

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

نموذج مطابقة و مواءمة

عرض تكوين
ماستر أكاديمي

2026 – 2025

ميدان	الشعبة	التخصص
علوم المادة	كيمياء	كيمياء البيئة والماء

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 de l'Environnement et de l'Eau

Master Chimie de l'environnement et de l'eau

Semestre : 1

Unité d'Enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP	Autres			Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1 Crédits : 18 Coefficient : 9	Chimie de l'eau et traitements physico-chimiques	45h00	01h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Electrochimie appliquée à l'environnement	67h30	03h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Procédés d'oxydation avancée	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Procédés membranaires et dessalement des eaux	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 1 Crédits : 9 Coefficient : 5	Méthodes chromatographiques d'analyse	45h00	1h30		1h30	55h00	2	4	50%	50%
	Travaux pratiques sur l'analyse et le traitement des eaux	22h30			1h30	27h30	1	2	50%	50%
	Intelligence artificielle et Machine Learning 1	15h00			1h00	10h00	1	1	50%	50 %
	TP électrochimie appliquée à l'environnement	22h30			1h30	27h30	1	2	50%	50 %
UE Découverte Code : UED 1 Crédits : 2 Coefficient : 2	Éléments de microbiologie	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
	Hydrochimie	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
UE Transversal Code : UET 1 Crédits : 1 Coefficient : 1	Législation environnementale	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
Total Semestre 1		375h00	13h30	6h00	5h30	375h00	17	30		

Master Chimie de l'environnement et de l'eau

Semestre : 2

Unité d'Enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP	Autres			Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2 Crédits : 18 Coefficient : 9	Chimie verte et développement durable	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Analyse du sol et traitement des déchets solides	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Procédés de traitements biologiques	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Méthodes spectroscopiques d'analyse	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM2 Crédits :9 Coefficient : 5	TP chimie verte et développement durable	22h30			1h30	27h30	2	2	50%	50%
	TP analyse du sol et traitement des déchets solides <u>et /ou</u> Procédés de traitements biologiques	45h00			03h00	55h00	2	4	50%	50%
	TP Méthodes spectroscopiques d'analyse	22h30			1h30	27h30	1	2	50%	50%
	Intelligence artificielle et Machine Learning 2	15h00			01h00	10h	1	1	50%	50%
UE Découverte Code : UED2 Crédits : 1 Coefficient : 1	Chimie des complexes de coordination	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
	Gestion et valorisation des déchets	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
UE Transversal Code : UET2 Crédits : 1 Coefficient : 1	Techniques de rédaction (Recherche bibliographique)	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
Total Semestre2		375h00	12h0	6h00	07h00	375h00	17	30		

Master Chimie de l'environnement et de l'eau

Semestre : 3

Unité d'Enseignement	Matières	VHS 15 semaines	V.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé		Cours	TD	TP	Autres			Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 3 Crédits : 18 Coefficient : 9	Chimie de l'atmosphère et contrôle de la qualité de l'air	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Catalyse et environnement	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Matériaux conventionnels et émergents : Application à la dépollution	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Déchets dangereux et polluants émergents	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM3 Crédits : 9 Coefficient : 5	Chimiométrie & Plans d'expériences	45h00	1h30		1h30	55h00	2	4	50%	50%
	Travaux pratiques sur les Techniques séparatives	45h00			3h00	55h00	2	4	50%	50%
	Exploration de logiciels open source et libre de la spécialité	15h00			1h00	10h30	1	1	50%	50%
UE Découverte Code : UED 3 Crédits : 2 Coefficient : 2	Energies renouvelables	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
	Capteurs chimiques	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
UE Transversale Code : UET3 Crédits : 1 Coefficient : 1	Entrepreneuriat, Startup et Innovation	22h30	1h30			02h30	1	1		100%
Total Semestre 3		375h00	13h30	6h00	5h30	375h00	17	30		

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).

Semestre : S1

Intitulé de l'unité : Fondamentale

Intitulé de la matière : Chimie de l'eau et traitements physico-chimiques

Objectifs de l'enseignement

Cette matière permettra aux étudiants d'acquérir les connaissances suivantes :

- Changements des propriétés physiques et chimiques de l'eau en fonction de plusieurs paramètres
- Les paramètres de contrôle des eaux
- Les procédés de traitements des eaux

Connaissances préalables recommandées :

Chimie minérale et la chimie analytique

Contenu de la matière :

Partie I Chimie de l'eau

Chapitre I Chimie de l'eau

Rappels sur :

- Représentations de la molécule d'eau selon Lewis et selon le Modèle VSEPR
- Propriétés chimiques de l'eau
- Propriétés Physiques de l'eau
- 1. Oxydant Réducteur de l'eau
- 2. Diagramme de changement de phase de la molécule d'eau
- 3. Variation de la masse Volumique de l'eau en fonction de la température à la pression normale.
- 4. Les propriétés électriques et magnétiques de la molécule d'eau
- 5. Différentes formes du carbone lié au CO_2 en fonction du pH
- 6. La solubilité des sels dans l'eau et les paramètres qui influent la solubilité des sels
- 7. La solubilité des gaz dans l'eau et les paramètres qui influent la solubilité des gaz

Chapitre II : Les paramètres de l'eau

1. Les paramètres organoleptiques de l'eau
2. Détermination de la température, du pH, conductivité, de l'alcalinité et de l'oxygène dissout et leur importance dans la qualité des eaux.
3. Analyse élémentaire du sodium, calcium et du magnésium dans l'eau
4. Différentes méthodes d'analyse des phosphates ; les nitrites et des nitrates

Chapitre III

1. Détermination de la DCO avec différentes méthodes
 - Méthode d'oxydation de la matière organique couplée à la spectrophotométrie
 - Méthode de l'analyse de l'oxygène dissout avant et après l'oxydation
2. Détermination de la DBO par la méthode chimique et la méthode physique en utilisant la loi d'HENRY

Chapitre IV

1. Analyse des micro polluants organiques extractibles par le chloroforme

2. Identification et dosage des résidus de pesticides par différentes méthodes
3. Méthodes de dosage des phénoliques

Chapitre V

- Analyse des métaux lourds par différentes méthodes
- Méthode de dosage complexométrique
- Méthode spectrophotométrie d'absorption atomique

Partie 2 : Traitements des eaux

Chapitre I : Coagulation floculation

1. Mécanisme de la coagulation floculation
2. Les facteurs qui influent la coagulation floculation
3. Différents types de coagulant floculants

Chapitre II : Adsorption

1. Définition de l'adsorption et différents types d'adsorption
2. Les facteurs qui influent l'adsorption
3. Mécanisme d'adsorption en phase aqueuse
4. Modélisation de la cinétique d'adsorption
5. Les isothermes d'adsorption

Chapitre III : Désinfection

1. Principe de la désinfection
2. Mode d'action de désinfectant
3. L'obtention de l'eau de javel
4. L'utilisation du dichlore dans les stations de potabilisation de l'eau

Chapitre IV : Décantation

1. Différents types de décantation
2. Présentation des forces agissant sur la particule pendant la décantation
3. Bassin de décantation et son efficacité

Chapitre V : Filtration et Osmose inverse

1. Notion de filtration efficace
2. Polarisation de la concentration
3. Colmatage
4. Procédé d'osmose inverse

Chapitre VI : Adoucissement de l'eau

1. La dureté de l'eau
2. Différentes méthodes d'adoucissement de l'eau par décarbonatation
3. Elimination de la dureté permanente
4. Adoucissement de l'eau par échange d'ions
5. Adoucissement de l'eau par le procédé électrolytique

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Chimie des eaux, Auteur : Monique Tardat Henry Edition Modilo INC
- Chimie des oxydants et traitement des eaux, Auteur : DORME M. Edition : Office international de l'eau.
- Traitement des eaux., Auteur : Raymond DESJARDINS. Presses inter polytechnique.

Semestre : 1

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Electrochimie appliquée à l'environnement

Objectifs de l'enseignement

Maîtriser les principales techniques électrochimiques d'analyse

Connaissances préalables recommandées :

L'étudiant doit avoir suivi les enseignements sur les notions de base des réactions d'oxydoréduction.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Thermodynamique des réactions électrochimiques

I. Rappel des notions d'électrochimie (réaction électrochimique, système électrochimique, double couche électrochimique, potentiel électrochimique, Relation de Nernst, L'électrolyse et les lois de Faraday, Polarisation et les courbes de polarisation, Théorie de la cinétique électrochimique....

Chapitre II : Corrosion des matériaux

I. Phénomène de corrosion

I.1. Définition

I.2. Effets et enjeux de la corrosion

I.2.1. Sur l'environnement

I.2.2. Sur les biens

I.2.3. Impact des gaz corrosifs sur la santé

I.3 diagrammes E-pH (Construction des E-pH de l'eau, du fer et d'autres métaux....)

Utilisation du diagramme E-pH dans le domaine de la corrosion

I.4. Les différents types de corrosion

Corrosion généralisée (uniforme) ...

Corrosion par piqûres localisée. ...

Corrosion caverneuse localisée. ...

Corrosion sous contrainte. ...

Corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux. ...

Fragilisation par l'hydrogène. ...

Corrosion inter cristalline. ...

Corrosion galvanique.

II. Les facteurs affectant de la corrosion

II.1. Influence du milieu

II.2. Influence de l'état de surface

II.3. Condition d'utilisation des pièces

II.4. Forme des pièces métalliques

II.5. Choix des matériaux....

III. Mesurer électrochimique de la vitesse de la corrosion

III.1. Mesure de la perte de poids :

III.2. Techniques électrochimiques

Extrapolation des droites de Tafel

Mesure de la résistance de polarisation

Impédance électrochimique

Chapitre III : Protections contre la corrosion

I. Introduction

II. Les différents types de protection

II.1. Protection naturelle

II.2. Protection artificielle

II.3. Protection chimique

II.4. Traitement de surface

II.5. Protection électrochimique (Protection cathodique et protection anodique)

II.6. Protection par inhibiteur

Chapitre IV : Méthodes électrochimiques de dépollution

I.1. Introduction

I.2. L'électrocoagulation

I.3. Electroflottation

I.4. L'électrodéposition

I.5. L'électrolyse et l'électro-électrolyse

I.6. Electro-activation

I.7. Electro-Fenton

I.8. Procédés d'oxydation avancés

Photocatalyse hétérogène

Elimination des contaminants par oxydation électrochimique

Photoélectrocatalyse

I.9. Electrochimie et récupération des métaux.

Chapitre V : L'électrochimie et énergies renouvelables : production et stockage

1.- Généralités sur les piles

2.- La pile de type Leclanché

a- Pile saline

b- Pile alcaline

3. Autres types de piles alcalines

a- Pile à oxyde de mercure

b- Pile Argent zinc

c- Pile Metal/air, exemple : air zinc

d- Pile à combustible

2- Accumulateurs électrochimiques

1. Généralités sur les accumulateurs

2. L'accumulateur au plomb

3. Les accumulateurs alcalins

4. Les accumulateurs au Lithium

Chapitre VI : La bioélectrochimie ; méthodes électrophorétiques de séparation.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- « Électrochimie : des concepts aux applications » F. Miomandre, S. Sadki, P. Audebert et R. Méallat-Renault Ed. Dunod (2005)
- « L'électrochimie : fondamentaux avec exercices corrigés » C. Lefrou, S. Sadki, P. Fabry et J.-C. Poignet Ed. EDP Sciences, Collection Grenoble Sc. (2009)
- « Électrochimie : principes, méthodes et applications » A. J. Bard, L. R. Faulkner, R. Rosset et D. Bauer Ed. John Wiley & Sons (2001)

Semestre :1

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Procédés d'oxydation avancée

Objectifs de l'enseignement

L'objectif principal de ce module est de permettre aux étudiants de Master de comprendre et de maîtriser les principes et les applications des procédés d'oxydation avancée (POAs) dans le traitement des eaux polluées. À travers ce module, les étudiants seront amenés à prendre conscience des enjeux liés à la pollution de l'eau et des limites des techniques de traitement conventionnelles, ce qui justifie l'intérêt croissant pour des technologies plus performantes telles que les POAs

Connaissances préalables recommandées :

Chimie organique, Cinétique chimique, des connaissances en chimie de l'environnement et des méthodes analytiques

Contenu de la matière :

Chapitre 1: Introduction générale

- 1.1 Présentation du problème de la pollution de l'eau
- 1.2 Limite des méthodes de traitement conventionnelles
- 1.3 Intérêt des procédés d'oxydation avancée (POA)

Chapitre 2 : Fondements théoriques des Procédés d'Oxydation Avancée

- 2.1 Définition des POA
- 2.2 Principe de formation des radicaux hydroxyles ($\bullet\text{OH}$)
- 2.3 Mécanismes de dégradation des polluants organiques
- 2.4 Paramètres influents (pH, température, DCO, TOC...)

Chapitre 3 : Classification des Procédés d'Oxydation Avancée

- 3.1 Oxydation chimique
 - 3.1.2 Ozonation (O_3)
 - 3.1.3 Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)
 - 3.1.4 Réaction de Fenton et photo-Fenton
- 3.2. Oxydation photochimique
 - 3.2.1 UV/ H_2O_2
 - 3.2.2 UV/ O_3
 - 3.2.3 Photocatalyse TiO_2 /UV
- 3.3 Oxydation électrochimique
 - 3.3.1 Electro-Fenton
 - 3.3.2 Oxydation anodique
- 3.4 Procédés combinés

Chapitre 4 : Étude des paramètres opératoires

- 4.1 Effet du pH

4.2 Influence de la concentration des oxydants

4.3 effet de la concentration en polluant

4.4 Temps de traitement

4.5 Effet de la temperature

Chapitre 5 : Applications pratiques des POA et évaluation de l'efficacité des POA

5.1 Traitement des eaux industrielles (textile, pharmaceutique , ...)

5.2 Suivi de la cinétique de dégradation

5.3 Indicateurs : DCO, TOC, biodégradabilité (BOD₅)

5.4 Méthodes analytiques (UV-Vis, COT, HPLC...)

Chapitre 6 : Avantages et limites des POA

6.1 Avantages : efficacité, absence de résidus, minéralisation

6.2 Limites : coût, énergie, formation de sous-produits

6.3 Comparaison avec d'autres technique

Chapitre 7 : Enjeux économiques, environnementaux et innovations dans les POAs

7.1 Aspects économiques et environnementaux

7.1.1 Analyse technico-économique des procédés

7.1.2 Consommation en réactifs et en énergie

7.1.3 impacts environnemental et stratégies d'optimisation

7.2 Perspectives et innovations

7.2.1 Utilisation de la lumière solaire dans les POA

7.2.2 Nouveaux catalyseurs et matériaux

7.2.3 Couplage POA avec d'autres technologies (membranes, ultrasons ou plasma)

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

Zaviska, F., Drogui, P., Mercier, G. and Blais, J.-F. (2009) Procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels: Application à la dégradation des polluants réfractaires. *Revue des sciences de l'eau*, 22, 535-564.

Anaëlle Gabetm Évaluation de procédés d'oxydation avancée pour le traitement des micropolluants organiques émergents en sortie de petites et moyennes stations de traitement des eaux usées. Soutenue publiquement le 1er décembre 2022. These de doctorat.

Sameh, J., Wali, A., Buonerba A., Zarra, T., Belgiorno, V., Naddeo, V., Ksibi, M., (2020) Efficient and Sustainable Treatment of Tannery Wastewater by a Sequential Electrocoagulation-UV Photolytic Process, *Journal of Water Process Engineering* Volume 38, 10142,

Topolovec, B., Nevena Puac, N., Petrovic M., (2022) Pathways of organic micropollutants degradation in atmospheric pressure plasma processing, *Chemosphere*. 294,,133606

Malika Mokhtari et Hafida Gaffour *Les procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux* par . Edition universitaires europeennes, 24-02-2012.

Thmas Oppenländer, Advanced Oxidation Processes (AOPs): Principles, Reaction Mechanisms, Reactor Concepts, Éditeur : Wiley-VCH -2003.

Semestre : 1

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Procédés membranaires et dessalement des eaux

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les fondements scientifiques des procédés membranaires.
- Identifier et comparer les différentes technologies membranaires (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse, électrodialyse...) en fonction de leurs caractéristiques, avantages, limitations et domaines d'application dans le traitement de l'eau et la gestion des effluents.
- Analyser, modéliser et dimensionner un procédé membranaire, en intégrant les aspects techniques (bilans matière, flux, pression), opérationnels (colmatage, nettoyage) et environnementaux.
- Évaluer la pertinence économique et environnementale des technologies membranaires.
- Mobiliser les procédés membranaires dans des problématiques concrètes d'environnement et d'eau.

Connaissances préalables recommandées : Chimie Analytique, Chimie des solutions, Chimie des complexes métalliques, techniques d'analyses physico-chimiques

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction aux procédés membranaires (2 semaines)

- Historique et développement des membranes.
- Définitions et généralités sur les membranes.
- Classification des procédés membranaires (MF, UF, NF, RO, ED, etc.).
- Typologie des membranes (organique, inorganique, composites).
- Paramètres clés : perméabilité, sélectivité, polarisation de concentration - Résistance chimique, thermique, mécanique.
- Applications générales dans l'environnement et le traitement de l'eau.

Chapitre 2 : Caractéristiques des membranes et phénomènes de transfert (2 semaines)

- Principes de transport à travers les membranes.
- Mécanismes de transport (diffusion, convection, électromigration).
- Modèles de transfert (loi de Darcy, modèle de solution-diffusion, etc.).

Chapitre 3 : Procédés membranaires et domaines d'application (2 semaines)

- Microfiltration, ultrafiltration et filtre-presse : traitement des eaux usées, effluents industriels.

- Nanofiltration et osmose inverse : dessalement, réutilisation de l'eau.
- Électrodialyse : déminéralisation, récupération de ressources.
- Membranes organiques vs inorganiques.
- Rejets et limites d'utilisation.

Chapitre 4 : Conception, dimensionnement et modélisation des systèmes membranaires (2 semaines)

- Bilans matière et énergétique.
- Paramètres de fonctionnement : flux, pression, récupération.
- Calculs de dimensionnement.
- Fouling (colmatage) et stratégies de nettoyage.

Chapitre 5 : Techniques membranaires pour le dessalement - Partie I : Osmose Inverse (2 semaines)

- Principe de l'osmose inverse (OI).
- Équipements et configuration des systèmes OI.
- Paramètres d'influence : pression, température, concentration, polarisation.
- Rejets, qualité d'eau produite, énergie consommée.
- Exemples d'unités de dessalement (eau de mer, eau saumâtre, recyclage urbain).

Chapitre 6 : Techniques membranaires pour le dessalement - Partie II : Autres procédés (2 semaines)

- Nanofiltration et ultrafiltration dans le prétraitement du dessalement.
- Électrodialyse, ED inverse.
- Comparaison des procédés en termes de rendement, coût et énergie.

Chapitre 7 : Encrassement, nettoyage et maintenance des systèmes membranaires (2 semaines)

- Types d'encrassement : biofouling, scaling, colmatage organique et particulaire.
- Méthodes de prévention : prétraitement, choix des matériaux.
- Protocoles de nettoyage (CIP, agents chimiques).
- Suivi et diagnostic des performances membranaires.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références bibliographiques :

- M. Mulder, «Basic Principles of membranes Technology», Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, (1991).

- J. P. Brun, «Procédés de séparation par membranes: transport, techniques membranaires- Applications», Edition Masson, Paris, (1989).
- J.A. Jönsson et L. Mathiasson, «Liquid membrane extraction in analytical sample preparation», 18, Elsevier, (1999).
- P. Eriksson, «Nanofiltration extends the range of membrane filtration», Environmental Progress, 7(1), (1988).
- A. Maurel, «Techniques séparatives à membranes : osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration tangentielle-Considérations théoriques», Techniques de l'Ingénieur, 1-24, (1993).
- R. Ben Aim, M. G. Liu, S. Vigneswaran, «Recent Development of membrane processes for water and waste water treatment», Water Science Technology, 27(10), 141-149, (1993).
- A. Maurel. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce», Tec et Doc-Lavoisier, 2 7ME Edition, (2006).
- *Desalination: Water from Water*, **Jane Kucera**. 2nd edition , Wiley (2019).
- Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. Crini, G., Montiel, A. J., & Badot, P. M. Presses Univ. Franche-Comté (2007).

Semestre : 1

Unité d'enseignement : Méthodologie

Intitulé de la matière : Méthodes chromatographiques d'analyse

Objectifs de l'enseignement : Acquisition des connaissances sur la chromatographie et les différentes techniques de séparation chromatographiques.

Connaissances préalables : Notions de base sur les phénomènes de surface, le transfert de matière, la chimie générale et la chimie organique.

Contenu de la matière :

Chapitre I. Généralités et Analyse qualitative et quantitative en Chromatographie (3 h)

- Généralités : (principe, aspect thermodynamique, grandeurs de rétention et de séparation, efficacité des colonnes).
- Méthodes d'analyse qualitative et de caractérisation des phases stationnaires (comparaison des temps de rétention et des indices de rétention (indice de Kovats), couplage aux appareils spectroscopiques, constante de Mc Reynold).
- Méthodes d'analyse quantitatives (Principe (relation quantité ou concentration d'analyte-aire du pic), méthode de l'étalonnage externe, méthode des ajouts dosés, méthode de l'étalonnage interne, méthode de normalisation des aires).

Chapitre II. Chromatographie planaire : Chromatographie sur couche mince et Chromatographie sur papier (2 h)

- Principe et applications de la chromatographie planaire
- Nature des phases stationnaire et mobile
- Procédure d'analyse
- Paramètres de séparation (rapport frontal, facteur de rétention, facteur de résolution, facteur de sélectivité, efficacité)
- Chromatographie sur couche mince bidimensionnelle

Chapitre III. Chromatographie en phase gazeuse (CPG) (3 h)

- Principe et applications de la CPG
- Types de chromatographie gazeuse
- Facteurs affectant la séparation par CPG (température, débit de gaz vecteur, longueur de la colonne, nature de la phase stationnaire).
- Appareillage de la CPG (gaz vecteur, chambre d'injection, colonne et les constituants d'une colonne, les détecteurs en CPG).

Chapitre IV. Chromatographie liquide classique (1 h)

- Principe
- Procédures de mise en œuvre de la CPL classique
- Applications et inconvénients.

Chapitre V. Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (3 h)

- Principe et applications
- Appareillage de la HPLC
- Les phases stationnaires et mobiles utilisées en chromatographie liquide d'adsorption et en chromatographie liquide de partage, aperçue sur les phases utilisées dans les autres techniques de chromatographie liquide.

Chapitre VI. Chromatographie d'exclusion stérique (CES) (2 h)

- Principe et applications de la CES

- Types de chromatographies d'exclusion
- Théorie de la chromatographie d'exclusion
- Appareillage spécifique de la CES
- Les phases stationnaires et mobiles de la CES.

Chapitre VII. Chromatographie ionique (2 h)

- Principe et applications
- Appareillage
- Les phases stationnaires et mobiles
- Mécanisme de séparation en chromatographie ionique.

Chapitre VIII. Chromatographie en phase supercritique (2 h)

- Principe et applications
- Les fluides supercritiques
- Appareillage
- Les phases stationnaires et mobiles.

Chapitre IX. Autres techniques chromatographiques (3 h)

Principe et applications, phases stationnaire et mobile des techniques de :

- Chromatographie d'affinité
- Chromatographie chirale
- Electrochromatographie capillaire

Travaux pratiques :

Des travaux pratiques utilisant les diverses techniques chromatographiques :

Chromatographie sur couche mince CCM, Chromatographie sur colonne, Chromatographie en phase gazeuse CPG, Chromatographie liquide à haute performance HPLC.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

REFERENCES

[1]. Douglas A. Skoog, Donald M. West et F. James Holler, « Chimie analytique », Edition de boeck, Bruxelles, Belgique, (1997).

[2]. Francis Rouessac, Annick Rouessac et Daniel Cruché, « Analyse Chimique/ Méthodes et Techniques instrumentales modernes », 6^{ème} édition, DUNOD, Paris, France, (2004).

[4]. Francis Rouessac et Annick Rouessac, « Analyse Chimique/ Méthodes et Techniques instrumentales modernes », 7^{ème} édition, DUNOD, Paris, France, (2009).

[5]. G. Mahuzier et M. Hamon, « Abrégé de chimie analytique – Méthodes de séparation », Tome 2, Edition Masson, Paris, France, (1990).

Semestre :1

Intitulé de l'unité : Méthodologie

Intitulé de la matière : Travaux pratiques sur l'analyse et le traitement des eaux

Objectifs de l'enseignement :

Mettre en pratique les notions théoriques relatives aux diverses méthodologies de traitements des eaux.

Connaissances préalables :

Chimie de l'eau et procédés d'oxydation avancée.

Contenu de la matière :

Partie 1 :

TP N°1 : Coagulation - Flocculation

TP N°2 : Elimination de la couleur par adsorption

TP N°3 : Détermination de l'alcalinité et de la dureté d'une eau

TP N°4: Adoucissement des eaux naturelles

Partie 2 :

TP N°1 : Elimination des composés organiques par le procédé Fenton : Application à la solution synthétique du colorant bleu de méthylène

TP N°2 : Détermination de l'énergie d'activation durant la dégradation du BM par le procédé Fenton.

TP N° 3 : Elimination d'un colorant par le procédé photocatalytique

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : Intelligence artificielle et Machine Learning 1

Objectifs de l'enseignement :

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 de la matière :

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.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

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

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP d'électrochimie appliquée à l'environnement

Objectifs de l'enseignement :

Ces TP permettent de relier théorie et pratique avec des outils accessibles. L'interprétation des données peut aller jusqu'à la modélisation ou la rédaction de rapports professionnels. Aussi, tous les TP peuvent être modifiés pour s'adapter à l'équipement disponible.

Contenu de la matière :

TP 1 : Dépollution de l'eau par électrocoagulation

Objectif : Étudier la capacité de l'électrocoagulation à éliminer des colorants ou des métaux lourds d'une solution aqueuse.

Exploitation : Analyse UV-Vis (ou même analyse visuelle)

Matériel :

- Électrodes en aluminium ou fer (plaques ou fil)
- Source de courant continu (pile 9V ou alimentation de labo)
- Bécher, agitateur
- Colorant alimentaire ou solution de Cu^{2+} / Pb^{2+} (faible concentration)

Paramètres à étudier : Tension, durée, distance entre électrodes, pH

TP 2 : Pile électrochimique à base de déchets (pile verte)

Objectif : Construire une pile à partir de matériaux recyclés et comparer son rendement à des piles commerciales.

Exploitation : Comparaison de tensions produites, mesure de la durée de fonctionnement

Matériel :

- Électrodes : cuivre, zinc, graphite (mine de crayon)
- Électrolytes : jus de citron, vinaigre, solution saline
- Contenants plastiques ou verres
- Multimètre pour mesurer tension et intensité

TP 3 : Détection électrochimique de polluants (nitrates, métaux lourds)

Objectif : Réaliser une voltammétrie pour détecter des ions nitrate, plomb ou cuivre dans une solution modèle.

Exploitation : Courbes courant-potentiel, mise en évidence de pics caractéristiques

Matériel :

- Cellule électrochimique à 3 électrodes (fabriquée maison si nécessaire)
- Électrode de graphite (mine), fil de Cu ou Ag
- Potentiostat rudimentaire ou interface Arduino + logiciel gratuit (comme OpenElectrons)

TP 4 : Étude de la corrosion de métaux en milieu acide ou salé

Objectif : Étudier la corrosion électrochimique du fer ou du zinc selon les conditions du milieu.

Exploitation : Courbes de corrosion, taux de corrosion, pH influence

Matériel :

- Clous en fer, morceaux de zinc
- Solutions de NaCl, HCl dilué, eau déminéralisée
- Multimètre pour mesure de potentiel de corrosion
- Chronomètre, balance (perte de masse)

TP 5 : Fabrication et test d'un capteur électrochimique simple pour le suivi de pH ou de CO₂

Objectif : Concevoir un capteur rudimentaire basé sur une réaction redox sensible au pH ou au CO₂ dissous.

Exploitation : Sensibilité du capteur, comparaison avec mesures standard

Matériel :

- Électrode en graphite ou platine
- Solution de permanganate ou indicateur redox
- Eau carbonatée (CO₂ dissous)
- pHmètre ou mesure de potentiel

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : S1

Intitulé de l'unité : Découverte

Intitulé de la matière : Eléments de microbiologie

Objectifs de l'enseignement

1. Comprendre le rôle des microorganismes dans les cycles biogéochimiques (C, N, P.).
2. Maîtriser les techniques d'analyse microbiologique des eaux et sols contaminés.
3. Étudier les mécanismes de biodégradation des polluants (hydrocarbures, métaux lourds, pesticides).

Contenu de la matière :

CHAPITRE I : Introduction à la Microbiologie Environnementale

Objectif : Comprendre la diversité microbienne et son rôle dans les écosystèmes.

1. Diversité du monde microbien : Définition et historique :
2. Classification du vivant :
 - Groupes majeurs :
 - Procaryotes : Bactéries, Cyanobactéries).
 - Eucaryotes : Champignons, protozoaires.
 - Archées (rôle en milieux extrêmes).
 - Virus: Structure, spécificité hôte.

CHAPITRE II : Bactériologie Appliquée

Objectif : Maîtriser la structure et la physiologie bactériennes pour les procédés de traitement.

1. Structure bactérienne :
 - Paroi (Gram+/Gram-), capsule, flagelles, plasmides.....
2. Classification des bactéries
3. Morphologie des bactéries
4. Nutrition et croissance :
 - Nutrition bactérienne
 - Les substances élémentaires (Les Eléments Constitutifs)
 - Les substances énergétiques
 - Besoins spécifiques en facteurs de croissance
 - Croissance Bactérienne
 - La fission binaire et la croissance bactérienne
 - Facteurs de croissance (température, pH, O₂.....).
 - Mesure de la croissance bactérienne
 - Croissance des bactéries en milieu non renouvelé.
 - Courbe de croissance.
 - Les paramètres de croissance.
 - Croissance en Milieu renouvelé : Croissance En Culture Continue
5. Rôle des microorganismes dans les cycles biogéochimiques
Cycle du carbone, de l'azote, du soufre et du phosphore.

CHAPITRE III : Microbiologie de l'Eau et des Sols

Objectif : Appliquer les concepts aux pollutions et traitements.

1. Bactériologie des eaux

Eaux usées/potables : Pathogènes (*E. coli*.....), indicateurs de qualité.

2. Bioremédiation

Biodégradation des hydrocarbures, biolixiviation des métaux lourds.....

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Références :

- Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. (2021). Brock Biology of Microorganisms. Pearson.
- Willey, J.M., Sherwood, L., & Woolverton, C.J. (2020). Prescott's Microbiology. McGraw-Hill.
- **ONA Algérie** (2023). *Guide des Normes Microbiologiques des Eaux Usées*.
- **WHO** (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality* (microbiological parameters).

Semestre : S1

Unité d'enseignement : Découverte

Intitulé de la matière : Hydrochimie

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif est de doter les étudiants en chimie d'une compréhension globale des processus hydrogéologiques et des compétences pour analyser et gérer l'eau souterraine, tout en prenant en compte les dimensions environnementales et sociales.

Connaissances préalables recommandées :

Une bonne maîtrise des concepts de base de la géologie comme structure de la terre et comprendre la composition de la croûte terrestre ainsi que la chimie de l'eau comme propriétés physiques et chimiques de l'eau qui sont important pour l'analyse des eaux souterraines.

Contenu de la matière :

Chapitre 1: L'eau sur la Terre

1. Cycle de l'eau
2. Eaux superficielles
- 3 Précipitations, évapotranspiration

Chapitre 2: Introduction à l'hydrogéologie ou l'hydrochimie

1. Définition et enjeux de l'hydrogéologie
2. Rôle de l'hydrogéologie dans la gestion des ressources en eau
3. Bilans hydrologiques et hydrogéologiques
4. Importance pour l'industrie chimique et environnementale
5. Terminologie de base (aquifères, nappes phréatiques, etc.)

Chapitre 3 : Propriétés de l'eau souterraine

1. **Propriétés physiques et chimiques de l'eau souterraine**
 - 1.1.Solubilité des minéraux, pH, conductivité, concentration en ions
 - 1.2.Relation entre les paramètres chimiques et géochimiques des eaux souterraines
 - 1.3.Influence de la température, de la pression et des conditions géologiques sur les propriétés de l'eau
2. **Processus chimiques dans les aquifères**
 - 2.1.Équilibres chimiques et réactions dans les eaux souterraines
 - 2.2.Spéciation chimique, précipitation, dissolution, adsorption et désorption

Chapitre 4 : Mécanismes d'écoulement de l'eau souterraine

1. **Hydrodynamique des aquifères**
 - 1.1. Lois de Darcy, perméabilité et conductivité hydraulique
 - 1.2. Modèles d'écoulement (limités et non limités par la capillarité)
 - 1.3. Diffusion et dispersion des solutés
2. **Répartition des eaux souterraines et types d'aquifères**
 - 2.1. Aquifères libres, semi-confinés et confinés

2.2. Aquifères karstiques et fractures

Chapitre 5: Contaminants chimiques et gestion des eaux souterraines

1. **Sources de contamination des eaux souterraines**
 - 1.1. Pollution par les métaux lourds, pesticides, hydrocarbures, etc.
 - 1.2. Interaction entre contaminants chimiques et minéraux dans les aquifères
2. **Méthodes de dépollution des eaux souterraines**
 - 2.1. Traitement physico-chimique des eaux souterraines
 - 2.2. Technologies de dépollution : pompage et traitement
3. **Gestion des eaux souterraines en milieu industriel**
 - 3.1. Gestion des nappes phréatiques dans le cadre des activités chimiques et industrielles
 - 3.2. Études de cas sur la contamination et réhabilitation d'aquifères

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Référence :

- Bruno Arfib Université Aix-Marseille « Cours d'Hydrogéologie générale » www.Karsteau.fr
- Hydrogéologie : objets, méthodes, applications, Gilli, Mangan et Mudry, éditions Dunod, 2004.
- L'hydrogéologie, principes et méthodes. Castany, éditions Dunod, 1998.
- Environnements géologiques et activités humaines, Chamley, éditions Vuibert, 2002
- **Appelo, C.A.J. et Postma, D.** (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2e édition). Balkema Publishers.

Semestre : S1

Intitulé de l'unité : Transversale

Intitulé de la matière : Législation environnementale

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif principal de cette unité est de permettre aux étudiants d'acquérir une compréhension approfondie des fondements juridiques de la protection de l'environnement. Elle vise à les familiariser avec les principaux textes législatifs et réglementaires encadrant la gestion de l'environnement à l'échelle nationale. À travers l'analyse des grands principes juridiques, des institutions compétentes et des mécanismes de mise en œuvre, les étudiants seront amenés à cerner les outils essentiels du droit environnemental.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction au droit de l'environnement

- Définition, caractéristiques et spécificités du droit de l'environnement
- Étude de la législation environnementale Algérienne

Chapitre 2: Cadre juridique national

- La Constitution algérienne et le droit à un environnement sain
- La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement
- Textes réglementaires d'application (Loi, Ordonnance, Décision, Décret, Arrêté, Circulaire)

Chapitre 3 : Les principes gestionnaires du droit de l'environnement

- Principe de prévention
- Principe de précaution
- Principe de « pollueur-payeur »
- Principe de participation citoyenne

Chapitre 4: Outils de mise en œuvre du droit environnemental

- Étude d'impact sur l'environnement (EIE)
- Audit environnemental
- Contrôle et suivi par les institutions compétentes
- Systèmes de permis et autorisations

Chapitre 5: Domaines environnementales réglementés

- Gestion des ressources en eau
- Gestion des déchets
- Protection de l'air et lutte contre les nuisances
- Préservation de la biodiversité et des écosystèmes naturels
- Urbanisme et aménagement du territoire

Chapitre 6 : Auteurs et collaborateurs de la gouvernance environnementale

- Le rôle de l'État (ministères, agences, inspections)

- Les collectivités locales
- Les entreprises et opérateurs économiques

Chapitre 7 : Le droit international de l'environnement

- Principales conventions ratifiées par l'Algérie (Rio, Kyoto, Paris, etc.)
- Intégration du droit international dans le droit national
- Engagements régionaux (Union africaine, UMA)
- Organismes Internationaux Programme des nations unies pour l'environnement (PNUE)
- Décrets et Circulaires d'application

Chapitre 8 : Limites du droit de l'environnement, défis et perspectives

- Limites du cadre juridique actuel
- Propositions de réforme
- Transition écologique et développement durable

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Références :

Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement en Algérie

Code de l'environnement (extraits)

Ouvrages de droit public ou droit de l'environnement

Semestre : 2

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Chimie verte et développement durable

Objectifs de l'enseignement :

L'enseignement de cette unité vise la formation de chimistes capables de répondre aux enjeux environnementaux en intégrant les principes de la chimie verte et du développement durable dans leurs pratiques de formulation, de synthèse et d'analyse. Ainsi, à l'issue de cet enseignement l'étudiant sera capable de :

- Comprendre les impacts environnementaux des procédés chimiques et appliquer les principes de la chimie verte,
- Evaluer l'efficacité environnementale d'une synthèse chimique via des indicateurs (E-factor, EMR, ACV...).
- Proposer des alternatives propres, efficaces et durables en formulation, synthèse ou analyse,
- Effectuer une analyse de cycle de vie (ACV) de produits et /ou de procédés chimiques et s'inscrire dans une logique d'économie circulaire appliquée à la chimie.
- Au final, être capable de concevoir une synthèse label chimie verte

Connaissances préalables :

Chimie organique et chimie fine (réactions, mécanismes, conditions,...) ; Techniques d'analyse (CCM, CPG, IR, ...), Chimie analytique (dosage, échantillonnage, erreurs,) et notions de sécurité de laboratoire

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Chimie et enjeux planétaires

- 1- Image de la chimie XX^{ème} siècle (CMR, thalidomide, DDT, accidents industriels, accidents nucléaires...)
- 2- Développement durable (définition, historique, fondement, piliers, objectifs)
- 3- Défis du XXI^e siècle pour les chimistes (produire, prévenir, recycler)

Chapitre 2 : La chimie verte et le développement durable

- 1- Origines et fondements de la chimie verte (historique, définition selon P.Anastas & J. Warner, concepts et relation avec le développement durable)
- 2- Les 12 principes de la chimie verte (économie d'atome, catalyse, prévention...)
- 3- La synthèse idéale (caractéristiques, exemples : les réactions multi composants RMCs, les réactions Domino,...)
- 4- Application des principes de la chimie verte en synthèse organique
- 5- Application des principes de la chimie verte en chimie analytique
- 6- Exemples industriels :
 - Synthèse de : l'ibuprofène, l'acide ascorbique, caprolactame, naproxène,....
 - Synthèse enzymatique

Chapitre 3 : Outils d'analyse de procédés et indicateurs de durabilité

- 1- Rendement écologique et rendement chimique

- 2- E-factor, PMI (Process Mass Intensity), intensité énergétique, EMR, PRM
- 3- Concept de « produit utile » et application pour une chimie durable
- 4- Optimisation ou modélisation par le Modèle mathématique de Xavier Bataille
- 5- Application du modèle mathématique à quelques réactions classiques : additions, substitution, estérification, RMC,....
- 6- Études de cas pratiques (exemples de procédés industriels)

Chapitre 4 : Solvants et alternatives durables

- 1- Problématique environnementale des solvants organiques classiques (définition, rôle, impact environnemental et sanitaire, ...)
- 2- Règlementation REACH et substitution de solvants
- 3- Solvants alternatifs ou solvant verts :
 - Critères de sélection d'un solvant vert,
 - Solvants biosourcés (exemple et applications)
 - Liquides ioniques et eutectiques profonds (Historique, synthèse, nomenclature et applications)
 - CO₂ supercritique (définition, formation, applications)
 - Eau comme solvant universel (structure, hydrophobicité, hydrophilie, exemples de synthèses efficaces dans l'eau)

Chapitre 5 : Chimie sans solvant et procédés alternatifs

- 1- Réactions en phase solide : fusion, broyage mécanique (avantages, limites et exemples)
- 2- Réactions assistées par micro-ondes et ultrasons (avantages, limites et exemples)
- 3- Réactions assistées par rayonnement photochimique (avantages, limites et exemples)
- 4- Techniques en flux continu (avantages, limites et exemples)

Chapitre 6 : Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée à la chimie

- 1- Définition de l'ACV (principes, méthodologie et cadre normatif (ISO 14040/44))
- 2- Importance de l'ACV dans l'évaluation de la durabilité des produits chimiques
- 3- Les quatre étapes d'une ACV (Extraction des matières premières, Fabrication / transformation, Utilisation, Fin de vie / traitement / recyclage)
- 4- Applications de l'ACV en chimie verte (exemple : ACV comparative entre savon solide et savon liquide)
- 5- Intégration des résultats de l'ACV dans les décisions industrielles

Chapitre 7 : Chimie verte et économie circulaire (déchets, valorisation et énergie)

- 1- De la chimie linéaire à la chimie circulaire
- 2- Économie circulaire et chimie verte (intégration des principes de la chimie verte dans une logique d'économie circulaire)
- 3- Transformation des déchets en produits réutilisables : récupération et valorisation des sous-produits.
- 4- Réduction des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ dans les procédés chimiques.
- 5- Exemples pratiques :
 - Recyclage du glycérol issu du biodiesel

- Valorisation de la lignine et autres résidus de biomasse
 - Captation et valorisation du CO₂
- 5- Proposition d'un schéma circulaire pour un procédé existant

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

Poux M., Cognet P., Gourdon C. *Génie des procédés durables*, Dunod, 2011.
Baird C., Cann M. *Chimie de l'environnement*, 5^e éd., De Boeck Supérieur, 2016.
Augé J., Scherrmann M.-C. *Chimie verte – Concepts et applications*, CNRS Éditions, 2016.
Collet S. *La chimie verte et alternative prépare l'avenir*, JESPC, Nantes, 2010.
Michel S. *Le développement durable à découvert*, CNRS Éditions, 2013.
Anastas P.T., Warner J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
Technique de l'ingénieur et sites internet

Semestre : S2

Unité d'enseignement : Unité fondamentale

Intitulé de la matière : Analyse du sol et traitement des déchets solides

Objectifs de l'enseignement :

L'enseignement de cette matière est essentiel et aussi fondamental. La première partie permettra aux étudiants d'acquérir les connaissances de base de l'analyse et traitement des sols contaminés avec différentes méthodes et la seconde partie leur offrira des connaissances approfondies des procédés thermiques et les mécanismes qui agissent durant le traitement. Elle permet aussi d'acquérir le concept de traitement et de valorisation des déchets.

Connaissances préalables recommandées :

La thermodynamique, la cinétique et les bases fondamentales de la chimie

Contenu de la matière :

Chapitre I : Analyse du sol

1. Analyse de la structure du sol (argile- limon et le sable) en utilisant le triangle de texture.
2. Analyse de l'acidité du sol et sa capacité d'échange cationique
3. Détermination de la matière organique du sol
4. Analyse de la matière minérale du sol

Chapitre II : Traitement du sol contaminé

1. Définition de la pollution du sol
2. Méthodologie de traitement des polluants non biodégradables
 - Traitement physico chimique
 - Traitement thermique
 - Confinement
3. Procédés In situ, on site et hors site
4. Traitement biologique par aération du sol
5. Biopile
6. Epandage contrôlé

Chapitre III

1. Définition des déchets en fonction de l'origine et la production des déchets
2. Cycle de vie d'un déchet
3. Impact négatif des déchets sur l'environnement (Pollutions de l'air ,de l'eau, et du sol -Santé publique)

Chapitre IV

1. Procédé d'inertage d'un déchet
 - Solidification
 - Stabilisation
 - Isolation
2. Collecte et Traitement des déchets par la méthode des 3 R
 - Collecte des déchets solides
 - Recyclage des déchets
 - Réutilisation des déchets
 - Réduction des déchets

Chapitre V : Traitement des déchets par oxydation en voie humide

1. Types de déchets traités par l'oxydation en voie humide

2. Réactivité chimique des déchets dans l'eau supercritique
3. Oxydation des déchets sous critique
4. Oxydation des déchets supercritique

Chapitre VI : Traitement thermique des déchets par la pyrolyse

1. Définition et le principe de fonctionnement de la pyrolyse
2. Prétraitement des déchets
3. Pyrolyse lente
4. Pyrolyse rapide
5. Gazéification et valorisation

Chapitre VII : Incinération des déchets et valorisation énergétique

1. Incinération des déchets dangereux
2. Les paramètres à contrôler dans l'incinération des déchets
3. Diagramme ternaire de combustion et le PCI
4. Contrôle des fumées pendant l'incinération
5. Différents types d'incinérateurs
6. Les avantages et les inconvénients de l'incinération

Chapitre VIII : Centre d'enfouissement technique

1. Le Choix de site
2. Les équipements d'un centre d'enfouissement technique
3. Phénomènes qui peuvent avoir lieu dans un CET
4. Différents types de CET
5. Les étapes de mise en œuvre et modes d'exploitation d'un centre d'exploitation
6. Dispositifs de contrôles périphériques d'un CET
7. Traitement de lixiviat de des biogaz

Chapitre IX : Traitements des déchets solides dangereux par la torche à plasma

1. Définition de plasma. Plasma naturel et le plasma artificiel
2. Générateur d'un plasma
3. Grandeurs caractéristiques d'un plasma
4. Les avantages et les inconvénients de traitement des déchets par un plasma
5. Vitrification des cendres volantes de l'incinération des déchets.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Le traitement des déchets de René MOLETTA , Edition Tec et Doc
- Gestion des déchets de issus d'une pollution accidentelle des eaux de Florence Poncet et Marilyne Porhel Edition cendre
- Gestion des déchets ménagers , collecte – échantillonnage et caractérisation – recueil de normes CD librairie-environnement.com
- Traitement des pollutions industrielles Eau. Air. Déchets. Sols. Boues Auteur Emilian Koller , édition usine nouvelle

Semestre : S2

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Procédés de traitements biologiques

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les mécanismes biologiques des procédés de traitement (eaux, sols, air).
- Maîtriser les technologies clés (boues activées, biofilms, lagunage).
- Savoir caractériser et optimiser un système biologique (mesures MES/MVS, cinétiques).
- Lier théorie et pratique via des TP ciblés et des études de cas industriels (des sorties pédagogiques).
-

Connaissances préalables recommandées :

Connaissances basiques de microbiologie (Semestre 1)

Contenu de la matière :

Introduction aux Procédés Biologiques

1. Rôle des traitements biologiques (ou secondaires en STEP)
2. Epuration biologique
3. Classification :
 - Cultures libres (boues activées) vs fixées (biofilms).
 - Aérobie/anaérobie.

Traitement biologique des eaux usées

Traitement par Boues Activées

- Principe : Schéma d'une station, rôle des bactéries, boue activée vs SBR (Sequencing Batch Reactor).
- Paramètres de fonctionnement d'une station d'épuration :
 - Âge des boues, charge massique (F/M), DBO₅/DCO.
 - Indice de Mohlman (IV30) : Interprétation et diagnostic.
 - Problèmes courants : Bulking filamenteux, moussage.
 - Dénitrification biologique dans une station d'épuration.

Procédés à Biofilms

- Lits bactériens : Principe, substrats, avantages/inconvénients.
- Disques biologiques (RBC) : Rotation, oxygénation, applications.
- MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) : Supports mobiles, efficacité.

Lagunage

- Types de lagunage.
- Rôle des écosystèmes : Algues-bactéries, macrophytes.
- Étude de cas :

Traitement des Sols et Déchets

Bioremédiation:

- In situ (bioaugmentation) vs ex situ (bioréacteurs).

Valorisation des Déchets :

- Compostage (rôle des micro-organismes).
- Méthanisation (étapes biochimiques, biogaz).

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Metcalf & Eddy (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill.
- Jenkins, D., Richard, M.G., & Daigger, G.T. (2003). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming (3rd ed.). CRC Press.
- Tchobanoglous, G., et al. (2020). Integrated Biological Treatment Processes. In Wastewater Engineering (7th ed.). McGraw-Hill.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed., 2017). APHA/AWWA/WEF.

Semestre : S2

Intitulé de la matière : Fondamentale

Intitulé de la matière : Méthodes spectroscopiques d'analyse

Objectifs de l'enseignement :

- ✚ Comprendre les principes fondamentaux des différentes techniques spectroscopiques.
- ✚ Maîtriser l'utilisation des instruments de spectroscopie avancée.
- ✚ Interpréter les spectres pour l'identification et la caractérisation des composés.
- ✚ Appliquer les méthodes spectroscopiques à des systèmes complexes.
- ✚ Intégrer la spectroscopie dans une démarche analytique multidisciplinaire.

Connaissances préalables recommandées :

Notions de base en chimie générale (structure de la matière) et en physique (optique et spectroscopie)

Contenu de la matière :

Chapitre 1 – Notions fondamentales de spectroscopie (1 semaine)

- Interaction rayonnement-matière : mécanismes d'absorption, d'émission et de diffusion
- Transitions électroniques, vibrationnelles et rotationnelles
- Types de spectroscopie (absorption, émission, fluorescence, diffusion)
- Paramètres spectraux : longueur d'onde, intensité, résolution, largeur à mi-hauteur
- Spectre électromagnétique – Domaines spectraux (UV, visible, IR, etc.)

Chapitre 2 – Spectroscopie UV-Visible (1 semaine)

- Théorie des transitions électroniques : orbitales moléculaires ($\pi \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \pi^*$)
- Loi de Beer-Lambert : équation, limites et conditions d'application
- Composants d'un spectrophotomètre : source, monochromateur, cellule, détecteur
- Analyse qualitative et quantitative (calcul de concentrations, détermination de constantes)
- Applications : dosages de composés organiques et inorganiques, suivi de réactions chimiques

Chapitre 3 – Spectroscopie d'Absorption/Emission atomique de flamme (1 semaine)

- Principe de l'absorption atomique : passage de l'atome à l'état excité
- Sources lumineuses spécifiques (lampes à cathode creuse)

- Nébulisation, atomisation dans la flamme, rôle du gaz combustible
- Analyse quantitative d'éléments métalliques (courbes d'étalonnage, limites de détection)
- Applications : analyse de métaux traces (eaux, sols, échantillons biologiques). Méthode des ajouts dosés

Chapitre 4 – Spectroscopie Infrarouge : Rotation/vibration et vibration pure (4 semaines)

1. Rotation-vibration des molécules diatomiques - Bases physiques :
 - Modèle de l'oscillateur harmonique classique / Modèle de l'oscillateur harmonique en mécanique quantique.
 - Répartition des populations sur les niveaux d'énergie vibrationnels – Loi de Boltzmann.
 - Spectre de rotation/vibration (phase gazeuse) – Applications pour déterminer la géométrie moléculaire et les forces des liaisons - Effet isotopique.
2. Vibration pure (phase condensée).
 - Vibration des molécules poly-atomiques - Modes normaux de vibration
 - Allure d'un spectre IR – Exploitation.
 - Types de mouvements de vibration et notations.
 - Vibrations de groupes (fréquences) – Utilisation des Tables.
3. Applications de la spectroscopie de vibration dans l'infrarouge (alcane, alcène, alcool, aldéhyde, acide...)

Chapitre 5 – Spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (du proton¹H et du carbone¹³C) (4 semaines)

1. Histoire de la science et Objectifs de la RMN du Proton : ¹HRMN.
2. Principe et Bases physiques de la ¹HRMN. Conditions de résonance & répartition des populations.
3. Appareillage / Enregistrement d'un spectre de ¹HRMN.
4. Déplacement chimique (notions de blindage / déblindage).
5. Couplage spin-spin.
6. Equivalences chimique et magnétique.
7. Applications de la ¹HRMN : Analyse structurale, Imagerie médicale, analyses des interactions moléculaires, suivi des réactions chimiques.
8. RMN du carbone ¹³CRMN : Déplacement chimique, couplage C-C et H-C, Spectre ¹³CRMN.
9. Calcul et simulation de Spectres ¹HRMN & ¹³CRMN en utilisant le logiciel libre **ACD Labs**.
10. Couplages : ¹HRMN / ¹³CRMN & Spectroscopie Infrarouge / ¹HRMN / ¹³CRMN pour la caractérisation moléculaire.

Chapitre 6 – Spectrométrie de Masse MS (3 semaines)

1. Histoire de la science & Objectifs de la MS.
2. Principe fondamentaux et Bases physiques de la MS :
 - Masse mono-isotopique et masse moyenne.
 - Ionisation (Douce et dure) / Fragmentation – Analyse – Détection M/Z.
3. Appareillage : Ionisateurs et analyseurs.

4. Mécanisme de fragmentation (tables MS).
5. Méthodologie d'analyse d'un spectre MS – Exemples.
6. Couplages MS / MS & Chromatographie / MS.
7. Applications de la MS.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

1. Francis Rouessac et Annick Rouessac, « Analyse Chimique/ Méthodes et techniques instrumentales modernes », Edition Masson, Paris, France, (1997).
2. Robert M. Silverstein, Francis X. Webster et David J. Kiemle, « Identification spectrométrique de composés organiques », Edition de boeck, Bruxelles, Belgique, (2007).
3. Robert M. Silverstein, G. Clayton Bassler et Terence C. Morrill, « Spectrometric Identification of organic compounds », Edition John Wiley and sons, inc., Canada, (1991).
4. Marcel Chavanne, Gaston J. Beaudoin, Armand Jullien et Eddy Flamand, « Chimie organique expérimentale », Edition Belin, Paris, France, (1991).
5. Bernard Valeur, « Invitation à la fluorescence moléculaire », Edition de boeck, Bruxelles, Belgique, (2004).
6. Douglas A. Skoog, Donald M. West et F. James Holler, « Chimie analytique », Edition de boeck, Bruxelles, Belgique, (1997).
7. Edmond de Hoffman et Vincent Stroobant, « Spectrométrie de masse », Edition Dunod, 3^{ème} édition, Paris, (2005).

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP chimie verte et développement durable

Objectifs de l'enseignement :

Cette matière permet d'appliquer les notions théoriques du cours de chimie verte et développement durable ; elle permet donc de relier la théorie et la pratique avec des outils accessibles.

Aussi, tous les TP peuvent être modifiés pour s'adapter à l'équipement disponible.

Contenu de la matière : Travaux pratiques

1. Extraction verte (comparaison entre une extraction avec et sans solvant, par hydrodistillation)
2. Synthèse en milieu alternatif
3. Synthèse verte d'un ester et application du modèle de Xavier Bataille
4. RMC de Biginelli et application du et application du modèle de Xavier Bataille
5. Condensation de Knoevenagel
6. Réaction sans solvant assistée par micro-ondes ou ultrasons.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Analyse du sol et traitement des déchets solides

Objectifs de l'enseignement :

Les travaux pratiques de cette matière ont pour but d'enrichir les connaissances et les techniques relatives aux sols et aux déchets solides. Cette matière permet notamment d'appliquer les notions théoriques du cours et permet donc de relier la théorie et la pratique avec des outils accessibles.

Aussi, tous les TP peuvent être modifiés pour s'adapter à l'équipement disponible.

Contenu de la matière : Travaux pratiques

- TP N°1 : Analyse physique du sol : Texture, pH et conductivité, densité, granulométrie
- TP N°2 : Analyse de carbone organique et Analyse de l'azote totale dans le sol
- TP N°3 : Détermination de coefficient de diffusion-adsorption de quelques polluants dans un sol
- TP N°4 : Analyse des cations échangeables et détermination de la capacité d'échange du sol
- TP N°5 : Analyse des métaux dans le sol contaminé

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Procédés de traitements biologiques

Objectifs de l'enseignement :

Consolider les connaissances et les techniques relatives aux traitements biologiques, en mettant en application les notions théoriques du cours. Tous ces TP peuvent être modifiés pour s'adapter à l'équipement disponible.

Contenu de la matière : Travaux pratiques

TP1 : Culture et observation de biofilms bactériens

Objectif : Comprendre le rôle des biofilms dans les procédés biologiques de traitement (réacteurs biologiques, filtres plantés, etc.).

Activité : Laisser se développer un biofilm sur les supports immergés dans l'eau usée, et observer les biofilms au microscope après 5 à 7 jours.

TP2 : Mini-bioréacteur à boues activées en bouteille

Objectif : Simuler un système à boues activées et observer la dégradation de la pollution organique.

Activité : Suivre l'évolution de la turbidité d'une eau usée simulée, son odeur, et aspect visuel en utilisant des Boues issues d'une station d'épuration locale

TP3 : Mesure de la DCO/DBO par méthode simplifiée

Objectif : Évaluer la pollution organique d'une eau usée simulée et l'efficacité d'un traitement, et ce, par comparaison de l'eau avant et après traitement, par analyse qualitative ou semi-quantitative

TP4 : Traitement par filtres plantés (lit vertical rudimentaire)

Objectif : Comprendre les procédés épuratoires des filtres plantés.

Activité : Construire un filtre vertical rudimentaire, l'alimenter avec de l'eau usée et observer l'aspect de l'eau en sortie et l'évolution de la plante

TP5 : Test de respiration bactérienne (activité biologique)

Objectif : Mesurer l'activité biologique d'une eau usée simulée via la consommation d'oxygène + microflore active, à l'aide d'un capteur d'oxygène ou d'indicateurs colorimétriques (bleu de méthylène, resazurine)

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Méthodes spectroscopiques d'analyse

Objectifs de l'enseignement :

Les travaux pratiques (TP) d'analyses spectroscopiques en master de chimie de l'environnement et de l'eau ont plusieurs objectifs pédagogiques. Ces TP permettent aux étudiants de mettre en pratique les notions théoriques vues en cours et de développer des compétences techniques, méthodologiques et critiques essentielles dans le domaine de l'analyse chimique. Ça leur permet de développer des compétences transversales : Rédiger un compte-rendu clair, structuré et argumenté.

Contenu de la matière : Travaux pratiques

TP1 : Étude d'un colorant alimentaire par spectroscopie UV-Visible

TP2 : Détermination du pKa d'un indicateur coloré (ex : bleu de bromothymol)

TP3 : Identification d'un composé à l'aide d'un spectre UV-Visible

TP4 : Suivi de la dégradation d'un colorant par la lumière (photodégradation)

TP5 : Spectroscopie infra-rouge : Application l'identification de principes actifs.

TP6 : Dosage de métaux dans un produit alimentaire conservé dans un emballage métallique

TP6 : Dosage de métaux lourds dans l'eau par spectrophotométrie UV-Visible

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : Intelligence artificielle et Machine Learning 2

Objectifs de l'enseignement :

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 basées sur l'IA.

Contenu de la matière :

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

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

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)*

Semestre : S2

Intitulé de l'unité : Découverte

Intitulé de la matière : Chimie des complexes de coordination

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif de la chimie de coordination vise à fournir aux étudiants les bases nécessaires pour comprendre la formation, la structure, les propriétés et les réactivités des complexes métalliques, afin d'analyser et d'interpréter leur rôle dans les processus naturels et environnementaux.

Connaissances préalables recommandées :

- Notions de base sur les atomes, les ions et les molécules
- Tableau périodique (connaître les groupes, les périodes, la configuration électronique des métaux de transitions et les propriétés des éléments chimiques)
- Les liaisons chimiques (la structure de Lewis, Types de liaisons)

Contenu de la matière :

Chapitre I : Les concepts fondamentaux

- 1- **Définition de complexes de coordination**
- 2- Ligands et coordinance
- 3- Nomenclature des complexes
- 4- **Coordination géométrique et structure**
- 5- **Isomérisation dans les complexes**

Chapitre II : Théories de la liaison dans les complexes de coordination

- 1- Théorie de la liaison de valence
- 2- Théorie du champ cristallin
- 3- Théorie des orbitales moléculaires

Chapitre III : Propriétés des complexes de coordination

- 1- Propriétés électroniques et spectroscopiques
- 2- Propriétés magnétiques
- 3- **Réactivité chimique**

Chapitre IV : Chimie des complexes de coordination et son impact sur l'environnement

- 1- Formation de complexes entre métaux lourds et les ligands environnementaux
- 2- Influence de la composition chimique de l'eau sur la formation des complexes métalliques
- 3- Rôle des complexes métalliques dans la protection de l'environnement

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Références :

- Livre : chimie descriptive et chimie de coordination « auteur : Younes Benjalal »
- Livre chimie de coordination « Auteur : Bernard Meunier »
- Cours et exercices sur la chimie de coordination « cours en ligne »

Semestre : S2

Intitulé de l'unité : Découverte

Intitulé de la matière : Gestion et valorisation des déchets

Objectifs de l'enseignement : Enseigner aux étudiants les objectifs de gestion et de valorisation des déchets qui visent à réduire l'impact environnemental, économiser les ressources et promouvoir une économie circulaire. Aussi, le programme vise à apprendre à l'étudiant de développer des technologies de traitement plus efficaces (pyrolyse, gazéification, etc.) De plus, se former professionnellement à une gestion durable de la pollution.

Connaissances préalables : Analyse et traitement des déchets.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Caractéristiques et Classification des déchets et codes EURAL

Chapitre II : Danger des déchets pendant le stockage, le transport et le traitement

Chapitre III : Gestion sélective et mixte de la qualité pour la collecte et le traitement de déchets

Chapitre IV : Economie circulaire pour l'environnement

Chapitre V : Procédés de valorisation : Réutilisation, Compostage, méthanisation et recyclage

Chapitre VI : Procédés innovant pour la valorisation des déchets

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Semestre : S2

Intitulé de l'unité : Transversale

Intitulé de la matière : Techniques de rédaction (Recherche bibliographique)

Objectifs généraux :

- ✚ Maîtriser les techniques de recherche documentaire scientifique.
- ✚ Savoir sélectionner et synthétiser des informations issues de la littérature.
- ✚ Structurer un document scientifique (rapport, mémoire, article).
- ✚ Rédiger de façon claire, rigoureuse et académique.
- ✚ Appliquer les normes de citation et éviter le plagiat.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à la recherche documentaire scientifique (2 semaines)

- Définition d'une synthèse bibliographique : types de documents (revue, rapport, mémoire...).
- Définition d'une problématique scientifique.
- Présentation des principales bases de données : Google Scholar, Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect, HAL, etc.
- Évaluation de la fiabilité des sources.

Chapitre 2 : Lecture et analyse des sources (2 semaines)

- Structure d'un article scientifique.
- Repérage des idées clés, hypothèses, méthodologies, résultats et limites.
- Fiches de lecture : résumé, positionnement, pertinence.
- Outils de gestion bibliographique : Zotero, Mendeley, EndNote.

Chapitre 3 : Méthodologie de la synthèse et construction du rapport (3 semaines)

- Techniques de synthèse : regroupement thématique, chronologique, méthodologique.
- Éviter la paraphrase ou l'énumération.
- Élaboration d'un plan : introduction, développement thématique, conclusion.
- Stratégie de structuration des paragraphes (idée directrice, argument, exemple, transition).

Chapitre 4 : Rédaction scientifique et normes de présentation (4 semaines)

- Style académique : clarté, objectivité, ton neutre.
- Éviter les fautes fréquentes : plagiat, paraphrase non référencée, citations excessives.

- Styles de citation : APA, Chicago, Vancouver, IEEE, etc.
- Bibliographie et citations automatiques avec Zotero.
- Mise en forme des documents (titres, intertitres, tableaux, figures, légendes).

Chapitre 5 : Projet final et évaluation (3 semaines)

Rédaction d'une mini-revue de littérature par choix sur un ensemble de sujets de recherche (jusqu'à 10 pages). Présentation orale synthétique. Discussion des difficultés rencontrées.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Chimie de l'atmosphère et contrôle de la qualité de l'air

Objectifs de l'enseignement :

Cette unité permet aux étudiants une compréhension globale du fonctionnement du système atmosphérique, en suivant le parcours des polluants depuis leur émission jusqu'à leur dépôt en passant par les différentes étapes de dégradations chimiques ou photochimiques. En parallèle, l'étudiant sera amené à identifier les principaux polluants de l'air, à se familiariser avec les méthodes de mesure de la qualité de l'air, les techniques d'analyse atmosphérique, ainsi que le rôle et le fonctionnement des réseaux de surveillance. L'unité introduit également quelques procédés de dépollution permettant de limiter les émissions et d'améliorer la qualité de l'air.

Connaissances préalables :

Cinétique chimique, mécanismes radicalaire, techniques d'analyses

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Structure de l'atmosphère terrestre (Définition, composition, rôle, les différentes couches atmosphérique et leurs caractéristiques, phénomènes existants, ...)

Chapitre 2 : Fonctionnement du système atmosphérique (émission, transport, brassage, dégradation et dépôt)

Chapitre 3 : Pollution atmosphérique

3.1 Contexte et définitions

3.2 Les trois dimensions de la pollution atmosphérique (locale, régionale, globale ou planétaire)

3.3 Météorologie et pollution :

- Influence du vent
- Influence de la chaleur et de la lumière
- Présence de pluies
- Couches d'inversion
- Importance relative des phénomènes de météo

3.4 Quelques exemples de pollutions atmosphérique :

- Pollution photochimique (smog) : définitions, causes, polluants correspondants, mécanismes de formation, impacts sur l'environnement et sur la santé
- Pollution acides (pluies acides) : définitions, causes, polluants correspondants, mécanismes de formation, impacts sur l'environnement et sur la santé
- Pollution véhiculaire et industrielle : causes, polluants correspondants, réactivité et transformation, impacts sur l'environnement et sur la santé
- Pollution globale (effet de serre) : définition, causes, polluants correspondants, impacts ou conséquences sur l'environnement et sur la santé, couplage effet de serre-trou d'ozone

Chapitre 4 : Polluants atmosphérique

4.1 Classification des polluants (primaires/secondaires, gazeux/ particulaires,)

4.2 Sources des polluants (naturelles, anthropiques)

4.3 Polluants majeurs (CO, NO_x, SO₂, O₃, COV, particules fines (PM₁₀, PM_{2.5}), métaux lourds, HAP

4.4 Temps de demi-vie des polluants dans l'atmosphère (notion de réactivité, temps de résidence, normes et seuil de tolérance...)

4.5 Unités de concentrations atmosphériques (pour la phase gazeuse, phase solide, suspension, conversion des unités)

4.6 Variation journalière des polluants atmosphériques

Chapitre 5 : Transformation physicochimique des polluants atmosphériques

5.1.1 Les réactions de base dans l'atmosphère (formation des radicaux libre, des photo oxydants, oxydation, réactivité avec les différents radicaux (journalière et diurne), ...)

5.2 Cycle ou équilibre photo lytique NO/NO₂/O₃ et perturbation par les COVs

5.3 Mécanismes de dégradation des composés organiques volatiles (COVs) : oxydation par OH·, O₃, NO₃· (journalière et diurne)

- Cas des alcanes
- Cas des alcènes (amorcé par ozonolyse et par OH·)
- Cas des cétones
- Cas des aldéhydes
- Formation des PANs,
- Bilan des dégradations

Chapitre 6 : L'ozone stratosphérique (Couche d'ozone)

6.1 Ozone stratosphérique et ozone troposphérique (comparaison des modes de formation et des impacts environnementales)

6.2 Cycle de l'ozone stratosphérique (Modèle de Chapman)

6.3 Perturbateurs du cycle de Chapman

- Perturbateurs naturels (Oxydes d'azote, vapeur d'eau, méthane, composés soufrés,...)
- Perturbateurs anthropiques (Les chlorofluorocarbures CFC)

6.4 Les CFCs

- Nomenclature des fréons et des halons
- Caractéristiques physicochimiques
- Domaines d'applications
- Mécanismes de destruction de l'ozone par les CFCs (réactions : ozone chlore, ozone brome, ozone fluor, terminaison)
- Conditions d'activation des radicaux Cl·
- Quelques réparateurs du trou d'ozone
- Substituants des CFC ou solutions
- Traité de Montréal

6.5 Bilan et perspectives de l'impact des CFCs sur la stratosphère

- Destruction de l'ozone en région polaire
- Perspectives

Chapitre 7 : Les aérosols atmosphériques

7.1 Définition, sources naturelles et anthropiques

7.2 Propriétés physiques et chimiques

7.3 Rôle dans la formation des nuages

7.4 Effets sur le climat (forçage radiatif), l'environnement et la santé

7.5 Prélèvements, échantillonnage et analyses des particules

Chapitre 8 : Méthodes de prélèvements et d'analyses des pollutions atmosphériques

8.1 Différentes techniques de prélèvement d'échantillonnage (simples, rapides, colorés, tubes passifs avec et sans concentration, haute technologie...)

8.2 Quelques méthodes d'analyse des polluants atmosphériques (par détection et télédétection, principe, utilisation, polluants analysé et limites)

- Spectrométrie UV-Visible, chromatographie, FTIR, ,...
- Méthodes colorimétriques, chimie luminescence,
- Détecteurs spécifiques (NDIR, FID, capteurs électrochimiques)
- Haute performances et sensibilités (DOAS, TDLS, LIF,...)

Chapitre 9 : Réseaux de surveillance de la qualité de l'air

- 9.1 Présentation des réseaux : stations fixes, mobiles, satellites, implantation,
- 9.2 Objectifs ou rôles, recommandations et fonctionnement
- 9.3 Polluants mesurés (règlementés)
- 9.5 Normes de pollution
- 9.6 Indicateur de la qualité de l'air : Indice ATMO (niveaux et interprétations)
- 9.7 Présentation de quelques réseaux internationaux (Atmo, Airparif, EMEP, GAW,..) et nationale Sama safia.

Chapitre 10. Quelques méthodes de dépollution de l'air

- 10.1 Méthodes physiques (filtration, cyclones,)
- 10.2 Méthodes physicochimique (Lavage de gaz, adsorptions, condensation, oxydation,)
- 10.3 Méthodes thermiques (incinération, oxydation thermiques, ...)
- 10.4 Méthodes électrostatiques (précipitateurs électrostatiques pour les PM)
- 10.5 Méthodes biologiques (biofiltres,...)
- 10.6 Quelques technologies innovantes comme les plasmas froid et la photocatalyse

Chapitre 11 : Défis actuels (lutte contre la pollution véhiculaire et industrielle)

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N. (2016). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., Stern, A.C. (2013). Fundamentals of Air Pollution
- Agence européenne pour l'environnement (EEA) <https://www.eea.europa.eu>
- Organisation météorologique mondiale (OMM / WMO) <https://public.wmo.int/fr>
- NASA Earth Observatory – Ozone Hole <https://earthobservatory.nasa.gov>
- UNEP (Programme des Nations unies pour l'environnement) <https://www.unep.org>

Semestre :3

Unité d'enseignement : Fondamentale

Intitulé de la matière : Catalyse et Environnement

Objectifs de l'enseignement :

Les objectifs de l'enseignement du module "Catalyse et Environnement" sont multiples. Ils visent à sensibiliser les étudiants aux mécanismes chimiques et aux enjeux écologiques stratégiques liés aux processus catalytiques. Cette approche favorise à la fois le développement industriel et la protection de l'environnement, tout en contribuant à la transition vers une société plus verte et durable.

Connaissances préalables recommandées :

Une bonne maîtrise des concepts de base des réactions chimiques (réactions acido-basiques, réactions d'oxydoréduction, équilibre chimique, etc.), des mécanismes réactionnels, ainsi que des principes de la chimie organique et de la catalyse en général.

Contenu de la matière :

Chapitre 1: Introduction à la catalyse

1. Généralités sur l'adsorption
2. Définition et principes de base de la catalyse.
3. Mécanismes catalytiques (catalyse homogène et hétérogène).
4. Types de catalyseurs : homogène, hétérogène, catalyse enzymatique.
5. Cinétique et thermodynamique des réactions catalysées.

Chapitre 2 : Catalyse et pollution

1. Catalyse dans la réduction des gaz à effet de serre (CO_2 , NO_x).
2. Catalyse pour le traitement des gaz d'échappement (exemple: catalyseurs pour les véhicules).
3. Catalyse dans le traitement des eaux usées et des polluants organiques.
4. Utilisation de la catalyse pour les procédés de dégradation des polluants (exemple: oxydation des hydrocarbures, détoxification des produits chimiques).

Chapitre 3 : Catalyse pour la production d'énergie propre

1. Catalyse dans la production d'hydrogène (réactions de reformage, électrolyse...).
2. Catalyse dans les piles à combustible.
3. Applications dans la production d'énergie à partir de biomasse.

Chapitre 4 : Catalyse et développement durable

1. Chimie verte: les enjeux cruciaux pour un impact environnemental positif
2. Catalyse dans les procédés de synthèse de produits chimiques à faible empreinte carbone.
3. L'optimisation des procédés industriels grâce à la catalyse (réduction des déchets et consommation d'énergie).

Chapitre 5 : Applications avancées et innovations

1. Catalyse pour la capture et le stockage du carbone (CSC).
2. Développement de nouveaux catalyseurs pour des applications en énergie renouvelable.
3. Évaluation de l'impact environnemental des nouveaux catalyseurs et procédés.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Physico-chimie des surfaces : L'adsorption gaz-solide et liquide- solide, Chems Eddine CHITOUR Edition OPU. 2004, ISBN 9961.0.684.4
- Chimie physique des phénomènes de surface : Introduction à la catalyse, Chems Eddine CHITOUR, Edition OPU. 1981
- Cinétique et catalyse hétérogènes, Bernard GILOT et Roland GUIRAUD, "Ellipses Edition Marketing S.A., 2004, ISBN 2-7298-1898-7.
- **Catalysis: Principles and Applications** " B. Viswanathan, Éditeur : Springer, 2006.
- **Environmental Catalysis** " S. M. L. M. J. R. Partington, J. L. G. Larmour Éditeur : Wiley, 1999.
- **Catalysis for Sustainable Energy Production** " R. A. H. R. H. G. V. D. V. De Lasa Éditeur : Elsevier, 2009.
- **Catalysis for Environmental Protection** " K. S. S. S. A. R. S. A. C. Z *Catalysis Today*, 2002, Vol. 73, Issues 1–2, Pages 183–191.
- **The Role of Catalysis in Clean Energy and Environmental Technologies**, M. S. B. R. E. F. C. H. *Catalysis Science & Technology*, 2017, Vol. 7, Pages 1652–1681

Semestre : 3

Intitulé de l'unité : Fondamentale

Intitulé de la matière : Matériaux conventionnels et émergents : Application à la dépollution

Objectifs de l'enseignement

- Distinguer les composés poreux selon leurs tailles et préparation de matériaux poreux pour des applications spécifiques (porosités contrôlées).
- Applications potentielles de ces matériaux dans le domaine de l'environnement.

Connaissances préalables recommandées

- Avoir les notions de bases sur la chimie de surface
- Avoir les notions sur les méthodes spectroscopies

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités et notions sur les surfaces et les interfaces

- Aspect thermodynamique des phénomènes de surface- Grandeurs de surface- Applications des phénomènes de surface et interfaces

Chapitre II : Phénomènes d'adsorption

Chapitre III : Les charbons

III.1 Généralités

III.2 Propriétés et préparations

III.3 Applications dans le domaine de la dépollution

Chapitre IV : Les zéolithes

IV.1 Généralités

IV.2 Propriétés et préparations

IV.3 Applications dans le domaine de dépollution

Chapitre V : Les MOF's (Composés poreux) e les matériaux fibreux

III.1 Généralités sur les composés poreux

III.2 Classement et Propriétés des composés poreux

III.3. Ecoulement des fluides à travers les milieux poreux et fibreux

III.4. Application des Milieux Poreux et fibreux dans l'environnement

III.5. Les matériaux spinnels, pirovskits, oxydes métalliques...et lts matériaux intelligents

III.6. Applications dans le domaine de l'environnement (dégradation, adsorption et photo catalyse des colorants ou des polluants toxiques,)

III.7. Identification des structures par spectroscopies optique et photobiologique (IRTF, fluorescence.)

III.8. Identification et caractérisation des structures par : Diffraction des Rayons X(DRX), Microscopie électronique à balayage (MEB-EDX), Détermination des surfaces spécifiques (BET),

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Semestre : S3

Intitulé de l'unité : Fondamentale

Intitulé de la matière : Déchets dangereux et polluants émergents

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif de cette matière est de permettre à l'étudiant de gérer les situations difficiles et de lui donner la conduite à tenir en cas de danger. La traçabilité et les conditions de stockage des déchets dangereux. De plus, l'étudiant prendra connaissances des nouveaux polluants émergents ainsi que de quelques méthodes de leurs traitements.

Connaissances préalables recommandées :

Connaissance des règles environnementales (législation en vigueur)

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Classification des déchets

1. Classification (selon leur nature, selon leur degré de dangerosité)
2. Degré de dangerosité
3. Les et tolérances d'expositions
4. Appareils de mesure
5. Recommandations et orientations

Chapitre 2 : Les risques chimiques et les normes

1. Introduction
2. Classification des risques chimiques
3. Risque d'incendie –explosion
4. Principaux paramètres agissant sur les risques chimiques
5. Signalisation, étiquetage et fiche de sécurité des produits
6. Définitions (Danger, Risque)
7. Evaluation du risque
8. Notion d'exposition
9. La prise du risque (Approche par le risque, Matrice d'évaluation, Différent risques)
10. Dommage ou conséquences

Chapitre 3 : Toxicologies et sécurité

1. Toxicité
2. Différentes toxicités
3. Toxicité d'une substance et notion de dose
4. Formes de toxicité
5. Interactions toxicologiques
6. Toxicologie professionnelle (industrielle)

Chapitre 4 : Les incendies et les explosions

1. Introduction
2. Phénomènes de Combustion
3. Différents types de combustion
4. Le phénomène d'explosion
5. Conditions d'une explosion
6. Source d'inflammation
7. Les incendies

Chapitre 5 : Déchets du secteur sanitaire

1. Ségrégation des déchets et lutte contre la pollution

2. Cas des solides
3. Cas des déchets spéciaux
4. Cas des liquides dangereux
5. Cas des gaz
6. Cas des réactifs
7. La gestion des risques chimiques
8. Principes généraux de prévention des risques
9. Précaution à prendre lors du transport et déplacement de ce type de déchets
10. Déchets d'activité de soins à risques infectieux

Chapitre 6 : Les risques liés à la radioactivité

1. Rayonnements ionisants
2. Exposition aux différents rayonnements
3. Impact des radionucléides
4. Les risques liés aux éléments radioactifs
5. Prises en charge des éléments radioactifs

Chapitre 7 : Déchets spéciaux et encombrants

1. Fin de vie des piles et batteries
2. Pneus usés
3. Les huiles d'askarel et huiles minérales
4. Déchet difus (DDD) et spécifiques (DDS)
5. Déchets amiantés
 6. Un déchet ultime
 7. Procédé d'inertage d'un déchet ultime

Chapitre 8 : Les polluants émergents

1. Les stéroïdes
2. Les médicaments (antibiotiques, hormones,),
3. Les produits de dégradation de détergents non ioniques
4. Les désinfectants
5. Les phtalates,
6. Les retardateurs de flamme
7. Les antioxydants
8. Autres polluants émergents

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 33%, Examen 67%

Références :

- Michael J. Suess, Jan W. Huismans, « La gestion des déchets dangereux », Publié sous la double égide ; Organisation mondiale de la Santé et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (1984).
- Dwivedi, O.P. India: Pollution control policy and programmes. International review of administrative sciences, 43 : 123 -133 (1977).
- Elkington, J. The ecology of tomorrow's world - industry's environment. Londres, Associated Business Press, (1980).
- Rosa Galvez-Cloutier, Gestion de déchets dangereux et sites contaminés, notes de cours, Université de Laval (2009).

Semestre : 3

Intitulé de l'unité : Méthodologie

Intitulé de la matière : Chimiométrie et Plans d'expériences

Objectifs généraux :

Cette unité d'enseignement est orientée principalement sur l'exploitation des plans d'expériences, à savoir : le choix du plan à adopter, le choix des paramètres pertinents de l'étude (criblage), l'analyse de leur influence sur des réponses cibles, la modélisation empirique de ces dernières, la simulation pour des situations inconnues et l'optimisation.

L'objectif principal est de former l'étudiant à la bonne conduite lors de l'approche d'un problème expérimental ; il lui permettra de tirer le maximum d'informations, voire des conclusions, pour un nombre minimal d'essais, et par conséquent en moins de temps et pour des coûts moindres. L'étudiant maîtrisera en outre les outils statistiques et mathématiques pour une exploitation optimale des résultats d'expériences chimiques.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à la chimiométrie et à la Planification des expériences (Design of Experiments – DoE) (3 semaines)

- Définitions, Histoire de la science.
- Classification des plans d'expériences.
- Concepts fondamentaux : facteur, réponse, interaction, répétabilité.
- Introduction des Plans factoriels complets (2^k) et fractionnaires.

Chapitre 2 : Fondamentaux de la statistique appliquée à la chimie (3 semaines)

- Statistiques descriptives : moyenne, médiane, variance, écart-type, coefficient de variation.
- Loi normale, histogrammes, boxplots.
- Tests d'hypothèses : Student, χ^2 , ANOVA simple.
- Intervalle de confiance et niveau de signification (p-value).

Chapitre 3 : Plans factoriels complets à 2 niveaux 2^k (4 semaines)

- Construction : Matrice d'expériences.
- Traitement : Matrice de calcul des effets.
- Etude statistique : Régression linéaire, erreurs, tests des effets, analyse de variance (ANOVA) & construction de modèles empiriques.
- Optimisation & Validation.
- Exemples d'applications - Logiciels : JMP, Statgraphics, Modde,... : Procédés de polymérisation : synthèse & caractérisation ; Chimie macromoléculaire : Compoundage préalable à la mise en

œuvre des polymères ; Procédés pharmaceutiques et cosmétiques ; Procédés environnementaux, etc.

Chapitre 4 : Plans centraux composites à 2 niveaux (3 semaines)

- Construction : Matrice d'expériences.
- Traitement : Matrice de calcul des effets.
- Etude statistique : Régression, erreurs, tests des effets, analyse de variance (ANOVA), modélisation empirique.
- Optimisation & Validation.
- Exemples d'applications - Logiciels : JMP, Statgraphics, Modde,... .

Chapitre 5 : Autres plans (2 semaines)

- Plan fractionnaire / Plan de criblage ; Exemples d'applications sur machine.
- Plan de mélange ; Exemples d'applications sur machine.

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Références :

- Jacques Goupy, Les plans d'expériences, Optimisation du choix des essais et de l'interprétation des résultats, (2017). 5ème Edition Dunod.
- Sado, G., & Sado, M. C. (2000). Les plans d'expériences : de l'expérimentation à l'assurance qualité. Afnor.
- Tinsson, W. (2010). Plans d'expériences : constructions et analyses statistiques (Vol. 67). Springer Science & Business Media.
- Goupy, J., & Creighton, L. (2006). Introduction aux plans d'expériences-3ème édition- Livre+ CD-Rom. Hachette.
- Driesbeke, J. J., Fine, J., & Saporta, G. (Eds.). (1997). Plans d'expériences : applications à l'entreprise. Editions technip.
- Linder, R. (2005). Les plans d'expériences : un outil indispensable à l'expérimentateur. Presses des Ponts.

Semestre : S3

Intitulé de l'unité : Méthodologie

Intitulé de la matière : Travaux pratiques sur les techniques séparatives

Objectifs de l'enseignement :

A la fin de ce cours, l'étudiant sera capable de maîtriser les techniques séparatives (décantation, absorption, extraction et distillation) ainsi que les transferts de matière et de chaleurs les accompagnants.

Connaissances préalables recommandées :

Structure de la matière, Thermodynamique, Equations différentielles, techniques d'analyses.

Contenu de la matière :

- TP 1. Etude des phénomènes de décantation, filtration et de centrifugation
- TP 2. Etude de phénomène de Séchage d'un solide (poudre).
- TP 3. Extraction liquide liquide-diagramme binaire Eau-Ethanol.
- TP 4. Extraction liquide liquide- Diagramme ternaire (X-Y-Z).
- TP 5. Etude de l'extraction solide-liquide et utilisation des solvants
- TP 6. Valorisation d'un effluent de laboratoire par l'Extraction Liquide – Liquide
- TP 7. Etude de coefficient de diffusion de matière entre phases
- TP 8. Etude de la séparation de phases par osmose inverse ; méthodes membranaire...

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Références bibliographiques : (Livres et photocopiés, sites internet, etc) :

1. <https://ellasciences.jimdofree.com> > Méthodo > Chimie
Décantation: Extraction Liquide-Liquide - Site Ellasciences
2. [Transfert de masse - Laurent Bazinet - Université LAVAL](https://www.laurentbazinet.fsaa.ulaval.ca)
<https://www.laurentbazinet.fsaa.ulaval.ca>
3. [Adsorption-séchage des solides divisés écrit par Jean - Livre](https://www.lalibrairie.com)
<https://www.lalibrairie.com> > livres > adsorption-sechag.
4. Centrifugation Technology. Wallace Woon-Fong Leung. McGraw Hill Professional, 1998 - 430 pages ; Éditeur McGraw Hill Professional, 1998. ISBN 0070371911, 9780070371910
5. Solid/Liquid Separation: Scale-up of Industrial Equipment. Stephen Tarleton, Richard Wakeman
Aperçu limité - 2011
6. books.google.com. Contribution à l'étude du diagramme de phase ternaire. [Roland Ducher](#) · 2003.
7. books.google.com > books. Le diagramme d'équilibre entre phases du système ternaire. Fouzia Adjadj-Bouharkat · 1995
8. Cinétique du Transfert de Matière Entre deux Phases. Ed. Techniques Ingénieur.
9. Transferts d'énergie par convection. De Abdelhanine Benallou. ISTE Group, 1 juin 2018 - 418 pages
10. [Décantation – Filtration : Dossier complet | Techniques de l'ingénieur](https://www.techniques-ingenieur.fr) <https://www.techniques-ingenieur.fr> > base-documentaire

Semestre : S3

Intitulé de l'unité : Méthodologie

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

Objectifs de l'enseignement :

- ✚ Identifier, installer et utiliser des logiciels open source pertinents dans le domaine de l'environnement et du traitement de l'eau.
- ✚ Traiter, visualiser et interpréter des données environnementales.
- ✚ Réaliser des simulations et modélisations de procédés environnementaux.
- ✚ Automatiser des tâches de calcul ou d'analyse avec des outils libres.

Contenu de la matière : (A développer au moins 6 points des 12 points donnés ci-après)

1. Introduction aux logiciels libres et open source : Licences, éthique, communauté
2. Installation et prise en main de Linux (Ubuntu/Debian) (**Logiciels et outils** : Linux, Terminal)
3. Manipulation de données environnementales (**Logiciels et outils** : tableurs open source LibreOffice Calc, CSVKit)
4. Traitement de données analytiques (**Logiciels et outils** : Python (pandas, matplotlib))
5. Visualisation cartographique et géospatiale (**Logiciels et outils** : QGIS)
6. Base de données pour l'environnement (**Logiciels et outils** : SQLite, DB Browser)
7. Simulation des procédés d'épuration biologique (**Logiciels et outils** : GPS-X (démonstration si dispo) ou BioWin (demo) ou alternative libre : WEST-like outils open source)
8. Chimie de l'eau : visualisation et modélisation (**Logiciels et outils** : PHREEQC, interface IPhreeqc)
9. Bilan de matière et simulation de réacteurs (**Logiciels et outils** : Scilab ou Octave)
10. Traitement statistique de données environnementales (**Logiciels et outils** : R, Jamovi (open source))
11. Introduction à l'automatisation (**Logiciels et outils** : scripts bash, Python)
12. Mini-projets étudiants : application d'un logiciel libre à un cas réel (**Logiciels et outils** : au choix)

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Continu : 50%, Examen 50%

Semestre : S3

Unité d'enseignement : Découverte

Intitulé de la matière : Énergies renouvelables

Objectifs de l'enseignement :

L'enseignement de cette unité vise à offrir aux étudiants une compréhension approfondie des enjeux énergétiques et environnementaux, tant à l'échelle locale que mondiale. Il s'agit d'identifier les principales sources d'énergie renouvelable, d'en appréhender les impacts environnementaux, et d'analyser les politiques ainsi que les stratégies mises en place dans le cadre de la transition énergétique. Les étudiants seront également amenés à découvrir des projets innovants tels qu'ITER, l'hydrogène vert ou encore les smart grids, afin de stimuler leur curiosité et leur ouverture aux avancées technologiques.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Enjeux énergétiques et environnementaux

1. Situation mondiale de la consommation énergétique
2. Énergies fossiles, fissiles et renouvelables (définitions, origines, avantages, limites et comparatif des bilans environnementaux)
3. Lien entre énergie, changement climatique, pollution et introduction aux scénarios énergétiques du GIEC
4. Les géants de l'énergie « La chine comme pays émergent et l'USA comme pays développé » (Gestion et politique énergétique)

Chapitre 2 : Bouquet des énergies renouvelable (ENR)

1. Le solaire photovoltaïque et le solaire thermique (définition, principe, fonctionnement, composition d'un panneau solaire, conditions d'utilisation et d'emplacement, rendements, comparaison, avantages, limites, stockage, place ou situation du solaire dans le monde et en Algérie, applications et projets innovants)
2. L'éolien terrestre et offshore (définition, principe, composition d'une éolienne, fonctionnement, conditions d'utilisation et d'emplacement, rendements, comparaison, avantages, limites, place ou situation de l'éolien dans le monde et en Algérie, applications et projets innovants)
3. L'Hydraulique (définition, principe, type de barrage, fonctionnement, conditions d'utilisation et d'emplacement, rendements, comparaison, avantages, limites, stockage, place ou situation de l'hydraulique dans le monde et en Algérie, applications et projets innovants)
4. La Géothermie (définition, principe, type de géothermie haute, moyenne et basse énergies, fonctionnement, conditions d'utilisation et d'emplacement, rendements, comparaison, avantages, limites, stockage, place ou situation de l'hydraulique dans le monde et en Algérie, applications et projets innovants) haute et basse énergie
5. La Biomasse (type de biomasse, production, valorisation, biogaz, avantages, limites et enjeux environnementaux)
6. Exemple de projet innovant : Production de l'énergie à partir des algues
7. Quelques exemples d'énergies hybrides

Chapitre 3 : La Transition énergétique

1. Définition de la transition énergétique (entre nécessité et obligation, objectifs et mode d'emploi, mixe énergétique, ...)
2. Stratégies de réussite d'une transition énergétique
3. Les accords de Paris et neutralité carbone
4. Le protocole de Montréal
5. Les différentes COPs (objectifs, actions et engagements)

Chapitre 4 : Innovations et projets d'avenir

1. **Le projet ITER (Fusion nucléaire)**
 - Fonctionnement de la fusion nucléaire
 - Objectifs scientifiques et technologiques
 - Enjeux géopolitiques et environnementaux
 - Situation actuelle du Projet ITER
2. **L'hydrogène vert**
 - Électrolyse et stockage
 - Exemples de projets pilotes (Hydrogen Valleys)
3. **Smart grids et digitalisation de l'énergie**
 - Réseaux intelligents et compteurs connectés
 - Intégration des ENR au réseau électrique
4. **Stockage énergétique innovant**
 - Batteries, volants d'inertie, STEP,....

Chapitre 5 : Efficacité énergétique et sobriété

- Définition d'efficacité et de sobriété énergétique (enjeux énergétiques et environnementales)
- Exemples d'éco-conception des bâtiments, normes RT 2020 et RE 2020
- Technologies de pilotage intelligent (domotique, capteurs)
- Calcul d'empreinte énergétique

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Références :

- MacKay, David J.C. – *Sustainable Energy – Without the Hot Air*
- Peake, Stephen – *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*
- Jancovici, Jean-Marc – *Transition énergétique, pour quoi faire ?*
- Site officiel ITER : www.iter.org
- Dossiers ADEME et RTE sur la transition énergétique

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Découverte

Intitulé de la matière : Capteurs chimiques

Objectifs pédagogiques :

-  Comprendre les principes de fonctionnement des capteurs chimiques et leurs composants essentiels
-  Classer les capteurs selon leur mode de détection (électrochimique, optique, massique, thermique, etc.) et connaître leurs spécificités analytiques.
-  Maîtriser les paramètres analytiques fondamentaux : sensibilité, sélectivité, limite de détection (LOD), limite de quantification (LOQ), linéarité, reproductibilité.
-  Identifier les domaines d'application des capteurs chimiques : surveillance environnementale, analyses biomédicales, sécurité alimentaire, procédés industriels.
-  Analyser et critiquer un capteur existant en termes de performances, de pertinence pour une matrice donnée et de contraintes d'utilisation (coût, robustesse, interférences).
-  Concevoir ou sélectionner un capteur adapté à un problème analytique concret, en intégrant les aspects techniques, analytiques et pratiques.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 – Introduction aux capteurs chimiques (2 semaines)

- Définitions
- Identification des éléments constitutifs : récepteur, transducteur, signal
- Classifications : capteurs électrochimiques, optiques, thermiques, etc.
- Applications en environnement, santé, industrie

Chapitre 2 – Principes fondamentaux de détection chimique (2 semaines)

- Notions de sensibilité, sélectivité, temps de réponse, linéarité, durée de vie
- Paramètres analytiques : limites de détection (LOD), de quantification (LOQ), réponse et bruit, ..
- Traitement et interprétation des signaux analytiques : Électronique de lecture, amplification, bruit, Numérisation et interface avec des systèmes d'acquisition
- Méthodes de calibration des capteurs

Chapitre 3 – Capteurs électrochimiques (2 semaines)

- Capteurs ampérométriques, potentiométriques, conductimétriques
- Électrodes de référence et électrodes sélectives d'ions
- Applications : analyse de pH, ions métalliques, glucose

Chapitre 4 – Capteurs optiques (2 semaine)

- Principe de détection optique : absorption, fluorescence, luminescence
- Fibres optiques et capteurs colorimétriques
- Exemples : capteurs de gaz, capteurs biomédicaux

Chapitre 5 – Applications avancés et innovations (3 semaines)

- Capteurs dans l'environnement (polluants, pesticides, métaux lourds)
- Capteurs portables et connectés (lab-on-a-chip, IoT)
- Biosenseurs : hybridation avec éléments biologiques (enzymes, anticorps)
- Perspectives : capteurs intelligents, diagnostics in situ, capteurs miniaturisés

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Transversale

Intitulé de la matière : Entrepreneuriat, Startup & Innovation

A faire sous forme d'atelier/activité en groupe

Objectifs pédagogiques :

Ce module vise à former les apprenants aux fondamentaux de la gestion de projet et à les accompagner dans la création d'entreprises innovantes, en leur permettant :

-  De maîtriser les méthodes et outils de gestion de projet (Gantt, Scrum, Business Model Canvas).
-  De concevoir un plan d'affaires structuré et d'identifier les sources de financement (capital-risque, aides publiques).
-  De développer un projet pratique (prototype ou startup) en équipe, avec une présentation orale et un pitch convaincant.
-  De s'inscrire dans une démarche entrepreneuriale ou professionnelle en intégrant les enjeux de la gestion de projet et de l'innovation.

Contenu de la matière :

Semaines 1 à 2 : Chapitre 1 : Introduction à la gestion de projet

Définition et typologie des projets - Cycle de vie d'un projet

Acteurs du projet (commanditaire, chef de projet, équipe, parties prenantes) - Contraintes : coût, qualité, délais - Introduction aux outils de gestion de projet (Gantt, PERT, etc.)

Semaines 3 à 5 : Chapitre 2 : Méthodologies de gestion de projet

Méthodes classiques (cascade, cycle en V) - Méthodes agiles (Scrum, Kanban)

Outils numériques : Trello, Asana, MS Project - Études de cas pratiques

Semaines 6 à 7 : Chapitre 3 : Création d'une startup

De l'idée au projet entrepreneurial - Étude de marché et analyse des besoins

Business model (notamment le Business Model Canvas)

Définition de la proposition de valeur - Identification des segments de clientèle

Semaines 8 à 9 : Chapitre 4 : Plan d'affaires (Business Plan)

Objectifs et structure du Business Plan - Analyse financière de base (plan de financement, seuil de rentabilité) - Plan marketing et stratégie de communication

Éléments juridiques (forme juridique, propriété intellectuelle)

Semaines 10 à 11 : Chapitre 5 : Financement et accompagnement de projet

Sources de financement : capital risque, business angels, subventions

Incubateurs, accélérateurs, pépinières - Aides et dispositifs publics (ex. : en Algérie, ANSEJ, CNAC...)

Pitch et levée de fonds

Semaines 12 à 14 : Chapitre 6 : Projet pratique

Élaboration d'un mini-projet ou d'un prototype de startup

Constitution d'équipes, travail collaboratif

Présentation d'un pitch devant jury

Évaluation : rapport écrit + présentation orale

Semaines 15 : retour sur les acquis (méthodologies, business plan, pitch).

Mode d'évaluation : (type d'évaluation et pondération)

Examen 100%

Références

- 1) Claude Besner & Brian Hobbs, Management de projets, Presses de l'Université du Québec, 2012.
- 2) Jean-Michel Moutot & Jean-Noël Moutot, Management de projet : Principes et outils, Dunod, 2020.
- 3) Harold Kerzner, Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, Wiley, 2022.
- 4) PMI (Project Management Institute), A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 7th Edition, PMI, 2021.
- 5) Olivier Ezratty, Guide des startups, édition annuelle gratuite
- 6) Steve Blank, The Startup Owner's Manual: The Step-by-Step Guide for Building a Great Company, K&S Ranch, 2012.

Avis et Visas des organes Administratifs

Intitulé de la Formation : Master Académique « Chimie de l'Environnement et de l'eau »

Chef de Département + Responsable de domaine

Date et visa :

Date et visa :

Doyen de la Faculté (ou Directeur d'institut)

Date et visa :

Chef d'établissement universitaire

Date et visa :