

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

نموذج مطابقة و مواعمة

عرض تكوين ليسانس أكاديمي
2026 - 2025

التخصص	الشعبة	ميدان
السنة الثالثة فيزياء نظرية	الفيزياء	علوم المادة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Canevas de mise en conformité et
harmonisation**

OFFRE DE FORMATION

L.M.D. LICENCE ACADEMIQUE

2025 – 2026

Domaine	Filière	Spécialité
SCIENCES DE LA MATIERE	PHYSIQUE	L3 Physique théorique

II – Fiche d'organisation semestrielle des enseignements

(Prière de présenter les fiches des L3 (S5 et S6))

1- Semestre 5 :

Unité d'Enseignement	Intitulé des Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres*	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
		15 sem	C	TD	TP				CC*	Examen
UE Fondamental Code : UEF 3.1 Crédits : 18 Coefficient : 9	Mécanique quantique 2	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Relativité restreinte	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Physique statistique	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 3.1 Crédits : 9 Coefficient : 5	Choisir deux matières parmi :									
	- Méthodes mathématiques pour la physique.	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	50%	50%
	- Calcul formel simulation et analyse des données	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	50%	50%
	- Physique du solide									
	- Logiciels libres et open source	15h00			1h00	10h00	1	1	50%	50%
UE Découverte Code : UED 3.1 Crédits : 2 Coefficient : 2	Une matière au choix - Initiation à l'Astrophysique - Introduction à la physique des plasmas - Spectroscopie - Procédés et didactiques	45h00	1h30	1h30		5h00	2	2	50%	50%
UE Transversale Code : UET 3.1 Crédits : 1 Coefficient : 1	Programmation orientée objet 2	22h30			1h30	02h30	1	1	50%	50%
Total Semestre 5		375h00	13h30	9h00	2h30	375h00	17	30		

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle ; CC* : Contrôle continue.

2- Semestre 6 :

Unité d'Enseignement	Intitulé des Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres*	Coeff	Crédit _s	Mode d'évaluation	
		15 sem	C	TD	TP				CC*	Examen
UE Fondamental Code : UEF 3.2 Crédits : 18 Coefficient : 9	Mécanique quantique relativiste	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Physique Nucléaire	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Théorie classique des champs	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Physique Atomique	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM 3.2 Crédits : 9 Coefficient : 5	Géométrie différentielle	37h30	1h30	1h00		37h30	2	4	33%	67%
	Choisir une matière parmi : - TP Physique Nucléaire - TP Physique Atomique	45h00			3h00	55h00	2	4	50%	50%
	- Théorie des Groupes	22h30			1h30	27h30	1	1	50%	50%
UE Découverte Code : UED 3.2 Crédits : 2 Coefficient : 2	-Initiation à la physique des particules	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
	Une matière au choix - Biophysique - Optique Quantique - Nanotechnologie	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
UE Transversale Code : UET 3.2 Crédits : 1 Coefficient : 1	-Entrepreneuriat	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
Total Semestre 6		375h00	13h30	7h00	4h30	375h00	17	30		

Autres* : Travail complémentaire en consultation semestrielle ; CC* : Contrôle continue.

II - Programme détaillé par matière Licence physique Théorique (L3)

(1 fiche détaillée par matière)

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

SEMESTRE 5

Semestre : 5
UE : Fondamentale
Matière : Mécanique Quantique 2

Objectifs de l'enseignement :

- Pour comprendre les moments cinétiques et leurs additions.
- Pour comprendre l'atome d'hydrogène.
- Pour comprendre les méthodes d'approximation et étendre la théorie de perturbation dépendant du temps aux problèmes de diffusion.

Connaissances préalables recommandées : Mécanique Quantique S4

Programme détaillé:

Chapitre 1. Oscillateur harmonique

Chapitre 2. Le moment cinétique

- Le moment cinétique orbital
- Les harmoniques sphériques
- Théorie générale des moments cinétiques

Chapitre 3. Addition de deux moments cinétiques

- Moment cinétique total et nouvelle base
- Coefficients CG et symboles de Wigner

Chapitre 4. Potentiel Central

- Oscillateur isotrope
- Atome d'hydrogène

Chapitre 5. Méthodes d'approximations : Perturbations indépendantes du temps et méthode variationnelle

- Approche variationnelle
- Méthode de perturbation de Rayleigh-Schrödinger
- Perturbation à un niveau dégénéré
- Corrections relativistes à l'atome d'hydrogène

Références

- **C. Cohen-Tannoudji et B. Diu / F. Ialoë**, Mécanique Quantique tome 1 et 2, édition Hermann
- **G. Zepp** Mécanique quantique, exercices avec solution 2^{ème} cycle universitaire, édition Vuibert
- **G. Oliver**; Mécanique quantique approfondie édition O.P.U

Semestre : 5
UE : Fondamentale
Matière : Relativité Restreinte

Objectifs de l'enseignement :

- Introduire les postulats de la relativité restreinte.
- Les conséquences de la relativité pour les idées de l'espace-temps et la masse.
- Etude de l'équation relativiste quantique pour une particule libre.

Connaissances préalables recommandées : Physique 1, Electromagnétisme

Programme détaillé:

CHAPITRE1 : Introduction historique

- Transformation de Galilée, hypothèse de l'éther, expérience de Michelson et Morley, Principe de relativité d'Einstein

CHAPITRE 2 : Conséquences : relativité du temps et de l'espace

- Postulat d'Einstein sur la vitesse de la lumière dans le vide
- Transformation spéciale de Lorentz
- Relativité du temps (simultanéité ; temps propre et impropre ; dilatation des durées)
- Relativité des longueurs (contraction ; longueur propre et impropre)

- Applications : durée de vie apparente des muons ; paradoxe des jumeaux ; paradoxe de la barre et de l'ouverture ; effet Doppler – Fizeau ; aberration des étoiles ; GPS

CHAPITRE 3 : Espace-temps

- Structure métrique et espace de Minkowski ; quadrivecteurs
- Relativité et causalité : cône de lumière ; passé, futur, ailleurs

CHAPITRE 4 : Dynamique relativiste

- Quadrivecteur énergie – Quantité de mouvement : énergie d'une particule au repos ; relation énergie – quantité de mouvement ; application aux particules de masse nulle
- Equivalence masse-énergie, Force
- Transformation du champ électrique E et du champ magnétique B
- Transformation du potentiel scalaire V et du potentiel vecteur A
- Invariance des équations de Maxwell
- Lagrangien et Hamiltonien d'une particule chargée relativiste dans un champ électromagnétique, Corrections relativistes du lagrangien : Lagrangien de Darwin. Le Lagrangien du champ électromagnétique

Références:

1. **Hladik**: Introduction à la relativité Restreinte, 2006, Dunod (Paris).
2. **Landau**: Théorie des champs, Editions Mir (Moscou)
3. **Jackson** : Electrodynamique Classique, 2001, Dunod (Paris)

Semestre : 5

UE : Fondamentale

Matière : Physique Statistique

Objectifs de l'enseignement :

- Construire d'une fonction de partition.
- Statistique de Bose-Einstein et de Fermi-Dirac.
- Leurs applications au rayonnement du corps noir, à l'oscillateur harmonique linéaire et au gaz parfait monoatomique.

Connaissances préalables recommandées : thermodynamique (S2), Mécanique Quantique S4.

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Description d'un système à l'équilibre

- Etats microscopiques et macroscopiques
- Moyennes temporelles et d'ensemble : théorème ergodique. Principe du maximum d'entropie

Chapitre 2 : Ensemble micro-canonique

- Equiprobabilité des états microscopiques d'un système isolé
- L'entropie statistique
- Paradoxe de Gibbs
- Limite thermodynamique
- Lien avec le deuxième principe de la thermodynamique

Chapitre 3 : Ensemble canonique

- Facteur de Boltzmann
- Fonction de partition et énergie libre
- Energie moyenne et fluctuations
- Théorème d'équipartition
- Applications à des systèmes de particules sans interactions

Chapitre 4 : Ensemble grand canonique

- Grand potentiel thermodynamique
- Statistique de Bose-Einstein
- Statistique de Fermi-Dirac
- Gaz parfait de Bose
- Le rayonnement du corps noir
- Gaz parfait de Fermi à température nulle
- Modèle de Debye-Einstein pour les phonons

- Paramagnétisme

Références :

1. **M. Le Bellac et al:** Thermodynamique statistique, Dunod (2001).
2. **W. Greiner et al:** Thermodynamique et mécanique statistique, Springer
3. **L. Landau et E. Lifchitz**, Physique statistique, édition Mosco-Mir

Semestre : 5

UE : Méthodologie

Matière : Méthodes Mathématiques pour la Physique

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les propriétés fondamentales et les applications des polynômes orthogonaux dans les équations physiques.
- Maîtriser les fonctions de Green appliquées aux équations différentielles en physique.
- Savoir formuler et résoudre un problème variationnel, et en dériver l'équation d'Euler-Lagrange.

Prérequis recommandés :

- Séries et équations différentielles (Semestre 3)

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Équations aux dérivées partielles (EDP) en physique

- Équation d'une corde vibrante (1D)
- Équation du mouvement d'une membrane (géométries : circulaire, carrée)
- Équation des ondes et équation de diffusion
- Équation de Laplace
- Équation de Schrödinger stationnaire

Chapitre 2 : Fonctions spéciales

- Développement en série : méthode de Frobenius
- Fonctions spéciales : Legendre, Bessel, Hermite, Laguerre, Fonctions d'Euler
- Propriétés orthogonales et applications physiques

Chapitre 3 : Calcul fonctionnel et méthodes variationnelles

- Minimisation d'un fonctionnel sans contrainte
- Minimisation avec contrainte (méthode de Lagrange)
- Applications à la mécanique classique et à la mécanique quantique

Chapitre 4 : Fonctions de Green

- Introduction et principes de construction
- Calcul de fonctions de Green pour les EDP linéaires
- Applications : champ électrique, mécanique quantique, diffusion

Chapitre 5 : Distributions et généralisation des fonctions

- Notion de distribution (fonction généralisée)
- Dérivée d'une distribution
- Distributions de Dirac et applications physiques

Références bibliographiques récentes et classiques :

1. **H.J. Weber, G.B. Arfken**, *Mathematical Methods for Physicists*, 7th Edition, Academic Press, 2012.
2. **V. S. Sunder**, *Functional Analysis: Spectral Theory*, Springer, 2020.
3. **Jean-Michel Courty, Edouard Kierlik**, *Outils mathématiques pour la physique*, Dunod, 2018.
4. **C. Szekeres**, *A Course in Modern Mathematical Physics*, Cambridge University Press, 2004.
5. **M. Bell**, *Special Functions for Scientists and Engineers*, Dover Publications, 2004.
6. **P. R. Halmos**, *Lectures on Ergodic Theory and Functional Analysis*, AMS, réédition 2021.
7. **Belorizky**, *Outils Mathématiques à l'usage des scientifiques et ingénieurs*, EDP Sciences, 2007.
8. **J. Roddier**, *Distributions et Transformées de Fourier*, McGraw-Hill, 1988.
9. **M. Aslangul**, *Des mathématiques pour les sciences*, De Boeck, 2011.

Semestre : 5

UE : Méthodologie

Matière : Calcul formel, simulation et analyse des données

Objectifs de l'enseignement :

Cette unité vise à initier les étudiants à l'utilisation d'outils numériques pour la résolution, la simulation et l'analyse de problèmes en physique. Chaque notion abordée en cours sera mise en application sur machine à travers des travaux pratiques, notamment avec Python et Matlab.

Prérequis recommandés :

- Séries et équations différentielles (Semestre 3)
- Analyse et algèbre (Semestres 1 et 2)
- Méthodes mathématiques pour la physique

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Programmation scientifique avec Python et Matlab

- Prise en main des environnements
- Syntaxe de base, structures de contrôle, fonctions
- Bibliothèques scientifiques : NumPy, SciPy, Matplotlib

Chapitre 2 : Approximations et erreurs numériques

- Sources d'erreurs en calcul numérique
- Erreurs absolue et relative
- Stabilité et conditionnement

Chapitre 3 : Résolution d'équations non linéaires

- Méthode de bisection
- Méthode de Newton-Raphson
- Méthode de la sécante

Chapitre 4 : Résolution des systèmes d'équations linéaires

- Méthodes directes : élimination de Gauss, factorisation LU
- Méthodes itératives : Jacobi, Gauss-Seidel

Chapitre 5 : Résolution des systèmes d'équations non linéaires

- Méthodes numériques multidimensionnelles
- Jacobienne et convergence

Chapitre 6 : Méthodes d'interpolation

- Interpolation de Lagrange
- Interpolation de Newton
- Splines cubiques

Références bibliographiques :

1. **W.H. Press et al.**, *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*, 3rd Edition, Cambridge University Press, 2007.

2. **Jun S. Liu**, *Monte Carlo Strategies in Scientific Computing*, Springer, 2001.
3. **Christian P. Robert, George Casella**, *Monte Carlo Statistical Methods*, 2nd Edition, Springer, 2004.
4. **Eric Matthes**, *Python Crash Course*, 3rd Edition, No Starch Press, 2023.
5. **Rudra Pratap**, *Getting Started with MATLAB*, Oxford University Press, 2020.
6. **A. Quarteroni, F. Saleri, P. Gervasio**, *Scientific Computing with MATLAB and Octave*, Springer, 2020.

Semestre : 5

UE : Méthodologie

Matière : Physique du Solide

Objectifs de l'enseignement :

- Fournir les bases physiques nécessaires à la compréhension des propriétés des solides cristallins.
- Étudier les structures, les vibrations, et les propriétés électroniques des solides à partir de modèles quantiques simples.
- Initier les étudiants à l'utilisation d'outils informatiques pour la modélisation et la simulation des phénomènes physiques étudiés.
- Renforcer le lien entre les concepts théoriques et leur mise en œuvre numérique (prévoir des séances de TP sur machine).

Prérequis recommandés :

- Mécanique quantique (Semestre 4)
- Cristallographie physique (Semestre 4)
- Mathématiques générales pour la physique (équations différentielles, vecteurs, séries)

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Introduction à la physique de l'état solide

- Nature de la matière condensée
- Définitions et caractéristiques de l'état solide
- Classification des solides (cristallins, amorphes)

Chapitre 2 : Structure cristalline et liaisons

- Notions de maille, réseau, plan réticulaire
- Réseaux de Bravais et symétries cristallines
- Réseau réciproque et diffraction des rayons X
- Structures cristallines types (NaCl, CsCl, ZnS, etc.)
- Liaisons chimiques et forces interatomiques
- Types de liaisons cristallines : ionique, covalente, métallique, Van der Waals

Chapitre 3 : Propriétés thermiques des solides

- Capacité calorifique : lois de Dulong-Petit, Einstein, Debye
- Vibrations de réseau : chaîne linéaire (1D), modes normaux (3D)
- Conduction thermique dans les solides
- Notion de phonons

Chapitre 4 : Propriétés électroniques des solides

- **Modèle de l'électron libre :**
 - Loi d'Ohm, temps de relaxation, libre parcours moyen
 - Statistique de Fermi-Dirac, chaleur spécifique électronique
 - Conductivité thermique électronique, effet Hall, émission électronique
- **Modèle du potentiel périodique :**
 - Origine des bandes d'énergie, diagramme $E(k)$
 - Masse effective, zones de Brillouin
 - Conducteurs, semi-conducteurs et isolants
 - Effets thermoélectriques : Seebeck, Peltier

Chapitre 5 : Simulation numérique des phénomènes étudiés

- Mise en œuvre des modèles de conduction et vibration sur machine

- Simulation de la structure de bande dans des solides simples
- Interprétation numérique de la diffraction des rayons X
- Visualisation des fonctions de distribution et propriétés thermiques

Bibliographie succincte :

1. **C. Kittel**, *Introduction to Solid State Physics*, Wiley.
2. **J.R. Hook & H.E. Hall**, *Solid State Physics*, Wiley.
3. **H.D. Myers**, *Introductory Solid State Physics*, Wiley.

Semestre : 5

UE : Méthodologie

Matière : Logiciels libres et open source

Objectifs de l'enseignement : Ce cours a pour objectif de doter les étudiants de compétences numériques avancées à travers la maîtrise des outils libres et open source, aujourd'hui indispensables dans les environnements professionnels et académiques. Il s'articule autour d'une approche pratique visant à former les futurs chercheurs et professionnels à l'utilisation efficace de ces solutions pour résoudre des problématiques complexes.

Connaissances préalables recommandées : Une maîtrise des outils informatiques de base (suites bureautiques, logiciels de gestion de projet et plateformes collaboratives) est recommandée pour suivre ce cours dans les meilleures conditions. Ces compétences permettront d'aborder plus efficacement les concepts avancés des logiciels libres et open source.

Programme détaillé :

1. Introduction aux Logiciels Libres

- Définitions clés : libre, open source, propriétaire
- Historique (Stallman, GNU, Linux)
- Les 4 libertés fondamentales

2. Panorama des Licences

- Principales familles (GPL, MIT, Apache)
- Cas pratiques : choisir une licence pour son projet

3. Outils Open Source Essentiels

- Comparatif : alternatives libres aux logiciels propriétaires
- Découverte de Linux (Ubuntu) et des suites bureautiques libres

4. Contribution aux Projets Libres

- Fonctionnement des communautés open source
- Premiers pas sur GitHub/GitLab

5. Enjeux Contemporains

- Sécurité et vie privée
- Logiciels libres en entreprise
- Tendances futures (IA open source, cloud)

Références bibliographiques :

1. Williams, Sam. *Free as in Freedom: Richard Stallman's Crusade for Free Software*. O'Reilly, 2002.
2. Stallman, Richard. *Richard Stallman et la révolution du logiciel libre*. Eyrolles, 2010.
3. Mouël, Françoise. *L'économie du logiciel libre*. CNRS Éditions, 2021.
4. APRIL. *Guide du logiciel libre en entreprise*. 2022, april.org.
5. Open Source Initiative. *The OSI Licenses Overview*. 2023, opensource.org/licenses.

Objectifs de l'enseignement :

- Initier les étudiants aux concepts fondamentaux de l'astrophysique contemporaine.
- Comprendre les principes physiques régissant les objets et phénomènes célestes : étoiles, planètes, galaxies, structure de l'univers.
- Introduire les méthodes d'observation et d'analyse des données astrophysiques.
- Développer la capacité à relier les observations astronomiques aux lois fondamentales de la physique.

Prérequis recommandés :

- Physique générale (mécanique, thermodynamique, optique, électromagnétisme)
- Mathématiques de base : analyse, algèbre, équations différentielles
- Connaissances élémentaires en physique statistique et mécanique céleste

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Introduction à l'astrophysique

- Ordres de grandeur caractéristiques : tailles, masses, échelles de temps
- Présentation des domaines de l'astrophysique
- Méthodes et domaines d'observation (du visible aux ondes gravitationnelles)

Chapitre 2 : Instruments astronomiques

- Bases de l'optique appliquée : télescopes optiques et radiotélescopes
- Résolution angulaire, interférences, spectroscopie
- Sensibilité et rapport signal/bruit
- Photométrie et analyse spectrale

Chapitre 3 : Les étoiles

- Méthodes de détermination des propriétés physiques : masse, luminosité, température, distance
- Classification spectrale et types stellaires
- Diagramme de Hertzsprung–Russell (HR)
- Équilibre hydrostatique, production et transport d'énergie
- Évolution stellaire : de la proto-étoile à la naine blanche, supernova, étoile à neutrons ou trou noir

Chapitre 4 : Systèmes planétaires et exoplanètes

- Dynamique des systèmes planétaires (lois de Kepler, perturbations)
- Méthodes de détection des exoplanètes : vitesses radiales, transits, imagerie directe
- Température d'équilibre d'une planète et bilan radiatif
- Échappement atmosphérique et marées gravitationnelles
- Définition de la zone habitable

Chapitre 5 : Galaxies et amas de galaxies

- Types de galaxies : spirales, elliptiques, irrégulières
- Composantes des galaxies : bulbe, disque, halo, gaz interstellaire
- Amas de galaxies et dynamique gravitationnelle
- Rôle de la matière noire dans la dynamique galactique

Chapitre 6 : Cosmologie élémentaire

- Hypothèses fondatrices de la cosmologie (homogénéité, isotropie)
- Modèles d'expansion de l'univers (Friedmann–Lemaître)
- Notions de constante de Hubble, âge et évolution de l'univers
- Rayonnement fossile et formation des structures

Références bibliographiques récentes et recommandées :

1. **Barbara Ryden**, *Introduction to Astronomy and Cosmology*, Cambridge University Press, 2016.
2. **Neil F. Comins**, *Discovering the Universe*, 10th Edition, Macmillan, 2022.
3. **Jean Audouze & Jean-Claude Pecker**, *L'Astrophysique*, Dunod, 2021.

4. **Bennett, Donahue, Schneider, Voit**, *The Cosmic Perspective*, 9th Edition, Pearson, 2020.
5. **Bradley W. Carroll & Dale A. Ostlie**, *An Introduction to Modern Astrophysics*, 2nd Edition, Pearson, 2017.
6. **George B. Rybicki & Alan P. Lightman**, *Radiative Processes in Astrophysics*, Wiley-VCH, 2004.
7. **Roland Triay**, *Introduction à la cosmologie*, Ellipses, 2020.

Semestre : 5

UE : Découverte

Matière : Introduction à la Physique des Plasmas

Objectifs de l'enseignement :

- Présenter les propriétés fondamentales des plasmas en tant que quatrième état de la matière.
- Étudier le comportement des particules chargées dans des champs électriques et magnétiques.
- Introduire les grandes approches de modélisation : cinétique et fluide.
- Analyser les ondes et rayonnements caractéristiques des plasmas.
- Donner un aperçu des applications en physique, astrophysique et ingénierie.

Pré-requis recommandés :

- Électromagnétisme (niveau L2)
- Mécanique classique des particules
- Bases mathématiques : équations différentielles, intégrales, séries

Programme détaillé:

Chapitre 1 : Introduction aux plasmas

- Définition, critères de plasmanité
- Paramètres caractéristiques : température, densité, longueur de Debye, fréquence plasma
- Exemples de plasmas naturels et artificiels

Chapitre 2 : Particules chargées dans les champs électromagnétiques

- Mouvement dans un champ électrique et magnétique
- Spirale de Larmor et dérives
- Applications aux pièges et dispositifs de confinement

Chapitre 3 : Description collective des plasmas

- Théorie cinétique : fonction de distribution, équation de Vlasov
- Modèles fluides : équations de moments, couplage aux équations de Maxwell
- Validité et domaines d'application des modèles

Chapitre 4 : Ondes et rayonnement dans les plasmas

- Oscillations plasma
- Ondes électromagnétiques dans un plasma froid
- Mécanismes de rayonnement : cyclotron, bremsstrahlung

Chapitre 5 : Applications des plasmas

- Fusion thermonucléaire (confinement magnétique et inertiel)
- Plasmas industriels : décharges, gravure, dépôts
- Plasmas astrophysiques : vent solaire, ionosphère, jets galactiques

Bibliographie succincte :

1. **F.F. Chen**, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, Springer, 3e éd., 2016.
2. **J.P. Freidberg**, *Plasma Physics and Fusion Energy*, Cambridge University Press, 2007.
3. **Paul M. Bellan**, *Fundamentals of Plasma Physics*, Cambridge University Press, 2006.
4. **M.A. Lieberman & A.J. Lichtenberg**, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, Wiley, 2005.

Semestre : 5

UE : Découverte
Matière : Spectroscopie

Objectifs de l'enseignement :

- Introduire les principes fondamentaux des techniques spectroscopiques.
- Comprendre les interactions entre la matière (atomes, noyaux, molécules) et les rayonnements électromagnétiques.
- Identifier les différentes méthodes spectroscopiques et leurs applications en physique atomique, nucléaire et moléculaire.
- Interpréter des spectres expérimentaux simples.

Prérequis recommandés :

- Électromagnétisme et optique (Semestre 3 et 4)
- Mécanique quantique (Semestre 4)

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Spectroscopie atomique

- Spectre de l'atome d'hydrogène : séries spectrales (série de Balmer)
- Termes spectroscopiques et règles de sélection
- Spectroscopie d'absorption atomique (AAS)
- Spectroscopie d'émission atomique (AES)
- Interaction lumière-matière et effet laser

Chapitre 2 : Spectroscopie nucléaire

- Résonance magnétique nucléaire (RMN) : principes physiques
- Applications à l'étude des propriétés des noyaux
- Utilisation de la RMN en analyse structurale (physique et chimie)

Chapitre 3 : Spectroscopie moléculaire

- Spectroscopie électronique des molécules
- Spectroscopie de vibration : infrarouge (IR)
- Spectroscopie de rotation : micro-ondes
- Transitions roto-vibrationnelles

Bibliographie succincte :

1. **B.H. Bransden & C.J. Joachain**, *Physics of Atoms and Molecules*, Prentice Hall.
2. **C. Cohen-Tannoudji**, *Mécanique Quantique*, Hermann.
3. **J. Hollas**, *Modern Spectroscopy*, Wiley.
4. **P. Atkins & J. de Paula**, *Physical Chemistry*, Oxford University Press.

Semestre : 5

UE : Découverte

Matière : Procédés Didactiques

Objectifs de l'enseignement : Un accent tout particulier sera mis sur les cinq objectifs suivants :

1. S'initier aux pratiques d'enseignement et à l'exercice du métier d'enseignant.
2. Réfléchir sur les pratiques d'enseignement et leur contexte.
3. Concevoir, planifier et évaluer des pratiques d'enseignement et d'apprentissage.
4. Travailler en équipe et animer un groupe
5. Comprendre et analyser l'institution scolaire et ses acteurs.

Connaissances préalables recommandées :

Notions de base de physique et des différents concepts et une maîtrise de la langue française.

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Introduction

- Définition, champs et objets.
- Didactique et sciences humaines, didactique et pédagogie, didactique et psychologie, didactique et psychologie sociale, didactique et épistémologie.

Chapitre 2 : Les concepts clés

- Le triangle didactique.
- La transposition didactique.
- Les conceptions / les représentations des élèves.
- L'obstacle didactique et l'objectif-obstacle.
- Le contrat didactique.
- La séquence didactique / exemple de situation problème.

Chapitre 3 : Missions de l'enseignant

Chapitre 4 : Enseigner, expliquer, Convaincre

- Comment aider les changements conceptuels des apprenants ? Outils et moyens utilisés.

Chapitre 5 : Etude des situations didactiques

Chapitre 6 : Méthodologie de recherche en didactique

- Recherche documentaire et bibliographique

Chapitre 7 : Préparation d'un cours et sa présentation

Références bibliographiques :

1. **Aster.** Didactique et histoire des sciences, éditions INRP, 1986, n°5.
2. **VIENNOT, L.,** Raisonner en physique, éditions De Boeck, 1996.
3. **Aster,** Revue de didactique des sciences expérimentales, INRP, N°5, 1987, Didactique et histoire des sciences.
4. **ASTOLFI, J.P. et PETERFALVI, B.** Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, in Aster, éditions INRP, 1993, n°16, pp.100-110.
5. **Robardet G.** (1995). Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant. Thèse. Université Joseph Fourier, Grenoble.
6. **HARLEN W.** Enseigner les sciences, comment faire ? Le Pommier, 2004.
7. **Develay M., Astolfi J.-P.,** La didactique des sciences, Paris, PUF, « Que sais-je 7 », N° 2448.

Semestre : 5

Unité d'Enseignement : Transversale

Intitulé de la matière : Programmation Orientée Objet 2

Objectifs de l'enseignement

- Approfondir les concepts de la programmation orientée objet (héritage, polymorphisme, encapsulation).
- Introduire les structures de données arborescentes (arbres binaires).

Connaissances préalables recommandées

Maîtrise des notions fondamentales de la programmation en Python et de la programmation orientée objet (P001).

Programme détaillé :

1. **Programmation avancée orientée objet en Python**
 - Héritage : Classes mères et classes filles, utilisation de `super()`.
 - Polymorphisme.
 - Encapsulation et gestion de la visibilité.
2. **Structures de données arborescentes (en Python)**
 - Arbres binaires : concepts et terminologie.
 - Implémentation des arbres binaires.

- Parcours des arbres binaires (préordre, en ordre, postordre).

Références bibliographiques

1. *Fluent Python*, Luciano Ramalho – Concepts avancés de la POO en Python.
2. *Algorithms*, Robert Sedgewick et Kevin Wayne – Pour une compréhension approfondie des structures arborescentes.

SEMESTRE 6

Semestre : 6

UE : Fondamentale

Matière : Mécanique Quantique Relativiste

Objectifs de l'enseignement :

Étendre les concepts et méthodes de la mécanique quantique aux systèmes relativistes bosonique et fermionique et introduire la notion du champ.

Connaissances préalables recommandées : Mécanique quantique, relativité restreinte, électromagnétisme

Programme détaillé :

Chapitre 1 : L'équation de Klein-Gordon

- Dérivation au moyen du principe de correspondance
- L'équation de continuité
- La solution générale pour une particule libre
- Le couplage avec le champ électromagnétique
- Solution de l'équation de Klein-Gordon pour un champ Coulombien
- Défauts de l'équation de Klein-Gordon

Chapitre 2 : L'équation de Dirac

- Dérivation de l'équation de Dirac
- L'équation de continuité
- Les propriétés des matrices de Dirac
- La forme covariante de l'équation de Dirac
- Le couplage avec le champ électromagnétique
- La limite non-relativiste- L'équation de Pauli
- Transformations de Lorentz
- La covariance et la transformation des spineurs
- La représentation $S(\mathbb{R})$ et ses propriétés
- Les bilinéaires
- La solution générale de l'équation de Dirac pour une particule libre
- Les relations d'orthogonalité
- Les opérateurs de projection de l'énergie
- Le moment cinétique orbital et spin
- Les opérateurs de projection de spin

Chapitre 3 : Interprétation Physique des solutions de l'équation de Dirac

- Paquet d'ondes et états d'énergies positives et négatives
- Le Zitterbewegung « effet de tremblement »
- Le paradoxe de Klein
- La théorie des trous

Chapitre 4 : les symétries de l'équation de Dirac

- Translation
- Rotation
- Transformation de Lorentz spéciale (boost)

- Parité
- Renversement du temps
- Conjugaison de charge
- Hélicité et chiralité
- Transformation de jauge
- L'équation de Weyl

Références

1. **W. Greiner:** Relativistic Quantum Mechanics, 1999, Springer, Berlin.
2. **Bjorken and Drell:** Relativistic quantum mechanics, McGraw-Hill, London.
3. **Itzykson and Zuber:** Quantum field theory, Dover Publications, New York.

Semestre : 6

UE : Fondamentale

Matière : Physique Nucléaire

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes qui régissent la structure subatomique
- Comprendre les différents modèles nucléaires et désintégration

Connaissances préalables recommandées : Mécanique Quantique I et II, Spectroscopie

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Introduction

- Le noyau atomique : aspects généraux (nucléons, quarks, leptons)
- Unités utilisées en physique nucléaire.

Chapitre 2 : Propriétés générales des collisions

- Diffusion Coulombienne
- Diffusion élastique
- Diffusion inélastique
- Sections efficaces
- Ondes partielles.

Chapitre 3 : Propriétés générales du noyau atomique

- Energie de liaison
- Modèle de la goutte liquide
- Modèle des couches.
- Les moments multipolaires : dipolaires, quadripolaires
- Transitions électromagnétiques

Chapitre 4 : Radioactivité

- Les désintégrations alpha, bêta et gamma
- Aspects énergétiques des radioactivités
- Utilisation des radio-isotopes

Chapitre 5 : Réactions nucléaires

- Cinématique des réactions nucléaires : Processus impliquant la formation du noyau composé.
- Notions sur les mécanismes de réactions nucléaires
- Fission nucléaire
- Fusion thermonucléaire

Chapitre 6 : Energie nucléaire

- Production d'énergie par fission nucléaire.
- Production d'énergie par fusion nucléaire.

- Notions de nucléosynthèse.

Références:

1. **W. E. Meyerhof** Eléments de physique nucléaire, édition Dunod
 2. **Krane. K.S**, Introductory Nuclear Physics, (Wiley)
- **Hodgson. P.E., Gadioli Erba. E**, Introductory Nuclear Physics (Oxford Science Publication)

Semestre : 6

UE : Fondamentale

Matière : Théorie Classique des Champs

Objectifs de l'enseignement :

Quantifier la notion du champ et introduire l'interaction entre champs via la matrice de diffusion.

Connaissances préalables recommandées :

Mécanique quantique, mécanique quantique relativiste, électromagnétisme, relativité restreinte

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Systèmes continus et champs classiques

- Rappels de mécanique analytique
- Chaines s'oscillateurs couplés et limite continue
- Fonctionnelles et principe des variations
- Champs classiques- Formulation Lagrangienne- Les équations d'Euler-Lagrange
- Champs classiques- Formulation Hamiltonienne

Chapitre 2 : Principe de moindre action et relativité

- Construction de l'action pour une particule libre
- Construction de l'action pour une particule soumise à des forces

Chapitre 3 : Symétrie et Théorème de Noether

- Rappel sur les symétries en mécanique
- Transformation de jauge
- Théorème de Noether- Courant et charge de Noether
- Quelques applications : Champ de Klein-Gordon-Modèle de sine-Gordon-Soliton

Chapitre 4 : Electrodynamique Classique

- Le quadrivecteur densité de charge et de courant
- Le quadrivecteur gradient
- Le quadripotential
- Equations du potentiel électromagnétique
- Le tenseur électromagnétique
- Force de Lorentz
- Les transformations du champ électromagnétique
- Les équations de Maxwell sous forme covariante
- Invariants du champ électromagnétique

Références :

1. **Itzykson et Zuber**: Quantum field theory, Dover Pub., NY
2. **Schweber**: An introduction to relativistic quantum field theory, Dover Pub., NY

Semestre : 6

UE : Fondamentale

Matière : Physique Atomique

Objectifs de l'enseignement :

- Approfondir la compréhension de la structure atomique à la lumière de la mécanique quantique.
- Étudier les effets des interactions internes et externes sur les niveaux d'énergie des atomes.

- Introduire les principes fondamentaux de l'émission et de l'absorption de rayonnement par les atomes.
- Fournir les bases physiques nécessaires à la compréhension des spectres atomiques fins et hyperfins, et des phénomènes associés (effet Zeeman, Stark, émission laser...).

Prérequis recommandés :

- Mécanique Quantique I et II (L3/S5 et M1/S2)
- Spectroscopie atomique et moléculaire
- Bases de l'électrodynamique quantique (notions élémentaires)

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Structure fine et hyperfine des atomes

- **Interaction spin-orbite** : origine relativiste ; effet sur les niveaux d'énergie des atomes à un seul électron (atome d'hydrogène).
- **Couplage L-S (Russell-Saunders)** : cas des atomes légers ; règles de sélection, termes spectroscopiques, multiplets.
- **Couplage J-J** : cas des atomes lourds, diagrammes de niveaux.
- **Règles de Hund** : principe de remplissage des niveaux électroniques, détermination de l'état fondamental.
- **Structure hyperfine** : interaction spin nucléaire–champ magnétique interne, doublets hyperfins, spectres associés.

Chapitre 2 : Interaction avec des champs extérieurs

- **Effet Zeeman** :
 - Effet Zeeman normal : dédoublement des niveaux magnétiques en présence d'un champ magnétique.
 - Effet Zeeman anormal : prise en compte du moment magnétique total.
 - Applications spectroscopiques.
- **Effet Stark** :
 - Déplacement des niveaux d'énergie en champ électrique.
 - Effet Stark linéaire et quadratique.
 - Conséquences sur les spectres d'absorption et d'émission.

Chapitre 3 : Les rayons X

- **Production des rayons X** : transitions électroniques profondes, spectres caractéristiques.
- **Loi de Moseley** : relation entre la fréquence des rayons X et le numéro atomique ; confirmation de la structure électronique.
- **Effet Auger** : mécanisme de relaxation non radiatif, émission d'électrons Auger, applications en analyse de surface.

Chapitre 4 : Émission spontanée et induite – Principe du LASER

- **Émission spontanée** : transitions naturelles entre états excités et états fondamentaux.
- **Émission induite** : absorption stimulée et émission stimulée par un rayonnement incident.
- **Coefficients d'Einstein** : A et B, équilibre thermique et loi de Planck.
- **Principe du LASER** : inversion de population, cavité optique, conditions d'amplification du rayonnement cohérent.
- **Exemples de lasers atomiques** : He-Ne, laser à rubis, etc.

Références bibliographiques :

1. E. Chpolski, *Physique atomique*, Tome 1 et 2, Éditions Mir-Moscou.
2. B.H. Bransden & C.J. Joachain, *Physics of Atoms and Molecules*, Prentice Hall.
3. Claude Cohen-Tannoudji, *Compléments de mécanique quantique*, Hermann.
4. Haken & Wolf, *Atom and Quantum Physics*, Springer.

Objectifs de l'enseignement :

- Introduire les outils fondamentaux de la géométrie différentielle utilisés en physique théorique.
- Appliquer les concepts géométriques à la relativité générale et aux théories de jauge.
- Développer l'aptitude des étudiants à manipuler des objets géométriques comme les tenseurs, les métriques et les connexions.
- Acquérir des notions pratiques sur la structure des variétés différentiables et des espaces courbes.

Pré-requis recommandés :

- Calcul différentiel et intégral
- Algèbre linéaire
- Calcul vectoriel (espaces euclidiens)
- Notions élémentaires de topologie (souhaité)

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Géométrie différentielle euclidienne (surfaces dans)

- **Première forme quadratique** : définition, métrique induite, mesure des longueurs et des angles.
- **Deuxième forme quadratique** : courbure extrinsèque, normales, application à la convexité des surfaces.
- **Relations entre la première et la deuxième forme** : formules de Gauss et Codazzi.
- **Géodésiques sur les surfaces** : équations, propriétés minimales, exemples concrets (sphère, paraboloides).
- **Surfaces de courbure constante** : sphère, plan, pseudo-sphère ; géométrie intrinsèque.
- **Transport parallèle et théorème de Levi-Civita** : connexions sans torsion, unicité de la connexion compatible avec la métrique.

Chapitre 2 : Géométrie différentielle riemannienne (formalisme abstrait)

- **Tenseurs** : définition, exemples (métrique, tenseur de courbure), opérations tensoriels (élévation, contraction d'indices).
- **Variétés différentiables** : cartes, atlas, fonctions différentiables, tangente, espace cotangent.
- **Espace riemannien** : métrique définie positive, courbure intrinsèque.
- **Courbure** : tenseur de Riemann, courbure de Ricci, scalaire de courbure ; propriétés et interprétations physiques.
- **Espaces riemanniens de courbure constante** : sphère, espace hyperbolique, espace euclidien généralisé.
- **Introduction à la différentiation et à l'intégration sur les variétés** : formes différentielles, orientation, théorème de Stokes généralisé (notions de base).

Références bibliographiques :

1. **Chilov**, *Analyse mathématique*, Éditions Mir, Moscou.
2. **M. Spivak**, *A Comprehensive Introduction to Differential Geometry*, Publish or Perish Inc.
3. **B. O'Neill**, *Elementary Differential Geometry*, Academic Press.
4. **S. Kobayashi & K. Nomizu**, *Foundations of Differential Geometry*, Wiley-Interscience.
5. **M. do Carmo**, *Differential Geometry of Curves and Surfaces*, Prentice Hall.

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes physiques concernant aux expériences.
- Réalisation des mesures précises.
- Analyser les données expérimentales en utilisant des méthodes numériques et graphiques.
- Description des expériences de façon claire.

Connaissances préalables recommandées : TP Physique S1, S2, S3, S4

Programme détaillé:

- Demi-vie et équilibre radioactif
- Expérience de Rutherford
- Structure fine
- Effet Compton

Références :

Manuel de laboratoire

Semestre : 6

UE : Méthodologie

Matière : TP Physique Atomique

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes physiques concernant aux expériences.
- Réalisation des mesures précises.
- Analyser les données expérimentales en utilisant des méthodes numériques et graphiques.
- Description des expériences de façon claire.

Connaissances préalables recommandées : TP Physique S1, S2, S3, S4

Programme détaillé:

- Expérience de Millikan et charge spécifique de l'électron
- Détermination de la constante de Planck
- Résonance du spin électronique
- Effet Zeeman
- Expérience de Franck et Hertz

Références :

Manuel de laboratoire

Semestre : 6

UE : Méthodologie

Matière : Théorie des Groupes

Objectifs de l'enseignement :

- Acquérir les notions de base de la théorie des groupes et leurs applications en mécanique quantique
- Apprécier le rôle de la symétrie en physique

Connaissances préalables recommandées : Maths et mécanique quantique

Programme détaillé::

Chapitre 1 : Groupes de Lie et Algèbres de Lie

- Notions de groupes
- Notions de groupe de Lie et propriétés

- Notions de l'algèbre de Lie et propriétés
- L'application exponentielle
- **Chapitre 2 : Représentation linéaires des groupes**
- Représentations linéaires. Représentations irréductibles
- Les groupes $SO(2)$, $SO(3)$, $SU(2)$, $SU(3)$ et leurs représentations
- Le groupe de Lorentz, le groupe de Poincaré et leurs représentations

Références :

1. **H.F. Jones**, Groupes, Representations and Physics (IoP 1998) second edition
2. **L.H. Ryder**, Quantum Field theory (CUP 1996) second edition
3. **T.P. Cheng and L.F. Li**, Gauge theory of elementary particle physics (OUP 1984)

Semestre : 6

UE : Découverte

Matière :

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les propriétés fondamentales des particules élémentaires.
- Étudier leurs modes d'interaction, les lois de conservation et les processus de désintégration.
- Acquérir une première approche des concepts clés de la physique des particules modernes.

Connaissances préalables recommandées :

- Mécanique quantique
- Relativité restreinte

Programme détaillé:

Chapitre 1 : Introduction à la physique des particules

- Rappel des notions de relativité restreinte appliquées aux particules
- Système d'unités naturelles et justification de leur usage en physique des particules
- Notion de section efficace (cross section) et taux de désintégration (decay rate)
- Concept de masse invariante et son importance dans les collisions

Chapitre 2 : Notions sur la mécanique quantique relativiste (MQR) et antiparticules

- Équation de Klein-Gordon : formulation et interprétation
- Théorème des trous de Dirac et prédiction de l'existence des antiparticules
- Introduction aux diagrammes de Feynman : représentation des interactions au niveau fondamental

Chapitre 3 : Classification des particules et interactions fondamentales

- Différentes familles de particules élémentaires : leptons, hadrons, bosons de jauge
- Lois de conservation (charge, nombre baryonique, leptonique, etc.)
- Description des quatre interactions fondamentales : gravitationnelle, électromagnétique, faible, forte

Chapitre 4 : Notions sur le modèle standard et le modèle des quarks

- Structure et classification des quarks (types, saveurs)
- Interaction forte et confinement des quarks
- Introduction sommaire au modèle standard des particules

Référence principale :

- **R. Zitoun**, *Introduction à la physique des particules*, 2ème édition

Semestre : 6

UE : Découverte

Matière : Biophysique

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes fondamentaux de la thermodynamique appliqués aux systèmes biologiques.
- Étudier les relations entre énergie, information et les origines de la vie.
- Explorer les mécanismes physiques sous-jacents aux fonctions cellulaires, y compris les forces entropiques et les moteurs moléculaires.
- Introduire les concepts de bioélectricité, notamment dans le cœur et le cerveau.

Connaissances préalables recommandées :

- Thermodynamique générale
- Biologie cellulaire (niveau introductif recommandé)
- Physique générale

Programme détaillé :***Chapitre 1 : La thermodynamique des systèmes vivants***

- Concepts de base de la thermodynamique appliqués aux systèmes biologiques
- Systèmes ouverts, échanges d'énergie et de matière
- Principes de non-équilibre et dynamique des systèmes vivants

Chapitre 2 : Énergie, information et origine de la vie

- Rôle de l'énergie dans les processus biologiques
- Introduction à la notion d'information dans les systèmes biologiques (information génétique, bio-informatique)
- Hypothèses physiques sur l'origine de la vie et auto-organisation

Chapitre 3 : Les forces entropiques dans la cellule

- Définition et exemples de forces entropiques
- Effets entropiques dans la structuration cellulaire (membranes, macromolécules)
- Impact sur la dynamique et la stabilité des structures biologiques

Chapitre 4 : Les moteurs moléculaires dans la cellule

- Description des moteurs moléculaires (myosine, kinesine, ATP synthase...)
- Mécanismes de conversion de l'énergie chimique en travail mécanique
- Importance des moteurs moléculaires dans les fonctions cellulaires essentielles (transport intracellulaire, contraction musculaire)

Chapitre 5 : La bioélectricité du cœur et du cerveau

- Bases physiques de l'activité électrique dans les cellules excitables
- Fonctionnement électrique du cœur : potentiel d'action, conduction cardiaque
- Activité électrique cérébrale : neurones, synapses et transmission du signal

Références recommandées :

1. **S. Nelson**, *Principles of Biophysics*
2. **R. Phillips, J. Kondev, J. Theriot, H. Garcia**, *Physical Biology of the Cell*, Garland Science
3. **B. Alberts et al.**, *Molecular Biology of the Cell*, Garland Science

Semestre : 6
UE : Découverte
Matière : Optique Quantique

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre la modélisation des phénomènes optiques à l'échelle quantique.
- Étudier les sources de photons uniques et leur détection, ainsi que leurs applications.
- Initier aux concepts fondamentaux de l'optique quantique, incluant la quantification du champ électromagnétique.

Connaissances préalables recommandées :

- Mécanique quantique de base (oscillateur harmonique quantique)
- Physique classique des ondes
- Introduction à la physique atomique

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Généralités

- Modélisation des phénomènes optiques dans le cadre quantique
- Sources de photons uniques : principes et dispositifs
- Techniques de détection des photons uniques
- Applications des sources de photons uniques en technologies quantiques

Chapitre 2 : Optique ondulatoire

- Rappels et approfondissements sur les phénomènes d'interférence et de diffraction
- Limites de la description classique et transition vers l'optique quantique

Chapitre 3 : Brève introduction à l'optique quantique

- Rappel de l'oscillateur harmonique quantique : opérateurs de création et d'annihilation
- Quantification du champ électromagnétique : formalisation et implications
- États cohérents du champ lumineux
- Interaction lumière-matière : émission et absorption des radiations par les atomes

Références recommandées :

1. **M.O. Scully et M.S. Zubairy**, *Quantum Optics*, Cambridge University Press
2. **C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg**, *Photons et Atomes : Introduction à l'optique quantique*, InterEditions
3. **P. Meystre**, *Elements of Quantum Optics*, Springer

Semestre : 6
UE : Découverte
Matière : Nanotechnologie

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes fondamentaux de la diffusion et du transport à l'échelle nanométrique.
- Étudier les phénomènes d'échange d'énergie et de rayonnement pertinents en nanotechnologie.
- Initier aux modèles macroscopiques et microscopiques de diffusion appliqués aux systèmes à l'échelle nanométrique.

Connaissances préalables recommandées :

- Physique statistique
- Mécanique des fluides
- Thermodynamique de base

Programme détaillé :

Chapitre 1 : Introduction à la diffusion

- Expériences fondamentales de diffusion
- Caractérisation des systèmes à l'équilibre et hors équilibre

Chapitre 2 : Description macroscopique de la diffusion

- Concept de flux et vecteur densité de flux
- Lois de conservation appliquées au transport de matière et d'énergie
- Équation générale de diffusion
- Propriétés des fluides visqueux dans les phénomènes de diffusion
- Solutions analytiques de l'équation de diffusion : régime permanent et régime transitoire
- Notions de résistance et conductance thermique dans les échanges thermiques

Chapitre 3 : Description microscopique de la diffusion

- Théorie du transport dans un gaz parfait
- Modèle de la marche aléatoire (marche au hasard)
- Mouvement brownien et sa modélisation
- Diffusion sous champ de force extérieure
- Équation de Mason-Weaver et applications

Chapitre 4 : Échanges d'énergie par rayonnement

- Description de l'énergie reçue et émise par un système nanométrique
- Lois fondamentales du rayonnement thermique
- Équation de Mie pour la diffusion des ondes électromagnétiques par les particules nanométriques
- Effet de serre : principes et implications dans les matériaux nanostructures

Références recommandées :

1. **C. Kittel**, *Introduction à la Physique de l'État Solide*, Wiley
2. **G. Bastard**, *Nanostructures et Nanotechnologies*, Editions Eyrolles
3. **R. S. C. Cobbold**, *Nanotechnology: An Introduction to Nanostructuring Techniques*, CRC Press

Semestre : 6

UE : Transversale

Matière : Entrepreneuriat

Programme détaillé :

1. Introduction à l'entrepreneuriat

1. Définitions et types d'entrepreneuriat (classique, social, technologique, vert...)
2. Le rôle de l'entrepreneuriat dans le développement économique algérien
3. Profil de l'entrepreneur : compétences clés et attitudes

2. De l'idée au projet

1. Génération d'idées et créativité
2. Identification des opportunités
3. Étude de marché : segmentation, analyse des besoins, concurrence
4. Étude de faisabilité

3. Elaboration d'un Business Model

1. Modèle économique : Business Model Canevas (outil visuel)
2. Proposition de valeur
3. Segments de clientèle
4. Canaux de distribution et de communication
5. Flux de revenus et structure des coûts

4. Le Business Plan

1. Structure du business plan (résumé exécutif, stratégie, analyse financière, plan marketing...)
2. Éléments financiers de base : budget prévisionnel, plan de financement, seuil de rentabilité
3. Outils numériques pour le montage de projet (Excel, Canva, Pitch Deck...)

5. Création de l'entreprise en Algérie

1. Statuts juridiques d'entreprise (SARL, SPA, auto-entrepreneur...)
2. Démarches administratives : registre de commerce, NIF, CNAS, CASNOS
3. Les structures d'aide à la création (ANADE, CNAC, incubateurs universitaires...)

6. Financement de projet entrepreneurial

1. Sources de financement : fonds propres, crédits bancaires, microcrédits, subventions
2. Programmes de soutien à l'entrepreneuriat en Algérie
3. Rédaction d'un dossier de financement.

Références bibliographiques

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