

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

MASTER PROFESSIONNALISANT

Mise à jour 2025– 2026

AVIS FAVORABLE

Alger le, 13 août 2025



رئيس اللجنة البيداغوجية الوطنية
لميدان العلوم والتكنولوجيا
الأستاذ: إسعدي رشيد

Etablissement	Faculté	Département
Université Ferhat ABBAS. Sétif-1	Technologie	Génie des Procédés

Domaine	Filière	Spécialité
Sciences et Technologies	Génie des Procédés	Génie Electrochimique

Responsable de l'équipe du domaine de formation :

Prof. Lazhar RAHMANI

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

عرض تكوين
ل.م.د
ماستر مهني

المؤسسة	الكلية	القسم
جامعة سطيف 1 فرحات عباس	التكنولوجيا	هندسة الطرائق

الميدان	الشعبة	التخصص
علوم وتكنولوجيا	هندسة الطرائق	هندسة الكتروكيميائية

مسؤول فرقة ميدان التكوين : أ.د. لزهر رحماني

SOMMAIRE

I. Fiche d'identité du Master	04
1. Localisation de la formation	05
2. Coordonateurs	05
3. Partenaires	05
4. Contexte et objectifs de la formation	06
A. Organisation générale de la formation : position du projet	06
B. Conditions d'accès	06
C. Objectifs de la formation	06
D. Profil et compétences visées	07
E. Potentialités régionales et nationales d'employabilité	08
F. Passerelles vers les autres spécialités	08
G. Indicateurs de suivi du projet de formation	08
5. Moyens humains disponibles	09
A. Capacité d'encadrement	09
B. Equipe d'encadrement de la formation	10
B.1 Encadrement Interne	10
B.2 Encadrement Externe	10
B.3 Synthèse globale des ressources humaines	11
B.4 Personnel permanent de soutien	11
6. Moyens matériels disponibles	11
A. Laboratoires Pédagogiques et Équipements	12
B. Terrains de stage et formations en entreprise	13
C. Laboratoires de recherche de soutien à la formation proposée	14
D. Projets de recherche de soutien à la formation proposée	15
E. Documentation disponible	15
F. Espaces de travail du personnel et TIC	15
II. Fiche d'organisation semestrielle des enseignements	16
1. Semestre 1	17
2. Semestre 2	18
3. Semestre 3	19
4. Semestre 4	20
5. Récapitulatif global de la formation	21
III. Fiche d'organisation des unités d'enseignement	22
IV. Programme détaillé par matière	23
V. Accord / Conventions	83
VI. Curriculum Vita des coordinateurs	84
VII. Avis et Visas des organes administratifs et consultatifs	86
VIII. Visa de la Conférence Régionale	87

I –Fiche d'identité du Master

1-Localisation de la formation: Université Ferhat ABBAS-Sétif1

Faculté (ou Institut): Technologie

Département: Génie des Procédés

Section: /Génie électrochimique

2-Coordinateurs:

-Responsable de l'équipe du domaine de formation:

(Professeur ou Maître de conférences Classe A):

Nom & prénom : **RAHMANI Lazhar**

Grade: Professeur

☎: 0658071232 ; Fax: 036444676 ; E- mail: lazhar_rah@yahoo.fr

Joindre un CV succinct en annexe de l'offre de formation (maximum 3 pages)

-Responsable de l'équipe de la filière de formation :

(Maître de conférences Classe A ou Maître-Assistant classe A):

Nom & prénom : **CHAFAI Nadjib**

Grade: Professeur

☎: 0664208212 ; Fax: 036444676 ; E- mail : n.chafai@univ-setif.dz

Joindre un CV succinct en annexe de l'offre de formation (maximum 3 pages)

-Responsable de l'équipe de la spécialité :

(Au moins Maître-Assistant Classe A) :

Nom & prénom : **FOUDIA Malika**

Grade : Professeur

☎: 0550495309 ; Fax: 036444676 ; E-mail : foudiam@yahoo.fr,

Joindre un CV succinct en annexe de l'offre de formation (maximum 3 pages)

3-Partenaires extérieurs*:

- Etablissements partenaires:

- Université Med Boudhief (Msila)
- Université Med Bachir El-Ibrahimi (BBA)

- Entreprises et autres partenaires socioéconomiques:

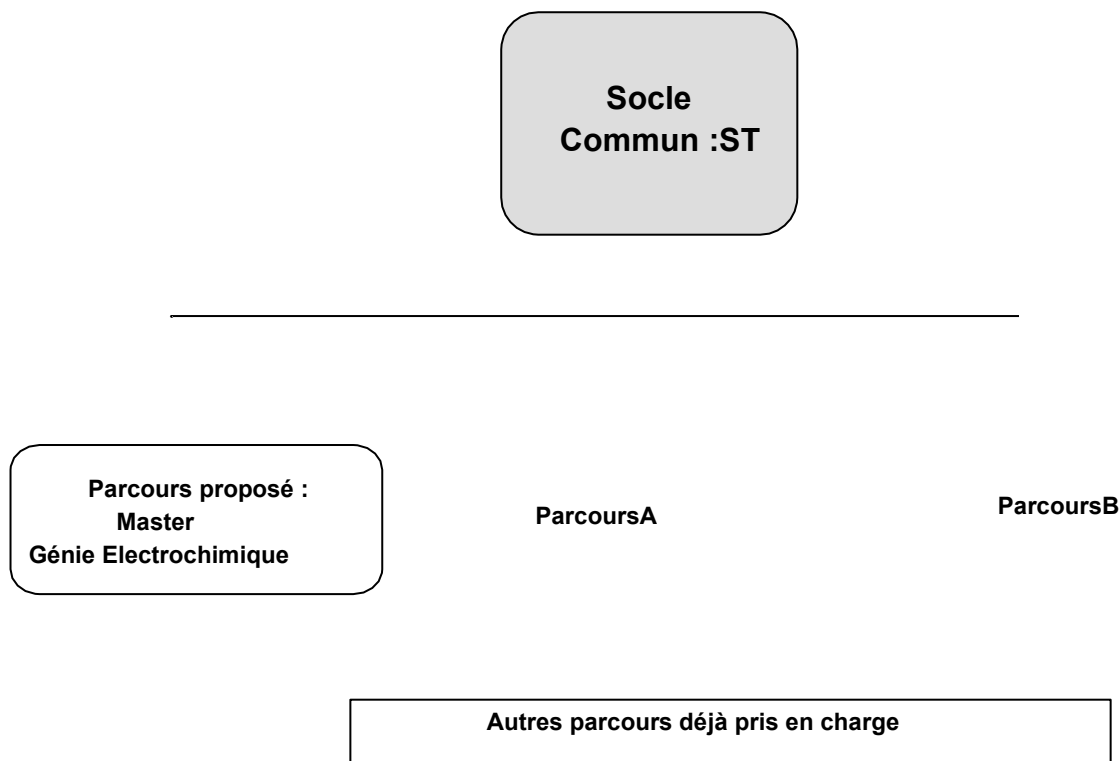
- ENPEC (Sétif)
- BCR (Sétif)
- AMC (Sétif)
- Trefisoud (Sétif)
- ALGAL (M'sila)
- ALZINC (Ghazaouet)
- ENIP (Skikda)
- SONATRACH

- Partenaires internationaux : Néant

4-Contexte et objectifs de la formation

A-Organisation générale de la formation: position du projet

Si plusieurs Masters sont proposés ou déjà pris en charge au niveau de l'établissement (même équipe de formation ou d'autres équipes de formation), indiquer dans le schéma suivant, la position de ce projet par rapport aux autres parcours.



B – Conditions d'accès (indiquer les parcours types de licence qui peuvent donner accès à la formation Master proposée)

Filière	Spécialité (Master)	Licences ouvrant Accès au Master	Classement selon la compatibilité de la Licence	Coefficient affecté
Génie des Procédés	Génie électrochimique	Electrochimie	1	1.00
		Génie des Procédés	1	1.00
		Chimie physique	1	1.00
		Génie des matériaux	1	1.00
		Métallurgie	2	1.00
		Chimie de l'environnement	2	0.80
		Energies renouvelables	3	0.80
		Autres Licences du ST	4	0.60

C-Objectifs de la formation

Cette formation de Master vise principalement à former des cadres pour les secteurs industriels dans lesquels sont impliqués les partenaires industriels de la formation et des chercheurs pour les laboratoires de recherche. Ce Master a pour objectif de donner des compétences bi disciplinaires en Electrochimie et en Génie des Procédés aux diplômés.

En outre et en notant la forte expérience du groupe pédagogique proposant ce Master, la formation dispensée vise à offrir aux étudiants des compétences scientifiques dans des domaines porteurs sur le plan scientifique et technologique.

L'enseignement traite des concepts et des méthodes utilisés dans tous les domaines de l'électrochimie ainsi que des possibilités ouvertes par l'électrochimie en chimie préparative, chimie physique et chimie analytique.

Les domaines abordés sont multiples et concernent aussi bien le domaine académique que le domaine industriel : moléculaire, nanosciences, (bio) analyse, énergie, batteries, piles à combustible, corrosion, matériaux : semi-conducteurs, polymères, organiques et inorganiques, couches minces, catalyse et électrocatalyse, bioélectrochimie et photoélectrochimie...

Nous devons mettre l'accent sur le développement industriel, dans les secteurs de l'industrie des traitements de surface et revêtements, traitement des eaux et environnement, lutte contre la pollution, de la conversion et du stockage de l'énergie, de la chimie fine, de la chimie de coordination, de la chimie pharmacologique (Electro-synthèse organique), de la corrosion et de l'industrie pétrolière.

L'étudiant acquiert des connaissances approfondies en électrochimie et doit être capable d'appliquer les connaissances acquises. Ce Master lui permet également de découvrir l'importance des phénomènes électrochimiques qui interviennent dans le secteur industriel des matériaux.

D–Profils et compétences visées (*maximum 20 lignes*):

La formation vise les domaines de compétences suivants :

- Maîtriser les différents aspects de la réactivité (activation+ diffusion).
- Prévoir l'influence de la réactivité sur les signaux électrochimiques observés.
- Pouvoir choisir, exploiter et mettre en œuvre les techniques électrochimiques.
- Tirer des conclusions en analysant, résumant et critiquant la synthèse des travaux antérieurs en électrochimie.
- Corréler et appliquer les connaissances acquises dans le domaine professionnel.
- Incorporation et Innovation des procédés électrochimiques dans l'industrie.

E-Potentialités régionales et nationales d'employabilité

Les possibilités ouvertes aux étudiants, après le Master, se trouvent dans les secteurs industriels public et privé de recherche suivante :

- (ENPEC(Sétif),
- BCR(Sétif),
- AMC(Sétif),
- TREFISOUD (Sétif),
- ALGAL (M'Sila),
- ALZINC (Ghazaouet),
- ENIP (Skikda),
- SONATRACH,
- SONELGAZ...),
- Université: Post-graduation

F–Passerelles vers les autres spécialités

- Génie Chimique
- Génie Pharmaceutique
- Chimie physique
- Chimie analytique
- Chimie de l'environnement

G–Indicateurs de suivi du projet

Mise en place du comité de suivi du Master qui se chargera de l'organisation du concours d'accès, du planning des enseignements, des examens et des délibérations.

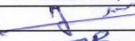
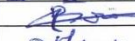
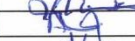
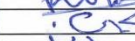
5 – Moyens humains disponibles

A : Capacité d'encadrement (exprimé en nombre d'étudiants qu'il est possible de prendre en charge) : 30

B : Equipe d'encadrement de la formation :

B-1 : Encadrement Interne :

Nom, prénom	Diplôme	Grade	Laboratoire de recherche de rattachement	Type d'intervention *	Emargement
FOUDIA Malika	Doctorat	Prof.	LEES	C, TD, TP, Enc.	
MAOUCHE Naima	//	//	LEM	//	
CHAFAI Nadjib	//	//	LEMMC	//	
DOUADI Tahar	//	//	LEMMC	//	
BENAICHA Mohamed	//	//	LEES	//	
ZOUAQUI Ahmed	//	//	LEES	//	
MADANI Ahmed	//	//	LEES	//	
BENGHANEM Fatiha	//	//	LEIMCR	//	
OUARI Kamel	//	//	LEIMCR	//	
HAFFAR Djahida	//	//	LEIM	//	
CHOUDER Dalila	//	//	LEMMC	//	
HABELHAMES Farid	//	//	LEM	//	
SEID Lamria	//	MCA	LEES	//	
CHIKOUCHE Imane	//	//	LEES	//	
CHAMANA Nadia	//	//	LEES	//	
HAKIMI Nesrine	//	//	LEES	//	
BOUDISSA Kamel	//	//	LEM	//	
MALKI Boualem	//	//	LEES	//	
KAABI Ilhem	//	//	LEMMC	//	
TOUKAL Linda	//	//	LEM	//	
MOUMENI Wahiba	//	//	LEMMC	//	

Nom, prénom	Diplôme	Grade	Laboratoire de recherche de rattachement	Type d'intervention *	Emargement
CHERITI Mabrouk	Doctorat	MCB	LEES	C, TD, TP, Enc.	
DERBAL Sabrine	//	//	LEES	//	
ZERGUINE Widad	//	//	LEM	//	
BOUKEZOULA Soraya	//	//	LEM	//	
BENRAMDANE Razika	//	//	LEIMCR	//	
BOUZIDI Leila	//	//	LEM	//	
MOUZALI Saida	//	//	LEM	//	
LAKHDARI Meriem	//	//	LEM	//	
DJENANE Meriem	//	//	LEMMC	//	
RIKOUH Rahma	//	//	LEMMC	//	
GOUICHICHE Amina	//	MAA	LEES	//	
KHANTIT Hanane	//	//	LEM	//	
LAOUAMEN Nadia	//	//	LEES	//	

* = Cours, TD, TP, Encadrement de stage, Encadrement de mémoire, autre (à préciser)

B-3: Synthèse globale des ressources humaines:

Grade	Effectif Interne	Effectif Externe	Total
Professeurs	12	00	12
Maîtres de Conférences(A)	09	01	10
Maîtres de Conférences(B)	10	02	12
Maître Assistant(A)	03	00	03
Maître Assistant(B)	-	-	-
Autre (préciser)	-	-	-
Total	26	02	28

B-4: Personnel permanent de soutien (différentes catégories)

Grade	Effectif
Ingénieurs de Laboratoire	11
Techniciens supérieurs	05

6–Moyens matériels disponibles

A-Laboratoires Pédagogiques et Equipements : Fiche des équipements pédagogiques existants pour les TP de la formation envisagée (1 fiche par laboratoire)

- Laboratoires pédagogiques de graduation et équipements existant : trois (03) Laboratoires dont la capacité est de 20 étudiants/laboratoire

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	Observations
1	Spectrophotomètres UV-Vis	2	Bon état
2	Spectrophotomètre FTIR	1	//
3	HPLC	1	//
4	Absorption Atomique	1	//
5	Polarimètre	1	//
6	Potentio-stat VoltaLab	2	//
7	Potentio-stat Biologic	2	//
8	Rotavap	1	//
9	Centrifugeuse	1	//
10	Viscosimètre	1	//
11	Plaques chauffantes	6	//
12	Electrodes au calomel saturé	15	//
13	Fusiomètre	1	//
14	Calorimètre	1	//
15	Conductimètre	2	//
16	pH-mètres	10	//
17	Générateurs de tension	6	//
18	Réfractomètre	1	//

1. Laboratoire de chimie physique

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
1	Voltalab	5	Bon Etat
2	Spectrophotomètre UV Vis	1	//
3	Spectrophotomètre FTIR	1	//
4	CPG	1	//
5	Potentiostat cussel	3	//
6	pH mètre	2	//
7	Coulomètre Taccussel	1	//
8	Rotavap	1	//
9	Fusiomètre	1	//
10	Etuve	1	//
11	Balance	1	//
12	Régulateur de pression	1	//
13	Pompe à vide	1	//
14	Cellules électrochimiques	6	//
15	Electrodes ECS	6	//
16	Plaques chauffantes	6	//
17	Pilotes Taccussel	2	//
18	Enregistreur	1	//
19	Agitateurs magnétiques	6	//
20	Bain à ultrasons	1	//
21	Bain thermostat	1	//
22	Bi-distillateur	1	//
23	Conductimètre	1	//
24	Microscope optique	1	//
25	Titrateur	1	//
26	Lampe UV	1	//

2. Laboratoire d'électrochimie

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
1	Voltalab	04	Bon Etat
2	Autolab+Gamry	02	//
3	Potentiostats-Galvanostat	02	//
5	Microscope optique	01	//
6	Conductimètre	01	//
7	pHmètre	02	//
8	Four	01	//
9	Etuve	02	//
10	Bain thermostaté	03	//
11	Centrifugeuse	1	//
12	Spectrophotomètre UV Vis	1	//
13	Titrateur	1	//
14	Polarographe	1	//

3.Laboratoire de chimie organique

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	Observations
1	Spectrophotomètre analyse élémentaire	1	Bon Etat
2	Appareil UV-Vis	1	//
3	HPLC	1	//
4	Spectrophotomètre FTIR	1	//
5	Voltalab	2	//
6	Rotavap	2	//
7	Balance	1	//
8	Potentiostat-Galvanostat	2	//
9	Fusiomètre	1	//
10	Etuve	1	//
11	Titrateur	1	//
12	Lampe UV	1	//

B-Terrains de stage et formation en entreprise :

Lieu du stage	Nombre d'étudiants	Durée du stage
ENPEC et laboratoires de recherche	20(master2)	3mois
ENPEC et laboratoires de recherche	30(master1)	1mois
BCR et laboratoires de recherche	20(master2)	3mois
BCR et laboratoires de recherche	30(master1)	1mois

D-Projet(s) de recherche de soutien à la formation proposée :

Intitulé du projet de recherche	Code du projet	Date Début du projet	Date de fin du projet
Fabrication des membranes composites à base de PVDF/graphène pour la conception d'une installation de distillation membranaire avec l'énergie solaire	Projet thématique	01/01/2022	01/01/2026
Electro-polymérisation in-situ et caractérisation d'un matériau hybride à base de polymères organiques conducteurs et de nanoparticules d'oxydes métalliques. Application dans le photovoltaïque et photo-catalyse	A16N01UN190120230004	01/01/2023	01/01/2027
Inhibiteurs de corrosion respectueux de l'environnement	A16N01UN190120230002	01/01/2023	01/01/2027
Amélioration des performances des batteries de stockage de l'énergie solaire	PNR	01/01/2022	01/01/2026

E-Documentation disponible : *(en rapport avec l'offre de formation proposée)*

Plusieurs ouvrages concernant l'électrochimie, le génie électrochimique, la chimie-physique, sciences des matériaux, en méthodes physico-chimiques d'analyse, les énergies renouvelables, la chimie de surface, l'informatique, les maths sont disponibles au niveau de la bibliothèque centrale de l'université de Sétif 1, sans compter ceux se trouvant au niveau des laboratoires de recherche du Département de Génie des Procédés, Faculté de Technologie.

F-Espaces de travaux personnels et TIC:

En plus d'une grande salle d'informatique et d'internet, notre bibliothèque centrale ainsi que celle de la faculté de Technologie qui abrite notre département, sont approvisionnées d'un nombre considérable de livres de chimie et notamment d'électrochimie et de revues spécialisées dans le domaine de formation proposée. On note également l'abonnement de l'Université à la base de données "Science Direct"

II –Fiche d'organisation semestrielle des enseignements

(Prière de présenter les fiches des 4 semestres)

Master Génie Electrochimique(PROFESSIONNALISANT)

➤Semestre 1

Unité d'enseignement	Matière	Crédits	Coefficient	Volume Horaire Hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15semaines)	Mode d'évaluation	
				Cours	TD	TP		Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 05	Électrochimie organique	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Électrodes modifiées et électrocatalyse	2	1	1h30			22h30		100%
	Réacteurs électrochimiques	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 08 Coefficients : 04	Méthodes physico-chimiques d'analyse 1	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Cristallographie	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 11 Coefficients : 07	TP Méthodes physico-chimiques d'analyse 1	2	1			1h30	22h30	100%	
	TP Electrochimie organique	2	1			1h30	22h30	100%	
	Méthodes électrochimiques d'analyse	5	3	1h30	1h30	1h00	60h00	40%	60%
	Programmation avancée python	2	2	1h30		1h30	45h00	40%	60%
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Traitement des eaux	1	1	1h30			22h30		100%
Total semestre1		30	17	13h30	7h30	5h30	375h00		

➤ **Semestre 2**

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume Horaire Hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Mode d'évaluation	
				Cours	TD	TP		Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.1 Crédits : 08 Coefficients: 04	Techniques de synthèse des matériaux	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Corrosion et protection des métaux	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.2 Crédits : 10 Coefficients : 05	Méthodes physico-chimiques d'analyse 2	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Spectroscopie d'impédance électrochimique	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Capteurs électrochimiques	2	1	1h30			22h30		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.2.2 Crédits : 08 Coefficients : 04	TP Techniques de synthèse des matériaux	2	1			1h30	37h30	100%	
	TP Corrosion et protection des métaux	2	1			1h30	45h00	100%	
	TP Méthodes physico-chimiques d'analyse 2	2	1			1h30	22h30	100%	
	Projet tutoré	2	1			1h30	22h30	100%	
UE Découverte Crédits : 01 Coefficients: 01	Electrochimie de l'environnement	1	1	1h30			22h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.2 Crédits : 3 Coefficients : 3	Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité	1	1	1h30			22h30	02h30	
	Eléments d'IA appliquée	2	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
Totalsemestre2		30	17	12h00	6h00	7h00	375h00		

➤Semestre 3

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume Horaire Hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Modalité d'évaluation	
				Cours	TD	TP		Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.1 Crédits : 10 Coefficients: 5	Electrochimie des solides	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Semi-conducteurs	2	1	1h30			22h30		1000%
	Traitement de surface	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.2 Crédits : 10 Coefficients : 05	Procédés électrochimiques industriels	4	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Générateurs électrochimiques et stockage d'énergie	6	3	1h30	1h30	2h30	45h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 06 Coefficients : 03	TP Traitement de surface	3	2			3h00	45h00	100%	
	Stage d'initiation en entreprise (Procédés électrochimiques industriels)	3	1			1h30	22h30	100%	
UE Découverte Crédits : 01 Coefficients: 01	Bioélectrochimie	1	1	1h30			22h30		100%
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 03 Coefficients : 03	Chemical reverse engineering	2	2	1h30	1h30		45h00	40%	60%
	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	1h30			22h30		100%
Total semestre3		30	17	12h	6h	7h	375h00		

Panier au choix pour les matières des UED (S1, S2, S3)

1. Hygiène Sécurité Industrielles
2. Traitement des eaux
3. Electrochimie de l'environnement
4. Bio-électrochimie
5. Evaluation Technico-économique des Procédés
6. Gestion des entreprises
7. Management de la qualité
8. Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité

➤Semestre 4

Stage en entreprise suivi par un mémoire et une soutenance :

Le stage d'initiation à la recherche ou le stage professionnel est obligatoire au cours du 4^{ème} semestre et représentent 25% du volume horaire global de la filière. Il est équivalent à 6 modules; soit un semestre. Le stage peut se faire dans une structure de recherche affiliée à l'université ou à un établissement ou institution public, semi-public ou privé ou dans une institution dans le domaine de formation de la filière. Il fait l'objet d'un mémoire et d'une soutenance devant un jury et d'une note. Le jury de soutenance est composé d'au moins trois intervenants dans la filière dont l'encadrant du stage.

Activité	VHS	Coefficient	Crédits
TravailPersonnel	450	09	18
Stageen entreprise	250	04	06
Séminaires	24	02	03
Autre(Encadrement)	36	02	03
TotalSemestre4	750	17	30

Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master

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

5-Récapitulatif global de la formation :(indiquer le VH global séparé en cours, TD, pour les 04 semestres d'enseignement, pour les différents types d'UE)

E VH \ U	UEF	UEM	UED	UET	Total
Cours	337h30	22h30	135h00	67h30	562h30
TD	270h00				270h00
TP		270h00			270h00
Travail personnel	200	200	50	50	500
Stage	250				250
Total	1057h3	492h30	185h00	117h3	1852h30
Crédits	54	27	6	3	90
% en crédits pour Chaque UE	60.00	30.00	6.67	3.33	100

III –Fiches d'organisation des unités d'enseignement (Etablir une fiche par UE)

Semestre: 1
Unité d'enseignement : UE- Fondamentale 1.1.1
Matière 1 : Electrochimie organique
VHS: 45h00 Cours: 1h30 ; T.D :1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Connaissances sur les réactions organiques réalisables par voie électrochimique.
Application de l'électrochimie organique pour des réalisations industrielles.

Connaissances préalables recommandées:

Acquisition de connaissances des enseignements de base de chimie organique.
Classification classique des principales réactions en chimie organique.

Contenu de la matière :

Chapitre I. Introduction de l'électrochimie organique

- I.1. Historique
- I.2. Définition et caractéristiques principales
- I.3. Mise en œuvre d'une électrolyse : le montage le plus simple
- I.4. Avantages et inconvénients et comparaisons par rapport aux réactions classiques de la chimie organique.
- I.5. Rappel sur les diaphragmes

Chapitre II. Facteurs influençant les réactions en électrochimie organique

- II.1. Effet de la nature de l'électrode : Domaine de potentiels accessibles, Influence sur le mécanisme, Intervention des phénomènes d'adsorption
- II.2. Choix de l'électrolyte (Solvant plus le sel de fond), domaine de potentiels accessibles, influence du caractère protique du solvant, influence de la nucléophilie du milieu et autres
- II.3. Autres facteurs
 - Influence de la température
 - Influence de la concentration du substrat
 - Influence de l'agitation

Chapitre III. Réactions de l'électrochimie organique

III.1- Intermédiaires réactionnelles et mécanismes

- 1- Intermédiaires anioniques : (Cas d'une réaction cathodique) (Mécanisme EEC, ECE, CECE etc...)
- 2- Intermédiaires cationiques : (oxydation anodique) (Mécanisme EEC, ECE, CECE etc...)
- 3- Radical neutre (réactions de couplage)
- 4- Cas réactions électrocatalytiques

III.2- Principaux groupements réductibles (Principales réduction cathodiques)

(Double et triple liaison carbone-carbone, Dérivés halogénés, Composés oxygénés, Composés sulfurés, Composés azotés).

III.3- Principaux groupements oxydables (Principales oxydations anodiques)

(Hydrocarbures, Dérivés halogénés, Composés oxygénés, Composés sulfurés, Composés azotés)

III.4. Principales réactions en électrochimie organique

III.4.1- Substitutions anodiques

1. Réactions de substitution nucléophile par un carboxylate
2. Réactions de substitution par attaque d'un radical-cation sur un agent nucléophile (substitution d'un noyau aromatique)
3. Réactions de substitution par attaque d'un agent nucléophile sur un carbocation (substitution sur la chaîne latérale d'un dérivé aromatique)
4. Substitution d'un atome d'hydrogène par un radical neutre

III.4.2- Réactions d'addition

III.4.2.1- Additions anodiques

- a- Addition d'un radical sur une double liaison
- b- Addition d'un agent nucléophile sur un radical-cation (Fluoruration, méthylation et acétylation)
- c- Double addition d'un agent nucléophile sur un dication

III.4.2.2- Additions cathodiques

- d- Addition d'un agent électrophile sur un radical-anion
- e- Addition d'un diélectrophile sur un radical-anion ou radical-dianion

III.4.3- Réactions d'élimination

- a) Élimination anodiques
- b) Élimination cathodiques
- c) Élimination par coupures de liaisons (-C-O, C-N, C-S.....)
- d) Élimination de composés monohalogénés (Mono-élimination).

III.4.4- Réaction de couplage

III.4.4.1- couplages anodiques

- a) Couplage de radicaux
- b) Couplage de radicaux-cations
- c) Couplage par oxydation d'hydrocarbures aromatiques

III.4.4.2- Couplages cathodiques

- a) Couplage de radicaux (dimerisation)
- b) Couplages mixtes

III.4.5- Réactions électrocatalytiques

- a) Définition de la réaction catalytique et les différents types de catalyse
- b) Exemples de réactions électrocatalytiques en anodique et en cathodique

Chapitre IV. Dépendance des potentiels de la structure

- Dépendance entre le potentiel de réduction et la nature de la structure (cas des dérivés halogénés (R et X)).
- Dépendance de potentiel avec la chaîne
- Dépendance de potentiel avec l'encombrement stérique
- Double liaison conjuguée aromatique

Mode d'évaluation:

Contrôle continu:40%,Examen:60%.

Références bibliographiques

- [1]A. Doménech-Carbó, J. Zagal, Organic Electrochemistry, Fundamentals, Modern Concepts, and Methods, 1st edition, Elsevier (2025)
- [2]T. Fuchigami and S. Inagi, Fundamentals and Applications of Organic Electrochemistry- Synthesis, Materials, Devices (2014), Wiley)
- [3]G. Hilt, Basic Strategies and Types of Applications in Organic Electrochemistry, ChemElectroChem, 7(2020) pp.395–405
- [4]O. Hammerich, B. Speiser, Organic Electrochemistry_ Revised and Expanded, 5 th edition, Taylor & Francis Group, LLC (2015)
- [5] S. Arnaboldi, S. Grecchi, Organic and Molecular Electrochemistry, Special issue of Current Opinion in Electrochemistry (2025)

Semestre : 1

Unité d'enseignement : UE- Fondamentale 1.1.1

Matière 1 : Electrodes modifiées et électro-catalyse

VHS: 22h30 Cours: 1h30

Crédits: 2

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Acquisition des connaissances sur les électrodes modifiées et leur préparation ainsi que sur l'électrocatalyse dans les différents domaines technologiques de l'électrochimie.

Connaissances préalables recommandées:

Notions de basesur lachimie organique, l'oxydoréduction et la chimie de surfaces.

Contenu de lamatière:

Chapitre I. Supports métalliques

- 1.1- Propriétés requises des électrodes
- 1.2- Electrodes de mercure
- 1.3- Electrodes de carbone
- 1.4- Electrodes de métaux nobles

Chapitre II. Procédés de modifications des électrodes

- a. Selon la méthode
- b. Selon la matière utilisée

Chapitre III. Préparation d'électrodes modifiées à partir de composés organiques

III.1. Recouvrement d'électrodes par électropolymérisation sur l'électrode

- 3.1.1- Polymérisationélectrochimique
 - a- Polymères conducteurs (polypyrrole, polythiophenes, poluaniline...)
 - b- Polymères non conducteurs (styrene, vinylpyridine)

III.2. Recouvrement d'électrodes par des films de polymères préformés

- 3.2.1 Apartir de solutions de polymères
- 3.2.2- Par recouvrement et adsorption
- 3.2.3- Par immersion
- 3.2.4- Par centrifugation
- 3.2.5- Par électro- et photo déposition
- 3.2.6- Par imprégnation
- 3.2.7- Par sublimation
- 3.2.8- Par greffage covalent

III.3- Recouvrement d'électrodes par des Matériaux nanocomposites

Chapitre IV. Préparation d'électrodes modifiées à partir de matériaux inorganiques

- 4.1- Oxyde de métaux (WO, PbO₂, MnO₂, CuO, ZnO....)
- 4.2- Pate de carbone
- 4.3- Argile (Bentonite, Montmorillonite sodique
- 4.4- Zéolites

Chapitre V. Méthodes de caractérisation des électrodes modifiées

Chapitre VI. Applications des électrodes modifiées

- 6.1- Electrosynthèse
- 6.2- Electroanalyse

6-3- Stockage d'énergie

6.4- Corrosion

Chapitre VI. Electrocatalyse

7.1- Catalyse électrochimique Redox

7.2- Catalyse électrochimique rédox sur électrode modifiée

Mode d'évaluation:

Contrôle continu:40%,Examen:60%.

Références bibliographiques

[1]I.R. Boddula, A.M. Asiri , Methods for Electrocatalysis: Advanced Materials and Allied Applications, Springer (2020)

[2]N. Alonso-Vante, C.A.C. Roldán, R.G.G Huerta, G R. Sánchez, A.M. Robledo, Fundamentals of Electrocatalyst Materials and Interfacial Characterization: Energy Producing Devices and Environmental Protection, Wiley (2019)

[3] Santanu Patra, S.K.Shukla, M. Sillanpää, Electrocatalytic Materials, Springer (2024)

[4] M. Heitzmann, thèse de doctorat en Chimie Physique Moléculaire et Structurale, Université Joseph Fourier-Grenoble I, (2005).

[5] N.Maouche, thèse de Doctorat de l'universite Ferhat ABBAs , Setif-1, 2009.

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UE- Fondamentale 1.1.1
Matière 2 : Réacteurs électrochimiques
VHS: 45h00 Cours: 1h30T.D :1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

L'étude des **réacteurs électrochimiques** est essentielle pour un étudiant en Master en électrochimie, car ces dispositifs sont au cœur des applications industrielles et des innovations technologiques en électrochimie. A l'issue de ce cours, l'étudiant devra maîtriser : Compréhension des processus fondamentaux ; Applications industrielles variées ; Optimisation et conception des réacteurs

Connaissances préalables recommandées:

Pour entamer un cours sur les **réacteurs électrochimiques**, certaines connaissances préalables sont essentielles afin de bien comprendre les principes fondamentaux et leur application, à savoir : électrochimie fondamentale, mécanismes réactionnels et étapes limitantes, Diffusion, migration et convection dans les réactions électrochimiques, génie des procédés et transfert de matière, électrodes et matériaux Électrochimiques, notions de modélisation et simulation.

Contenu de la matière:

Chapitre I. Caractéristiques principales

- I.1.** Réacteur et générateur électrochimiques
- I.2.** Principe de fonctionnement du réacteur électrochimique
- I.3.** Distribution du courant dans un réacteur E/C (distributions primaire, secondaire et tertiaire)
- I.4.** Différents types de réacteurs électrochimiques
- I.5.** Cas de réacteur électrochimique à flux (Electrochemical Flow Reactor)
- I.6.** Exemples d'applications industrielles
 - 1.6.1. Électrometallurgie : extraction et raffinage des métaux (ex. production de l'aluminium, zinc, cuivre).
 - 1.6.2. Traitement de surface : électrodéposition (galvanoplastie, anodisation).
 - 1.6.3. Production d'énergie : piles à combustible, batteries lithium-ion, super-condensateurs.
 - 1.6.4. Traitement des eaux : électrocoagulation, électrolyse pour la décontamination.
 - 1.6.5. Synthèse électrochimique : production de composés organiques et inorganiques.

Chapitre II. Thermodynamique des interfaces électrochimiques

- II.1.** Origine microscopique de la tension d'électrode
- II.2.** Structure détaillée de la double couche électrochimique
- II.3.** Expression de la différence de potentiel interfaciale
- II.4.** Tension thermodynamique d'électrolyse et énergie libre de réaction

Chapitre III. Cinétique interfaciale des processus électrochimiques

- III.1.** Lois de la cinétique électrochimique en régime de transfert de charge
- III.2.** Lois de la cinétique électrochimique en régime de transfert par diffusion
- III.3.** Aspect énergétique-rendement d'électrolyse
- III.4.** Rôle de la température sur la cinétique électrochimique
- III.5.** Rôle de la pression sur la cinétique électrochimique

Chapitre IV. Transport du courant électrique dans les solutions électrolytiques

- IV.1 - Concepts élémentaires
- IV.2 - Conductivité électrique des solutions électrolytiques
- IV.3 - Conductivité molaire des solutions électrolytiques
- IV.4 - Lois empiriques de la conductivité électrique des solutions électrolytiques
- IV.5 - Description phénoménologique du transport ionique
- IV.6 - Conductivité électrique des solutions électrolytiques concentrées

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40%, Examen: 60 %.

References bibliographiques

- [1]** [] Liang An (editor), Rong Chen (editor), Yinshi Li (editor) - Flow Cells for Electrochemical Energy Systems_ Fundamentals and Applications, Springer (2023)
- [2]** [] G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamp, Electrocatalysis and Electrochemical Reactors, In book: The CRC Handbook of Heterogeneous Catalysis, CRC (1997)
- [3]** Santanu Patra, S.K.Shukla, M. Sillanpää, Electrocatalytic Materials, Springer (2024)
- [4]** M. CASSIR, Handbook of Membrane Reactors. Electrochemical devices for energy_ fuel cells and electrolytic cells, Elsevier (2013)
- [5]** Scott, Keith, Electrochemical Cells, Materials and Reactors in: Sustainable and Green Electrochemical Science and Technology, John Wiley & Sons, Ltd (2017)

Semestre: 1

Unité d'enseignement : UE- Fondamentale 1.1.2

Matière1 : Méthodes physico-chimiques d'analyse-1

VHS: 45h00 Cours: 1h30T.D :1h30

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

- **Interprétation des spectres** : Apprendre à interpréter les spectres IR, RMN du proton et du carbone 13 pour identifier les groupes fonctionnels et déterminer la structure moléculaire des composés organiques.
- **Analyse structurale** : Utiliser ces techniques pour élucider la structure et la stéréochimie des molécules organiques.
- **Applications pratiques** : Comprendre les applications de ces méthodes dans l'analyse et la synthèse de composés organiques.

Connaissances préalables recommandées:

- **Chimie organique de base** : Compréhension des structures moléculaires, des groupes fonctionnels et des réactions chimiques organiques.
- **Connaissances en spectroscopie** : Familiarité avec les principes généraux de la spectroscopie, y compris l'interaction entre la matière et les champs électromagnétiques.
- **Physique des vibrations moléculaires** : Compréhension des principes de base des vibrations moléculaires, bien que cela soit plus pertinent pour l'IR.
- **Représentation spatiale des molécules** : Capacité à représenter et à comprendre la structure tridimensionnelle des molécules organiques, essentielle pour l'analyse RMN. Ces compétences permettent aux étudiants de mobiliser leurs connaissances en chimie organique et analytique pour identifier et caractériser des molécules complexes. Ces connaissances permettent aux étudiants d'aborder efficacement l'analyse spectrométrique des composés organiques.

Contenu de la matière:

Chapitre I. Rappel sur la spectrophotométrie Infrarouge

1. Introduction à la Spectroscopie Infrarouge

- Définition et principes de base
- Importance en chimie organique
- Régions du Spectre Infrarouge
- Vibrations moléculaires : Vibrations de valence et vibrations de déformation

2. Techniques de Mesure

- Utilisation de la transmission pour les échantillons liquides ou solides
- Réflexion pour l'analyse de surface
- Avantages de la technique IRTF : rapidité et sensibilité accrues

3. Interprétation des Spectres Infrarouge

- Tables de Correspondance : Identification des groupes fonctionnels par leurs bandes d'absorption caractéristiques

- Analyse des Signaux : Détermination des structures moléculaires simples et des groupes fonctionnels
- 4. Applications en Chimie Organique**
 - Identification de Composés : Utilisation comme "empreinte chimique" pour identifier les composés
 - Détermination de Structure : Complémentarité avec d'autres techniques comme la RMN ^1H et ^{13}C pour la détermination des structures moléculaires
- 5. Exemples d'Utilisation**
 - Industrie et Recherche : Applications en médecine légale, industrie pharmaceutique, et recherche biologique
 - Cas Pratiques : Détection d'explosifs, analyse de polymères, et contrôle de qualité
- 6. Exemples d'interprétations de structures de cas pratiques**
- 7. Travaux dirigés : interprétation des spectres IR :**
 - Liaisons multiples : Doubles et triples liaisons
 - Fonctions organiques : Alcools, cétones, aldéhydes, acides, amines...
 - Structures aromatiques : Déformation du noyau, overtones, OOP...

Chapitre II. Résonance Magnétique Nucléaire du Proton

- 1. Introduction à la RMN du Proton**
 - Définition et principes de base
 - Importance en chimie organique
- 2. Principes Physiques**
 - Spin Nucléaire et Champ Magnétique
 - Interaction entre noyaux et champ magnétique externe
 - Précession des noyaux
 - Résonance Magnétique
 - Absorption d'énergie radiofréquence
 - Résonance et fréquence de Larmor
- 3. Caractéristiques du Spectre RMN du Proton**
 - Déplacement Chimique
 - Influence de l'environnement électronique
 - Tables de déplacement chimique
 - Solvants deutérés et référence interne
 - Couplages et Multiplicité
 - Constantes de couplage scalaires
 - Multiplicité des signaux (singlet, doublet, triplet, etc.)
- 4. Interprétation des Spectres RMN du Proton : attribution des signaux**
 - Utilisation des constantes de couplage et de la multiplicité
 - Intégration des pics pour quantifier les protons
- 5. Applications en chimie organique à la détermination des structures**
 - Confirmation de la structure moléculaire
 - Identification des groupes fonctionnels
- 6. Exemples d'interprétations de structures de cas pratiques (sur data show)**

Chapitre III. Résonance Magnétique Nucléaire du Carbone 13

1. Introduction à la RMN du Carbone 13

- Définition et principes de base
- Importance en chimie organique

2. Sensibilité et Abondance Naturelle

- Faible abondance naturelle du carbone 13 (1,1%)
- Techniques pour améliorer la sensibilité

3. Caractéristiques du Spectre RMN du Carbone 13

- Déplacement Chimique
 - Influence de l'environnement chimique
 - Échelle de déplacement chimique, environ 220 ppm
 - Signaux des solvants deutérés
- Couplages et Multiplicité
 - Couplages scalaires avec les protons
 - Utilisation du découplage pour simplifier les spectres

4. Techniques de Mesure

- Découplage du Proton
 - Amélioration du rapport signal/bruit
 - Suppression des couplages scalaires
- Séquences Avancées
 - ^{13}C Attached-Proton-Test – Spectres APT
 - Distortionless Enhanced Polarization Transfer–Spectres DEPT:
 - DEPT 45°, DEPT 90°, DEPT 135°

5. Interprétation des Spectres RMN du Carbone 13

- Attribution des Signaux
 - Utilisation des déplacements chimiques pour identifier les carbones
 - Différenciation des groupes CH, CH₂, CH₃, et carbones quaternaires
- Détermination de Structure
 - Complémentarité avec la ^1H -RMN et l'IR
 - Identification des groupes fonctionnels

6. Exemples d'interprétations de structures de cas pratiques (sur data show)

Moded'évaluation:

Contrôle continu: 40% Examen: 60%

Références bibliographiques:

- [1] Tables de correspondance fréquences-fonctions
- [2] Ressources en ligne pour l'analyse et l'interprétation IR
- [3] Tables déplacement chimique – type de protons pour l'analyse RMN.
- [4] Ressources en ligne pour l'analyse et l'interprétation des spectres ^1H -RMN
- [5] Tables déplacement chimique – type de carbone pour l'analyse ^{13}C -RMN.
- [6] Ressources en ligne pour l'analyse et l'interprétation des spectres ^{13}C -RMN

Semestre: 1
Unité d'enseignement : UE- Fondamentale 1.1.2
Matière2 : Cristallographie
VHS: 45h00 Cours: 1h30T.D :1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le cours de cristallographie est fondamental pour un étudiant en Master en électrochimie, car il permet de comprendre, concevoir et optimiser des matériaux performants en électrochimie. C'est une compétence clé pour la recherche et le développement dans des domaines comme les batteries, les capteurs, la corrosion, l'électrodéposition et la catalyse électrochimique. Voici les éléments clés de ce cours :

1. Compréhension des matériaux électrochimiques

Les électrodes, les électrocatalyseurs, les batteries, les supercondensateurs et les membranes ioniques ont des structures cristallines spécifiques qui influencent leur conductivité ionique/électronique, leur stabilité et leurs performances.

2. Techniques d'analyse des matériaux

Un électrochimiste doit souvent caractériser ses matériaux par des techniques comme la diffraction des rayons X (XRD), qui permet d'identifier la structure cristalline des matériaux et de vérifier leur pureté.

3. Optimisation des performances électrochimiques

En maîtrisant la cristallographie, on peut modifier la structure des matériaux (par dopage, substitution, etc.) pour améliorer leurs performances électrochimiques.

4. Lien avec les réactions électrochimiques

- Les réactions électrochimiques dépendent souvent des plans cristallographiques exposés à la surface des électrodes.

Connaissances préalables recommandées avant d'aborder la cristallographie:

- Notions de base sur structure de la matière à l'état solide et types de liaisons
- Mathématiques de base (vecteurs, indices de Miller)
- Thermodynamique des matériaux (transition et stabilité des phases, diffusion des ions et des électrons dans un cristal...)
- Électrochimie des solides

Contenu de la matière:

Chapitre I : Généralités et notions de cristallographie

- I.1 Définition de la cristallographie
- I.2 Définition d'un cristal
 - I.2.1 Définition
 - I.2.2 Définition d'un polyèdre
- I.3 Maille, motif, réseau et structure cristalline
 - I.3.1 Définition de la maille
 - I.3.2 Définition du réseau cristallin
 - I.3.3 Définition du motif
 - I.3.4 Définition de la structure cristalline

- I.4 Réseau à trois dimensions (les 7 systèmes cristallins et les 14 réseaux de Bravais)
- I.5 Indices de Miller (directions-rangées- et plans dans un cristal)
- I.6 Densité d'empilement ou compacité
- I.7 Exemples de structures cristallines célèbres
 - I.7.1 Structure des halogénures alcalins
 - I.7.2 Structure du diamant
- I.8 Projection de quelques structures dans le plan

Chapitre II : Détermination des structures cristallines à l'aide des rayons X

- II.1 Nature des rayons X
- II.2 Production des rayons X
- II.3 Spectres d'émission de rayons X
 - II.3.1 Spectre continu
 - II.3.2 Spectre de raies caractéristiques
- II.4 Absorption des rayons X
 - II.4.1 Coefficient d'absorption
 - II.4.2 Filtration des rayons X
- II.5 Détection des rayons X
 - II.5.1 Ecrans fluorescents
 - II.5.2 Films photographiques
 - II.5.3 Compteurs
- II.6 Diffraction des rayons X par un cristal
 - II.6.1 Diffraction par un atome
 - II.6.2 Diffraction par un cristal

Chapitre III : Structure cristalline des cristaux ioniques

- III.1 Définition d'un cristal ionique
- III.2 Structure de cristaux ioniques
 - III.2.1 Structures types des composés ioniques avec empilement compact des anions
 - III.2.1.1 Réseau type NaCl
 - III.2.1.2 Réseau type ZnS blende
 - III.2.2 Structures types des composés ioniques avec empilement cubique primitif des anions

Modèle d'évaluation:

Contrôle continu: 40% Examen: 60%

Références Bibliographiques :

- [1] B.D. Cullity, S.R. Stock. Elements of X-ray Diffraction, 4th ed., Pearson (2023).
- [2] F. Izumi, T. Ikeda. Introduction to Crystallography. Oxford Univ. Press (2023).
- [3] L.A. Groat, L.W. Snee. Crystallography and Mineralogy: Principles and Practice. Springer (2023).
- [4] L.A. Alexander, D.A. Drew. X-ray Crystallography and the Properties of Materials. Wiley (2023).
- [5] B.E. Warren, X-ray Diffraction (2nd ed.), Dover Publications (2024).

Semestre: 1
Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 1.1
Matière 1 : T.P Méthodes physico-chimiques d'analyse-1
VHS: 22h30 T.P : 1h30
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

L'objectif de ces travaux pratiques est de compléter les notions qui sont vues dans les cours et travaux dirigés. Applications de ces méthodes dans l'analyse et la synthèse de composés organiques.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie organique de base : Compréhension des structures moléculaires, des groupes fonctionnels et des réactions chimiques organiques. Connaissances en spectroscopie

Contenu de la matière

TP1- Chromatographie sur couche mince chromatographie de quelques colorants

TP2- Chromatographie sur colonne

TP3- Chromatographie sur papier

TP4- Spectroscopie Uv-vis ; Vérification expérimental de la linéarité de la loi de Beer-Lambert

TP5- Spectroscopie Infra rouge et groupes caractéristiques

TP6- Spectroscopie Infra rouge ; effet de la dilution sur un alcool

Modalité d'évaluation:

Contrôle continu: 100%

Semestre: 1

Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 1.1

Matière 2 : T.P Electrochimie organique

VHS: 22h30T.P : 1h30

Crédits: 2

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

Les travaux pratiques d'électrochimie organique ont pour but de permettre aux étudiants de réaliser les réactions organiques par voie électrochimique. Celles-ci peuvent être mises en œuvre pour réaliser :

- Une réaction électrochimique
- Identification et caractérisation spectroscopique des produits synthétisés
- Exploitation de résultats expérimentaux pour déterminer le mécanisme ou la réactivité des espèces chimiques.

Connaissances préalables recommandées:

Notions sur la chimie organique, l'électrochimie et les méthodes électrochimie d'analyse.

Contenu de la matière

TP1 : Facteurs influençant les réactions en électrochimie organique.

TP2 : Les méthodes électrochimiques mises en œuvre.

TP3 : Électropolymérisation du pyrrol

TP4 : L'oxydation du phénol (Dégradation du phénol)

TP5 : L'oxydoréduction du ferrocène

TP6 : Réactions électrocatalytiques

Modalité d'évaluation:

Contrôle continu: 100%

Semestre: 1

Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 1.1

Matière3 : Méthodes électrochimiques d'analyse

VHS: 60h00 Cours : 1h30 T.D : 1h30 T.P : 1h00

Crédits: 5

Coefficient: 3

Objectifs de l'enseignement:

Présentation des principales méthodes électriques d'étude électrochimique, méthodes stationnaires, balayage linéaire en tension (voltampérométrie) et méthode transitoire.

Connaissances préalables recommandées:

L'étudiant doit connaître les connaissances de bases sur les conducteurs électroniques, les conducteurs ioniques et l'interface électrochimique.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités et rappels (3 semaines)

- I.1. Double couche électrique (interface électrochimique)
- I.2. Les différents types d'électrodes (conducteur électronique)
 - I.2.1. Electrodes de première espèce
 - I.2.2. Electrodes de deuxième espèce
 - I.2.3. Electrode Redox (les électrodes inattaquables)

I.3. Cinétique électrochimique

- I.3.1. Vitesse d'une réaction électrochimique
- I.3.2. Transport de matière associé à la production des réactions
- I.3.3. Transport des espèces électroactives a et b par leur seule diffusion en présence d'un électrolyte support

I.4. Polarisation d'une électrode

I.5. Courbes de polarisation

- I.5.1. Différents types de réaction
 - I.5.1.1. Réaction irréversible
 - I.5.1.2. Réaction réversible
 - I.5.1.3. Réaction quasi réversible
- I.6. Domaine de potentiel accessible "mur" du solvant
- I.6.3. Origine du courant résiduel ($I_r = I^f + I^c$)
- I.6.4. Influence de la nature du matériau d'électrode

I.7. Principe de la Voltampérométrie

- I.7.1. Procédure de détermination des voltampérogrammes
- I.7.2. Différentes formes de voltampérométrie

Chapitre II : Potentiométrie (3 semaines)

II.1. Réaction d'oxydoréduction

- II.1.1. Condition thermodynamique pour un titrage Redox
- II.1.2. Dosages des sels ferreux par les sels cériques (titrages symétriques : $N_1 = N_2$)
- II.1.3. Dosage des ions stanniques Sn^{4+} par une solution de Cr^{2+} (titrage asymétrique : $N_1 \neq N_2$)

II.1.4. Dosage d'un mélange d'ions stanneux et d'ions ferreux avec une solution d'ion cérique

II.2. Réactions de Précipitation

II.2.1. Dosage des sels d'argent (Ag^+) par les ions halogénures

II.2.2. Les titrages d'ions halogénures par du nitrate d'argent

II.2.3. Titrage d'un mélange d'halogénures avec du AgNO_3

II.3. Réactions de précipitation et de formation de complexes

Chapitre III : Voltamperometrie sur electrode à disque tournant (edt) (2 semaines)

III.1 Conditions Pratiques

III.2. Expression du courant

III.3. Cas de systèmes a vagues successives

III.4. Equation d'un voltampérogramme en régime de diffusion convective stationnaire pour un système simple

III.4.1. Réaction Electrochimique Rapide

III.4.2. Système Irréversible = Réaction Lente

III.4.3. Systèmes Quasi Réversibles : Courant Limité Par La Diffusion Et La Cinétique

III.5. Cas d'une réaction redox associée a une réaction chimique

Chapitre IV : Voltamperometrie en regime de diffusion naturel (3 semaines)

IV.1. Buts de la voltampérométrie

IV.2. Caractère général de la méthode

IV.3. Voltampérométrie cyclique

IV.3.1. Système réversible (rapide)

IV.3.2. Système Irréversible (Lent)

IV.3.3. Système Quasi-Réversible

IV.4. Nature de l'étape limitante

IV.5. Voltampérogrammes dans le cas de système successifs

IV.6. Caractéristiques des voltampérogrammes correspondant aux systèmes de Simple transfert de charge (sans complication cinétique)

IV. 6.1. Systèmes Electrochimiques Rapides

IV.6.1.1. Définition

IV.6.1.2. Critères analytiques pour un système réversible (rapide)

IV.6.2. Systèmes electrochimiques lents

IV.6.2.1. Définition

IV.6.2.2. Critères analytiques pour une réaction irréversible

IV.6.2.3. Calcul du coefficient de transfert α

IV.6.3. Systèmes Electrochimiques semi-rapides

IV.6.3.1. Critères analytiques pour une réaction quasi-réversible

IV.7. Etude des réactions chimiques couplées au transfert de charge en régime de diffusion pure

IV.7.1. Analyse par voltampérométrie cyclique des processus réactionnels aux electrodes

IV.7.1.1. Processus EcrErreur ! Signet non défini.

IV.7.1.2. Processus E_{cr}i

IV.7.1.3. Processus E_{quasirev}

IV.8. Evolution de l'allure du voltampérogramme en fonction de la vitesse de balayage

IV.8.1. Processus E_c

IV.8.2. Cas D'un double transfert électronique avec étape chimique intermédiaire

IV.8.3. Cas d'un processus catalytique

Chapitre IV : Chronopotentiométrie (2 semaines)

V.1. Principe

V.2. Réduction d'une espèce dissoute dans l'électrolyte

V.3. Réaction électrochimique rapide (système réversible) - Critères

V.4. Réaction électrochimique lente (système irréversible)

V.5. Systèmes à plusieurs constituants ou réactions successives

V.6. Réaction électrochimique chimique

Chapitre VI : Coulométrie (2 semaines)

VI.1. Classification des méthodes coulométriques

VI.1.1. Coulométrie potentiostatique

VI.1.2. Coulométrie intensiostatique

VI.2. Détermination du nombre d'électron par coulométrie

VI.2.1. Coulométrie potentiostatique

VI.2.2. Coulométrie intensiostatique

VI.3. Essais de préparation de monocristaux par électrocristallisation

TRAVAUX PRATIQUES

- 1- Présentation du matériel et des démonstrations
- 2- Potentiométrie
- 3- Voltampérométrie sur Electrode à disque tournant (VEDT)
- 4- Voltampérométrie en régime de diffusion naturel (VRDN)
- 5- Chronopotentiométrie

Modalité d'évaluation:

Contrôle continu: 40% Examen: 60%

Références Bibliographiques :

- [1] A.J. Bard. Electrochimie: principes, méthodes et applications, Ed Masson, Paris (1983)
- [2] J. Besson, J. Guillon, Manipulations d'électrochimie, Ed Masson, Paris (1972)
- [3] Réactions électrochimiques – applications, Ed. CNRS, France (1978)
- [4] F. Mlondre, Electrochimie du concept aux applications, Ed Dunod, Paris (2005)

Semestre: S1

Unité d'enseignement: UET 1.1.1

Matière : Programmation avancée en Python

VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)

Crédits: 2

Coefficient: 2

Objectifs de la matière :

Compétences visées :

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

Objectifs :

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

Matériels nécessaires :

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

Prérequis : Programmation Python.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Rappels sur la programmation en Python (02 Semaines)

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

Chapitre 2 : Programmation et automatisation (04 semaines)

1. Principes d'Automatisation de tâches
 - Bibliothèques Python pour l'automatisation :
 - ✓ Pandas et NumPy.
 - ✓ Os, shutil : manipulation de fichiers et dossiers
 - ✓ Openpyxl ou pandas : travail avec des fichiers Excel ou CSV
 - Définitions et exemples d'automatisation (envoi de mails,...)
2. Manipulation de fichiers avec Python :
 - Utiliser les librairies pour :
 - ✓ Parcourir un dossier (os.listdir)
 - ✓ Vérifier l'existence d'un fichier ou dossier (os.path.exists)
 - ✓ Créer ou supprimer des dossiers (os.mkdir, os.rmdir)
 - ✓ Visualiser des données : Matplotlib, Seaborn, Plitly
 - ✓ Request pour réagir avec des Interface de Programmation d'Application (API)
 - ✓ Beautiful Soup pour le Scraping de données
 - ✓ Tkinter, PyQt pour visualiser des données graphiques

- Copier ou déplacer des fichiers avec shutil...
- Recherche, tri et génération de rapports simples.
- Sérialisation et Désérialisation (Utilisation du module pickle).
- Sérialisation d'objets et traitement de fichiers volumineux (streaming).
-

3. Exercices :

- Utilisation de openpyxl et pandas pour lire, modifier et écrire des fichiers Excel ou CSV pour :
 - ✓ Créer des rapports automatiques
 - ✓ Extraire automatiquement des données
 - ✓
- Ecriture de scripts pour :
 - ✓ traiter des fichiers textes (recherche, tri)
 - ✓ automatiser des calculs techniques
 - ✓ gérer des rapports simples (PDF, Excel)
 - ✓
- Algorithmes de tri, de recherche et de tri par insertion
- Implémenter une fonction de recherche dans une liste.
- Opération sur les fichiers
- Navigation sécurisée (configuration de réseaux simples, gestion des mots de passe)
-

Chapitre 3 : Apprentissage avancé d'Excel

(02 semaines)

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

Chapitre 4 : Apprentissage de GanttProject

(02 semaines)

1. Introduction à la gestion de projets :
 - Qu'est-ce qu'un projet ?
 - Quels sont les enjeux de gestion d'un projet ?
 - Interface de GanttProject
2. Les tâches (création, modification ,organisation)
3. Gestion du temps (dates de début ou de fin de projet)
4. Gestion des ressources
5. Exercices sur Gantt Project

Chapitre 5 : Programmation orientée objet avancée

(03 semaines)

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

Chapitre 6 : Introduction aux données pour l'IA

(02 semaines)

1. Introduction aux Datasets courants en IA :
 - Iris, MNIST, CIFAR-10, Boston Housing, ImageNet.
2. Prétraitement des données pour le Machine Learning:

- Nettoyage, normalisation, encodage, séparation des données.
 - Validation croisée (cross-validation).
3. Techniques de Feature Engineering :
 - Sélection, création de caractéristiques, réduction de dimension.
 4. Bibliothèques essentielles pour le développement des modèles IA:
 - scikit-learn, TensorFlow, Keras, PyTorch

5. Exercices

Travaux pratiques :

TP 01 : Maîtriser les bases de la programmation en Python

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

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

TP 02 :

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

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

TP 03 :

1. Programmation ex Excel du tableau de bord vu en cours
2. Création de tableaux Excel automatisés
3. Macros simples,
4. Formules conditionnelles,
5. Recherche V.

TP 04 :

Organiser une réunion en Ganttproject

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

TP 05 : Structures avancées et organisation du code

(Fonctions personnalisées, dictionnaires, modules et organisation modulaire)

TP 06 : Programmation orientée objet avancée en Python

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

TP 07 : Manipulation de fichiers et analyse de données

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

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

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

Projet final

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

Compétences mobilisées : Lecture de données, POO, structures avancées, Pandas, Scikit-learn.

(Présentation orale + rapport écrit).

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=40%

Bibliographie

- [1] . E.Schultz et M.Bussonnier (2020) : Python pour les SHS. Introduction à la programmation de données. Presses Universitaires de Rennes.
- [2] . C.Paroissin, (2021) : Pratique de la data science avec R : arranger, visualiser, analyser et présenter des données. Paris : Ellipses, DL 2021.
- [3] . S.Balech et C.Benavent : NLP texte minig V4.0, (Paris Dauphine – 12/2019) : lien : https://www.researchgate.net/publication/337744581_NLP_text_mining_V40_-_une_introduction_-_cours_programme_doctoral
- [4] . Allen B. Downey Think Python: How to Think Like a Computer Scientist, O'Reilly Media, 2015;
- [5] . Ramalho, L.. Fluent Python. " O'Reilly Media, Inc.", 2022;
- [6] . Swinnen, G.. Apprendre à programmer avec Python 3. Editions Eyrolles, 2012;
- [7] . Matthes, E. Python crash course: A hands-on, project-based introduction to programming. no starch press, 2019
- [8] . Cyrille, H. (2018). Apprendre à programmer avec Python 3. Eyrolles, 6ème édition. ISBN: 978-2212675214
- [9] . Daniel, I. (2024). Apprendre à coder en Python, J'ai lu
- [10] . Nicolas, B. (2024). Python, du grand débutant à la programmation objet Cours et exercices corrigés, 3eme édition, Ellipses
- [11] . Ludivine, C. (2024). Selenium Maîtrisez vos tests fonctionnels avec Python, Eni

Ressources en ligne :

- Documentation officielle Python : docs.python.org
- Exercices Python sur Codecademy : [codecademy.com/learn/learn-python-3](https://www.codecademy.com/learn/learn-python-3)
- W3Schools Python Tutorial : [w3schools.com/python/](https://www.w3schools.com/python/)

Semestre: 2

Unité d'enseignement: UE- Fondamentale 1.2.1

Matière 1 : Techniques de Synthèse de Matériaux

VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Présentation et synthèse des principales techniques de fabrication des matériaux destinés aux différentes industries. Des exemples de préparation de quelques matériaux usuels et émergents seront analysés.

Connaissances préalables recommandées :

L'étudiant doit avoir des connaissances de base sur la conduction et semi-conduction du courant, structure de la matière dans différents états, notion de potentiel, notion d'oxydoréduction.

Contenu de la matière:

I. Techniques de Synthèse en État Solide des Matériaux

- I.1. Synthèse des matériaux avancés par méthodes électrochimiques (Plaquage électrolytique, électroaffinage, électroformage)
- I.2. Synthèse hydrothermale pour la synthèse des matériaux
- I.3. Synthèse par Dépôt Physique en Phase Vapeur (PVD)
- I.4. Synthèse par Dépôt Chimique en Phase Vapeur (CVD)
- I.5. Synthèse par Dépôt Chimique en Phase Vapeur Métallo-Organique (MOCVD)
- I.6. Synthèse assistée par micro-ondes
- I.7. Synthèse des matériaux par pyrolyse de solutions (Spray pyrolysis)
- I.8. Synthèse bio-inspirée des nanomatériaux
- I.9. Stratégie de synthèse des verres fonctionnels et des vitrocéramiques
- I.10. Synthèse par sol-gel
- I.11. Approche de la chimie verte pour la synthèse des matériaux

II. Exemples de synthèse de matériaux utilisés dans l'industrie

II.1. Electro et hydrométallurgie

- 1.1. Galvanisation des aciers :
 - Galvanisation électrolytique (Electro-galvanizing)
 - Galvanisation à chaud (Hot-dipgalvanizing)
 - Galvanisation à froid (Cold galvanizing ou zincage à froid)
 - Galvanisation par pulvérisation thermique (Thermal spray galvanizing)
 - Galvanisation mécanique (Mechanical plating)
- 1.2. Production de l'aluminium :
 - Procédé Bayer : extraction de l'alumine à partir de la bauxite
 - Procédé Hall-Héroult : réduction électrochimique de l'alumine
- 1.3. Production du MnO_2 : Electrolyse vs. Hydrothermale

II.2. Matériaux Électrocatalytiques à Base de Graphène pour l'Électrolyse de l'Eau

1. Électrolyse de l'eau : différents procédés
2. Mécanisme de l'électrolyse de l'eau

3. Méthodes de synthèse du graphène

- 5.1. Exfoliation mécanique
- 5.2. Décharge à arc
- 5.3. Réduction par exfoliation oxydative
- 5.4. Exfoliation en phase liquide (LPE)
- 5.5. Dépôt Chimique en Phase Vapeur (CVD)

4. Le Graphène comme Électrocatalyseur pour l'Électrolyse de l'Eau

- 6.1. Électrocatalyseur à Base de Graphène Dopé par des Hétéroatomes
- 6.2. Catalyseurs à base de métaux de transition non-précieux et de Graphène
- 6.3. Graphène fonctionnalisé comme électrocatalyseur

II.3. Synthèse des Hydrures Métalliques pour le stockage d'énergie

- 3.1. Définition et propriétés des hydrures métalliques
- 3.2. Cas de la pile rechargeable Ni-MH

II.4. Fabrication Matériaux Electrochromiques : Techniques et applications

- 4.1. Introduction à l'électrochromisme
- 4.2. Histoire de l'électrochromisme
- 4.3. Mécanisme de l'électrochromisme et dispositifs électrochromiques
- 4.4. Types d'électrochromes
- 4.5. Classes de matériaux électrochromiques
- 4.6. Applications des matériaux électrochromiques
 - 4.6.1. Verre/Fenêtres intelligents
 - 4.6.2. Rétroviseurs automobiles
 - 4.6.3. Écrans électrochromiques
 - 4.6.4. Vêtements et dispositifs portables
 - 4.6.5. Modulation des rayonnements micro-ondes et proche-infrarouge

Modèle d'évaluation:

Contrôle continu : 40%, Examen: 60%.

Références bibliographiques

- [1] A. K. Tyagi, Handbook on Synthesis Strategies for Advanced Materials. Volume-I: Techniques and Fundamentals, Springer (2021)
- [2] Abdullah M. Asiri , Methods for Electrocatalysis_ Advanced Materials and Allied Applications, Springer (2020,)
- [3] A. K. Tyagi, Raghumani S. Ningthoujam (eds.) - Handbook on Synthesis Strategies for Advanced Materials. Vol.I: Techniques and Fundamentals, Springer (2021)
- [4] A. K. Tyagi, Raghumani S. Ningthoujam (eds.) - Handbook on Synthesis Strategies for Advanced Materials. Volume-III: Materials Specific Synthesis Strategies, Springer (2022)
- [5] I.R. Boddula, A.M. Asiri , Methods for Electrocatalysis: Advanced Materials and Allied Applications, Springer (2020)
- [6] S.K. Shukla, C.M. Hussain, S. Patra, M. Choudhary (ed.) - Electrocatalytic Materials for Renewable Energy, Wiley (2024).

Semestre: 2

Unité d'enseignement: UE- Fondamentale 1.2.1

Matière 3 : Corrosion et protection des métaux

VHS: 45h00 Cours: 1h30 TD : 1h30

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif de ce cours est de découvrir les problèmes liés à la corrosion des métaux, les divers types de la corrosion et les différents moyens de protection.

Connaissances préalables recommandées :

Avoir préalablement des connaissances sur l'aspect thermodynamique et cinétique de la corrosion, et sur les différents moyens de lutte contre la corrosion (Protection cathodique, emploi des inhibiteurs, revêtements métalliques,...etc).

Contenu de la matière :

Chapitre I : Généralités sur la corrosion (3semaines)

- I.1 Différentes définitions de la corrosion
- I.2 Cause de la corrosion
- I.3 Types de corrosion
- I.4 Les facteurs de corrosion
- I.5 Importance économique de la corrosion

Chapitre II : Corrosion électrochimique (humide) (6 semaines)

- II.1 Aspect thermodynamique de la corrosion
 - II.1.1. Potentiel d'équilibre d'un couple redox
 - II.1.2. Potentiel standard d'un couple redox
 - II.1.2.1 Mesure du potentiel d'une électrode
 - II.1.2.2 Notion du potentiel métal- solution
 - II.1.2.3 Pouvoir oxydant d'une solution
 - II.1.3 Equation de Nernst
 - II.1.3.1 Application de la relation de Nernst
 - II.1.3.2 Prévision du sens d'évolution d'une réaction d'oxydoréduction
 - II.1.4 Processus de corrosion en milieu aqueux
 - II.1.5 Diagramme de potentiel –PH (diagramme de Pourbaix)
 - II.1.5.1 Différents éléments du diagramme de Pourbaix
 - II.1.5.2 Règles de construction d'un diagramme potentiel/pH
- II.2 Aspect cinétique de la corrosion
 - II.2.1 Notions de base
 - II.2.2 Cinétique d'une réaction électrochimique : courbe $i = f(E)$
 - II.2.3 Application aux phénomènes de corrosion
 - II.2.4 Equation de BUTLER-VOLMER
 - II.2.4.1 Droites de Tafel
- II.3 Méthodes d'évaluation de la corrosion
 - II.3.1 Méthode par perte de masse
 - II.3.2 Méthode électrochimique (Courbes de polarisation)

Chapitre III : Types de la corrosion électrochimique (2semaines)

- III.1 Corrosion uniforme ou généralisée
- III.2 Corrosion localisée
 - III.2.1 Corrosion par piquûre
 - III.2.2 Corrosion sélective
 - III.2.3 Corrosion intergranulaire
 - III.2.4 Corrosion galvanique
 - III.2.5 Fatigue corrosion
 - III.2.6 Corrosion sous contrainte
 - III.2.7 Corrosion caverneuse ou par crevasses
 - III.2.8 Érosion-corrosion

Chapitre IV : Méthodes de protection contre la corrosion (4semaines)

- IV.1 Introduction
- IV.2 Méthodes passives
 - IV.2.1 Revêtements anticorrosion
 - IV.2.2 Traitements mécaniques
 - IV.2.3 Protection par inhibiteurs
 - IV.2.3.1 Classification des inhibiteurs
 - IV.2.4 Propriétés des inhibiteurs
 - IV.2.4.1 Inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes
 - IV.2.4.2 Les inhibiteurs anodiques
 - IV.2.4.3 Inhibiteurs cathodiques
 - IV.2.4.3 Mélanges d'inhibiteurs
- IV.3 Méthodes actives
 - IV.3.1 Protection cathodique et passivation anodique

Modèle d'évaluation:

Contrôle continu : 40%., Examen:60%.

Références bibliographiques

- [1] Fontana, M. G., & Greene, N. D. (2023). Corrosion Engineering (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- [2] Jones, D. A. (2023). Principles and Prevention of Corrosion (3rd ed.). Pearson.
- [3] Burstein, G. T. (2023). Corrosion Science and Technology (2nd ed.). CRC Press.
- [4] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2023). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.
- [5] Uhlig, H. H., & Revie, R. W. (2024). Corrosion and Corrosion Control: A Handbook for Practitioners (5th ed.). Wiley.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UE- Fondamentale 1.2.2
Matière 1 : Méthodes Physico-chimiques d'Analyse 2
VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

1. RMN Bidimensionnelle

- **Interprétation des Spectres** : Apprendre à interpréter les spectres RMN 2D pour identifier les relations entre les atomes dans une molécule et déterminer sa structure.
- **Analyse Structurale** : Utiliser des séquences comme COSY, NOESY, TOCSY, HSQC, et HMBC pour corréler les fréquences et obtenir des informations sur la structure moléculaire.
- **Détermination de la Structure** : Déterminer la stéréochimie et la configuration des molécules complexes grâce aux informations fournies par les spectres cartes 2D.

2. Spectrométrie de Masse

- **Principes Fondamentaux** : Comprendre comment les ions sont générés, séparés et détectés en fonction de leur rapport masse/charge (m/z).
- **Analyse des Spectres** : Apprendre à interpréter les spectres de masse pour identifier les ions moléculaires et les fragments.
- **Applications Pratiques** : Comprendre les applications de la spectrométrie de masse dans l'analyse et l'identification des composés organiques.

Connaissances préalables recommandées:

Pour étudier le cours des Méthodes Physico-chimiques d'Analyse dans un cadre de Master en génie électrochimique, il est recommandé d'avoir les connaissances préalables suivantes :

- **Chimie organique de base** : Compréhension des structures moléculaires, des groupes fonctionnels et des réactions chimiques organiques.
- **Connaissances en spectroscopie** : Familiarité avec les principes généraux de la spectroscopie, y compris l'interaction entre la matière et les champs électromagnétiques.

Contenu de la matière:

Chapitre I. Résonance Magnétique Nucléaire bidimensionnelle

1. Introduction à la RMN

- Introduction à la RMN
- Principes fondamentaux de la RMN unidimensionnelle (1D)
- Limitations de la RMN 1D et introduction à la RMN bidimensionnelle (2D)

2. Principes théoriques de la RMN 2D

- Théorie des spins nucléaires

- Interaction spin-spin et relaxation
- Transformation de Fourier bidimensionnelle

3. Techniques de RMN 2D

1. RMN 2D Homonucléaire :

- COSY (CORrelated SpectroscopY) : principes et applications
- NOESY (Nuclear Overhauser Effect SpectroscopY) : principes et applications
- TOCSY (TOrtal Correlation SpectroscopY) : principes et applications

2. RMN 2D Hétéronucléaire :

- HSQC (Heteronuclear Single Quantum Coherence) : principes et applications
- HMBC (Heteronuclear Multiple Bond Correlation) : principes et applications

3. Analyse et interprétation des spectres RMN 2D

- Analyse structurale des molécules organiques, cartes 2D
- Détermination des déplacements chimiques et des couplages scalaires
- Étude des interactions spatiales entre noyaux

4. Applications de la RMN 2D

- Identification des connexions spin-spin
- RMN des structures complexes, cartes 2D

5. Exemples d'interprétations de structures de cas pratiques (sur data show)

6. Travaux dirigés (TD) :

- Interprétation des différentes cartes homos- et hétéronucléaires.

- Complémentarité avec les spectres ^1H , ^{13}C -RMN et IR

1. Conclusion

La RMN 2D est une technique puissante qui permet une analyse détaillée des structures moléculaires. Elle offre des informations précieuses sur les interactions entre noyaux, les couplages scalaires, et les déplacements chimiques, essentielles pour la détermination de la structure et de la géométrie des molécules. Les spectres RMN 2D, en particulier les séquences COSY et NOESY, sont particulièrement utiles pour étudier les interactions scalaires et spatiales entre noyaux, ce qui est crucial en chimie organique et biochimie.

Chapitre II. Spectrométrie de Masse

1. Introduction à la Spectrométrie de Masse

• Définition et principes de base

- Qu'est-ce que la spectrométrie de masse ?
- Histoire et évolution de la technique.
- Applications dans les domaines de la chimie, biologie, pharmacologie...
- Concepts fondamentaux : ions, analyse de masse, spectre de masse.

- **Structure d'un spectromètre de masse**

- Sources d'ionisation : EI, CI, MALDI, ESI, etc.)
- Analyseur de masse (quadripôle, analyseur en temps de vol, etc.)
- Détecteur (multiplicateur d'électrons, détecteur à conversion électron-positron, etc.)
- Systèmes de traitement des données.

2. Sources d'ionisation -

- **Ionisation par impact électronique (EI)**
 - Mécanisme d'ionisation, application dans les composés organiques volatils.
- **Ionisation chimique (CI)**
 - Principe de l'ionisation chimique, avantages et limites par rapport à EI.
- **Ionisation par electrospray (ESI)**
 - Fonctionnement de l'ESI, utilisation pour les biomolécules
- **Ionisation par laser (MALDI)**
 - Principe et utilisation dans les biomolécules (protéines, peptides, ADN).

3. Analyseurs de Masse

- **Quadripôle** : Principe, résolution, applications et limitations
- **Secteur magnétique** : premiers instruments, déviation circulaire de la trajectoire des ions, ils sont toujours important aujourd'hui.
- **Analyseur en temps de vol (TOF)** : Principe, résolution et applications.
- **Piège ionique** : Principe et fonctionnement à haute résolution.

4. Interprétation des Spectres de Masse

- **Identification du pic de l'ion moléculaire**
- **Détermination d'une formule moléculaire**
 - Ions moléculaire de masse entière et pics isotopiques
 - Ions moléculaire à haute résolution : les masses atomiques ne sont pas des nombres entiers, sont des masses exactes.
- **Règles de fragmentation et analyse des fragments**
 - Règle de l'azote
 - Indice de déficience en hydrogène
 - Détection des fragments caractéristiques.
 - Réarrangements de Mc Lafferty et Retro Diels - Alder
 - Relations entre les fragments et la structure chimique.

5. Applications pratiques de la spectrométrie de masse

- Exemples de spectres, analyse de petites molécules simples et complexes.
- Informations détaillées sur la structure moléculaire et la composition isotopique.
- Détermination des structures des molécules à partir des spectres de masse.

6. Spectres de masse de quelques classes chimiques :

- Hydrocarbures
- Acides carboxyliques
- Hydrocarbures aromatiques
- Esters

- Composés hydroxylés
- Éthers
- Cétones
- Aldéhydes
- Amines
- Nitriles
- Composés halogénés
- Composés hétéroaromatiques

7. Exemples d'interprétations de structures de cas pratiques (sur data show)

8. Travaux dirigés (TD) :

- Interprétation des spectres de masse de structures organiques
- Complémentarité avec les spectres ^1H , ^{13}C -RMN et IR

9. Conclusion

La spectrométrie de masse est une méthode analytique qui permet d'identifier et de quantifier des molécules en mesurant le rapport masse/charge de leurs ions. Elle est essentielle dans des domaines variés comme la chimie, la biologie et la pharmacologie, offrant des informations détaillées sur la structure moléculaire et la composition isotopique. Grâce aux techniques d'ionisation avancées et des types d'analyseurs, cette méthode joue un rôle clé dans la recherche scientifique et dans l'industrie.

Moded'évaluation:

Contrôle continu : 40%, Examen:100%.

Référencesbibliographiques

- [1] Douglas A. Skoog, F. James Holler, Stanley R. Crouch. Principles of Instrumental Analysis, Cengage Learning (2017)
- [2] Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch. Fundamentals of Analytical Chemistry, Cengage Learning(2013)
- [3] Daniel C. Harris. Quantitative Chemical Analysis, W. H. Freeman, 9th edition (201)6
- [4] David Harvey. Modern Analytical Chemistry, McGraw-Hill (1999)

Semestre: 2

Unité d'enseignement: UE Fondamentale 1.2.2

Matière 2 : Spectroscopie d'Impédance Electrochimique

VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30 Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le module de spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) est très important pour un Master en génie électrochimique, surtout que le programme inclut des thématiques suivant :

1. **L'électrochimie organique** : analyse des étapes de transfert de charge dans les réactions d'oxydoréduction des composés organiques ; identification des intermédiaires réactionnels et à distinction entre les étapes rapides et lentes ; Caractérisation des électrodes modifiées par des composés organiques
2. **La corrosion et la protection des matériaux** : analyse de la cinétique de corrosion et l'efficacité des revêtements protecteurs.
3. **Le traitement de surface et les revêtements électrochimiques** : caractérisation des dépôts métalliques et à optimisation des paramètres du procédé.
4. **Les batteries, piles à combustible et super-condensateurs** : compréhension des mécanismes de transport de charge et amélioration des performances des systèmes électrochimiques.
5. **Les capteurs électrochimiques et le diagnostic électrochimique** : analyse du comportement des électrodes et optimisation de la détection de certaines espèces chimiques.

Connaissances préalables recommandées :

1. Concepts de base en électrochimie fondamentale : Réactions d'oxydo-réduction ; Potentiel d'électrode et équation de Nernst ; Électrodes de référence et potentiels standard, Équation de Butler-Volmer et relation avec la polarisation ; Courbes de Tafel et étude des vitesses de réaction ; Transfert de charge et résistances de polarisation ; Diffusion, migration ionique et convection ; Influence de la concentration et du potentiel appliqué etc.

2. Notions de base en électricité et interprétation des données expérimentales: Résistance, capacité, inductance; Lois de Kirchhoff, impédance complexe; Logiciels de traitement des spectres (ZView, Excel, MATLAB, Python etc.

Contenu de la matière:

Chapitre 1 : Introduction à l'Impédance Electrochimique

- Définition de l'impédance en électrochimie
- Rappel sur les concepts fondamentaux d'électrochimie
- Avantages et domaines d'application de la SIE

Chapitre 2 : Théorie et Modélisation de l'Impédance

- Notions de résistances, capacités et inductances en électrochimie
- Équation de Nernst et influence du potentiel appliqué

- Équations de Butler-Volmer et de Tafel
- Introduction aux circuits électriques équivalents

Chapitre 3 : Mesure et Acquisition des Données SIE

- Principe des mesures en régime alternatif
- Instruments et équipements utilisés (potentiostat, fréquences, électrodes de référence, etc.)
- Influence des paramètres expérimentaux (fréquence, amplitude du signal, etc.)
- Précautions expérimentales et sources d'erreurs

Chapitre 4 : Analyse et Interprétation des Spectres d'Impédance

- Diagramme de Nyquist et diagramme de Bode
- Détermination des paramètres électrochimiques (résistances, capacités, constantes de temps)
- Ajustement des données avec des modèles de circuits équivalents
- Utilisation de logiciels spécialisés (ex. ZView, EIS Spectrum Analyzer)

Chapitre 5 : Applications en Génie Electrochimique

- Étude des mécanismes de corrosion et efficacité des revêtements protecteurs
- Caractérisation des batteries, supercondensateurs et piles à combustible
- Applications dans les capteurs électrochimiques et le diagnostic industriel
- Optimisation des procédés électrochimiques industriels

Moded'évaluation:

Contrôle continu : 40%, Examen:60%.

Référencesbibliographiques

[1] Alexandros Ch. Lazanas and Mamas I. Prodromidis., Electrochemical Impedance Spectroscopy—A Tutorial, ACS Meas. Sci. Au, Vol. 3, (2023) pp.143-236

[2] Ramanathan Srinivasan, Fathima Fasmin., An Introduction to electrochemical impedance spectroscopy, CRC Press (2021)

[3]Mark E. Orazem, Bernard Tribollet., Electrochemical Impedance Spectroscopy, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc (2017)

[4] AndrzejLasia., Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Applications, Springer-Verlag New York, (2014)

[5]Sylvain AMAND, thèse de Doctorat : Etude par spectroscopies d'impédance électrochimique globale et locale d'une monocouche hybride organique-inorganique respectueuse de l'environnement pour la protection contre la corrosion de l'alliage d'aluminium 2024, INP Toulouse (2012)

[6]Claude Gabrielli ., Spectroscopie d'impédance électrochimique appliquée à l'étude de la corrosion, Matériaux et Techniques, Vol.95 (2007) pp.385- 395.

[7] Marwa El-Azazy., Electrochemical Impedance Spectroscopy, Interchopen, (2020)

[8] LubomírPospíšil. Experimental Techniques in Bioelectrochemistry, Bioelectrochemistry: Principles and Practice, Ed. Birkhäuser Basel (1995)

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UE- Fondamentale 1.2.2
Matière3 : Capteurs électrochimiques
VHS: 22h30 Cours: 1h30
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

L'étude des capteurs électrochimiques est d'une grande importance pour un étudiant en Master en génie électrochimique, car ces dispositifs jouent un rôle clé dans divers domaines scientifiques et industriels. Voici quelques raisons spécifiques :

- a) Compréhension des principes fondamentaux:** Les étudiants doivent apprendre comment les capteurs électrochimiques utilisent des réactions chimiques pour mesurer la concentration d'espèces chimiques.
- b) Conception et utilisation des protocoles de mesure :** conception et mise en œuvre des protocoles de dosage par étalonnage pour mesurer la concentration d'espèces chimiques à l'aide de capteurs électrochimiques.
- c) Applications industrielles et technologiques :** Les capteurs EC sont largement utilisés dans l'industrie chimique, pharmaceutique, médicale (capteurs de glucose, biosenseurs), environnementale (détection des polluants, pH-mètres) et alimentaire. La maîtrise de ces capteurs permet d'améliorer les procédés industriels et d'optimiser la qualité des produits.
- d) Développement et innovation:** Un étudiant en génie électrochimique peut contribuer à l'innovation en développant de nouveaux capteurs plus sensibles, sélectifs et miniaturisés. L'essor des nanotechnologies et des matériaux avancés ouvre la voie à des capteurs électrochimiques spécifiques plus performants comme les capteurs enzymatiques de glucose.
- e) Opportunités de carrière :** La maîtrise des capteurs électrochimiques ouvre des opportunités dans des secteurs comme l'ingénierie analytique, le contrôle qualité, la R&D, et l'environnement. De nombreuses entreprises recherchent des experts en capteurs électrochimiques et en électroanalyse.

Connaissances préalables recommandées:

- a) Principes de base de l'électrochimie :** Comprendre les phénomènes électrochimiques tels que l'oxydoréduction, la conductivité ionique et la potentiométrie, les réactions aux interfaces électrode-solution, les processus de transfert de charge, lois de Butler-Volmer et de Tafel, calcul du potentiel électrochimique etc.
- b) Méthodes d'analyse quantitative :** Calibration, courbes de calibration, limites de détection et de quantification.
- c) Techniques analytiques :** Spectroscopie UV-Vis, chromatographie (HPLC, GC), titrages conductimétriques et potentiométriques.

Contenu de la matière:

1. Fondements théoriques de l'électrochimie- Rappels

- Rappels sur les réactions d'oxydo-réduction
- Potentiel électrochimique et loi de Nernst
- Conductivité électrolytique et transfert de charge

2. Introduction aux capteurs électrochimiques

- Définition et principes fondamentaux
- Historique du développement des capteurs électrochimiques
- Classification des capteurs électrochimiques

3. Types de capteurs électrochimiques

- Capteurs potentiométriques
 - Électrodes sélectives aux ions (ISE)
 - Électrodes à membrane solide
 - Électrodes à gaz
- Capteurs ampérométriques
 - Capteurs à oxygène dissous
 - Capteurs de glucose
 - Biocapteurs ampérométriques
- Capteurs conductimétriques
- Capteurs impédimétriques

4. Matériaux et composites de fabrication des capteurs électrochimiques

- Oxydes Métalliques : Propriétés et applications (Cu_2O , ZnO , etc.).
- Électrodes Modifiées : Utilisation de couches minces et de dopants pour améliorer la sensibilité.
- Biocapteurs : Utilisation d'enzymes pour la détection spécifique.

5. Caractérisation et performance des capteurs

- Sensibilité, sélectivité, et limite de détection
- Temps de réponse et stabilité
- Influence des conditions opératoires (température, pH, etc.)

6. Applications pratiques des capteurs électrochimiques

- Mesure de pH et d'ions spécifiques
- Détection de gaz et de métaux lourds
- Détection de substances pharmaceutiques, Glucose, peroxyde d'hydrogène, etc.
- Analyse Environnementale : mesures de traces d'éléments.
- Contrôle industriel et agroalimentaire
- Surveillance de la qualité de l'eau et de l'air

7. Avancées récentes et recherche en cours

- Capteurs miniaturisés et portables
- Intégration avec les technologies sans fil, portable et connecté
- Développement de nouveaux matériaux sensibles, matériaux émergents.
- Importance des capteurs électrochimiques dans la technologie moderne

Moded'évaluation:

Examen:100%.

Référencesbibliographiques

- [1] BengiUsluRecent Trends and Perspectives on ElectrochemicalSensors for Environmental Monitoring, Elsevier (2023)
- [2] Awais Ahmad, Rajeev Ahuja; Nanomaterials-Based Electrochemical Sensors: Properties, Applications and Recent Advances, Elsevier (2022)
- [3] Jorddy Neves Cruz, Cícero Silva., Electrochemical Sensors and Biosensors: Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science, (2023)
- [4] Advanced Electrochemical Biosensors, MDPI (2020)
- [5] Recent Developments in Electrochemical Sensing, MDPI (2021)
- [6] Pierre Fabry, ChantalGondranCapteurs électrochimiques : Fonctionnement, utilisation, conception ; Cours et exercices corrigés, Ellipses (2008)
- [6] Sanaa Majid Capteurs électrochimiques ultrasensibles : Détection et analyse des traces de métaux lourds(2024)
- [7] Maruccio G., Narang J. (ed.). Electrochemical Sensors: From Working Electrodes to Functionalization and Miniaturized Devices, Woodhead Publishing (2022)
- [8] Manjunatha J.G. (ed.) - Real-Time Applications of Advanced Electrochemical Sensing Devices, IOP Publishing (2024)

Semestre: 2
Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 1.2
Matière 1 : T.P Techniques de synthèse des matériaux
VHS:37h30 T.P : 2h30
Crédits: 3
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement

- ☐ Approfondir la compréhension des notions théoriques.
- ☐ Développer des compétences techniques et méthodologiques.
- ☐ Travailler en autonomie ou en groupe sur des situations proches de la réalité.
- ☐ Apprendre à interpréter et à présenter ses résultats.

Connaissances préalables recommandées :

Connaissances de base sur (semi-conducteurs, transport ionique et électronique, l'oxydoréduction)

Contenu de la matière

TP1 : Nickelage électrolytique en bain de Watts :

- Influence du courant et du temps sur l'épaisseur.
- Calcul du rendement de dépôt.
- Discussion sur la qualité d'adhérence et l'uniformité du dépôt

TP2 : Synthèse du MnO_2 par deux techniques : Electrochimique vs. Hydrothermale

TP3 : Synthèse de nanostructures de ZnO : Méthode électrochimique vs. Sol-gel

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 100%.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UE- Méthodologie 1.2
Matière 2 : T.P Corrosion et protection des métaux
VHS: 45h00 T.P : 3h00
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Permettre à l'étudiant d'appliquer les connaissances théoriques acquises sur le plan pratique et de visualiser certains phénomènes.

Savoir travailler en équipe, respecter les règles de sécurité et maîtriser les risques liés aux matériels, aux installations et aux procédés.

Connaissances préalables recommandées

Thermodynamique et cinétique chimique et électrochimique, les méthodes électrochimiques d'analyse et la spectroscopie d'impédance électrochimique

Contenu de la matière:

•La corrosion du Fer

- La corrosion galvanique
- La corrosion généralisée sur un métal : l'acier
- la corrosion par piqure de l'acier inoxydable
- la corrosion intergranulaire
- la corrosion du fer par formation de micro-pile

Chacune des cinq parties présente une méthode électrochimique différente adaptée pour la mesure de chaque type de corrosion.

•Corrosion Et Protection Du Fer par mesure d'impédance électrochimique

- Protection de l'acier en milieu acide par mesure d'impédance électrochimique
- protection cathodique et anodique du fer par mesure d'impédance électrochimique et les courbes de polarisation.
- protection du fer contre la corrosion par une anode sacrificielle

Mode d'évaluation:

Contrôle continu:100%.

Semestre: 2
Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 1.2
Matière 3 : T.P Méthodes physico-chimiques d'analyse 2
VHS: 22h30T.P : 1h30
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Mesurer la capacité d'un étudiant à réaliser un travail pratique en utilisant les connaissances acquises en cours ou en début de TP et d'apprécier sa capacité à rédiger un document scientifique mettant en évidence les résultats majeurs obtenus.

Connaissances préalables recommandées :

Pour suivre cet enseignement, l'étudiant doit maîtriser la chimie organique, la stéréochimie, la chimie moléculaire.

Contenu de la matière

I-Spectrophotométrie infra-rouge

II-Spectroscopie de la résonance magnétique nucléaire RMN

III-Spectrométrie de masse

Mode d'évaluation:

Contrôle continu:100%

Semestre: 2
Unité d'enseignement : UE- Transversale 1.2
Matière2 : Energies renouvelables
VHS: 22h30 Cours: 1h30
Crédits: 1
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Le cours vise à offrir aux étudiants une formation large, diversifiée et multidisciplinaire sur les énergies renouvelables. Il donne une vue d'ensemble des différentes sources et utilisations des énergies renouvelables, en mettant l'accent sur les ressources disponibles, les technologies de conversion, les impacts environnementaux et les aspects socio-économiques de leur développement.

Connaissances préalables recommandées:

Pour étudier le traitement des eaux potables dans un cadre de Master en génie électrochimique, il est recommandé d'avoir les connaissances préalables suivantes :

1. **Chimie** : Électrochimie (réactions redox, cinétique électrochimique), chimie des matériaux (catalyseurs, semi-conducteurs).

2. **Physique** : Électromagnétisme, thermodynamique, mécanique des fluides et transferts de chaleur.

Mathématiques : Analyse, algèbre linéaire, équations différentielles (pour la modélisation des systèmes énergétiques).

Contenu de la matière:

Chapitre I : Introduction et enjeux de la transition énergétique

1. Définition et concepts clés

- Ressources énergétiques : renouvelables vs fossiles
- Notions de puissance, rendement et stockage de l'énergie

2. Les enjeux environnementaux et climatiques

- Impact des énergies fossiles sur le climat
- Objectifs de développement durable et accords internationaux (COP, Accords de Paris)

3. Politiques et stratégies de transition énergétique

- Mix énergétique mondial et perspectives
- Réglementations et incitations (normes, subventions, taxes carbone)

Chapitre II: L'énergie solaire

1. Rayonnement solaire et potentiel énergétique

- Irradiance solaire, spectre solaire
- Facteurs influençant la production solaire

2. Technologies photovoltaïques

- Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques
- Matériaux utilisés (silicium, couches minces pérovskites,)
- Rendement et stockage de l'énergie solaire

3. Le solaire thermique

- Capteurs thermiques et applications (chauffe-eau solaire, centrales solaires thermodynamiques)

Chapitre III : L'hydrogène et l'hydrogène vert

1. Propriétés et cycle de production de l'hydrogène

- Types d'hydrogène : gris, bleu, vert
- Production par électrolyse de l'eau et reformage du méthane

2. Stockage et transport de l'hydrogène

- Technologies de stockage : compression, liquéfaction, hydrures métalliques
- Infrastructure et transport de l'hydrogène (pipelines, stations hydrogène)

3. Applications de l'hydrogène

- Piles à combustible et véhicules hydrogène
- Rôle de l'hydrogène dans le stockage d'énergie renouvelable

Chapitre IV: L'énergie éolienne

1. Principe et potentiel de l'énergie éolienne

- Dynamique des vents et aérodynamique des éoliennes
- Types d'éoliennes (horizontales, verticales, offshore)

2. Conversion et stockage de l'énergie éolienne

- Générateurs et électronique de puissance
- Intégration au réseau électrique et intermittence

Chapitre V: L'énergie hydraulique

1. Principes de l'énergie hydraulique

- Potentiel hydroélectrique et impact des barrages
- Types de centrales (au fil de l'eau, barrage-réservoir, marémotrice)

2. Technologies et rendement des turbines hydrauliques

- Turbines Pelton, Francis, Kaplan
- Stockage par pompage-turbinage (STEP)

Chapitre VI: La géothermie

1. Principes et types de géothermie

- Géothermie profonde (haute enthalpie) vs géothermie de surface (basse enthalpie)
- Pompes à chaleur et échangeurs géothermiques

2. Applications et production d'électricité

- Technologies de conversion géothermique
- Stockage de chaleur et efficacité énergétique

Chapitre VII: La biomasse et la bioénergie

1. Origine et filières de valorisation de la biomasse

- Biomasse forestière, agricole, algale
- Conversion thermochimique (pyrolyse, gazéification, combustion)

2. Biocarburants et biohydrogène

- Production de biodiesel, bioéthanol et biogaz
- Perspectives du biohydrogène dans la transition énergétique

Chapitre VIII : Le mix énergétique et perspectives d'avenir

1. **Composition du mix énergétique actuel et futur**
 - Comparaison des sources d'énergie
 - Scénarios de transition énergétique à long terme
2. **Complémentarité des énergies renouvelables**
 - Solutions de stockage d'énergie (batteries, hydrogène, STEP-Station de Transfert d'Énergie par Pompage.)
 - Smart grids et gestion de la demande énergétique
3. **Innovations et nouvelles technologies**
 - Supercondensateurs, photovoltaïque organique, fusion nucléaire
 - Intelligence artificielle pour l'optimisation énergétique

Moded'évaluation:

Examen:100%.

Référencesbibliographiques

- [1] David Wagman. Renewable Energy: A Nontechnical Guide, PennWell Books (2024)
- [2] Chaudhary, Yatendra S, Solar fuel generation, CRC Press (2017)
- [3] Mehmet Kanoglu, Yunus A. Cengel, John M. Cimbala Fundamentals and Applications of Renewable Energy, 2nd edition, McGraw Hill LLC (2023)
- [4] Vasilis Fthenakis. Comprehensive Renewable Energy: Volume 1 - Photovoltaic Solar Energy, Elsevier (2022)
- [5]Junbo Hou, Min Yang. Green Hydrogen Production by Water Electrolysis, CRC Press (2025)

Semestre: S2

Unité d'enseignement : UE Transversale 1.2

Matière : Eléments d'intelligence artificielle appliquée

VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)

Crédits: 2

Coefficient: 2

Compétences visées :

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

Objectifs :

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

Prérequis :

Programmation avancée Python

Matériels nécessaires :

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

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à l'intelligence artificielle l'IA

(01 semaine)

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

Chapitre 2 : Mathématiques de base pour l'IA

(01 semaine)

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

Chapitre 3 : Apprentissage automatique (Machine Learning)

(03 semaines)

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

•

Chapitre 4 : Classification supervisée (3 semaines)

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

•

Chapitre 5 : Apprentissage non supervisé

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

•

Chapitre 6 : Les réseaux de neurones

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

•

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

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

- Reconnaissance des caractères manuscrits
- Prédiction des catastrophes naturelles
- Développer un Chatbot capable de répondre aux questions fréquentes d'une entreprise, de manière naturelle.
- Développer un système capable de distinguer les sons normaux d'une machine de ceux indiquant une anomalie (roulement défectueux, vibration excessive, etc.)
- Développer un système (mini IA) capable d'analyser les sentiments exprimés dans les publications sur réseaux sociaux à propos d'un produit, une marque ou un évènement.

○ ...

Travaux pratiques :

TP 01 : Initialisation

TP 02 :

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

• ...

TP 03 :

- **Pipeline de machine learning et séparation des données**

- Approfondir es notions vues au cours

TP 04 :

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

-

TP 05 :

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

-

TP 06 :

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

- ...

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=40%

Bibliographie :

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

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UE Fondamentale 2.1.1
Matière 1 : Electrochimie des Solides
VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D :1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le module d'électrochimie des solides permet aux étudiants d'acquérir une compréhension approfondie des processus électrochimiques dans les solides, ce qui est fondamental pour le développement et l'optimisation des matériaux et technologies électrochimiques modernes. Il s'intègre parfaitement avec les autres modules du Master, notamment en lien avec les batteries, les revêtements et les techniques de caractérisation.

Connaissances préalables recommandées :

- 1) Electrochimie fondamentale** (lois de Nernst, cinétique électrochimique, électrodes)
- 2) Chimie du solide** (structures cristallines, défauts, diffusion dans les solides)
- 3) Physique des matériaux** (semi-conducteurs, transport ionique et électronique)
- 4) Thermodynamique** (potentiels chimiques, diagrammes de phase)
- 5) Spectroscopie d'impédance électrochimique**

Contenu de la matière:

Chapitre I. Introduction et rappels fondamentaux

- I.1. Différence avec l'électrochimie en solution
- I.2. Notions de structure cristalline
- I.3. Défauts cristallins et transport ionique

Chapitre II. Description d'un cristal ionique

- I.1. Cristal parfait
- I.2. Cristal réel
- I.3. Description d'un électrolyte solide
- I.4. Défaut dans les cristaux (Défauts ponctuels, Impureté substitutionnelle)
- I.5. Eléments de structure et charge effective (Notation de Kroger et Vink)

Chapitre III. Réactions et équilibres en électrochimie du solide

- III.1. Réactions et équilibres dans les solides (désordres atomiques de Schottky et de Frenkel, désordre électronique, réaction de dopage etc)
 - III.2. Diagrammes de Brouwer et leur interprétation
 - III.3. Diagrammes des orbitales moléculaires appliqués aux solides
 - Diagramme des molécules diatomiques Homonucléaires (A_2)
 - Molécules diatomiques hétéronucléaires (AB)
 - Molécules polyatomiques
- Classification de Zaanen-Sawatzky- Allen (ZSA)

Chapitre IV. Transport des charges dans les solides

- IV.1. Conductivité électronique et ionique
- IV.2. Méthodes et techniques de mesure des grandeurs de base du transport électrique dans les phases iono-covalentes

IV.3. Effets des défauts cristallins et des dopants

Chapitre V. Matériaux conducteurs ioniques et applications

- V.1. Conducteurs ioniques et leurs mécanismes de conduction
- V.2. Enthalpie de formation des défauts
- V.3. Cas des piles électrochimiques et batteries solides
- V.4. Conductivité ionique et électronique partielle
- V.5. Coefficient phénoménologique
- V.6. Energie libre standard de formation des oxydes
- V.7. Exemples : oxydes conducteurs, électrolytes solides

Chapitre VI. Techniques de caractérisation

- VI.1. Spectroscopie d'impédance appliquée aux solides
- VI.1. Méthode des 4 électrodes
- VI.2. Méthode de Tubandt
- VI.3. Techniques électrochimiques avancées pour l'étude des solides
- VI.4. Études expérimentales des propriétés électriques

Modèle d'évaluation:

Contrôle continu : 40%., Examen:60%.

Références bibliographiques

- [1] A. HAMMOU et S. GEORGES. Électrochimie des solides : exercices corrigés avec rappels de cours, EDP Sciences (2011)
- [2] Hammou A., Georges S. Solid-State Electrochemistry: Essential Course Notes and Solved Exercises, Springer (2020)
- [3] P.J. Gellings, H.J.M. Bouwmeester .Handbook of Solid State Electrochemistry, CRC-Press, (2019)
- [4] Vladislav V. Kharton. Solid State Electrochemistry I: Fundamentals, Materials and their Applications, Wiley-VCH (2009)
- [5] Vladislav V. Kharton. Solid State Electrochemistry II: Electrodes, Interfaces and Ceramic Membranes, Wiley-VCH (2011)
- [6] Kazuhiro Sylvester Goto. Solid State Electrochemistry and its Applications to Sensors and Electronic Devices, Elsevier Science Ltd, (1988)

Semestre: 3
Unité d'enseignement : UE Fondamentale 2.1.1
Matière 2 :Semi-conducteurs
VHS: 22h30 Cours: 1h30
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

L'introduction d'un module sur les semi-conducteurs dans le Master en génie électrochimique est pertinente, car ces matériaux jouent un rôle clé dans plusieurs domaines liés à l'électrochimie, notamment l'électronique, les capteurs, l'énergie et l'électrocatalyse. Cela permettra aux étudiants de:

- 1. Comprendre la structure électronique des semi-conducteurs**
 - Théorie des bandes (bande de valence, bande de conduction, gap énergétique)
 - Différence entre conducteurs, semi-conducteurs et isolants
 - Densité d'états électroniques et occupation des niveaux
- 2. Analyser le transport des charges dans les semi-conducteurs**
 - Conductivité intrinsèque et extrinsèque
 - Mécanismes de transport : diffusion, migration, effet Hall
 - Rôle des défauts cristallins et dopants
- 3. Explorer les phénomènes électrochimiques spécifiques aux semi-conducteurs**
 - Interfaces semi-conducteur/électrolyte : effet photoélectrochimique
 - Réactions d'oxydoréduction sur les surfaces semi-conductrices
 - Diagrammes de bandes appliqués à l'électrochimie
- 4. Introduire les applications des semi-conducteurs en électrochimie**
 - Photovoltaïque et conversion d'énergie solaire
 - Capteurs électrochimiques et biosenseurs
 - Matériaux semi-conducteurs pour les batteries et supercondensateurs
- 5. Présenter les techniques de caractérisation des semi-conducteurs**
 - Spectroscopie d'impédance appliquée aux semi-conducteurs
 - Mesure de la mobilité et de la concentration des porteurs
 - Techniques de spectroscopie optique et électronique

Connaissances préalables recommandées :

- 1. Électrochimie de base** (Réactions d'oxydo-réduction, Équations de Nernst et de Butler-Volmer, Transport des charges dans les électrolytes (diffusion, migration, conduction), Interfaces électrode/électrolyte)
- 2. Physique de l'état solide** Structure cristalline des solides (réseaux cristallins, maille élémentaire, Bandes d'énergie (bande de valence, bande de conduction))

Contenu de la matière:

Chapitre I. Introduction aux semi-conducteurs

- I.1.** Définition et classification des matériaux conducteurs, semi-conducteurs et isolants
- I.2.** Structure cristalline des semi-conducteurs courants (Si, Ge, GaAs, etc.)
- I.3.** Bandes d'énergie : bande de valence, bande de conduction et gap énergétique

I.4. Semi-conducteurs intrinsèques et extrinsèques (dopage N et P)

I.5. Occupation des niveaux à l'équilibre thermodynamique

Chapitre II. Transport des porteurs de charge dans les semi-conducteurs

II.1. Mécanismes de conduction : électrons et trous

II.2. Distribution de Fermi-Dirac et niveau de Fermi

II.3. Mobilité des porteurs, effet Hall et résistivité

II.4. Phénomènes de génération-recombinaison des porteurs

II.5. Processus de diffusion des porteurs dans un semiconducteur

Chapitre III. Etude physique de l'interface entre deux solides

III.1. Contact entre deux métaux

III.2. Travail de sortie (travail d'extraction)

III.3. Affinité électronique du semi-conducteur

III.4. Description énergétique de l'interface métal-semi/conducteur

III.5. Diagramme énergétique sous polarisation

III.6. Capacité différentielle de l'interface métal/semi-conducteur

III.7. Description énergétique d'une jonction PN

III.8. Caractéristique courant-tension

Chapitre IV. Etude de l'interface entre un semi-conducteur et une solution électrolytique

IV.1. Structure de l'interface

IV.2. Répartition des potentiels à l'interface

IV.3. Capacité différentielle à l'interface

IV.4. Transferts de charge à l'interface semi-conducteur/solution

IV.5. Expression des densités de courant

IV.6. Transfert de charge en présence d'un couple redox

Chapitre V. Interfaces et hétérostructures en électrochimie des semi-conducteurs

V.1. Interface semi-conducteur/électrolyte : mécanismes de charge et décharge

V.2. Formation des couches de charge d'espace

V.3. Diagramme de bande aux interfaces et effet photovoltaïque

V.4. Semi-conducteurs dans les dispositifs électrochimiques (photo-électrochimie, capteurs, batteries à semi-conducteurs)

Chapitre VI. Techniques de caractérisation des semi-conducteurs

VI.1. Spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

VI.2. Mesures de résistivité et de mobilité des porteurs (effet Hall)

VI.3. Spectroscopies optiques et électroniques (UV-Vis, XPS, Raman)

VI.4. Diffraction des rayons X et microscopie électronique

Chapitre VII. Applications des semi-conducteurs en électrochimie

VII.1. Matériaux semi-conducteurs pour l'énergie : cellules solaires, photo-électrodes

VII.2. Semi-conducteurs et catalyse électrochimique

VII.3. Dispositifs de stockage d'énergie (batteries solides, super-condensateurs)

VII.4. Capteurs électrochimiques et biosenseurs.

Modalité d'évaluation:

Examen: 100%.

Références bibliographiques

- [1] James Fiore. Laboratory Manual for Semiconductor Devices: Theory and Application, Published by James M. Fiore via dissidents: (2022)
- [2] Peter Y.U, Cardona M, Fundamentals of Semiconductors-Physics and Materials properties, Springer (2010)
- [3] Jim Turley. The Essential Guide to Semiconductors, Prentice Hall (2002)
- [4] Corey Richard. Understanding Semiconductors: A Technical Guide for Non-Technical People, Apress (2022)
- [5] Ram K. Gupta. Handbook of Semiconductors. Fundamentals to Emerging Applications, CRC Press (2025)

Semestre: 3
Unité d'enseignement : UE1- Fondamentale 2.1.1
Matière 3 : Traitement de Surface
VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

1. Maîtriser les principes fondamentaux des traitements de surface et leur impact sur les matériaux.
2. Comprendre et appliquer les procédés électrochimiques tels que l'électrodéposition (nickelage, chromage, cuivrage aux cyanures) et l'anodisation.
3. Apprendre les méthodes de préparation des surfaces pour optimiser l'adhésion des revêtements.
4. Connaître les traitements chimiques, thermiques et mécaniques utilisés pour améliorer la résistance à la corrosion, l'usure et l'adhérence.
5. Analyser et contrôler la qualité des revêtements à l'aide de techniques de caractérisation avancées.
6. Maîtriser les aspects environnementaux et réglementaires, notamment le traitement des effluents et la gestion des déchets industriels.
7. Appliquer ces connaissances dans un contexte industriel en étudiant des cas réels issus de divers secteurs (aéronautique, automobile, électronique, etc.).

Connaissances préalables recommandées :

1. **Chimie générale et chimie des solutions** (Équilibres chimiques et réactions en solution, pH, acides et bases, réactions redox, solubilité et précipitation)
2. **Lois fondamentales de l'électrochimie** (loi de Faraday, équation de Nernst) Cinétique électrochimique et transfert de charge Corrosion et protection contre la corrosion, Notions de polarisation et surtension)
3. **Notions en métallurgie** (Structure des métaux et alliages, Propriétés mécaniques et physico-chimiques des matériaux, Corrosion des métaux et revêtements de protection)

Contenu de la matière:

1. Introduction au traitement de surface

- Définition et importance industrielle
- Propriétés recherchées : anticorrosion, conductivité, résistance mécanique, esthétique
- Classification des traitements de surface

2. Préparation des surfaces

- Dégraissage et nettoyage (méthodes chimiques et physiques)
- Décapage et activation de surface
- Rôle de l'adhésion et des défauts de surface

3. Dépôts électrolytiques

- Principes de l'électrodéposition
- Processus de nickelage, chromage, cuivrage aux cyanures
- Facteurs influençant l'uniformité des dépôts

- Applications et contrôles qualité

4. Traitements chimiques et électrochimiques

- Phosphatation, anodisation (aluminium)
- Oxydation électrochimique et conversion chimique
- Traitements anticorrosion et protection des alliages

5. Revêtements organiques et polymères

- Peintures électrophorétiques
- Vernis et traitements hydrophobes
- Adhésion et compatibilité des revêtements

6. Traitements thermiques et thermochimiques

- Cémentation, nitruration, carbonitruration
- Effets sur les propriétés mécaniques
- Applications industrielles

7. Traitement des effluents et gestion des déchets

- Caractérisation des effluents issus du nickelage, chromage, cuivrage aux cyanures
- Technologies de traitement des boues (précipitation, filtration, électrocoagulation)
- Réglementation environnementale et normes en vigueur

8. Contrôle et analyse des revêtements

- Techniques d'analyse des surfaces : SEM, EDX, XPS
- Tests d'adhésion et d'usure
- Métrologie et contrôle qualité des traitements

9. Applications industrielles et études de cas

- Exemples concrets de traitement de surface dans divers secteurs
- Études de cas et mise en situation industrielle

Moded'évaluation:

Contrôle continu : 40%., Examen:60%.

Référencesbibliographiques

- [1]Mu. Naushad, SaravananRajendran, Abdullah Al-Enizi. New Technologies for Electrochemical Applications, CRC press (2020)
- [2] Arthur A. Tracton. Coatings Materials and Surface Coatings, CRC Press(2006)
- [3]B G Mellor Surface coatings for protection against wear, CRC Press (2006)
- [3] R. G. King (Auth.) - Surface Treatment and Finishing of Aluminium-Elsevier Ltd, Pergamon Press (1988)
- [4]Stojan S. Djokić Electrodeposition and Surface Finishing: Fundamentals and Applications, Springer-Verlag New York (2014)

Semestre: 3
Unité d'enseignement : UE Fondamentale 2.1.2
Matière1 : Procédés électrochimiques industriels
VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Ce module vise à fournir aux étudiants une compréhension approfondie des procédés électrochimiques utilisés dans l'industrie pour la production de divers composés chimiques. Il couvre les principes fondamentaux des réactions électrochimiques, les technologies de production et les enjeux environnementaux associés à ces procédés. L'objectif est d'acquérir les compétences nécessaires pour analyser, optimiser et concevoir des procédés électrochimiques industriels durables et efficaces.

Connaissances préalables recommandées :

Avant d'entamer ce cours, les étudiants doivent posséder des bases solides en :

- **Électrochimie générale** : réactions redox, potentiel électrochimique, équation de Nernst.
- **Cinétique électrochimique** : loi de Butler-Volmer, transfert de charge, surtension.
- **Thermodynamique** : concepts de Gibbs, enthalpie et entropie appliqués aux systèmes électrochimiques.
- **Matériaux pour l'électrochimie** : électrodes, membranes, électrolytes.
- **Techniques de caractérisation**: Voltammétrie, spectroscopie d'impédance électrochimique.

Contenu de la matière:

Chapitre I : Production de l'hydrogène et de l'eau oxygénée

I.1. Production de l'hydrogène par électrolyse de l'eau

- Principes électrochimiques de l'électrolyse de l'eau
- Types d'électrolyseurs : alcalins, PEM, SOEC
- Rendement énergétique et impact environnemental
- Applications industrielles et stockage de l'hydrogène

I.2. Production de l'eau oxygénée

- Principes réactionnels
- Procédés électrochimiques vs procédés chimiques
- Applications et domaines d'utilisation

Chapitre II : Production du chlore et de la soude

- Réactions électrochimiques fondamentales
- Schéma des cellules électrochimiques
- Rendement et consommation énergétique

II.1. Procédés industriels

II.1.1. Procédés à cathode de mercure

- Principe et fonctionnement

- Impact environnemental et alternatives

II.1.2.Procèdes à diaphragme

- Avantages et limitations
- Matériaux utilisés pour les diaphragmes

II.1.3.Procédés à membrane

- Innovations technologiques
- Comparaison avec les autres procédés

Chapitre III : Production des dérivés du chlore

III.1. Production d'hypochlorite de sodium (eau de Javel)

- Réaction électrochimique et conditions optimales
- Applications et stabilisation du produit

III.2. Production de chlorates et perchlorates de sodium

- Réactions électrochimiques
- Applications industrielles et militaires
- Réglementations environnementales

Chapitre IV : Production des permanganates

IV.1 Production des permanganates de potassium

- Mécanismes de production électrochimique
- Applications en chimie analytique et traitement des eaux

Chapitre V : Production de divers composés inorganiques

V.1 Production de bioxyde de manganèse

- Importance dans les batteries et autres applications
- Procédés électrochimiques et pureté du produit

V.2 Production des bichromates de potassium

- Réactions électrochimiques et conditions opératoires
- Applications industrielles et toxicologie

V.3 Production des perborates, carbonates et phosphates

- Synthèse électrochimique et applications
- Impact environnemental et alternatives durables

Conclusion et Perspectives

- Innovations et tendances dans les procédés électrochimiques industriels
- Intégration des énergies renouvelables dans la production
- Durabilité et réduction de l'impact environnemental

Moded'évaluation:

Contrôle continu : 40%., Examen :60%.

Références bibliographiques

- [1] D. Pletcher, F. Walsh. Industrial Electrochemistry, 2nd ed, Kluwer (1990) ChemElectroChem., (2020). doi:10.1002/celc.202001371
- [2] Richard C. Alkire, Dieter M. Kolb, Jacek Lipkowski, Phil Ross. Electrochemical Surface Modification Thin Films Functionalization and Characterization, Wiley (2008)
- [3] Ahmed A. Afify et al.; "Production of Sodium Hypochlorite by Electrochemical Methods: Development of New Generation Electrodes" – The European Journal of Research and Development, Energies 2023, 16, 4754.
<https://doi.org/10.3390/en16124754>
- [4] C. Ronco, G. J. Mishkin. Disinfection by Sodium Hypochlorite_ Dialysis Applications Karger Publishers (2007)
- [5] D. Majumdar, Review on Current Progress of MnO₂-based Ternary Nanocomposites for Supercapacitor Applications

Semestre: 3

Unité d'enseignement : UE Fondamentale 2.1.2

Matière 2 : Générateurs électrochimiques et stockage d'énergie

VHS: 45h00 Cours: 1h30 T.D : 1h30

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le module sur les générateurs électrochimiques serait très bénéfique, voire indispensable pour un Master en génie électrochimique pour plusieurs raisons dont :

1. Complément aux Fondamentaux de l'Électrochimie

- Les générateurs électrochimiques (batteries, piles à combustible, supercondensateurs) sont des applications directes des principes électrochimiques.
- Ce module renforcerait la compréhension des réactions redox, des transferts d'ions et des phénomènes interfaciaux.

2. Lien avec les Applications Industrielles et la Transition Énergétique

- L'électrochimie est au cœur des nouvelles technologies de stockage et de conversion d'énergie (batteries Li-ion, Na-ion, hydrogène, etc.).
- La demande en experts dans ce domaine est en forte croissance, notamment avec le développement des véhicules électriques et des énergies renouvelables.

3. Développement de Compétences Expérimentales et Numériques

- Étude des performances des générateurs : capacité, densité énergétique, durée de vie, etc.
- Utilisation de logiciels de simulation et de caractérisation comme Z-View (déjà envisagé pour l'impédance électrochimique).

4. Possibilité de Recherche et d'Innovation : Les matériaux d'électrodes et les électrolytes sont en constante évolution. Ce module pourrait être un tremplin vers des projets de recherche ou des collaborations avec l'industrie.

Connaissances préalables recommandées :

1. Bases d'Électrochimie : Réactions redox et potentiels électrochimiques ; Équation de Nernst et relation entre potentiel et concentration ; Cinétique électrochimique : loi de Butler-Volmer, surtension, résistance de charge ; Transport ionique en solution : migration, diffusion, conduction ionique

2. Électrochimie Appliquée : Techniques de caractérisation : voltammétrie cyclique, chronoampérométrie ; Spectroscopie d'impédance électrochimique (déjà envisagée dans votre programme) ; Structure et fonctionnement des interfaces électrode/électrolyte

3. Matériaux et Thermodynamique : Propriétés des matériaux conducteurs et semi-conducteurs ; Concepts de capacité, énergie libre de Gibbs et enthalpie ; Diagrammes de phases et propriétés des solides ioniques

4. Bases en Modélisation et Simulation : Utilisation de logiciels comme Z-View pour l'analyse des performances des générateurs ; Notions de modélisation des systèmes électrochimiques.

Contenu de la matière:

Chapitre I : Stockage et conversion d'énergie

I.1 Sources d'énergie électrique

1. L'énergie nucléaire
2. Les énergies fossiles
3. Les énergies renouvelables
4. L'énergie chimique

I.2. Généralités sur les générateurs électrochimiques

- I.2.1. La réaction d'oxydoréduction
- I.2.2. Constitution de base d'une cellule électrochimique
 1. Cathode
 2. Anode
 3. Electrolyte
 4. Séparateur
 5. Exemple de cellule électrochimique
- I.2.3. Processus de décharge
- I.2.4. Processus de charge
- I.2.5. Caractéristiques d'une cellule électrochimique
 1. Tension nominale
 2. Tension à vide
 3. Tension de fin de décharge
 4. Tension et courbes caractéristiques
 5. Résistance interne
 6. Capacité d'une batterie d'accumulateurs
 7. Puissance
 8. Conservation et autodécharge

Chapitre II : Les piles électrochimiques

- II.1. Piles saline (Leclanché)
- II.2 Pile alcaline à l'oxyde de manganèse
- II.3 Pile à l'oxyde de mercure
- II.4 Pile à l'oxyde d'argent
- II.5 Pile alcaline air-zinc
- II.6. Piles au lithium
 - II.6..1 Présentation générale
 - II.6..2 Pile lithium-dioxyde de soufre
 - II.6..3 Pile lithium-dioxyde de manganèse
 - II.6..4 Pile lithium-dichlorure de thionyle
 - II.6..5 Pile lithium-iode

Chapitre III : Accumulateurs électrochimiques

III.1. Accumulateurs au plomb

- III.1.1. Historique et évolution
- III.1.2. Constitution
- III.1.3. Réactions électrochimiques
- III.1.4. Force électromotrice
- III.1.5. Causes de défaillance et entretien
- III.1.6. Caractéristiques
- III.1.7. Technologie
- III.1.8. Applications

III.2. Accumulateurs au nickel

III.2.1. Accumulateur nickel-cadmium

III.2.2 Accumulateur nickel-hydrure métallique

III.3. Accumulateurs au lithium

III.3.1. Accumulateur aux ions lithium

III.3.2. Accumulateur lithium-polymère

Chapitre IV : Les piles à combustible

IV.I. Notions générales sur les piles à combustible

IV.I. 1. Historique

IV.I. 2. Principe

IV.I. 3. Constitution

IV.I. 4. Applications

IV.II. Types de piles à combustible

IV.II.1. Pile à combustible alcaline (AFC)

IV.II.2. Pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC)

IV.II.3. Pile à combustible à acide phosphorique (PAFC)

IV.II.4. Pile à combustible à carbonate fondu (MCFC)

IV.II.5. Pile à combustible à oxyde solide (SOFC)

IV.II.6. Pile à combustible à utilisation directe de méthanol (DMFC)

IV.II.7. Pile à combustible à utilisation directe d'éthanol (DEFC)

IV.II.8. Pile à combustible à utilisation directe de borohydrure (DBFC)

IV.II.9. Pile à utilisation directe d'hydrazine (DHFC)

Mode d'évaluation :

Contrôle continu : 40%, Examen : 60%

Références bibliographiques

- [1] M.A. Jianmin (editor). Battery Technologies: Materials and Components, Wiley-VCH, (2021)
- [2] Reiner Korthauer. Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications, Springer Berlin Heidelberg (2018)
- [3] Kirby W. Beard. Linden's Handbook of Batteries, McGraw Hill, 5th ed (2019)
- [4] D.A.J. Rand., P.T. Moseley., J.Garche, C.D. Parker, Valve-Regulated Lead-Acid Batteries, Elsevier Science (2004)
- [5] T.R. Crompton. Battery Reference Book, Newnes Pub., Third Edition (2000)
- [6] Chen Liao. Batteries: Materials principles and characterization methods, IOP Publishing (2021)

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UE- Méthodologie 2.1
Matière 1 : T.P Traitement de surface
VHS: 45hT.P : 3h00
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

- Connaître l'intérêt et les différentes voies des traitements de surface;
- Identifier et savoir choisir les paramètres et le mode opératoire des traitements de surface;
- Evaluer l'influence des traitements de surface sur les différentes caractéristiques des matériaux traités;
- Comprendre et appliquer les procédés électrochimiques tels que l'électrodéposition (nickelage, chromage, cuivrage aux cyanures) et l'anodisation.
- Apprendre les méthodes de préparation des surfaces pour optimiser l'adhésion des revêtements.
- Connaître les traitements chimiques, thermiques et mécaniques utilisés pour améliorer la résistance à la corrosion, l'usure et l'adhérence.

Connaissances préalables recommandées :

Chimie des solutions, la corrosion, l'électrodéposition, les méthodes de protection contre la corrosion des métaux.

Contenu de la matière:

TP1 : Décapage électrochimique (polissage électrolytique de l'acier inoxydable) :

- Comprendre le principe du polissage électrolytique.
- Analyser les effets des paramètres électriques et chimiques sur la surface.

TP2 : Anodisation de l'aluminium

- Formation d'une couche passive colorée ou neutre protectrice sur l'aluminium.
- Étudier la stabilité de la couche en milieu agressif.

TP3 : Phosphatation d'une surface métallique (Acier) :

- Comprendre le traitement de phosphatation (formation de couches de phosphate métalliques).
- Étudier l'effet de la phosphatation sur la protection contre la corrosion et l'adhérence de peintures.
- Analyser les paramètres influents : composition du bain, température, temps de traitement.

TP4 : Galvanisation à chaud de l'acier :

- Comprendre la galvanisation par immersion dans un bain de zinc fondu.
- Analyser la formation des couches inter-métalliques (Fe-Zn) et leur rôle anticorrosion.
- Comprendre les problèmes industriels liés à la galvanisation (écaillage, adhérence).

Mode d'évaluation : Contrôle continu : 100%

Semestre : 3

Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 2.1

Matière 2 : Stage d'initiation en entreprise (Procédés électrochimiques industriels)

VHS: 22h30T.P : 1h30

Crédits: 2

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Stage en laboratoire ou en entreprise du secteur public (ENPEC, BCR,).

L'électrochimie industrielle s'applique principalement aux procédés de production des métaux, aux traitements de surface, aux générateurs électrochimiques et à la fabrication des appareils électrochimiques.

Connaissances préalables recommandées :

- Bases théoriques fondamentales de l'électrolyse préparative, de la chimie organique et minérale et en sels fondus.
- Des notions de thermodynamique et cinétiques électrochimiques ainsi que de génie électrochimique sont indispensables

Contrôle des connaissances :

Rapport écrit

Semestre: 3

Unité d'enseignement : UE- Méthodologie 2.1

Matière 3: T.P Générateurs électrochimique et stockage d'énergie

VHS: 37h30T.P : 2h 30

Crédits: 3

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement :

Acquisition de connaissances sur les différents générateurs et systèmes de stockage de l'énergie électrochimique (piles et accumulateurs) ainsi de leur mode de fonctionnement.

Connaissances préalables recommandées :

Notions de bases en électrochimie (thermodynamique et cinétique), matériaux (grandes classes de matériaux et propriétés) et génie des procédés (réacteurs chimiques).

Contenu de lamatière:

TP1 : Caractérisation électrochimique d'une pile Daniell

Objectifs

- Comprendre le fonctionnement d'une pile galvanique.
- Mesurer la force électromotrice (f.e.m) en fonction des concentrations.
- Vérifier l'équation de Nernst

TP2 : Étude de la décharge d'une pile alcaline (AAA)

Objectifs

- Analyser expérimentalement la courbe de décharge.
- Déterminer la capacité d'une pile réelle.
- Comprendre les phénomènes limitant la durée de vie.

TP3 : Etude et caractérisation d'une batterie au plomb acide

- Caractéristiques de charge et de décharge des batteries plomb-acide

Mode d'évaluation :

Contrôle continu : 100%

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UE Transversale : UET 2.1
Matière 2 : Chemical reverse engineering
VHS : 67 h30 (Cours : 1h30, TD et ou TP : 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Former l'étudiant en :

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

Connaissances préalables recommandées :

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

Contenu de la matière :

Chapitre1 Introduction à la rétro-ingénierie chimique

1.1 Historique, enjeux légaux et éthiques du RE,

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

1.2 Méthodes et utilisation

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

1.3 Domaines d'utilisation

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

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

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

Chapitre2 Méthodologie générale

2.1 Pyramide inversée

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

Chapitre 3 Processus de rétroingénierie

3.1 Hypothèse sur le procédé de fabrication

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

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

3.2 Modélisation et simulation

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

3.3 Reproduction expérimentale

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

3.4 Optimisation

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

Chapitre 4 Techniques de développement de formes pharmaceutiques génériques

4.1. Recherche et formulation :

4.2. Essais de bioéquivalence :

Bioéquivalence des médicaments génériques avec le médicament de référence,

4.3. Études toxicologiques, pharmacologiques et cliniques :

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

4.5. Contrôle de la qualité :

Chapitre 5 Techniques de développement de polymères

5.1 Acquisition et préparation de l'échantillon

- Acquisition : matière première ou prototype

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

5.2. Analyses et Caractérisation (physiques et chimiques)

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

5.3. Formulation et Reconstruction:

- Appréhender la composition :
- Reproduire le processus :

5.4. Validation et optimisation :

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

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

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

Chapitre 6 Rétro ingénierie d'un détergent liquide commercial

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

Étape 2 : Analyse physico-chimique :

- Identification des tensioactifs
- Identification des polymères ou additifs.

Étape 3 : Composants identifiés :

- Dosage des composants

Étape 4 : Hypothèse sur la formulation

Étape 5 : Reconstitution du procédé

Reconstitution du processus probable :

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

Étape 6 : Essais en labo

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

Étape 7 : Ajustements et tests

Évaluer les performances : pouvoir nettoyant, stabilité, coût.

Étape 8 : Formulation finale

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

Remarques :

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

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

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

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

7.1 Caractéristiques d'une huile moteur à analyser

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

7.2 Étapes de rétroingénierie

1. Préparation de l'échantillon

- Échantillon frais (neuf) prélevé dans un bidon scellé.

- Analyse également possible sur huile usagée pour étudier les performances en conditions réelles.

2. Analyses physico-chimiques

Analyse Viscosité cinématique

Indice de viscosité (VI)

Point d'éclair / Point de congélation

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

3. Composition typique identifiée

Composant

Base API Groupe III ou IV

ZDDP (zinc dialkyldithiophosphate)

Calcium / Magnésium

Phosphore

Polymères modificateurs de viscosité

Dispersants (borés, succinimides)

Inhibiteurs de corrosion

4. Reconstitution en formulation

5. Tests de validation

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

Résultat final

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

Remarques

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

Mode d'évaluation :

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

Références bibliographiques :

- Jacques Villermaux, *Génie de la réaction chimique : conception et fonctionnement des réacteurs*, Éditions Tec & Doc, 1993.
- Daniel Schweich, *Génie de la réaction chimique*, Éditions Tec & Doc, 2001.
- Gilbert F. Froment & Kenneth B. Bischoff, *Chemical Reactor Analysis and Design*, Wiley, 2010.
- Searson, D. P., Willis, M. J., & Wright, A., *Reverse Engineering Chemical Reaction Networks from Time Series Data*, 2014.
- Marote, P., Martin, M., Bonhomme, A., Lantéri, P., & Clément, Y., *Artificial Intelligence for Reverse Engineering: Application to Detergents Using Raman Spectroscopy*, 2023.
- **Techniques de l'Ingénieur, Procédés chimiques : Dossier complet.**

Semestre : 3
Unité d'enseignement : UE Transversale : UET 2.1
Matière1 : Valorisation des effluents industriels
VHS: 22h30 Cours: 1h30
Crédits: 1
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Dans un Master en génie électrochimique, le module de traitement des effluents industriels permettrait aux étudiants de mieux comprendre les enjeux liés aux déchets issus de différentes industries chimiques, notamment celle des traitements de surface et d'explorer des solutions innovantes. Les boues issues de ces industries contiennent souvent des métaux lourds et des résidus toxiques, nécessitant des traitements spécifiques pour minimiser leur impact environnemental. Les points essentiels suivants y seront abordés :

1. **Réduction de la pollution industrielle** : Les industries génèrent des effluents contenant des métaux lourds, des composés organiques toxiques et d'autres contaminants qu'il faut traiter avant rejet.
2. **Technologies électrochimiques avancées** : L'électrocoagulation, l'électro-oxydation, l'électroflottation et l'électrodialyse sont des solutions efficaces et durables pour le traitement des eaux usées industrielles.
3. **Respect des normes environnementales** : De plus en plus de réglementations imposent aux industries de limiter leur impact sur l'environnement, rendant ces technologies cruciales.
4. **Valorisation des déchets** : Certaines techniques permettent de récupérer des métaux ou d'autres ressources précieuses à partir des effluents, améliorant ainsi l'économie circulaire.
5. **Opportunités pour la recherche et l'innovation** : Ce domaine est en constante évolution, avec des avancées dans les matériaux d'électrodes, les processus hybrides et les nouvelles approches de traitement.

Connaissances préalables recommandées:

1. Chimie générale (Réactions en solution aqueuse, Oxydo-réduction et électrochimie etc)
2. Chimie analytique (Techniques d'analyse des effluents : spectrométrie, chromatographie, titrages)

Contenu de la matière:

1. **Introduction aux effluents industriels et enjeux environnementaux**
 - Définition et classification des effluents industriels
 - Réglementations et normes environnementales (nationales et internationales)
 - Impacts environnementaux des rejets industriels
2. **Caractérisation et analyse des effluents industriels**
 - Paramètres physico-chimiques et biologiques des effluents (DCO, DBO5, MES, métaux lourds, cyanures, etc.)
 - Méthodes de prélèvement et d'analyse en laboratoire
 - Études de cas : industrie chimique, métallurgique, agroalimentaire, textile

3. Procédés de traitement physico-chimique des effluents industriels

- Identification des polluants industriels (métaux lourds, colorants, solvants, etc.)
- Exemples d'industries et applications spécifiques (textile, métallurgie, agroalimentaire, pharmaceutique)
- Coagulation-floculation et précipitation chimique
- Adsorption et échange d'ions
- Séparation par membranes (ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse)

4. Procédés de traitement électrochimique des effluents industriels

- Électrocoagulation et électroflottation
- Électro-oxydation avancée (anodes actives, production de radicaux hydroxyles)
- Récupération des métaux par électrodéposition

5. Traitement et valorisation des boues issues des procédés électrochimiques

- **Caractérisation des boues** : analyse chimique et physique, identification des métaux lourds (Ni, Cr, Cu, cyanures, etc.).
- **Techniques de traitement** : stabilisation, solidification, précipitation chimique, traitement électrochimique des boues toxiques (ex. nickelage, chromage, cuivrage aux cyanures).
- **Valorisation des sous-produits** : récupération des métaux par électrodéposition, recyclage des éléments valorisables.
- **Gestion des déchets industriels** : réglementation et normes environnementales, filières de traitement et de valorisation.
- Évaluation de l'impact environnemental et de la consommation énergétique des procédés

6. Études de cas, simulation et applications industrielles

- Études de cas réels d'unités industrielles appliquant le traitement électrochimique
- Modélisation et simulation des procédés de traitement

Moded'évaluation:

Examen:100%.

Référencesbibliographiques

[1] Hussain, Ijaz Ahmad. Advanced Industrial Wastewater Treatment and Reclamation of Water: Technologies and Implementation, Wiley-Scrivener (2020)

[2] A. D. Patwardhan., Industrial Wastewater Treatment, Printice Hall of India (2017)

[3] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H. D. Stensel., Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, McGraw-Hill (2003)

[4] G. Tchobanoglous, H. Stensel, R.Tsuchihashi, F. Burton., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, McGraw-Hill (2014)

V-Accords/ Conventions

- Groupe Cevital Sise
- Société SAMHA spa
- SPA SINOAVA Home Appliance (SAMSUNG)
- DCRD/Sonatrach
- SINAATEC/SPA
- EURL SATEREX-IRIS
- SPA Condor Electronics
- ENPEC SETIF
- SCAEK/GICA Cimenterie Ain El kabira
- STATION D'EPURATION DES EAUX USEES-SETIF
- AMC EL EULMA
- ECOLE HELICO MILITAIRE AIN ARNAT
- PHARMA INVEST -SETIF
- CONDOR
- IRIS
- GEANT
- SINAA TECH

VI–Curriculum Vitae des Coordinateurs

I- Information personnelles

Nom et prénom: FOUDIA Malika

Date et lieu de naissance : 04/03 /1971 à Sétif

Adresse Professionnelle: Département de Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université Ferhat ABBAS- Sétif1, 19000 Sétif (Algérie)

Tél : 0550495309 ; E-mails : malika.foudia@univ-setif.dz ; foudiam@yahoo.fr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8145-8130>

II- Diplômes et titres

- **Diplôme d'habilitation universitaire dirigé de recherche (HDR)** en Janvier 2016 en Génie des Procédés option : Génie Electrochimie, de la faculté de Technologie, département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas- Sétif-1.
- **Doctorat en Science** obtenu en octobre 2011 en Génie des Procédés option Génie Electrochimie de la Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif-1.
- **Magister** obtenu en 19 avril 2000 en chimie Industrielle option : Génie Electrochimie de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur, département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif-1.
- **D.E.A** (diplôme des études approfondies) obtenu en juillet 1997 en Génie Electrochimie de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur, département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas-Sétif-1.
- **Ingénieur d'état année 94/95** en Chimie Industrielle option : Génie Electrochimie de l'Institut de Chimie Industrielle, Université de Sétif.
- **D.E.U.A** année 91/92 en Chimie Industrielle option Analyse de l'Institut de Chimie Industrielle, Université de Sétif.
- **Bac** série 89/90 option Technique Mathématique (Sétif).

III. Activités pédagogiques

- Maître de Conférences classe A depuis Janvier 2016
- Maître de Conférences classe B depuis octobre 2011
- Maître Assistant chargé de cours, depuis 2003
- Maître Assistant, depuis octobre 2000.
- Enseignant vacataire (département de Biologie) 1997-1999

V. Publications internationales récentes

- 1- Sobhi Nour El Houda, Boukhouiet Amel, **Foudia Malika**
« Trifolium repense extracts as a green corrosion inhibitor for carbon steel in a 3.5 % NaCl solution » Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 165 (2024) 105771
- 2- Sihem Kherraf, **Malika Foudia**, Nour El Houda Sobhi and Zohra Djetoui »
Corrosion inhibition performance of expired amlodipine on cupronickel alloy in a neutral chloride environment: electrochemical and surface analysis » Anti-Corrosion Methods and Materials 72/1 (2025) 48–60

VIII-Visa de la Conférence Régionale

(Uniquement à enseigner dans la version finale de l'offre de formation)