel).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Chimie organique hétérocyclique

Objectifs de l'enseignement.

Ce module sera dispensé sous forme de cours/TD. L'enseignement de la chimie organique hétérocyclique fournira aux étudiants les éléments indispensables pour une bonne maîtrise de la nomenclature, la synthèse et la réactivité des hétérocycles biologiquement actifs.

Connaissances préalables recommandées.

Notion de base de chimie organique. Connaissance de base des orbitales atomiques, les bases de la chimie organique et mécanismes réactionnels.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Définition, classification et nomenclature des hétérocycles

Chapitre II : Les hétérocycles non aromatiques

- Les cycles tendus (aziridine, oxirane, thiirane, azétidine, oxétane, thiétane).
- Les cycles à tension faible (pyrrolidine, THF, tetrahydrothiophène, pipéridine, pyranne, thiocyclohexane).

Chapitre III : Les hétérocycles aromatiques à cinq chaînons

- Contenant un seul hétéroatome : Furane, pyrrole, et thiophène. Cas particuliers : le benzopyrrole (indole) et ses dérivés, benzofuranes et benzothiophènes.
- Contenant plusieurs hétéroatomes : les diazoles (1,3-Azoles), les pyrazoles, les imidazoles et benzimidazoles, les oxazoles et benzoxazoles, isoxazoles, les thiazoles et benzothiazoles, isothiazoles, triazoles, tétrazoles...

Chapitre IV : Les hétérocycles aromatiques à six chaînons

- Contenant un seul hétéroatome : Pyridines et ses dérivés (picolines, pyridoxal, vitamine PP...), sels de pyrylium et de th pyrylium, Cas particulier : la benzopyridine et ses dérivés (quinoléine, isoquinoléine, benzoquinoléine). Les dérivés de la pyranne : pyranones et THP. Cas particulier : les benzopyranes et dérivés (flavonoïdes, chromones, coumarines et isocoumarines, anthocyanidine...)
- Contenant plusieurs hétéroatomes : diazines et benzodiazines, pyridazine, pyrimidine, pyrazine, triazine, tétrazine, thiazine, quinoxaline.

Chapitre V: Autres noyaux condensés

- La purine et ses dérivés (caféine, théobromine, théophiline, les bases puriques, nucléosides, nucléotides et acides nucléiques)
- La ptéridine
- La phénothiazine
- Les benzodiazépines...

Chapitre VI : Quelques classes d'alcaloïdes

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

- John A Joule, Keith Mills, Chimie hétérocyclique 2014, Deboecksuperieur.
- René Milcent , Chimie organique hétérocyclique 2003, Edpsciences.
- David T. Davies, Chimie des hétérocycles aromatiques 1997, Deboeck superieur.

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Méthodes spectroscopiques d'analyse

Objectifs de l'enseignement.

Cet enseignement permettra aux étudiants d'acquérir des connaissances en méthodes d'analyse spectroscopiques : Absorption et émission atomique, spectroscopie UV-Visible, fluorescence moléculaire et spectroscopie IR et Raman.

Connaissances préalables recommandées.

Bases de la chimie organique. Notions préliminaires en spectroscopie.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les méthodes spectroscopiques d'analyse

- Nature et propriétés de la lumière
- Interaction lumière-matière

Chapitre II : Spectroscopie d'absorption et d'émission atomique

Partie 1 : Spectroscopie d'absorption atomique (SAA)

- Introduction
- Instrumentation
- Détermination des métaux dans les produits pharmaceutiques
- Quelques exemples d'essais limites utilisant la SAA

Partie 2 : Spectroscopie d'émission atomique (AES)

- Introduction
- Appareillage
- Applications en analyse pharmaceutique :
 - Quantification des métaux alcalins dans les solutions de perfusion et de dialyse.
 - Quantification des impuretés métalliques dans les médicaments.
- Spectroscopie d'émission à plasma à couplage inductif

Chapitre III : Spectroscopie ultraviolet-visible (UV-Vis) / fluorescence moléculaire.

Partie 1 : Spectroscopie ultraviolette et visible

- Introduction
- Instrumentation
- Aspect pratique
- Spectres UV de certaines molécules pharmaceutiques représentatives
- Spectrophotométrie différentielle
- Spectrophotométrie dérivée
- Principales applications :
 - Détermination de pKa
- Applications en pré-formulation et formulation des médicaments

- Dosage des médicaments et de leurs métabolites dans les matrices biologiques
- Titrages spectrophotométriques

Partie 2 : Spectroscopie de fluorescence moléculaire

- Introduction
- Phénomène de fluorescence
- Appareillage
- Aspect pratique
- Aspect quantitatif de la fluorescence
- Espèces fluorescentes (fluorophores)
- Principaux facteurs influençant la fluorescence
- Avantages de la spectrofluorimétrie
- Applications de la spectrophotométrie de fluorescence en analyse pharmaceutique
 - Détermination des médicaments fluorescents dans les formulations à faible dose.
 - Détermination des médicaments fluorescents dans les formulations complexes.
 - Etude des interactions médicament-protéine.

Chapitre IV : Spectroscopie infrarouge

- Introduction
- Appareillage
- Interprétation des spectres infrarouges
- Application de la spectroscopie IR à l'élucidation de la structure des médicaments
- Identification des matières premières
- Exemples de spectres IR de molécules pharmaceutiques représentatives
- Identification et caractérisation des formes polymorphiques des molécules pharmaceutiques
- Analyse dans le proche infrarouge (NIR) et ses différentes applications

Chapitre V : Spectroscopie Raman

- Introduction
- Appareillage
- Diffusion Raman/absorption IR
- Identification rapide des molécules pharmaceutiques
- Complémentarité Raman-infrarouge

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement

Intitulé de la matière : Technologie des médicaments - Pharmacie galénique

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction à la Technologie des Médicaments

- 1- Définition et importance de la technologie pharmaceutique.
- 2- Historique et évolution de la pharmacie galénique.
- 3- Propriétés physico-chimiques des principes actifs et excipients.
- 4- Biodisponibilité et facteurs influençant l'absorption.
- 5- Voie d'administration et devenir des médicaments dans l'organisme.

Chapitre II : Opérations pharmaceutiques

- 1- La dessiccation : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : air libre, par la chaleur, par le froid, sous vide, en couche mince, sur cylindre, nébulisation, lyophilisation.
- 2- La pulvérisation : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : les différents types de broyeurs (à écrasement, à percussion, à cisaillement, autres types de broyeurs). Contrôle granulométrique des poudres (le tamisage, le comptage).
- 3- Les mélanges et dispersions : définition, intérêt, les différents types de mélanges et dispersions. Méthodes et matériels utilisés : les différents types de mélangeurs (à cuves mobiles, à cuves fixes). Contrôle de l'homogénéité, les incompatibilités physiques et chimiques.
- 4- La dissolution : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : la dissolution simple (la solubilité, le taux de solubilité, ...etc), la dissolution extractive (macération, infusion, décoction, digestion, lixiviation).
- 5- La distillation : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : alambic, colonnes de distillation.
- 6- La stérilisation : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : Stérilisation par la chaleur (sèche et humide), par les rayonnements (ionisants Bêta et Gamma, ultra-violet), par antiseptique gazeux (formaldéhyde, oxyde d'éthylène, acide peracétique, ... etc), par filtration.
- 7- Les opérations de séparation : définition et intérêt. Méthodes et matériels utilisés : la filtration, la décantation, la centrifugation, l'expression, le tamisage.

Chapitre III : Formulation Galénique

- 1- Formes galéniques destinées à la voie orale : solide et liquide.
- 2- Formes galéniques destinées à la voie injectable.
- 3- Formes galéniques destinées à la voie cutanée.
- 4- Formes galéniques destinées à la voie transmuqueuse.

Chapitre IV : Stabilité, conditionnement et conservation des médicaments

- 1- Notions de stabilité physico-chimique
 - Définition de la Stabilité Physico-Chimique
 - Facteurs Affectant la Stabilité
 - Évaluation de la Stabilité
- 2- Conditionnement des Médicaments

- Importance du Conditionnement
- Types de Conditionnement
- Matériaux de Conditionnement
- Tests d'intégrité et d'efficacité du conditionnement.

3- Conditions de stockage et conservation

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

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Molécules bioactives – Méthodes d'extraction

Objectifs de l'enseignement.

Connaitre les différentes méthodes d'extraction des molécules bioactives utilisées comme principes actifs dans les médicaments

Connaissances préalables recommandées.

Notions sur la chimie organique et les méthodes physico-chimiques d'analyse

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction générale aux produits naturels : Définition et rôles biologiques, importance en pharmacologie et développement pharmaceutique, grandes familles chimiques des molécules bioactives d'origine naturelle.

Chapitre II : Méthodes d'extraction classiques et innovantes ainsi que leurs applications :

- 1- L'hydrodistillation classique et assistée par micro-onde
- 2- Extraction par ultra son
- 3- Distillation sèche
- 4- Expression à froid
- 5- Percolation ou hydrodiffusion
- 6- Extraction par CO₂ supercritique
- 7- Extraction par centrifugation différentielle
- 8- Turbodisillation
- 9- Hydrodistillation sous- pression
- 10- Macération
- 11- Extraction par solvant organique
- 12- Extraction en phase solide
- 13- Extraction en phase solide SPE
- 14- Microextraction en phase solide (SPME)
- 15- Différentes méthodes de micro extraction en phase solide sur différentes matrices
- 16- Extraction liquide –liquide (LLE) (principe –phénomènes mis en jeu...)
- 17- Extraction par chromatographie sur colonne
- 18- Filtration, décoction et infusion

Chapitre III : Application des méthodes d'extraction sur des matrices biologiques (sang ; urines, végétaux ...etc)

Chapitre IV : Application des méthodes d'extractions sur les antioxydants provenant des aliments

- 1- Définition des antioxydants
- 2- Différentes classes d'antioxydants et leurs rôles dans la santé des plantes et des personnes
- 3- Différentes méthodes classiques et innovantes d'extraction des antioxydants

4- Tests antioxydants

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie

Intitulé de la matière : Biochimie- Microbiologie

Objectifs de l'enseignement.

Cette UE explore la réalisation de synthèses organiques sélectives, voire spécifiques grâce à la catalyse enzymatique. Après des rappels de stéréochimie (énantiomère, diastéréomère, prochiralité...), la cinétique enzymatique sera abordée.

Connaissances préalables recommandées.

Biochimie, Stéréochimie, concepts de la chromatographie, principes de chimie analytique et les bases de la synthèse organique.

Contenu de la matière :

Partie 1 : Biochimie

Chapitre 1 : Les glucides. Série ribose et glucose. Définition, nomenclature et étude structurale. Réactivité des monosaccharides. Polysaccharides. Applications.

Chapitre 2 : Les acides aminés, peptides et protéines. Définition et étude structurale. Synthèse peptidique. Identifications caractéristiques des peptides.

Chapitre 3 : Les lipides : Acides gras, glycérides, glycérophospholipides, stéroïdes, stérols...

Chapitre 4 : Enzymologie : Classification, influence de la température et du pH sur l'activité des enzymes, spécificité relative et spécificité absolue, activateurs et inhibiteurs.

Partie 2 : Microbiologie

Chapitre1 : Introduction à la microbiologie pharmaceutique

- Micro-organismes d'intérêt pharmaceutique : bactéries, champignons, virus, levures.
- Rôle des microbes dans la production de médicaments (antibiotiques, vaccins, enzymes).
- Microbiologie de l'environnement : contrôle des contaminants dans les usines pharmaceutiques.

Chapitre 2 : Microbiologie fondamentale

- Structure et physiologie microbienne : Paroi cellulaire (Gram+/Gram-), membranes, métabolisme. Mécanismes de résistance aux antibiotiques.
- Génétique microbienne : Transfert horizontal de gènes (plasmides, transposons). Mécanismes de mutation et impact sur la résistance.

Chapitre 3 : Microbiologie pharmaceutique appliquée

- **Antimicrobiens :** (ex. pénicilline, céphalosporines).
- **Stérilisation et conservation :**
- **Contrôle qualité microbiologique**

Chapitre4 : Biotechnologie microbienne

- Production de médicaments par fermentation : (ex. **production d'insuline, d'anticorps monoclonaux**). **Métabolites secondaires** (ex. statines, immunosuppresseurs).
- Ingénierie métabolique : **Modification de souches pour améliorer le rendement** (ex. *E. coli*, *Saccharomyces cerevisiae*).
- Vaccins : **Vaccins atténués, sous-unitaires, à ARN messager** (rôle des vecteurs viraux).

Travaux pratiques :

- Initiation à la microbiologie et consignes de manipulation au laboratoire de microbiologie
- Observation microscopique des microorganismes à partir de différentes sources
- Coloration simple et double (coloration de Gram)
- Préparation des milieux de culture (solide, liquide et empirique)
- Études des activités antiinflammatoire, antimicrobienne, antioxydante, antifongique ...

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Méthodes d'extraction et d'analyse physico-chimiques

Objectifs de l'enseignement.

Fournir à l'étudiant les connaissances appropriées pour choisir la méthode analytique la plus adéquate dans le cadre de l'analyse d'un médicament (matière première, substances apparentées, spécialités pharmaceutiques) selon les méthodes pharmacopées.

Connaissances préalables recommandées.

Notions de chimie organique et techniques physico-chimiques d'analyse

Contenu de la matière : (Suivant les moyens mis à la disposition de l'équipe pédagogique)

Partie 1 : Méthodes d'extraction

TP1 : Initiation aux travaux pratiques des méthodes d'extraction

TP 2 : Isolation et caractérisation d'un alcaloïde à partir d'un végétal. Cas de l'extraction de la caféine du thé.

TP 3 : Extraction des huiles essentielles par une méthode conventionnelle. Extraction par hydrodistillation de l'huile essentielle des grains de fenouil.

TP 4 : Extraction des huiles essentielles par une méthode innovante. Extraction assistée par micro-ondes de l'huile essentielle des grains de fenouil.

TP 5 : Interprétation des résultats d'analyse par GC MS d'une huile essentielle des graines de fenouil extraite par hydrodistillation.

Partie 2 : Méthodes d'analyses physico-chimiques

TP1- Dosage de l'acide folique par colorimétrie.

Contrôle de la teneur en principe actif d'un médicament par dosage colorimétrique

TP2- Titrage potentiométrique d'un principe actif en milieu aqueux et non aqueux. Contrôle de la teneur en substance dans la matière première par dosage potentiométrique en milieu aqueux. Dosage de l'Aspartate d'arginine en milieu non aqueux.

TP3- Spectroscopie infra-rouge : Application l'identification de principes actifs. Étude de spectres infrarouges de composés connus, comparaison du spectre IR de la substance étudiée avec celui de la substance de référence (SCR).

TP4- Dosage volumétrique du Résorcinol. Détermination de la pureté du résorcinol par titrage en retour.

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Découverte

Intitulé de la matière : Réacteurs chimiques et bioréacteurs

Objectifs de l'enseignement.

Fournir à l'étudiant les notions de base relatives aux réacteurs chimiques, enzymatiques et biochimiques

Connaissances préalables recommandées.

Connaissances de base sur les phénomènes de transfert et les vitesses de réactions

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les réacteurs

Chapitre II : Les réacteurs chimiques

- Réacteur Chimique discontinu monophasique (Batch reactor / Stirred Tank Reactor)
- Réacteur Chimique continu parfaitement agité (Mixed flow reactor / Continuous Stirred Tank Reactor)
- Réacteur Chimique continu à écoulement piston (Plug flow reactor)

Chapitre III : Les réacteurs enzymatiques (Ecriture du bilan de matière dans les différents modes de réacteurs enzymatiques (STR et CSTR), cinétique, type d'inhibition ...)

Chapitre IV : Les réacteurs biologiques : les fermenteurs ou bioréacteurs

- Ecriture du bilan de matière dans les différents modes de fermenteurs
- Etude de la performance d'une culture par fermentation en vue de la production industrielle de métabolites primaires et secondaires (antibiotiques, toxines, hormones...)

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Découverte

Intitulé de la matière : Législation et déontologie pharmaceutique

Objectifs de l'enseignement.

Acquérir les bases juridiques et réglementaires spécifiques au secteur pharmaceutique ; l'enregistrement et la commercialisation des médicaments ; intégrer les principes d'éthique, de déontologie et de responsabilité dans les pratiques pharmaceutiques.

Connaissances préalables recommandées.

Généralités sur les médicaments

Contenu de la matière :

Chapitre I : Référentiels juridiques et réglementation pharmaceutique

- Sources du droit pharmaceutique
- Statuts légaux des médicaments : princeps, génériques
- Dénomination des médicaments
- Monopole pharmaceutique
- Cadre réglementaire algérien : lois et textes en vigueur
- Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) : dossier CTD, procédures d'enregistrement et de commercialisation

Chapitre II : Bonnes pratiques pharmaceutiques

- Généralités sur les bonnes pratiques de fabrication (BPF)
- Locaux et les équipements de production
- Méthodes et les procédures
- Assurance qualité et le contrôle qualité
- Validation et la qualification

Chapitre III : Éthique, déontologie et responsabilités professionnelles

- Fondements et distinctions : morale, éthique, déontologie et responsabilité professionnelle
- Cadre réglementaire et charte d'éthique dans le secteur pharmaceutique
- Responsabilités professionnelles : rôles du directeur technique, de production et du contrôle qualité
- Applications de l'éthique et de la déontologie dans le contexte pharmaceutique

Chapitre IV : Réglementations relatives à l'hygiène et à la sécurité dans l'industrie pharmaceutique

- Classification des risques professionnels dans l'industrie pharmaceutique
- Réglementation et normes en vigueur
- Déontologie professionnelle et prévention des risques
- Gestion des situations d'urgence et plans d'intervention

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Transversale

Intitulé de la matière : Intelligence artificielle et Machine Learning 1

Objectifs du cours.

Introduire les bases de l'IA et de l'apprentissage automatique (Machine Learning), en se concentrant sur leurs applications dans les sciences de la matière. Les étudiants comprendront les concepts fondamentaux de la modélisation basée sur les données et comment appliquer les techniques de l'apprentissage automatique pour résoudre des problèmes du monde réel.

Contenu du cours :

- **Chapitre 1 : Introduction à l'IA et à l'apprentissage automatique**
 - Aperçu de l'IA et de ses applications.
 - Importance des données dans l'IA et l'apprentissage automatique.
- **Chapitre 2 : Concepts de base de l'apprentissage automatique**
 - Apprentissage supervisé ou non supervisé.
 - Algorithmes clés de l'apprentissage automatique : régression, classification, regroupement.
 - Mesures d'évaluation (MAE, R^2 , précision).
- **Chapitre 3 : Collecte et traitement des données**
 - Ingénierie des caractéristiques et techniques de prétraitement des données.
 - Traitement de l'ajustement excessif et de l'ajustement insuffisant.
 - Bases de données sur les matériaux : Materials Project, OQMD, AFLOW.
- **Chapitre 4 : Apprentissage automatique (Machine Learning) pratique en sciences de la matière**
 - Étude de cas : Prédiction des propriétés des matériaux (bande interdite, etc.).
 - Utilisation de modèles d'apprentissage automatique pour des tâches simples de classification et de régression.
- **Chapitre 5 : Fondements de l'apprentissage profond**
 - Introduction aux réseaux neuronaux.
 - Principaux cadres d'apprentissage profond : TensorFlow, Keras, PyTorch.
 - Application : Prédiction de la structure cristalline à l'aide de réseaux neuronaux.

Bibliographie :

- *"Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow"* by Aurélien Géron (focuses on practical applications of machine learning)
- *"Pattern Recognition and Machine Learning"* by Christopher M. Bishop (provides theoretical foundations of ML)

Outils et bibliothèques :

- Python, Jupyter Notebooks
- Scikit-learn, Pandas, Matplotlib
- Materials science tools: Matminer, Pymatgen

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Synthèse asymétrique

Objectifs de l'enseignement.

Comprendre les principes fondamentaux de la stéréochimie et l'importance de la chiralité dans les systèmes biologiques et les médicaments. Maîtriser les différentes stratégies de synthèse asymétrique.

Connaissances préalables recommandées.

Bases de la chimie organique

Contenu de la matière :

Chapitre I : Concepts de stéréochimie

Chiralité et éléments de symétrie, exemples de molécules chirales (allènes, spiranes, atropoisomères : biphényles), détermination des configurations absolues, énantiométrie, diastéréoisométrie.

Chapitre II : Généralités, différents types de réactions (racémisation, épimérisation, stéréospécifique, régiosélective, stéréosélective).

Chapitre III : Obtention des composés optiquement purs.

- 1- Dédoublage d'un racémique (résolution d'un racémique)
- 2- Dédoublage cinétique et thermodynamique
- 3- Utilisation des enzymes
- 4- Prochiralité, pureté optique, excès énantiomérique.

Chapitre IV : Synthèse asymétrique

Principe général, Auxiliaire chiral, réactif chiral, catalyseur chiral.

Chapitre V : Induction Asymétrique

- 1- Réaction énantiosélective et diastéréosélective, Règles de Cram, de Prelog, de Cornforth.
- 2- Alkylation de cétones
- 3- Aldolisation de cétones
- 4- Réduction de cétones (catalyseur chiral)
- 5- Addition sur la double liaison

Chapitre VI : Transfert Asymétrique

- 1- Intermoléculaire
- 2- Intramolécule

Chapitre VII : Composés organophosphorés et composés organosilylés en synthèse asymétrique

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Pharmacognosie - Phytochimie

Objectifs de l'enseignement.

Ce module permet d'acquérir les connaissances de base sur les substances naturelles thérapeutiques, leurs propriétés pharmacologiques et leurs utilisations.

Connaissances préalables recommandées.

Notions sur les molécules bioactives d'origine naturelle

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction à la Pharmacognosie

Importance des substances naturelles en thérapeutique

Historique de l'usage des matières premières naturelles en tant que médicaments

Etat actuel de l'usage des substances naturelles et perspectives

Définition des termes : Pharmacognosie, Phytothérapie, plante médicinale, drogue végétale, transformations

Introduction aux métabolites primaires et secondaires

Définition des 2 types de métabolisme

Rôles des métabolites primaires et secondaires (ex. des végétaux)

Diversité structurale des métabolites secondaires

Utilisations/Applications des métabolites primaires et secondaires

Chapitre II : Polyphénols

Définition

Structures/Diversité

Principales voies de biogénèses : voie du shikimate / voie des polyacétates

Principales classes de polyphénols :

Composés dérivés de la voie du shikimate : acides phénols, coumarines, lignanes

Voies de biogénèse, propriétés pharmacologiques, principales drogues et emplois.

Composés dérivés de la voie des acétates : anthraquinones

Voies de biogénèse, propriétés pharmacologiques, principales drogues et utilisations en thérapeutique.

Composés dérivés de voies mixtes :

Polyphénols d'origine mixte shikimate / acétate (flavonoïdes, flavonolignanes)

Terpénophénols (furano/pyranocoumarines, naphtoquinones, cannabinoïdes)

Les flavonoïdes

Structures, Voies de biogénèse

Rôles et intérêts pour la plante et pour l'Homme

Exemples de plantes, emploi des drogues

Les tanins

Définition

Structures/Classification

Biogénèse

Distribution dans le règne végétal, propriétés biologiques, utilisations

Chapitre III : Terpénoïdes

Introduction

Étapes communes à la biosynthèse

Monoterpènes réguliers et sesquiterpènes : huiles essentielles

Définition, Répartition, Composition chimique, Propriétés pharmacologiques, Toxicité, Emploi

Principales drogues à HE

Diterpènes

Généralités, Biogénèse, Répartition, Intérêts

Plantes à diterpènes utilisées en pharmacie, plantes toxiques à diterpènes

Triterpènes et stéroïdes

Généralités, Biogénèse, Structure des hétérosides, Propriétés pharmacologiques, Intérêts des plantes à saponines

Emploi des drogues à triterpènes, plantes toxiques à triterpènes

Chapitre IV : Alcaloïdes

Caractères généraux des Alcaloïdes

Définition

Etat naturel, répartition, rôle dans la plante

Constitution chimique et classification

Biogénèse

Propriétés pharmacologiques

Exemple des alcaloïdes dérivés du tryptophane, de la phénylalanine, de l'ornithine...

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Méthodes séparatives chromatographiques et électrophorétiques

Objectifs de l'enseignement.

Principe de base des méthodes chromatographiques et des différents types d'électrophorèses. Fournir à l'étudiant les connaissances appropriées pour choisir la méthode analytique la plus adéquate dans le cadre de l'analyse qualitative et quantitative d'un médicament (matière première, substances apparentées, spécialités pharmaceutiques) selon les méthodes pharmacopées ou autres.

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organiques et méthodes spectroscopiques d'analyse.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les techniques chromatographiques

Définitions, historique, principe, classification des méthodes chromatographiques, théorie de base et grandeurs fondamentales, théorie des plateaux théoriques, théorie cinétique...

Chapitre II : Chromatographie en phase gazeuse

Principe, appareillage, grandeurs spécifiques

Chapitre III : Chromatographie Liquide à Haute Performance

Principe, appareillage, dernières avancées en chromatographie liquide

Chapitre IV : Les différents types de chromatographie en phase liquide

Chromatographies d'adsorption, de partage, d'exclusion stérique, d'échange d'ions et d'affinité. (Principes, théories et applications pour chaque type)

Chapitre V : Chromatographie en phase supercritique

Principe, appareillage et exemples d'application

Chapitre VI : Méthodes d'analyse quantitative

Ajouts dosés, normalisation interne, étalonnage externe et étalonnage interne. (Théorie et applications)

Chapitre VII : Techniques électrophorétiques

1- Généralités, principe, instrumentation et différents types d'électrophorèse

2- Électrophorèse capillaire (principe, théorie et applications)

3- Électrochromatographie (instrumentation, théorie, applications)

Chapitre VIII : Techniques miniaturisées

Principe, instrumentation, applications (Micro-LC, Nano-LC....)

Chapitre IX : Électrophorèse capillaire et chromatographie chirales

(Généralités sur les séparations chirales, mise en œuvre et exemples d'application)

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Chimie inorganique pharmaceutique

Objectifs de l'enseignement.

Ce module a pour but de présenter les éléments du tableau périodique et leurs rôles biologique et pharmacologique. Le programme est centré sur les oligoéléments présents dans l'organisme et l'importance de la chimie inorganique dans le domaine médical

Connaissances préalables recommandées.

Notions de chimie Inorganique acquise lors du cursus de la licence

Contenu de la matière :

Chapitre I : Éléments du bloc s et p

Etude générale des propriétés des éléments par groupe de la classification périodique

Rôle biologique et usages pharmaceutiques

- Alcalins : Lithium , Sodium, Potassium
- Alcalino-terreux : Calcium, Magnésium
- Groupe III : Bore, Aluminium
- Groupe IV : Carbone, Silicium, Germanium.
- Groupe V : Azote, Phosphore, Arsenic, Bismuth
- Chalcogènes : Soufre, Sélénium
- Halogènes : Chlore, Iode

Chapitre II : Éléments du Bloc d

- Métaux de transition en milieu bioinorganique : Éléments essentiels, éléments toxiques
- Composés de coordination dans le domaine bioinorganique : *cis*-platine et cancer, Nickel et uréase, Cobalt et vitamine B₁₂, Manganèse et métalloprotéine, Zinc et métalloenzyme, Gadolinium et IRM.
- Étude particulière du Fer : distribution, rôle
- Composés de coordination dans le domaine pharmacologique
- Étude particulière du Platine : Structure des complexes de platine, propriétés antitumorales

Chapitre III : Radiopharmaceutique

Cette partie concerne la production de radioéléments utilisés en médecine et en biologie et la préparation de radiopharmaceutiques à usage diagnostique et thérapeutique

-Rappels des notions de radioactivité

-Méthodes de production des radioéléments

-Les radiopharmaceutiques à base de Technétium, Fluor et Iode

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie

Intitulé de la matière : Modélisation moléculaire - Drug Design & IA

Objectifs de l'enseignement.

Cet enseignement a pour objectif une initiation à la modélisation moléculaire en utilisant les méthodes de la chimie quantique et de la mécanique moléculaire.

Initiation aux méthodes du Drug Design

Connaissances préalables recommandées.

Connaissance de bases en chimie quantique.

Maîtrise de l'outil informatique et base de l'intelligence artificielle

Contenu de la matière : Contenu enseigné en cours et appliqué en TD et TP

Chapitre I : Méthodes de mécanique moléculaire

- Définitions et concepts de base
- Énergies d'interaction moléculaires
- Types de champs de forces utilisés en mécanique moléculaire
- Avantages et limites des méthodes de mécanique moléculaire

Chapitre II : Méthodes de mécanique quantique

- Présentation générale des méthodes de mécanique quantique
- Méthodes de Hartree-Fock (HF) : avantages et limites
- Méthodes semi-empiriques : avantages et limites
- Énergie de corrélation et méthodes post-HF (IC et MP) : avantages et limites
- Méthodes de fonctionnelle de la densité (DFT) : théorèmes de Hohenberg et Kohn, formalisme de Kohn-Sham (KS), différents types d'approches (LDA, GGA, m-GGA), méthodes hybrides

Chapitre III : Modélisation moléculaire et optimisation des ligands

- Mécanique moléculaire et dynamique moléculaire
- Optimisation géométrique, champs de force
- Visualisation 3D (Avogadro, PyMOL, UCSF Chimera)
- Approches quantiques et semi-empiriques pour l'optimisation des ligands

Chapitre IV : Docking moléculaire et criblage virtuel

- Notions de récepteurs/ligands, poches actives
- Méthodes d'amarrage moléculaire (docking) pour l'étude des interactions ligand-récepteur
- Algorithmes et logiciels de docking (AutoDock, Glide, GOLD)
- Criblage virtuel de chimiothèques pour l'identification de nouveaux candidats-médicaments

Chapitre V : Relation structure-activité/propriété (QSAR/QSPR) classiques et assistés par IA

- Calcul de descripteurs
- QSAR linéaire (régression multiple, PLS)
- QSPR pour solubilité, toxicité, perméabilité

- Intelligence artificielle et apprentissage automatique appliqués au QSAR/QSPR

Chapitre VI : L'IA et Drug Design

- Supervised Learning : SVM, k-NN, régressions, arbres
- Évaluation : cross-validation, confusion matrix, ROC-AUC
- Traitement de jeux de données (ZINC, ChEMBL)

Chapitre VII : Deep Learning en Drug Design

- Réseaux de neurones (DNN) pour prédiction de bioactivité
- Apprentissage par transfert (Transfer learning)
- Initiation à PyTorch ou TensorFlow

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

- D. Roux, Bioinformatique : Méthodes et Applications, 3ème édition, Dunod, 2016.
- G. Zundel, Chimie théorique et ses applications en pharmacochimie, Éditions Tec & Doc, 2018.
- A. Leach, Molecular Modelling: Principles and Applications, 2nd Edition, Pearson, 2001.
- R. M. Silverman, The Organic Chemistry of Drug Design and Drug Action, 3rd Edition, Academic Press, 2014.

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie

Intitulé de la matière : Contrôle qualité des formes pharmaceutiques et techniques séparatives

Objectifs de l'enseignement.

Maitrise des tests physico-chimiques, analytiques et mécaniques employés pour le contrôle des différentes formes galéniques selon les méthodes pharmacopées ou autres.

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organiques et méthodes spectroscopiques d'analyse.

Contenu de la matière : Contrôle qualité des formes pharmaceutiques

Chapitre I : Contrôle qualité des médicaments - Pharmacopées : généralités et référentiels

Chapitre II : Procédés d'échantillonnage sur matières premières, produits intermédiaires et produits finis : Identification, caractères organoleptiques et essais (substances apparentées, cendres sulfuriques, métaux lourds, pouvoir rotatoire spécifique, perte à la dessiccation, propriétés rhéologiques ...).

Chapitre III : Méthodes de contrôle des formes parentérales (isotonicité, neutralité, apyrogénicité, stérilité, innocuité ...)

Chapitre IV : Tests pharmacotechniques

Chapitre V : Stabilité des médicaments - les tests de prédiction de la durée de validité des médicaments (notion des conditions de stress et loi d'Arrhenius). Interaction contenu-contenant

Chapitre VI : Profil de dissolution (étude comparative entre princeps et générique)

Chapitre VII : Analyse des monographies de quelques médicaments

Travaux pratiques : (Suivant les moyens mis à la disposition de l'équipe pédagogique)

Partie 1 : Contrôle qualité des formes pharmaceutiques

TP1 : Contrôle de matières premières à usage pharmaceutique (Caractères organoleptiques, identification, essais limites et dosage).

TP2 : Contrôle physico-chimique de quelques formes pharmaceutiques (dosage de principe (s) actif (s) et identification des excipients).

TP3 : Contrôle pharmaco-technique des formes pharmaceutiques solides.

TP4 : Etude d'équivalence in vitro : profil de dissolution d'un médicament générique et son princeps.

TP5 : Réalisation des principales formes pharmaceutiques : gélules, suspensions, pommades, suppositoires...

Partie 2 : Techniques séparatives

TP1 : Extraction et séparation par chromatographie sur colonne et CCM.

TP2 : Analyse d'esters méthyliques d'acides gras d'huiles comestibles par chromatographie en phase gazeuse capillaire.

TP3 : Dosage simultané du principe actif et des excipients d'une forme pharmaceutique par HPLC, interprétation des chromatogrammes obtenus.

TP4 : Séparation et analyse quantitative par HPLC à polarité de phase normale.

TP5 : Séparation et analyse quantitative par HPLC à polarité de phase inverse (appliquer une méthode de quantification différente de celle utilisée dans le TP n°4)

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Découverte

Intitulé de la matière : Catalyse organométallique

Objectifs de l'enseignement.

Maîtriser les principes de la chimie organométallique appliquée à la synthèse de médicaments, comprendre les mécanismes de la catalyse homogène et hétérogène, appliquer ces connaissances à des cas concrets de synthèse pharmaceutique

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organique et chimie inorganique.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les complexes organométalliques (Les complexes des métaux de transition, Le métal de transition, Les ligands, Classification des ligands)

Chapitre II : Nature de la liaison dans un complexe organométallique (Interactions σ et π , Orbitales du métal, Énergie des orbitales, Orbitales des ligands, Liaison métal-ligand : ligands σ -donneurs et π -accepteurs)

Chapitre III : Réactions de base en chimie organométallique (Substitution de ligands, Élimination non réductrice, Addition oxydante, Addition non oxydante, Élimination réductrice, Couplage oxydant et découplage réducteur, Insertion, Extrusion-désinsertion)

Chapitre IV : Familles de complexes organométalliques (Complexes d'hydrures et complexes de dihydrogène, Liaison σ métal-carbone, Complexes carbonylés des métaux, Complexes π métal-alcène et métal-alcyne, Complexes à liaisons métal-carbone multiples, Classification et modes de liaison)

Chapitre V : Application de catalyseurs organométalliques dans la synthèse de molécules d'intérêt pharmaceutique

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Transversale

Intitulé de la matière : Intelligence artificielle et Machine Learning 2

Objectifs du cours.

S'appuyer sur les techniques de base de l'apprentissage automatique (Machine Learning) pour introduire l'apprentissage profond, les réseaux neuronaux et les concepts avancés d'apprentissage automatique pour les applications en sciences de la matière. Les étudiants approfondiront leur compréhension de la découverte et de la conception de matériaux basés sur l'IA.

Contenu du cours :

- **Chapitre 1 : Modèles basés sur les graphes dans les sciences de la matière**
 - Les matériaux sont des graphes : atomes = nœuds, liaisons = arêtes.
 - Réseaux convolutionnels de graphes de cristaux (CGCNN).
 - Étude de cas : Prédiction des énergies de formation.
- **Chapitre 2 : Modèles génératifs pour la conception de matériaux**
 - Introduction aux réseaux adversariels génératifs (GAN) et aux auto-encodeurs variationnels (VAE).
 - Application : Conception de nouveaux matériaux et molécules.
- **Chapitre 3 : Évaluation des modèles et interprétabilité**
 - Techniques d'évaluation des modèles d'apprentissage profond : validation croisée, surajustement.
 - Interprétation des modèles avec SHAP et LIME.
- **Chapitre 4 : Techniques avancées de ML**
 - Modèles d'ensemble (Random Forests, XGBoost, LightGBM).
 - Modèles avancés de régression et de classification.
 - Réduction de la dimensionnalité : ACP, t-SNE, UMAP.
- **Chapitre 5 : Applications avancées en sciences de la matière**
 - Conception inverse pour la découverte de matériaux à l'aide de l'IA.
 - Prédiction des propriétés des matériaux (modules élastiques, supraconductivité, etc.).
 - Modélisation multi-échelle : combinaison de l'IA avec la dynamique moléculaire ou la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT).
- **Chapitre 6 : Mini-Projet de spécialisation (Capstone Project)**

Les étudiants réaliseront un projet dans lequel ils appliqueront l'IA/ML pour résoudre un problème en sciences de la matière, en utilisant les compétences acquises tout au long du semestre.

Outils et bibliothèques :

- Python, Jupyter Notebooks
- TensorFlow, PyTorch
- Matminer, Pymatgen

Bibliographie :

- *"Deep Learning" by Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville (a comprehensive introduction to deep learning)*
- *"Deep Learning with Python" by François Chollet (applies Keras for hands-on deep learning projects)*
- *"Machine Learning for Materials Science" by Jha et al. (directly relates to AI in materials science)*
- *"Data Science for Materials Discovery" by K. A. Persson, et al. (focused on machine learning applications in materials science)*
- *"Materials Informatics: Methods, Tools, and Applications" by Rajiv S. Mishra (further extends ML into material discovery)*

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Polymères appliqués aux médicaments

Objectifs de l'enseignement.

Offrir aux étudiants une compréhension complète des différents types de polymères utilisés dans la conception, la formulation et la libération des médicaments. Le module aborde aussi la biocompatibilité, la sécurité et l'impact des polymères sur l'efficacité des médicaments, préparant ainsi les étudiants à concevoir et évaluer des systèmes thérapeutiques avancés.

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organique, notions sur les polymères, biochimie

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les polymères

- Définitions, classification (linéaires, réticulés, naturels, synthétiques)
- Propriétés physico-chimiques des polymères (solubilité, Tg, cristallinité)
- Réactions de polymérisation : addition, condensation, copolymérisation

Chapitre II : Polymères bio-résorbables et biopolymères naturels

- Polysaccharides : alginate, chitosane, dextrans
- Protéines : gélatine, collagène
- Polymères synthétiques biodégradables : PLA, PGA, PLGA, PCL
- Cinétique de dégradation et applications galéniques

Chapitre III : Polymères pharmaceutiques et mécanisme à libération contrôlée

- Mécanisme de libération contrôlée
- Formulations des polymères pharmaceutiques
- Interactions polymère-API (stabilité, piégeage, relargage)

Chapitre IV : Vecteurs- polymères dans le domaine des médicaments : hydrogels intelligents

- Notions de gel et d'hydrogel conventionnels : structures, classifications et propriétés physico-chimiques.
- Hydrogels intelligents : mécanismes de fonctionnement et exemples d'applications dans le domaine pharmaceutique : libération prolongée, gels injectables.

Chapitre V : Polymères à empreinte moléculaire (MIPs)

- Principe de l'empreinte
- Synthèse, applications pour reconnaissance ciblée

Chapitre VI : Polymères fonctionnels intelligents à mémoire de forme dans le domaine pharmaceutique

- Notions sur les matériaux fonctionnels intelligents, l'effet mémoire de forme et bio- mimétisme.
- Polymères fonctionnels auto- réparables : (Réparation intrinsèque et Micro- encapsulation)
- Polymères fonctionnels chromiques (Photo- chromisme, Thermo- chromisme et Chimie « hôte- invité »)

- Polymères supramoléculaires : Les dynamères
- Exemples d'applications dans le domaine pharmaceutique

Chapitre VII : Nanoparticules polymériques et polymères conjugués

- Nanoparticules : fabrication, encapsulation, relargage
- Polymères conjugués à des principes actifs (PEGylation, conjugués anticorps-polymère)

Chapitre VIII : Biocompatibilité et sécurité de polymères pharmaceutiques

- Critères de sélection des polymères pharmaceutiques
- Études de toxicité, immunogénicité, biocompatibilité

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

- J. M. Keller, C. Lopez, Les polysaccharides en médecine, Tec & Doc Lavoisier, 2008.
- G. Wnek, G. L. Bowlin, Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering, Taylor & Francis, 2008.
- J. P. Kennedy, Polymers in Medicine and Pharmacy, CRC Press, 2006.
- P. Roy, J. L. Andreu, Biomedical Applications of Polymeric Materials and Composites, Wiley, 2016.
- M. Vert, J. Feijen, A. Albertsson, Biodegradable Polymers and Plastics, Springer, 2012.
- J. Zhu, S. C. Davies, Surface Characterization of Pharmaceuticals, Wiley, 1994.

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Méthodes de couplage d'analyse

Objectifs de l'enseignement.

Cet enseignement permettra aux étudiants d'acquérir des connaissances en méthodes de couplage chromatographiques (spectrométrie de masse SM et résonance magnétique nucléaire RMN) nécessaires lors de l'analyse et l'identification de composés organiques et inorganiques dans le domaine pharmaceutique

Connaissances préalables recommandées.

- Bases de la chimie organique
- Notions préliminaires en spectroscopie.

Contenu de la matière :

Partie I – Spectrométrie de Masse (SM)

- Introduction à la spectrométrie de masse
- Principe et instrumentation
- Sources d'ionisation (impact électronique, ionisation chimique, FAB, ES, APCI, MALDI ...)
- Analyseurs (champs magnétique, quadripolaire, trappe à ions, TOF, FT-ICR ...)
- Détecteurs
- Interprétation d'un spectre de masse
- Règles générales de fragmentation
- Règle de l'azote
- Analyse des pics isotopiques
- Fragmentation par réarrangements (réarrangements 1,4 et 1,6 ; McLafferty..)
- Règles de fragmentation par type de fonction organique (alcools, cétones, aldéhydes, acides, amines, ...)

Partie II – Résonance magnétique nucléaire (RMN)

- Applications générales de la spectroscopie de résonance de spins
- Le magnétisme nucléaire
- Interaction Zeeman et résonance magnétique : éléments de formalismes
- La spectroscopie RMN impulsionnelle à transformée de Fourier, observables RMN
- La RMN du proton
- Anisotropie de déplacement chimique
- Couplage spin-spin : interaction dipôle-dipôle
- La RMN du carbone-13
- Méthodologie d'attribution spectrale
- Spectroscopie de corrélation multidimensionnelle homo et hétéronucléaire (RMN à deux dimensions, COSY, HSQC, HMBC, DOSY)
- Notions sur la RMN du solide

Partie III – Méthodes de couplage chromatographiques

- Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Principe, ionisation par impact électronique (IE), ionisation chimique positive (ICP), HR-GC-MS, exemples d'applications pharmaceutiques ...)
- Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (Principe, ionisation par électrospray positif (ESI +), ionisation par électrospray négatif (ESI -), exemples d'applications pharmaceutiques)
- Couplages chromatographiques à la double masse (GC-MS-MS et LC MS-MS-MS). Principe et applications.
- Chromatographie en phase liquide couplée à la résonance magnétique nucléaire LC-RMN (Principe et exemples d'applications pharmaceutique)

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Biopharmacie – Pharmacocinétique

Objectifs de l'enseignement.

Ce module vise à fournir aux étudiants les bases théoriques et pratiques de la biopharmacie et de la pharmacocinétique. Il permet de comprendre les notions de biodisponibilité, de bioéquivalence et de modélisation compartimentale, essentielles pour l'évaluation de l'efficacité thérapeutique et la conception de médicaments.

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organique, cinétique chimique et notions acquises en pharmacie galénique.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités et rappels (Étapes de développement d'un médicament, les formes galéniques, les voies d'administrations ...)

Chapitre II : Phase biopharmaceutique

1. Définition
2. Rappels sur les différentes formes galéniques et voies d'administration d'un médicament
3. Système LDA
4. Systèmes de classification biopharmaceutiques
5. Applications et facteurs influençant la mise à disposition du principe actif.

Chapitre III : Phase Pharmacocinétique (ADME)

1. Absorption (Facteurs influençant, mécanismes de passage transmembranaire, notions de 1^{er} passage hépatique)
2. Distribution (Facteurs influençant la fixation aux protéines plasmatiques, volume de distribution)
3. Métabolisation (Principales réactions chimiques de métabolisation, induction et inhibition enzymatique...)
4. Excrétion : (Voies d'élimination, mécanismes mis en jeu, clairance, temps de demi-vie..)

Chapitre IV : Biodisponibilité des médicaments

Chapitre V : Pharmacocinétique analytique

1. Notion de compartiment
2. Modèle monocompartimental
3. Modèle bicompartimental
4. Modèle tricompartimental
5. Modèle linéaire et non linéaire
6. Cas des administrations par perfusion continue et discontinue répétée

Chapitre VI : Études de bioéquivalence

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Fondamentale

Intitulé de la matière : Métrologie et validation de méthodes d'analyse par l'intelligence artificielle

Objectifs de l'enseignement.

Maîtriser les fondamentaux de la métrologie, la chimiométrie et la normalisation associée. Appliquer la métrologie aux différents types d'instruments de mesure en industrie pharmaceutique. Valider des méthodes d'analyse par l'intelligence artificielle.

Connaissances préalables recommandées.

Notions de statistiques et bases de l'intelligence artificielle.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Concepts fondamentaux de la métrologie

- Utilité de la métrologie
- Vocabulaire métrologique
- Institutions nationales et internationales de métrologie
- Unités, grandeurs et incertitudes de mesures
- Assurance et contrôle qualité
- Gestion des moyens de mesure (programme, choix de la périodicité, suivi de la dérive, critère de tolérance, déclaration de conformité...)

Chapitre II : Chimiométrie

- Échantillonnage et Gestion des Données Multi Variables
- Statistiques Descriptives et Graphiques Uni varies et Multi Varies
- Domaines et intérêts des applications des analyses des données en chimie
- Méthodes de traitement informatique des données Multi Varies
- Plans d'expériences
- Analyse factorielle des correspondances (AFC), Analyse des correspondances multiples (ACM) et analyse en composantes principales (ACP)

Chapitre III : Validation de méthodes analytique

- Terminologie utilisée en validation des méthodes analytiques
- Description statistique des mesures expérimentales
- Etapes de la validation d'une méthode analytique
- Validation d'une procédure analytique et calculs statistiques
- Paramètres de la validation (Étalonnage, Substance de référence, Spécificité, Linéarité, exactitude, limites de détection et de quantification)

Chapitre IV : Outils statistiques et d'intelligence artificielle utilisés en Validation

- Introduction à l'intelligence artificielle (IA) pour la validation
- Programmation de l'analyse statistique de données analytiques (statistique descriptives, modélisation linéaire et quadratiques de données analytiques, validation d'une droite d'étalonnage) sous python
- Librairies d'analyse mathématique et graphique sous python

- Apprentissage profond et Réseaux de neurone artificiels

Chapitre V : Qualification de matériel et validation de méthodes analytique

- Planification et gestion des étalonnages
- Intervalle de confiance sur la moyenne pour la Qualification et l'étalonnage d'équipements analytiques linéarité, recouvrement, exactitude et robustesse fidélité et fidélité intermédiaire.
- Tests statistiques pour l'Homogénéité des résultats et la détermination des valeurs aberrantes, limites de détection et de quantification
- Transferts analytiques des méthodes de dosages
- Revue qualité-produit et calculs des capacités

Chapitre VI : Instruments et équipements de mesure dans l'industrie pharmaceutique

- Equipements de production de l'industrie pharmaceutique
- Matériel de mesure et de contrôle qualité de l'industrie pharmaceutique
- Systèmes de mesures intelligents

Travaux dirigés à réaliser à l'aide d'outils informatiques et de logiciels appropriés :

- 1- Initiation au logiciel d'intelligence artificielle
- 2- Qualification d'un instrument de mesure : Intervalle de confiance sur la moyenne
- 3- Etude de la linéarité, exactitude et de la robustesse
- 4- Etude de la fidélité et de la fidélité intermédiaire.
- 5- Etude de l'Homogénéité des résultats et des valeurs aberrantes
- 6- Calculs des limites de détection et de quantification
- 7- Etudes de transferts analytiques des méthodes de dosages
- 8- Etudes de la capacité –qualité d'un produit industriel
- 9- Utilisation des réseaux de neurones artificielles en validation analytique
- 10- Utilisation des réseaux de neurones artificielles pour la qualification des instruments de mesures

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie

Intitulé de la matière : Chimie thérapeutique

Objectifs de l'enseignement.

Ce module permet d'acquérir les connaissances de base sur les grandes classes thérapeutiques.

Connaissances préalables recommandées.

Chimie organique – Synthèse asymétrique

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur les médicaments

- 1- Définition et dénomination (DCI), Nature, Origine.
- 2- Mécanisme d'action
- 3- Notions sur les cibles des médicaments (protéine, enzyme, récepteurs, médiateur...)

Chapitre II : Les antibiotiques

- 1- Généralités
- 2- Définition d'un Antibiotique
- 3- Critères de classification et modes d'actions
- 4- Principales familles d'antibiotiques
 - Inhibiteurs de la synthèse du peptidoglycane
 - Inhibiteurs de la synthèse protéique
 - Inhibiteurs de la synthèse des acides nucléiques et de leurs précurseurs
- 5- Relation structure activité des Fluoroquinolones
- 6- Methodes de mesure de l'activité antimicrobienne in vitro (diamètre d'inhibition et CMI)
- 7- Synthèse de quelques principes actifs : L'Oxacilline (pénicilline), le Chloramphénicol (phénicolé), L'Ofloxacin (fluoroquinolone), le Linezolid (oxazolidinone)..

Chapitre III : Les Antiinflammatoires

- 1- Généralités
 - Les Antiinflammatoires stéroïdiens (AIS) ou glucocorticoïdes
 - Les Antiinflammatoires non stéroïdiens (AINS classiques)
 - L'enzyme cyclooxygénase, la cascade Arachédonique
 - Les isoformes COX1 et COX2 de la cyclooxygénase
- 2- Principales familles des AINS
 - Les AINS classiques (les salicylés, les pyrazolés, les indoliques, les arylcarboxyliques, les oxicams)
 - Les AINS sélectifs de la COX2 ou Coxibs
- 3- Mécanisme d'action des AINS classiques et les Coxibs
 - Effets indésirables
 - Evaluation de la sélectivité d'un AINS (coxibs)
 - Synthèse de quelques principes actifs : Le SULINDAC, Le METAMIZOLE, Le TENOXICAM.

Chapitre IV : Les Anxiolytiques (Tranquillisants)

- 1- Classes d'anxiolytiques
- 2- Les non benzodiazépiniques (Les carbamates, Les pipérazines ...)

3- Les benzodiazépines

- Structure générale des 1,4- et 1,5- benzodiazépines et nomenclature
- Structures chimiques des benzodiazépines utilisées
- Effets pharmacologiques (anxiolytique, hypnotique, myorelaxant...)
- L'acide gamma aminobutyrique (GABA)
- Le récepteur GABA A
- Mécanisme d'action des benzodiazépines.
- Effets indésirables
- Relation structure activité
- Synthèse chimique : du Diazépam, Flurazépam,

Chapitre V : Les Médicaments antitumoraux

- 1- Généralités sur la chimiothérapie anticancéreuse
- 2- Classes principales et mécanismes d'action (Alkylants, Inhibiteurs des topoisomérases, Antimétabolites, Poisons du fuseau)
- 3- Exemple de synthèse chimique : Chlorambucil (agent alkylant) : mécanisme de synthèse par alkylation de la bis(2-chloroéthyl)amine (étude de mécanisme réactionnel)

Chapitre VI : Médicaments antirétroviraux

- 1- Généralités sur les thérapies antivirales (VIH)
- 2- Classes principales et mécanismes d'action (Inhibiteurs de la transcriptase inverse, Inhibiteurs des protéases virales, Inhibiteurs de fusion, Inhibiteurs de l'intégrase)
- 3- Exemple : synthèse chimique de Zidovudine (AZT) : nucléoside antivirale, synthèse simple basée sur la dérivaison de la thymidine (étude de mécanisme réactionnel)

Travaux pratiques : (Suivant les moyens mis à la disposition de l'équipe pédagogique)

Synthèse d'un antiepileptique (la phénytoïne)

- Synthèse du benzile par oxydation de la benzoïne
- Synthèse de la phénytoïne par action de l'urée sur le benzile
- Purification de la phénytoïne par chromatographie préparative
- Caractérisation de la phénytoïne synthétisée par: point de fusion, IR, RMN ¹H et

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Méthodologie 1

Intitulé de la matière : Formulations pharmaceutiques

Objectifs de l'enseignement.

- Comprendre les principes physico-chimiques fondamentaux régissant la formulation des médicaments. Connaître les différents types de formes pharmaceutiques liquides et semi-solides, leurs avantages, inconvénients et voies d'administration.
- Maîtriser le rôle et le choix des excipients clés, en particulier les tensioactifs.
- Acquérir les compétences pratiques pour préparer et caractériser des formulations simples (solutions, suspensions, émulsions).
- Se familiariser avec les aspects de stabilité et de contrôle qualité de ces formes.

Connaissances préalables recommandées.

Notions sur la technologie des médicaments, la pharmacie galénique et le contrôle qualité des formes pharmaceutiques.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction à la formulation pharmaceutique

Chapitre II : Solutions pharmaceutiques

Chapitre III : Introduction aux systèmes dispersés : suspensions

Chapitre IV : Introduction aux tensioactifs

Chapitre V : Émulsions pharmaceutiques

Chapitre VI : Formes semi-solides : gels, formes semi-solides : crèmes et pommades,

Chapitre VII : Stabilité et contrôle qualité des formes liquides et semi-solides

Les travaux pratiques : (Suivant les moyens mis à la disposition de l'équipe pédagogique)

TP 1 : Détermination qualitative et quantitative de la solubilité d'un PA modèle dans différents solvants (eau, éthanol, huiles).

TP 2 : Préparation d'une solution aqueuse simple (ex: sirop simple, solution antiseptique) : calculs, pesées, dissolution. Contrôles : aspect, limpidité, pH, densité.

TP 3 : Préparation d'une solution hydro-alcoolique pour améliorer la solubilité.

TP 4 : Préparation d'une suspension orale simple (ex: antiacide).

TP 5 : Préparation d'Émulsions Huile/Eau (H/E) – Méthode par agitation simple

TP 6 : Détermination du type d'émulsion (H/E ou E/H) par test de dilution, test de coloration (avec colorant hydrosoluble et liposoluble), mesure de conductivité.

TP 7 : Préparation d'un gel à base de carbomère : neutralisation, dispersion. Préparation d'un gel à base de dérivé de cellulose (ex: HPMC, CMC).

TP 8 : Préparation d'une crème H/E (ex: crème hydratante simple).

TP 9 : Etude de stabilité : Observation de la stabilité (crémage, sédimentation, séparation de phase) d'une émulsion et d'une suspension préparées précédemment, à différentes températures (ex: 4°C, TA, 40°C).

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Découverte

Intitulé de la matière : Reverse engineering

Objectifs de l'enseignement.

Ce module initie les étudiants aux bases du reverse engineering pharmaceutique afin de leur permettre d'analyser et d'optimiser des médicaments existants dans le respect des normes et dans une démarche d'innovation.

Connaissances préalables recommandées.

Notions en techniques analytiques et technologies du médicament

Contenu de la matière :

Chapitre I : Concepts fondamentaux

- Définition et historique du reverse engineering
- Différences avec le forward engineering (conception traditionnelle)
- Applications industrielles : maintenance, innovation compétitive, interopérabilité,

Chapitre II : Échelle TRL (Technology Readiness Level)

- Présentation des 9 niveaux de maturité technologique
- Les niveaux recherche/innovation et les niveaux technologiques,
- Les TRL et le développement de nouveaux produits.
- Les moyens nécessaires

Chapitre III : Cadre juridique et propriété intellectuelle

- Protection des brevets vs droit à l'ingénierie inverse
- Analyse comparative des législations :

Pays	Reverse Engineering Autorisé	Restrictions
États-Unis	Oui (sauf clauses contractuelles)	DMCA anti-contournement

Pays	Reverse Engineering Autorisé	Restrictions
UE	Limité par les directives logiciels	Protection des savoir-faire

- Gestion des risques juridiques dans les contrats technologiques
- Les limites légales : le RE n'est pas interdit c'est l'usage qui peut en être fait qui peut l'être

Chapitre IV : Techniques de déformulation :

- Analyse :
 - 1- Chromatographie (HPLC, GC-MS)
 - 2- Spectroscopie IR/Rama Exploitation/interprétations
- Exploitation/interprétations
 - 1- Séparation des composants
 - 2- Identification des substances actives
 - 3- Analyse des interactions moléculaires

Chapitre V : Les soubassements métiers

Tout enseignant doit donner une couverture (et ouverture) technologique à son cours et attirer l'attention sur les aspects qui peuvent aider -influencer dans une démarche de reverse engineering

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre 3

Intitulé de l'unité : Découverte

Intitulé de la matière : Exploration de logiciels libres et open source de la spécialité

Objectifs de l'enseignement.

- Initier les étudiants aux outils numériques et logiciels open source utilisés en chimie pharmaceutique et en sciences du médicament.
- Former à l'utilisation de logiciels pour l'analyse spectroscopique, la modélisation moléculaire, la formulation, la qualité et le suivi réglementaire.
- Renforcer l'autonomie numérique dans les travaux pratiques, la R&D, le contrôle qualité et le design de médicaments.

Connaissances préalables recommandées.

- Bases en chimie organique, spectroscopie, pharmacochimie et statistiques.
- Familiarité avec la manipulation de données expérimentales et les notions d'IA et de modélisation moléculaire.

Programme pédagogique détaillé :

Chapitre I. Introduction aux outils numériques open source en chimie pharmaceutique

- Principes du libre accès et de l'open source en sciences de la santé
- Panorama des logiciels utilisés : Avogadro, KNIME, Orange, RDKit, Jmol, GROMACS, OpenChrom, SciDAVis, OpenBabel

Chapitre II. Outils de visualisation, construction et analyse moléculaire

- Avogadro : construction de molécules, calculs géométriques, visualisation 3D
- Jmol et PyMOL : visualisation de protéines et complexes ligand-récepteur
- OpenBabel : conversion de formats chimiques et calcul de descripteurs moléculaires

Chapitre III. Spectroscopie et analyse physicochimique

- OpenChrom : analyse de données GC/MS, LC-MS, intégration des pics
- Spectres UV/IR/RMN : traitement et interprétation avec Fityk
- Application à la caractérisation de molécules bioactives

Chapitre IV. Modélisation moléculaire et Drug Design

- RDKit et KNIME pour la chimioinformatique, génération et filtrage de bibliothèques virtuelles
- Introduction au Docking moléculaire avec AutoDock Vina
- Préparation de ligands, cibles et analyse des résultats de docking

Chapitre V. Data science, IA et apprentissage automatique en pharmacie

- Orange Data Mining : classification, régression, prédiction d'activité biologique
- Utilisation de modèles simples pour prédire la solubilité, la perméabilité, ou la toxicité
- Application à l'aide à la décision en formulation et contrôle qualité

Chapitre VI. Études de cas appliquées et mini-projet

- Extraction et traitement de données d'analyse (ex : formulation galénique, bioactivité, données chromatographiques)
- Mini-projet intégrant au moins deux outils open source dans une problématique pharmaceutique réelle (analyse de spectres, Drug Design, IA en contrôle qualité)

Références recommandées :

1. Avogadro: <https://avogadro.cc/>
2. OpenChrom: <https://www.openchrom.net/>
3. KNIME: <https://www.knime.com/>
4. Orange Data Mining: <https://orangedatamining.com/>
5. RDKit: <https://www.rdkit.org/>
6. Fityk: <https://fityk.nieto.pl/>
7. AutoDock Vina: <https://vina.scripps.edu/>
8. Jmol: <https://jmol.sourceforge.net/>
9. GROMACS: <https://www.gromacs.org/>
10. Open Babel: <https://openbabel.org/>

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Unité d'Enseignement Transversale

Intitulé de la matière : Entrepreneuriat, Startup et Innovation

Objectifs de l'enseignement.

Donner aux étudiants une vision globale de l'entrepreneuriat moderne, développer leur esprit entrepreneurial et leur capacité à initier un projet.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Fondements de l'Entrepreneuriat

- Définition, création de valeur par l'innovation et la prise de risque.
- Piliers : opportunité, innovation, gestion du risque, création de valeur.
- Écosystème : chercheurs-entrepreneurs, investisseurs, incubateurs, clusters.
- Processus : Idéation → Validation → Business Plan → Lancement → Croissance.
- Enjeux scientifiques : brevets, normes, financement R&D, équipes pluridisciplinaires.
- Cas pratiques : simulation de dépôt de brevet, recherche de financement.

Chapitre 2 : L'esprit entrepreneurial dans les sciences et technologies

- Comprendre l'entrepreneuriat scientifique et technologique.
- Esprit entrepreneurial : créativité, innovation, résilience, gestion du risque.
- Motivations à entreprendre dans les domaines scientifiques et technologiques.
- Grands secteurs d'opportunités : énergie, santé, matériaux, numérique, environnement, sciences alimentaires.

Chapitre 3 : De la recherche scientifique à l'opportunité entrepreneuriale

- Transformer une découverte scientifique ou technologique en projet entrepreneurial.
- Approche "problème-solution" : identifier un besoin réel.
- Initiation à l'étude de marché pour projets scientifiques.
- Validation rapide d'une idée : prototype minimum viable (MVP), enquêtes, tests utilisateurs.

Chapitre 4 : Construire et modéliser son projet innovant

- Introduction au Business Model Canvas (BMC) pour projets technologiques.
- Définir une proposition de valeur claire et différenciante.
- Identifier ressources, partenaires stratégiques, canaux de distribution.

Chapitre 5 : Lancer son projet scientifique ou technologique

- Étapes clés pour passer de l'idée au projet structuré.
- Sources classiques de financement en phase de démarrage : fonds d'amorçage, concours, soutiens privés.
- Savoir pitcher : vulgariser une innovation pour convaincre investisseurs, partenaires et premiers clients.
- Erreurs fréquentes à éviter : mauvaise évaluation du marché, développement technologique déconnecté du besoin réel.

Chapitre 6 : Réussir et se développer comme entrepreneur scientifique

- Gestion du risque et de l'incertitude dans les projets innovants.
- Stratégies de pivot : adapter son projet selon les retours du marché.
- Leadership scientifique : organiser et animer une équipe pluridisciplinaire.
- Bases de la propriété intellectuelle : brevets, licences, valorisation de l'innovation, protection.
- Entrepreneuriat à impact : répondre aux défis environnementaux, sociaux et économiques.
- Continuer à progresser : réseaux d'innovation, incubateurs, mentors, formations continues.

Références :

1. Verstraete, Thierry, et Fayolle, Alain, *Entrepreneuriat : Fondements et dynamiques*. Édition De Boeck Supérieur, 2005.
2. Julien, Pierre-André, *Entrepreneuriat : devenir entrepreneur : théories et pratiques*. Édition Économica, 2007.
3. Schieb-Bienfait, Nathalie, et Lemoine, Valérie, *Entrepreneuriat : théories et réalités entrepreneuriales*. Édition EMS (Management & Société), 2013.
4. Fayolle, Alain, *Entrepreneuriat : Apprendre à entreprendre*, Édition Dunod, 2014.

Références (Livres et photocopiés, sites internet, etc).