

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

نموذج مطابقة و مواعمة

عرض تكوين ماستر أكاديمي

2026 – 2025

التخصص	الشعبة	ميدان
الفيزياء الحاسوبية	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. MASTER ACADEMIQUE

2025 – 2026

Domaine	Filière	Spécialité
SCIENCES DE LA MATIERE	PHYSIQUE	PHYSIQUE COMPUTATIONNELLE

SOMMAIRE

I - Fiche d'identité du Master	-----
1 - Localisation de la formation	-----
2 - Partenaires de la formation	-----
3 - Contexte et objectifs de la formation	-----
A - Conditions d'accès	-----
B - Objectifs de la formation	-----
C - Profils et compétences visées	-----
D - Potentialités régionales et nationales d'employabilité	-----
E - Passerelles vers les autres spécialités	-----
F - Indicateurs de suivi de la formation	-----
G - Capacités d'encadrement	-----
4 - Moyens humains disponibles	-----
A - Enseignants intervenant dans la spécialité	-----
B - Encadrement Externe	-----
5 - Moyens matériels spécifiques disponibles	-----
A - Laboratoires Pédagogiques et Equipements	-----
B- Terrains de stage et formations en entreprise	-----
C - Laboratoires de recherche de soutien au master	-----
D - Projets de recherche de soutien au master	-----
E - Espaces de travaux personnels et TIC	-----
II - Fiche d'organisation semestrielle des enseignement	-----
1- Semestre 1	-----
2- Semestre 2	-----
3- Semestre 3	-----
4- Semestre 4	-----
5- Récapitulatif global de la formation	-----
III - Programme détaillé par matière	-----
IV – Accords / conventions	-----

I – Fiche d'identité du Master
(Tous les champs doivent être obligatoirement remplis)

1 - Localisation de la formation :

Faculté (ou Institut) : Sciences

Département : Physique

2- Partenaires de la formation *:

- autres établissements universitaires :

- entreprises et autres partenaires socio-économiques :

- Partenaires internationaux :

* = Présenter les conventions en annexe de la formation

3 – Contexte et objectifs de la formation

A – Conditions d'accès (*indiquer les spécialités de licence qui peuvent donner accès au Master*)

Etudiants titulaires d'une licence (LMD) :

- Physique toutes options

B - Objectifs de la formation (*compétences visées, connaissances pédagogiques acquises à l'issue de la formation- maximum 20 lignes*)

Le master Physique et Physique Computationnelle Computational Physics a pour vocation d'être une formation aux hautes technologies actuelles (simulation numérique, mégadonnées) et prépare les étudiants aux technologies à venir (calcul quantique, ...). Il offre une formation en physique fondamentale et en méthodes de calcul. Les domaines scientifiques étudiés sont la physique de la matière et des interactions lumière-matière, la simulation numérique et les mégadonnées pour les systèmes physiques.

C'est un offre une formation qui a un double objectif : d'une part, former des physiciens avec un haut niveau de compétences en calcul numérique, capables de s'adapter à toute évolution ou perturbation future des technologies numériques ; d'autre part, les former en numérique avec un haut niveau de compétences en physique capables d'intégrer une équipe de recherche dans une université ou un établissement de recherche académique, ou encore un département R&D dans l'industrie, pour faire le lien entre les ingénieurs en informatique et les physiciens des autres spécialités.

Les progrès de l'analyse mathématique et, d'autre part, l'arrivée de l'outil de calcul numérique qui était resté, pour les équations aux dérivées partielles. Presque totalement inadéquat jusqu'aux années 1950. L'arrivée, en effet ; des ordinateurs, leurs progrès immenses et incessants, ont permis -pour la première fois dans l'histoire – de calculer, à partir des modèles, des quantités qui, jusqu'alors, ne pouvaient être que très approximativement estimées et peut-être par-dessus tout, de les calculer sûrement et rapidement, d'où la possibilité (fondamentale) pour les chercheurs et pour les ingénieurs, de pouvoir utiliser les résultats numériques pour la modification ou l'adaptation des raisonnements, des expériences ou des réalisations en cours.

C – Profils et compétences métiers visés (en matière d'insertion professionnelle - maximum 20 lignes) :

Ce master académique a pour objectif de former des cadres qui posséderont à la fois une double compétence en Physique et Informatique mais aussi d'une spécialisation en Physique Computationnelle (Computational Physics). La formation comprend des enseignements fondamentaux adaptés aux débouchés à la demande du secteur socioéconomique à court et à long terme. La compétence en modélisation et simulation s'appuie sur les connaissances théoriques et appliquées acquises en informatique sur l'ensemble des deux années. Les débouchés sont ouverts sur l'ensemble des applications des méthodes physiques et informatiques. De plus, grâce à la spécialisation en Physique Informatique qui connaît un développement croissant, les diplômés disposeront d'un profil original qui pourra leur offrir :

- Une Poursuite de la formation vers un diplôme supérieur (Doctorat) grâce aux compétences et techniques acquises.
- Des débouchés dans l'enseignement secondaire et supérieur.
- Des compétences larges pour recherche fondamentale et appliquée.

D- Potentialités régionales et nationales d'employabilité des diplômés

- Education Nationale, Secteur Industriel
- Le contexte de cette formation est lié à la Maîtrise d'une démarche de base : La modélisation par les équations suivies de l'analyse théorique, puis numérique, suivie à son tour de la confrontation avec l'expérimentation.

Le Coursus a en particulier pour objectifs :

- Des Compléments de Formation de physique fondamentale et des enseignements solides en traitement numérique et informatique
- Acquisition d'une compétence et d'un savoir-faire en : Modélisation et Simulation Numérique de phénomènes physiques :
- Formation poussée en calcul scientifique, mathématiques appliquées et méthodes pour la modélisation de la physique.
- Une formation linguistique : français (travail personnel) et anglais (des enseignements sont prévus).
- Enfin, l'initiative de chaque étudiant est encouragée à l'occasion de la réalisation d'un projet qui est inclus dans la formation.

E – Passerelles vers d'autres spécialités

Cette formation de Master donne des possibilités de passerelles vers les autres parcours types du master en particulier vers les disciplines :

- Spécialisés en Techniques et Méthodes de Modélisation Numérique et informatique.
Une orientation est également possible vers certaines mentions
- Préparation de Diplômes d'Ingénieur Physicien.
- Préparation de Diplômes d'Ingénieur de Recherche et de Développement.

F – Indicateurs de suivi de la formation

Les indicateurs envisagés pour l'évaluation du projet sont principalement

- Le bon déroulement des enseignements, à travers la mise en place des travaux pratiques en particulier, et leur faisabilité.
- La participation des étudiants à la dynamique proposée dans le cadre du projet.
- Le suivi est dévolu à l'équipe pédagogique à travers des tuteurs désignés et des encadreurs de projets liés aux thèmes pédagogiques et aussi ceux liés à la recherche.

G – Capacité d'encadrement (donner le nombre d'étudiants qu'il est possible de prendre en charge)

20 Etudiants

Nom, prénom	Diplôme graduation + Spécialité	Diplôme Post graduation + Spécialité	Grade	Type d'intervention *	Emargement
CHIKHAOUI Abdelhak	D.E.S Physique Physique Opto-électronique et Rayonnements	Doctorat en Sciences Physique Electronique et Modélisation	Pr	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
BRAHMI Badr Eddine Nabil	D.E.S Physique Physique Opto-électronique et Rayonnements	Magister Physique Electronique/ Doctorat en Sciences Physique des matériaux	MCA	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
BENMANSOUR Amel	Master en Modélisation et simulation et application Physique	Doctorat LMD en Physique Computationnelle	MAB	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
BEKHECHI Smaïne	D.E.S Physique	Doctorat 3ème cycle physique Théorique/ Doctorat d'états en physique Théorique	Pr	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
BENDAHMANE Mohemmed Fawzi	D.E.S. Physique Physique Opto-électronique et Rayonnements	Doctorat en Sciences Télécommunications	MCA	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
KARAOUZENE Lotfi Ibrahim	D.E.S Physique Energétique	Magister Physique Energétique et Matériaux/ Doctorat en Sciences Physique Energétique et Matériaux	MCA	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
MERAD Abdelkrim		Magister Physique	Pr	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
BOUFATAH Mohammed Reda	D.E.S Physique théorique	Magister Physique	MCA	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	
MERAD Abdelkrim	DES en Physique Théorique	Magister en Physique Energétique et Matériaux Doctorat en Sciences Physique des Matériaux	Pr	Cours, TD, TP Encadrement de mémoire	

MAMOUN Souheyla	Master en Physique Energétique et Matériaux	Doctorat en Physique des Matériaux	MCB	Cours, TD, TP, Encadrement de Mémoire	
BOUDEFLA Rania	diplôme des études supérieures en physique physique des plasma	Magister et Doctorat Physique théorique	MCB	Cours, TD, TP, Encadrement de Mémoire	

4 – Moyens humains disponibles

A : Enseignants de l'établissement intervenant dans la spécialité :

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

B : Encadrement Externe :

Etablissement de rattachement :

Nom, prénom	Diplôme graduation + Spécialité	Diplôme Post graduation + Spécialité	Grade	Type d'intervention *	Emargement

Etablissement de rattachement :

Nom, prénom	Diplôme graduation + Spécialité	Diplôme Post graduation + Spécialité	Grade	Type d'intervention *	Emargement

Etablissement de rattachement :

Nom, prénom	Diplôme graduation + Spécialité	Diplôme Post graduation + Spécialité	Grade	Type d'intervention *	Emargement

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

5 – Moyens matériels spécifiques disponibles

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

Intitulé du laboratoire : Laboratoire de Physique théorique

N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
01	Baie de Stockage 60 Téra	01	
02	Station de calculs Intel Xeon E5 2620	02	
03	Station de calculs Intel Xeon E5 2420 v2	01	
04	PC i9 9900k 32 Go	01	
05	PC i7 8700k 32 Go	01	
06	PC i7 7700 k 16 Go	03	
07	PC i7 10700 k 32 Go	01	
08	PC i7 12700 kf 32Go	08	
09	PC i7 3770k	02	
10	PC i5 8 Go	03	
11	PC i3 10100 16 Go	01	
12	PC i3 8100 8 Go	01	
13	PC i3 8Go	18	

Intitulé du laboratoire : laboratoire d'automatique



N°	Intitulé de l'équipement	Nombre	observations
01	Station de calcul projet équipe AM	01	I7, Carte graphique dédié, RAM 16GO
02	Station de calcul projet REHAB	01	I9, Carte graphique GForce 4080 16GB, RAM 64GB, 2GO SSD, 20 GO HDD, Water cooling MSI
03	Station de calcul projet MG-FARM	01	I9, Carte graphique GForce 4080 16GB, RAM 64GB, 2GO SSD, 20 GO HDD, Water cooling MSI

4	Ordinateurs) Performants pour la Simulation : I7, Carte graphique dédié, RAM 16GO	<ul style="list-style-type: none"> • Projet pilotage de Drone (2 stations) • Projet bioprocédés (1 station) • LAT (1 station)
---	---	--

B- Terrains de stage et formation en entreprise :

Lieu du stage	Nombre d'étudiants	Durée du stage

C- Laboratoire(s) de recherche de soutien au master :

Chef du laboratoire : Pr BADRANE Zeyneb	
N° Agrément du laboratoire de Physique Théorique	
Date : 19/02/2024	Arrêté n° 88 du 25/07/2000
Avis du chef de laboratoire : Avis Favorable	
 Zeyneb BADRANE Full Professor Physics Dept., Sciences Faculty Tlemcen University ALGERIA	

Chef du laboratoire : Pr. Hadj ABDELKADER Amine	
N° Agrément du laboratoire AUTOMATIQUE	
Arrêté N° 88 du 25/07/2000	
Date : 18/02/2024	
Avis du chef de laboratoire : Avis Favorable	
 Pr. HADJ-ABDELKADER Mohammed Amine	

D- Projet(s) de recherche de soutien au master :

Intitulé du projet de recherche	Code du projet	Date du début du projet	Date de fin du projet

E- Espaces de travaux personnels et TIC :

- Réseaux wifi et internet
- Plateforme Linux pour calcul théorique parallèle multitâche (centre de calcul intensif de l'université (HPC)).
- Matériels et accessoires informatiques et audio-visuel : imprimantes, Photocopieur, Data-Show pour vidéoconférences.
- Laboratoire d'informatique de la faculté.
- Salle de lecture à la bibliothèque et Hall Wifi de la Faculté, Salle de lecture à la bibliothèque centrale.

II – Fiche d'organisation semestrielle des enseignements

(Prière de présenter les fiches des 4 semestres)

Semestre 1 :

Semestre 2 :

Unité d'Enseignement	Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	Intitulé	15 semaines	C	TD	TP				Continu	Examen
UE Fondamental Code : UEF 2 Crédits : 18 Coefficient : 9	Modélisation Mathématiques des phénomènes physiques II	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%
	Matériaux et Dispositifs	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%
	Informatique Scientifique II : Machine Learning et Deep Learning pour la Physique	90h00	3h00		3h00	110h00	4	8	33%	67%
UE Méthodologie Code : UEM2 Crédits : 9 Coefficient : 5	T.P Simulation de l'interaction des particules avec la matière	60h00	1h00		3h00	65h00	3	5	50%	50%
	TP Applications de la physique II : Modélisation et Simulation Numérique	45h00			3h00	55h00	2	4	50%	50%
UE Découverte Code : UED2 Crédits : 2 Coefficient : 2	Méthodes Monte-Carlo et Applications à la Physique	45h00	1h30	1h30		5h00	2	2	50%	50%
UE Transversal Code : UET2 Crédits : 1 Coefficient : 1	Reverse Engineering	22h30	1h30			2h30	1	1		100%
Total Semestre 2		375h00	11h30	4h30	9h00	375h00	17	30		

Semestre 3 :

Unité d'Enseignement	Matières	VHS	V.H hebdomadaire			Autres	Coeff	Crédits	Mode d'évaluation		
	Intitulé	15 semaines	C	TD	TP				Continu	Examen	
UE Fondamental Code : UEF 3 Crédits : 18 Coefficient : 9	Modélisation mathématique des Phénomènes Physiques liés au transport.	45h00	1h30	1h30		55h00	2	4	33%	67%	
	Informatique Scientifique III : Programmation Parallèle pour la Simulation Physique (CPU/GPU)	67h30	3h00	1h30		82h30	3	6	33%	67%	
	Optimisation des Systèmes physiques	90h00	3h00		3h00	110h00	4	8	33%	67%	
UE Méthodologie Code : UEM3 Crédits : 9 Coefficient : 5	Approche méthodologique de la simulation du Transport	45h00			3h00	55h00	2	4	50%	50%	
	Modélisation et optimisation des matériaux et dispositifs	60h00	1h00		3h00	65h00	3	5	50%	50%	
UE Découverte Code : UED3 Crédits : 2 Coefficient : 2	Une matière à choisir parmi :		45h00	1h30		1h30	5h00	2	2	50%	50%
	Séminaire Hebdomadaire										
	Modélisation et simulation des système énergétique										
	Introduction à l'optique computationnelle et traitement d'imagerie										
Biophysique computationnelle											
UE Transversal Code : UET3 Crédits : 1 Coefficient : 1	Entrepreneuriat, Innovation et Startup		22h30	1h30			2h30	1	1		100%
Total Semestre 3		375h00	11h30	3h00	10h30	375h00	17	30			

4- Semestre 4 :

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique Computationnelle

Stage en entreprise sanctionné par un mémoire et une soutenance.

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	105	2	03
Stage en entreprise			
Séminaires	270	5	09
Mémoire de fin d'étude	375	10	18
Total Semestre 4	750	17	30

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)

VH \ UE	UEF	UEM	UED	UET	Total
Cours	690	45	67.5	67.5	870
TD	135		45		180
TP	135	270			405
Travail personnel	742.5	630	180	15	1567.5
Autre (préciser)					
Total	1702.5	945	292.5	82.5	3022.5
Crédits	72	36	09	03	120
% en crédits pour chaque UE	60%	30%	07.50%	02.50%	100%

III - Programme détaillé par matière (1 fiche détaillée par matière)

Programmes :

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 : 1

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Modélisation Mathématiques des Phénomènes physiques I

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Espaces Fonctionnels et Distributions : Fondements et Applications) (2 semaines)

I.1. Espaces Vectoriels Normés (EVN)

I.2. Espaces de Banach

I.3. Convergence dans les Espaces Fonctionnels

I.4. Théorie des Distributions

I.4.1 Distributions (fonctions généralisées) :

I.4.2 Opérations sur les distributions :

I.4.3. Notions d'analyse fonctionnelle (espaces de Hilbert, opérateurs).

Chapitre 2 : Équations Différentielles Ordinaires (EDO) (environ 1 semaines)

II.1. Introduction et Concepts Fondamentaux

II.1.1. Définitions : ordre, linéarité, conditions initiales, problèmes de Cauchy.

II.1.2. Exemples de modélisation physique par des EDO (cinématique, dynamique du point matériel, désintégration radioactive).

Chapitre 3 : Résolution Analytique des EDO Linéaires d'Ordre Supérieur (environ 1 Semaine)

IV.1. Équations homogènes à coefficients constants (racines réelles, complexes, multiples).

IV.2. Méthode de variation des constantes.

IV.3. Méthode des coefficients indéterminés.

IV.4. Applications à l'oscillation harmonique, aux circuits RLC.

Chapitre 4 : Introduction aux Méthodes Numériques pour les EDO (environ 1 semaine)

V.1. Méthode d'Euler explicite et implicite : principe, interprétation géométrique, erreur de troncature locale.

V.2. Méthodes de Runge-Kutta d'ordre supérieur (RK2, RK4 - présentation et application).

V.3. Analyse de la stabilité (introduction).

Chapitre 5 : Introduction aux EDP et Modélisation Physique (environ 2 semaines)

VI.1. Définitions : ordre, linéarité, conditions aux limites (Dirichlet, Neumann, Robin), conditions initiales.

VI.2. Les EDP classiques de la physique : équation de la chaleur (diffusion), équation des ondes, Équation de Laplace/Poisson (potentiel).

VI.3. Exemples de problèmes physiques modélisés par ces EDP.

VI.4. La Méthode de Séparation des Variables

Chapitre 6 : Introduction aux Différences Finies pour les EDP (2 semaines)

VI.1. Discrétisation du domaine spatial et temporel.

VI.2. Approximation des dérivées partielles par des différences finies (centrées, avancées, reculées).

VI.3. Schémas explicites et implicites pour l'équation de la chaleur (stabilité qualitative).

VI.3.1 Application à l'équation de la chaleur et à l'équation des ondes dans des géométries Simples (barre, corde vibrante).

VI.3.2 Séries de Fourier : rappels et utilisation pour satisfaire les conditions aux limites

Chapitre 7: Modéliser et caractériser un signal à temps continu (3 semaines)

VII.1. Représentation fréquentielle

VII.1.1. Notion de fréquence

VII.1.2. Représentation d'un signal composé

VII.1.3. Notion de spectre

VII.2. Signaux modélisés par des fonctions périodiques

VII.2.1. Décomposition en série de Fourier à temps continu

VII.2.2. Coefficients de Fourier à temps continu

VII.2.4. Densité spectrale de puissance des signaux périodique

VII.3. Signaux modélisés par des fonctions non périodiques

VII.3.2. Transformée de Fourier

VII.3.3. Propriétés de la Transformée de Fourier

VII.3.4. Densité spectrale d'énergie des signaux apériodiques

Chapitre 8 : Modéliser et caractériser un signal à temps discret (3 semaines)

III.1. Analyse spectrale des signaux discrets

III.2. Analyse de Fourier à temps discret

III.2.1. Série de Fourier des signaux discrets périodiques

III.2.2. Densité spectrale de puissance des signaux périodiques

III.3. Analyse de Fourier à temps discret

III.3.1. Transformée de Fourier à temps discret TFTD

III.3.2. Transformée de Fourier discrète DFT (TFD)

III.3.3. Transformée de Fourier discrète TFD sous forme matricielle

III.3.4. Transformée de Fourier discrète inverse

III.3.5. Transformée de Fourier rapide TFR (FFT)

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Physique Statistiques computationnelle

Crédits : 6

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Base de la Physique Statistique et Outils Numériques (Estimé : 3 semaines)

- Rappels : Ensembles (microcanonique, canonique et grand canonique), théorème ergodique.
- Méthodes numériques en physique statistique (intégration Monte Carlo, discrétisation)
- Algorithme de Metropolis-Hastings.

Chapitre 2 : Dynamique Moléculaire (Estimé : 5 semaines)

- Principes de base : potentiels de Lennard-Jones et équations de Newton.
- Algorithmes d'intégration : Verlet, Velocity-Verlet et RK4.
- Conditions périodiques, thermostats de Berendsen et de Langevin.
- Ensembles NVT/NPT.
- Fonction de corrélation radiale.

Chapitre 3 : Milieux Granulaires et Systèmes Hors Equilibre (Estimé : 5 semaines)

- Lois de contact : Hooke, Coulomb et modèle visco-élastique.
- Méthode DEM (Discrete Element Method)
- Ségrégation, convection, effet Janssen
- Granulaires et Applications

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Informatique Scientifique I : Calcul Scientifique et Analyse de Données

Crédits : 8

Coefficients : 4

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à la Physique Computation (environ 3 semaines)

I.1. Principes fondamentaux de la physique computationnelle.

I.2. Applications dans divers domaines scientifiques.

Chapitre 2 : Programmation Python pour la Physique (environ 3 semaines)

II.1. Utilisation de Python comme langage de programmation principal.

II.2. Bibliothèques scientifiques : NumPy, SciPy, Matplotlib et Pandas.

Chapitre 3 : Méthodes Numériques (environ 4 semaines)

III.1. Concepts de base des méthodes numériques pour la résolution des problèmes scientifiques.

III.2. Intégration numérique, résolution d'équations différentielles ordinaires et partielles

Chapitre 4 : Pratique de la Programmation Scientifique (environ 4 semaines)

IV.1. Utilisation avancée de NumPy, SciPy, Matplotlib et Pandas pour l'analyse des données.

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Simulation des phénomènes Électromagnétiques

Crédits : 5

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

TP 1 – Outils Mathématiques Fondamentaux (environ 1 semaines)

- Implémentation des opérateurs différentiels en Python (transition depuis logiciel libre OCTAVE)
- Calcul numérique du gradient, divergence, rotationnel via NumPy/SciPy
- Implémentation numérique de la loi de Coulomb pour calculer le champ électrique en des points donnés pour des configurations de charges discrètes (e.g., dipôle, quadrupôle). Visualisation des lignes de champ électrique.

TP 2 – Visualisation des Champs Electrostatiques (environ 2 semaines)

- Extension à des distributions complexes (n-uplets de charges, dipôles, quadripôles)
- Utilisation de Matplotlib (streamplot) et PyVista (3D interactif)
- Introduction à Jupyter Notebook pour le rapport dynamique

TP 3 – Ondes EM Polarisesées (environ 2 semaines)

- Approche Computationnelle :
- Simulation d'une OEMP avec animation temps-réel (FuncAnimation)
- la visualisation de la structure d'une onde Electromagnétique plane progressive

TP 4 – Résolution de l'Équation de Poisson (environ 2 semaines)

- Modernisation :

- Implémentation FEM avec FEniCS (au lieu des différences finies)
- Application à un cas concret : potentiel dans un semi-conducteur dopé
- Étude de l'effet de la polarisation (circulaire/elliptique) via des sliders interactifs
- Implémentation d'un schéma aux différences finies pour la résolution de
- L'équation de Poisson - exemple d'un problème physique-

TP 4 – Implémentation d'un schéma aux différences finies pour un problème physique de propagation à 2D. (environ 2 semaines)

TP 7-9 – Guides d'Ondes (Nouvelle Approche) Transition vers des Outils Open-Source : MEEP (MIT) ou OpenEMS . (Environ 2 semaines)

- Prédiction des modes TE/TM par un réseau de neurones (TensorFlow/Keras)
- Modélisation de la propagation d'une onde électromagnétique dans un guide d'onde à l'aide du code de simulation
- Optimisation topologique du guide

TP 10-11 : Etude et Simulation de la propagation d'une OMPP dans un guide d'onde rectangulaire détermination et visualisation des mode TE et TM, caractéristiques énergétiques. (environ 2 semaines)

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Application de la Physique I : Modélisation et Simulation Numérique

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

- TP 1 : Chute libre avec résistance de l'air : Méthodes d'Euler et de Verlet (environ 2 semaines)
- Résolution numérique de l'équation différentielle du mouvement en utilisant la méthode d'Euler et la méthode de Verlet.
 - Comparaison des résultats avec la solution analytique (dans le cas simple sans résistance).
 - Analyse de l'influence du coefficient de résistance et du pas de temps.
- TP 2 : Problème à N-corps et Gravitation (environ 2 semaines)
- Simuler numériquement les interactions gravitationnelles dans un système à N corps (exemple : problème à 3 corps) en utilisant des méthodes d'intégration numérique.
 - Optimisation : Utiliser des bibliothèques (Numba) pour accélérer le calcul.
 - 3D : Passer en 3D pour des simulations réalistes (ex : système solaire).
- TP 3 : Introduction à la simulation : Marche aléatoire 1D et 2D (environ 2 semaines)
- Implémentation de l'algorithme de marche aléatoire.
 - Visualisation des trajectoires et calcul de quantités statistiques (distance moyenne, variance).
 - Exploration de l'influence du nombre de pas.

TP 4 – Modèles de spins et transitions de phase (environ 4 semaines)

- Modèle d'Ising (introduction aux méthodes de Metropolis).
- Visualisation des transitions ferromagnétiques.

TP 5 – Introduction à la dynamique moléculaire simple (environ 2 semaines)

- Simulation de l'interaction entre quelques particules (e.g., modèle de Lennard-Jones en 1D ou 2D).
- Calcul de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique du système.
- Visualisation de l'évolution des positions des particules.

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Découverte

Intitulé de la matière : Propagation des ondes Electromagnétiques et Méthodes numériques

Crédits : 2

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Chapter 1. Vectors and Vector Fields

I.1 Introduction

I.2 Vector Algebra

I.3 Vector Areas

I.4 The Scalar Product

I.5 The Vector Product

I.6 Rotation

I.7 The Scalar Triple Product

I.8 The Vector Triple Product

I.9 Vector Calculus

I.10 Line Integrals

I.11 Vector Line Integrals

I.12 Surface Integrals

I.13 Vector Surface Integrals

I.14 Volume Integrals

I.15 Gradient

I.16 Divergence

I.17 The Laplacian

I.18 Curl

I.19 Polar Coordinates

Chapter 2: simple wave equation and its solutions

II.1 One-Dimensional Wave Equation

II.1.1 General Solution in One Dimension

II.1.2 General Solution in Three Dimensions

II.2 Monochromatic Wave Function

II.2.1 Propagation in One Dimension

II.2.2 Propagation in Three Dimensions

II.3 Some Numerical Schemes for Solving the

Wave Equation Chapter 3 : Time-Independent

Maxwell Equations Chapter 4 : Time-

Dependent Maxwell Equations

4.1 Introduction

4.2 Faraday's Law

4.3 Electric Scalar Potential?

4.4 Gauge Transformations

4.5 The Displacement Current

4.6 Potential Formulation

4.7 Electromagnetic Waves

4.8 Green's Functions

4.9 Retarded Potentials

4.10 Advanced Potentials?

4.11 Retarded Fields

4.12 Maxwell's Equations

Chapter V. Dielectric and Magnetic Media

V.1 Introduction

V.2 Polarization

V.3 Electric Susceptibility and Permittivity

V.4 Boundary Conditions For E and D

V.5 Boundary Value Problems with Dielectrics

V.6 Energy Density within a Dielectric Medium

V.7 Force Density within a Dielectric Medium

V.8 The Clausius-Mossotti Relation

V.9 Dielectric Liquids in Electrostatic Fields

V.10 Polarization Current

V.11 Magnetization

V.12 Magnetic Susceptibility and Permeability

V.13 Ferromagnetism

V.14 Boundary Conditions for B and H

V.15 Boundary Value Problems with Ferromagnets

V.16 Magnetic Energy

Chapter VI: Guided Waves

VI.1 Waveguides: Helmholtz equation, various propagation modes in metallic waveguides, cutoff

VI.2 frequencies. Dielectric waveguides and optical fibers.

VI.3 Rectangular Waveguides: TM and TE modes,

VI.4 Dispersion equation,

VI.5 Propagation constant, cutoff frequency, Impedance, ...

VI.6 Rectangular Electromagnetic Cavities.

VI.7 Cylindrical Waveguides: TM and TE modes, dispersion equation,

VI.8 Propagation constant, cutoff frequency, Impedance, ...

VI.9 Cylindrical Electromagnetic Cavities.

Chapter VII: Numerical Methods in Electromagnetic Wave Propagation

VII.1 Finite Differences

VII.2 A 2D Capacitance Problem

VII.3 Iterative Solution of Laplace's Equation

VII.4 Computing the Capacitance

VII.5 The Finite-Difference Time-Domain Method
VII.6 The 1D Wave Equation
VII.7 Dispersion and Stability
VII.8 The FDTD Method: Staggered Grids
VII.8.1 One Space Dimension
VII.8.2 Three Space Dimensions
VII.8.3 Cubical Cavity
VII.8.4 Integral Interpretation of the FDTD Method
VII.9 The Finite Element Method
VII.9.1 General Recipe
VII.9.2 1D Finite Element Analysis
VII.9.3 2D Finite Element Analysis
VII.10.1 The Method of Moments Integral Formulation of Electrostatics .
VII.10.2 Green's Function .
VII.10.3 General Formulation
VII.10.4 FEM Solution
VII.10.5 Capacitance Problem in an Unbounded 2D Region

Semestre : 1

Intitulé de l'UE : Transversal

Intitulé de la matière : Anglais technique

Crédits : 1

Coefficients : 1

Contenu de la matière :

1. Technical Vocabulary and Applied Grammar (4 week)

A. Specialized Lexicon

Fundamental Terms: Mathematical symbols, units of measurement, lab equipment.

Disciplinary Fields:

Physics/Engineering: "damping ratio", "finite element analysis", "boundary conditions".

Computer Science: "loop optimization", "parallel computing", "benchmarking", "spectroscopy".

B. Grammar for Science

2. Document Comprehension and Analysis (3 week)

A. Critical Reading

Scientific Articles: Structure (abstract, methodology, results), extracting key information. Technical Manuals: Safety instructions, schematics, diagrams.

Patents: Analysis of claims.

B. Active Listening

Recorded Lectures: (e.g., TEDx, IEEE conferences). Specialized Podcasts: (e.g., Nature Podcast, Science Weekly). Oral Instructions: Simulations of an experimental protocol.

3. Technical Writing (4 week)

A. Common Formats

Abstract: Max 150 words, with keywords.

Lab Report: Methodology in past tense, results in present tense.
Professional Email: Collaboration request, technical clarification.

B. Typical Exercises

Paraphrasing: Reformulating a scientific paragraph. Visual Description: Explaining a graph or a workflow.

4. Oral Communication (3 Week)

A. Presentations

Structure: Introduction → Problem Statement → Results → Perspectives. Tools: Concise slides (bullet points, visuals), managing Q&A.

B. Role-Playing

Academic Poster Session: Pitching research in 3 minutes

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Modélisation Mathématiques des phénomènes physiques II

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction et Rappels (2 semaines)

I.1. Équations aux Dérivées Partielles (EDP) Fondamentales

I.1.1 Classification des EDP (elliptiques, paraboliques, hyperboliques)

I.1.2. Exemples physiques :

- Équation de Laplace/Poisson (électrostatique, gravitation)
- Équation de la chaleur (diffusion thermique)
- Équation d'onde (vibrations, acoustique)
- Équation de Schrödinger (physique quantique)
- Équations de Navier-Stokes (dynamique des fluides)

I.2. Analyse Dimensionnelle et Similitude

I.2.1 Théorème II de Vaschy-Buckingham

I.2.2 Nombres sans dimension (Reynolds, Mach, Prandtl, Péclet)

I.2.3 Applications : modèles réduits en ingénierie, simulations en dynamique des fluides

I.3. Conditions aux Limites et Problèmes

Bien Posés

I.3.1 Conditions de Dirichlet, Neumann,
Robin

I.3.2 Problèmes mal posés et régularisation (ex : problème inverse)

Chapitre 2 : Méthodes Numériques Avancées pour les EDP (4 semaines)

II.1. Méthodes Spectrales et Pseudo-Spectrales

II.1.1 Décomposition en séries de Fourier (FFT)

II.1.2 Polynômes orthogonaux (Chebyshev, Legendre)

- II.1.3 Applications : turbulence, simulations en physique des plasmas
- II.2. Méthodes des Éléments Finis (FEM) en 2D/3D
 - II.2.1 Formulation variationnelle (méthode de Galerkin)
 - II.2.2 Maillage adaptatif et raffinement
 - II.2.3 Exemples : élasticité, électromagnétisme, transfert thermique
- II.4. Méthodes Sans Maillage
 - II.4.1 Radial Basis Functions (RBF)
 - II.4.2 Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)
 - II.4.3 Applications : astrophysique (simulations de galaxies), fractures
- Chapitre III : Modélisation de Systèmes Multi-Physiques (4 semaines)
- III.1. Couplage Fluide-Structure
 - III.1.1 Modélisation de l'interaction (ex : ailes d'avion, valves cardiaques)
 - III.1.2 Méthodes de résolution couplée (partitionnée vs. monolithique)
- III.2. Magnétohydrodynamique (MHD)
 - III.2.1 Équations de la MHD idéale et résistive
 - III.2.2 Applications : fusion nucléaire (tokamaks), astrophysique (soleil)
- III.3. Problèmes Thermo-Mécaniques
 - III.3.1 Thermoélasticité (dilatation thermique, contraintes)
 - III.3.2 Exemples : refroidissement des réacteurs, micro-électronique
- III.4. Modélisation en Physique Quantique
 - III.4.1 Équation de Gross-Pitaevskii (condensats de Bose-Einstein)
 - III.4.2 Méthodes Hartree-Fock et DFT (structure électronique)
- Chapitre IV: Analyse de Stabilité et Bifurcations (3 semaines)
- IV.1. Stabilité Linéaire
 - IV.1.1 Méthode des perturbations normales
 - IV.1.2 Exemples : instabilité de Rayleigh-Bénard, instabilité de Kelvin-Helmholtz
- IV.2. Théorie des Bifurcations
 - IV.2.1 Bifurcations de Hopf, fourche, transcritique
 - IV.2.2 Diagrammes de bifurcation (logiciel AUTO ou MatCont)
- IV.3. Méthodes de Perturbation
 - IV.3.1 Développements asymptotiques
 - IV.3.2 Théorie WKB (applications en optique et mécanique quantique)
- Chapitre V : Optimisation et Contrôle de Systèmes Physiques (3 semaines)
- V.1. Optimisation de Forme
 - V.1.1 Méthodes adjointes en aérodynamique
 - V.1.1 Algorithmes génétiques
- V.2. Contrôle Optimal
 - V.2.1 Principe du maximum de Pontryagin
 - V.2.2 Applications : contrôle quantique (portes logiques)
- V.3. Machine Learning pour la Modélisation
 - V.3.1 Réseaux de neurones pour les EDP (Physics-Informed Neural Networks)
 - V.3.2 Apprentissage automatique en dynamique des fluides

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Matériaux et Dispositifs

Crédits : 6

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

Chapitre I : Classification des Matériaux : Les céramiques, les métaux et alliages, les polymères, (environ 1 semaine)

Chapitre II : Matériaux fonctionnels (environ 1 semaine)

Chapitre III- Matériaux en multi-échelle, (environ 2 semaines)

Les amorphes, les nanostructures, ...

Chapitre IV- Semiconducteurs (environ 2 semaines)

Chapitre V- Matériaux optiques (environ 1 semaine)

Chapitre VI- Les matériaux diélectriques, ferroélectriques et piézoélectriques

(environ 2 semaines)

Chapitre VII- Matériaux magnétiques (environ 2 semaines)

Chapitre VIII- Matériaux pour cellules solaires, LED, ... (environ 2 semaines)

Chapitre IX- Autres dispositifs (environ 2 semaines)

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Informatique Scientifique II : Machine Learning et Deep Learning pour la Physique

Crédits : 8

Coefficients : 4

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction au Machine Learning (environ 3 semaines)

- Fondamentaux du machine learning : types d'algorithmes, concepts de base.

Chapitre II : Apprentissage Supervisé (environ 4 semaines)

- Régression linéaire et logistique
- Méthodes des k plus proches voisins, arbres de décision, etc.
- Évaluation des modèles, sélection de caractéristiques.

Chapitre III : Apprentissage Non Supervisé (environ 4 semaines)

- Clustering
- Réduction de dimensionnalité,
- Analyse en composantes principales, etc.

Chapitre IV : Applications en Physique (environ 4 semaines)

- Analyse de données expérimentales, modélisation prédictive, etc.

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : T.P Simulation de l'interaction des particules avec la matière

Crédits : 5

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

Un rappel de cours comme introduction aux travaux pratiques :

TP 1 : Estimation de la valeur de Pi (π) et calcul d'intégrale en utilisant la méthode de Monte Carlo (environ 1 semaine)

TP 2: Utilisation de la méthode de Monte Carlo pour l'intégration de fonction à plusieurs variables. (environ 1 semaine)

TP 3 : Transport simple et Atténuation (environ 2 semaines)

- (Exemple : Photons ou Neutrons mono-énergétiques en 1D)
- Rappel théorique : Loi d'atténuation Beer-Lambert
- Algorithme Monte Carlo en 1D

- TP 4: Simulation de variables aléatoires (par inversion de la fonction de répartition Simulation de variables gaussiennes (algorithme de Box-Müller)- Simulation d'une variable aléatoire poissonnienne- Méthode de rejet (environ 2 semaines)
- TP 5: Réduction de variance (Echantillonnage préférentiel- Variable de contrôle- Variables antithétiques- Méthode de stratification) (environ 2 semaines)
- TP 6: Simulation du modèle d'Ising à deux dimensions par la méthode de Monte Carlo utilisation de L'algorithme de Metropolis. (environ 2 semaines)
- TP 7: Simulation d'un problème de Désintégration radioactive par la méthode de Monte Carlo. (environ 2 semaines)
- TP 8: Simulation de l'équation de Boltzmann à une dimension par la méthode de Monte Carlo. (environ 2 semaines)
- TP 9: Optimisation par Monte-Carlo (environ 2 semaines)

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : TP Applications de la physique II : Modélisation et Simulation Numérique

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Un rappel de cours comme introduction au travaux pratiques :

Chapitre 1 : Méthode de Hartree-Fock (4 semaines)

- Introduction à l'approximation HF.
- Équations de Hartree-Fock (opérateur de Fock, orbitales moléculaires).
- Méthode SCF (Self-Consistent Field).
- Limitations de HF (corrélation électronique).
- Applications aux atomes et molécules simples.
- TD : Résolution analytique pour des systèmes à 2 électrons.

Chapitre 2 : Théorie de la Fonctionnelle de la Densité (DFT) (4 semaines)

- Densité électronique et théorème de Hohenberg-Kohn.
- Équation de Kohn-Sham.
- Fonctionnelles d'échange-corrélation (LDA, GGA).

TP 1: Calcul de la densité électronique pour un gaz d'électrons.

Chapitre 3 : Approximations d'Échange-Corrélation (3 semaines)

- Fonctionnelles hybrides (B3LYP, HSE06).
- Méthodes post-DFT (GW, DFT+U).

TP 2: Comparaison LDA vs GGA pour un cristal simple.

Chapitre 4: Méthodes Ab Initio et Logiciels (3 semaines)

- Wien2K : Théorie

TP 3 (prise en main).

TP4 : Calcul de bandes pour un métal (ex : Cu).

TP 5-6 : Abinit : Théorie + calcul de structure électronique.
/Propriétés optiques (SiO₂)
TP 7-8 : VASP : Théorie +(relaxation de structure) - étude des défauts
ponctuels dans un semi- conducteur.

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Découverte

Intitulé de la matière : Méthodes Monte-Carlo et Applications à la Physique

Crédits : 2

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Fondements Probabilistes : Outils Statistiques & Probabilités (2 semaines)

Variables aléatoires, espérance, variance.

Lois discrètes : Bernoulli, binomiale, Poisson.

Lois continues : uniforme, exponentielle, normale, gamma.

Théorème central limite.

Lois bivariées, covariance, corrélation.

Chapitre 2 : Introduction à Monte Carlo (3 semaines))

2.1. Pourquoi des techniques de simulation ?

2.2. Systèmes, modèles et méthodes de résolution :

2.3. Description de la Méthode de Monte-Carlo :

2.4. Convergence et limite de la Méthode

2.4.1. Théorème de Convergence

2.4.2. Estimation de la variance d'un Calcul

2.4.3. Convergence et estimation d'erreur.

2.4.4. Théorèmes limites (Loi des Grands Nombres, TCL appliqué à MC).

2.4.5. Calcul d'intégrales par MC.

Chapitre 3 : Simulation de Variables Aléatoires (2

semaines) 3.1-3.5 : Inversion CDF, rejet, Box-

Müller.

3.6-3.7 Estimation d'une surface, Estimation d'une valeur d'intégrale

Chapitre 4: Techniques Avancées de MC (2 semaines)

1.1. Échantillonnage préférentiel.

1.2. Variables antithétiques.

1.3. Méthode de stratification.

1.4. Variables de contrôle

Chapitre 5 : Applications Physique des Méthodes de Monte-Carlo

Méthode de Monte-Carlo pour les Equations de Transport (3 semaines)

2. 1. Processus stochastique : Rappel sur les Processus de Markov :

5.2. Equations de Transport :

5.2.1. Processus de Transport a vitesses Discrètes :

5.2.2. Equations de Kolmogorov associées :

5.2.3. Convergence vers une diffusion :

5.2.4. Processus de Transport Généraux :

5.5. Conditions aux Limites :

5.6. Schéma Générale :

5.7. Evaluation des Quantités de Grilles

- 5.8.** Problèmes Stationnaires :
- 5.9.** Limites de la Méthodes et Généralisation :
- 5.10.** Reduction de Variance et Fonctions d'importance

Chapitre 6 : Applications Physique des Méthodes de Monte-Carlo
Méthode de Monte-Carlo pour l'Equations de Boltzmann (3 semaines)

- 6.2.1.** Généralités sur les Equations de Boltzmann :
- 6.2.2.** Lien avec l'Equation Maitresse et et processus stochastiques.
- 6.2.3.** Méthodes Linéaires et Symétriques :
- 6.2.4.** Mise en œuvre des Méthodes Symétriques :
- 6.2.5.** Limites des Méthodes de Monte-Carlo

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : Transversal

Intitulé de la matière : Reverse Engineering

Crédits : 1

Coefficients : 1

Contenu de la matière :

N.B : L'enseignement n'est pas nécessairement doit aborder la totalité des points montrés ci-dessous.

Understanding The Reverse Engineering

- Software engineering
- Hardware and mechanical engineering

Reverse Engineering vs. Forward Engineering

The Reverse Engineering Process

Decomposition and Analysis

Reconstruction and Documentation

Technical Aspects of The Reverse Engineering

Reverse Engineering in Software Development
Reverse Engineering in Mechanical Engineering
3D Scanning – Capturing the Geometry of an Object for Digital Modeling
Computer-Aided Design (CAD) – Creating Digital Blueprints from Physical Objects
Reverse Engineering Workflow with CAD:
Finite Element Analysis (FEA) – Simulating Mechanical Stress and Performance
Example: Stuxnet Malware Analysis
Reverse Engineering in Automotive Industry
Hardware Reverse Engineering in Military and Aerospace
Future Trends in The Reverse Engineering
AI and Machine Learning in Reverse Engineering
Quantum Computing and Reverse Engineering
Applications in 3D Printing and Manufacturing

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Modélisation mathématique des Phénomènes Physiques liés au transport.

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Généralités sur les Phénomènes de Transport (2 semaines)

1.1. Définition d'un Phénomène de Transport

1.1.1. Équilibre thermodynamique et perturbations Définition de l'équilibre, écarts locaux (gradients). Exemples : gradient de température, concentration, vitesse

1.1.2. Équilibre thermodynamique local Hypothèse de l'équilibre local (échelle mésoscopique).

1.1.3. Réponse linéaire et coefficients cinétiques Relations flux-affinités (ex : loi de Fourier, Fick, Ohm). Matrice des coefficients de transport (Onsager).

1.2. Lois Phénoménologiques

1.2.1. Exemples de phénomènes

Transport de chaleur, matière, charge, quantité de mouvement.

1.2.2. Historique

Lois empiriques (Fourier, Fick, Newton, Ohm).

1.2.3. Ordres de grandeur

Conductivité thermique, diffusivité, viscosité.

1.3. Lois de Conservation et Bilans

1.3.1. Forme générale

Équation de continuité.

1.3.2. Approche générale

Bilan local vs. global (ex : volume de contrôle).

1.4. Classification des Phénomènes

Transport diffusif (chaleur, matière) vs. convectif (fluides).

- Transport linéaire (réponse faible) vs. non-linéaire (turbulence).

Chapitre 2 : Phénoménologie des Phénomènes de Transport (5 semaines)

1.1. Aspects Microscopiques

1.1.1. Temps de collision et libre parcours moyen

Modèle du gaz dilué, théorie cinétique.

Section efficace de collision

Définition, lien avec le coefficient de diffusion.

1.2. Transport de Chaleur (Conduction Thermique)

1.2.1. Conductivité thermique

Modèle des électrons/phonons (métaux, isolants)

1.2.2. Loi de Fourier

1.2.3. Conservation de l'énergie

Équation de la chaleur

1.2.4. Coefficients de transport

1.3. Transport de Matière (Diffusion)

1.3.1. Coefficient de diffusion

Loi d'Einstein

1.3.2. Loi de Fick

1.3.3. Conservation des particules

Équation de diffusion

1.4. Transport de Quantité de Mouvement (Viscosité)

1.4.1. Viscosité dynamique

Interprétation microscopique (transfert de momentum).

1.4.2. Loi de Newton

Contrainte visqueuse

1.4.3. Conservation de la quantité de mouvement

Équation de Navier-Stokes :

1.4.4. Couplage avec la chaleur

Convection naturelle (nombre de Rayleigh).

1.5. Transport Électrique (Conduction)

1.5.1. Conductivité électrique

Modèle de Drude (électrons libres).

1.5.2. Loi d'Ohm

1.5.3. Effets thermoélectriques

Seebeck, Peltier, Thomson.

Chapitre 3 : Fluides avec Transfert Couplé Masse-Chaleur (3 semaines)

3.1. Couplages Multiphysiques

3.1.1. Fluides réactifs (équations de conservation couplées).

3.1.2. Coefficients de transport croisés (effet Soret, Dufour).

3.2. Coefficients de Transfert

3.2.1. Nombre de Nusselt

3.2.2. Nombre de Sherwood (transfert de masse).

3.3. Convection

3.3.1. Convection naturelle/forcée

Solutions analytiques (problème de Bénard).

3.3.2. Nombre de Grashof (stabilité).

3.4. Théorème de Bernoulli

3.4.1. Formulation

3.4.2. Applications

Écoulements incompressibles, aérodynamique.

Chapitre 4 : Approches Numériques pour la Modélisation des Phénomènes de Transport (3 semaines)

4.1. Méthodes de Discrétisation des Équations de Transport

4.1.1. Méthodes aux Différences Finies

Schémas explicites vs. implicites pour l'équation de la chaleur.

Stabilité (critère de Courant-Friedrichs-Lewy pour les équations hyperboliques).

4.1.2. Méthodes des Éléments Finis (FEM)

Formulation faible des équations de Navier-Stokes.

Exemple : simulation d'un écoulement laminaire avec FreeFEM.

4.1.3. Méthodes des Volumes Finis (FVM)

Conservation locale des flux (applications en CFD avec OpenFOAM).

4.2. Résolution Numérique des Équations Couplées

4.2.1. Algorithmes de Couplage

Méthodes partitionnées (ex : fluide-structure) vs. monolithiques.

4.2.2. Problèmes Raides et Méthodes Implicites

Intégration temporelle (Crank-Nicolson, BDF).

4.3. Simulations Multi-échelles

4.3.1. Hybridation Modèles Continus/Discrets

Couplage FEM/Monte Carlo pour le transport de neutrons.

4.3.2. Méthodes de Homogénéisation

Calcul de coefficients de transport effectifs (ex : perméabilité d'un milieu poreux).

Chapitre 5 : Études de Cas et Applications Avancées (2 semaines)

1.1. Transport en Milieux Poreux

1.1.1. Loi de Darcy et Extensions

Couplage avec la convection thermique (effet Soret).

1.1.2. Modélisation Numérique

1.2. Transport Turbulent

1.2.1. Modèles de Turbulence

(RANS, LES, DNS) Comparaison

des coûts computationnels.

1.2.2. Simulation d'une Couche Limite

1.3. Applications Médicales

1.3.1. Transport de Médicaments par Diffusion

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Informatique Scientifique III : Programmation Parallèle pour la Simulation Physique (CPU/GPU)

Crédits : 6

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction à la Programmation Parallèle (environ 3 semaines)

- Fondamentaux de la programmation parallèle.
- Avantages, défis et meilleures pratiques.

Chapitre II : MPI (Message Passing Interface) (environ 4 semaines)

- Concepts de base de MPI.
- Développement d'applications parallèles utilisant MPI.

Chapitre III : OpenMP (environ 4 semaines)

- Introduction à OpenMP pour la programmation parallèle sur architectures à mémoire partagée.
- Développement d'applications parallèles avec OpenMP.

Chapitre IV : Applications (environ 4 semaines)

- Parallélisation de simulations physiques.
- Accélération de calculs intensifs en utilisant MPI et OpenMP.

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Optimisation des Systèmes physiques

Crédits : 8

Coefficients : 4

Contenu de la matière :

Chapitre I : Introduction : Exemples de problèmes d'optimisation (3 semaines)

- I.1.** Exemples physiques : minimisation d'énergie, contrôle optimal.
- I.2.** Conditions d'optimalité (Karush-Kuhn-Tucker).
- I.3.** Gradient, Hessien, convexité.

Chapitre II : Compléments de mathématiques (fonctions à plusieurs variables, gradient, convexité, ...) (3 semaines)

Chapitre III : Concepts fondamentaux

- III.1. Notion de solution
- III.2. Conditions nécessaires d'optimalité (premier et second ordre)
- III.3. Conditions suffisantes d'optimalité (second ordre)
- III.4. Vue d'ensemble sur les algorithmes de recherche
- III.5. Notion de taux de convergence.

Chapitre IV : Optimisation sans contraintes (3 semaines)

- IV.1. Recherche unimodale
- IV.2. Méthodes du gradient
- IV.3. Méthode de Newton
- IV.4. Méthodes quasi Newton
- IV.5. Méthodes des moindres carrés

Chapitre V : Optimisation avec contraintes (3 semaines)

- V.1. Aspects théoriques
- V.2. Programmation linéaire
- V.3. Programmation quadratique
- V.4. Méthodes de pénalisation et Lagrangien augmenté

Chapitre VI : Applications en Physique (2 semaines)

- VI.1. Optimisation Topologique
 - Méthode SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization).
 - Cas d'étude : Conception de structures légères.
- VI.2. Contrôle Optimal
 - Principe du maximum de Pontryagin.
 - Application : Contrôle quantique (portes logiques).

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : Approche méthodologique de la simulation du Transport

Crédits : 4

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

TP 1 : Transport Diffusif en Régime Permanent (3 semaines) Résolution de l'Équation de Laplace Python (numpy, scipy.sparse pour les matrices creuses).

Méthode des différences finies (schéma 5-points).

Implémenter un solveur itératif (Gauss-Seidel).

Visualiser les isothermes avec matplotlib.

Comparaison avec solution analytique (conditions de Dirichlet simples).

TP2 : Conditions aux Limites Complexes (2 semaines)

Plaque avec trou central (géométrie non triviale) en utilisant un Maillage structuré + traitement des conditions aux limites mixtes.

TP 3 : Algorithmes Itératifs Avancés (2 semaines)

Méthodes Multigrilles : Accélération de la convergence pour un système 2D. Implémentation : Cycle V-multigrille en Python et Comparaison des temps de calcul vs Jacobi/Gauss-Seidel.

TP4 : Gradient Conjugué Préconditionné (2 semaines)

Diffusion en 3D (maillage tétraédrique) , Utilisation de FEniCS ou `scipy.sparse.linalg`.

TP5 : Régime Transitoir : Équation de la Chaleur 1D (2 semaines)

Explicite (stabilité : critère de Courant).

Implicite (Euler backward). Animation de la propagation avec `matplotlib.animation`.

TP6 : Transport Réactif (2 semaines)

Équation de diffusion-réaction (ex : combustion simplifiée). En utilisant la Méthode : Splitting d'opérateurs (diffusion → réaction).

TP7 : Bilans Globaux & Linéarisation : Bilan d'Énergie dans un Réacteur (2 semaines)

Calculer les pertes thermiques via un bilan intégral. Avec Intégration numérique (`scipy.integrate`) et Linéarisation des termes sources (Taylor).

TP8 : Problème Inverse (2 semaines)

Estimation de la conductivité thermique à partir de données synthétiques. En utilisant l'algorithme : Moindres carrés + régularisation Tikhonov

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Méthodologie

Intitulé de la matière : Modélisation et optimisation des matériaux et dispositifs

Crédits : 5

Coefficients : 3

Contenu de la matière :

TP 1 : Etude des propriétés électroniques et optique (3 semaines)

Préparation du Système

- Choix du matériau (ex : pérovskite pour le photovoltaïque, graphène pour les capteurs)
- Construction de la structure cristalline (fichier POSCAR pour VASP, fichier d'entrée pour Quantum ESPRESSO)
- Relaxation géométrique (optimisation de la structure atomique)

Calcul des Propriétés

Électroniques

Calcul de la structure de bande

- Détermination des bandes de valence et de conduction
- Identification des points hauts de symétrie (Γ , K, M, X, etc.)

Calcul de la densité d'états (DOS et PDOS)

- DOS totale et projetée (PDOS) pour identifier les contributions atomiques
- Détermination du gap d'énergie (direct/indirect)

- Comparaison avec les valeurs expérimentales

Propriétés optiques (si temps disponible)

TP 2 : Modélisation et Optimisation des Cellules Solaires (3 semaines)

Logiciels de Simulation

- SCAPS-1D (modélisation des cellules solaires à jonction simple/tandem)

- COMSOL Multiphysics (pour une approche multiphysique)
- PC1D (simulation des cellules silicium)
- Python/Octave (pour le traitement des données et l'optimisation paramétrique).

Étape 1 : Choix de la Technologie de Cellule Solaire

- Cellule silicium (Si cristallin, pérovskite, CIGS, organique, etc.)
- Paramétrage du modèle (bandgap, coefficients d'absorption, dopage, épaisseurs)

Étape 2 : Simulation des

Performances Modélisation

optique

- Calcul du taux d'absorption en fonction de la longueur d'onde
- Estimation de la génération de porteurs ($G(x)$)

TP 3 : Modélisation et Optimisation des Dispositifs LED (3 semaines)

- Python/Matlab (traitement de données et optimisation)

Étape 1 : Choix de la Technologie LED

- LED InGaN/GaN (bleu/vert)
- LED pérovskites (émission ajustable)

OLED (couches organiques)

•

Étape 2 : Simulation des Propriétés Clés

- Caractéristique courant-tension (I-V)
- Identification des seuils de conduction
- Efficacité quantique
- Calcul de l'IQE (Interne) et EQE (Externe)
- Profil d'émission lumineuse
- Spectre d'émission et longueur d'onde dominante
- Bilan énergétique
- Pertes par effet Joule et recombinaisons non radiatives

Étape 3 : Optimisation

- Influence de l'épaisseur des couches (zone active, barrières)
- Impact du dopage (concentration en trous/électrons)
- Gestion thermique (dissipation pour éviter le "droop" d'efficacité)
- Extraction de la lumière (textures, miroirs, couches anti-reflet)

TP 4 : Modélisation et Optimisation des Matériaux à Haute Capacité de Stockage Diélectrique (3 semaines)

1. Choix du Matériau

- Sélection entre diélectriques linéaires (ex: Al_2O_3), ferroélectriques (ex: $BaTiO_3$) ou polymères (ex: PVDF).

2. Simulations Multi-échelles

- Atomique : DFT pour calculer la polarisabilité.
- Mésoscopique : Modélisation des domaines de polarisation.
- Macroscopique : FEM pour le comportement global sous champ électrique.

3. Paramètres Clés à Extraire

- Permittivité (ϵ_r), champ de claquage, densité d'énergie ($W = \frac{1}{2}\epsilon_0\epsilon_r E^2$), pertes ($\tan \delta$).

4. Optimisation

- Stratégies : dopage, nanocomposites, architectures multicouches.
- Objectif : Maximiser W sans sacrifier la rigidité diélectrique.

TP 4 : Modélisation et Optimisation de Dispositifs piézo-électriques (3 semaines)

TP 5 : Modélisation et Optimisation des Matériaux d'un Détecteurs (3 semaines)

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Découverte

Intitulé de la matière : Séminaire Hebdomadaire

Crédits : 2

Coefficients : 2

Contenu de la matière :

- Techniques de la présentation

- Structure d'un exposé scientifique (Introduction, Méthodes, Résultats, Discussion)

- Présentation d'exposé à partir d'article scientifique de la spécialité

1. Maîtriser les techniques de communication scientifique
2. Apprendre à synthétiser et présenter un article de recherche
3. Développer des compétences en vulgarisation et en argumentation
4. Améliorer la gestion du temps et la réponse aux questions

Semestre 3

Unité Transversale

Matière : Entrepreneuriat, Startup et Innovation

Objectifs de l'enseignement :

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

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Fondements de l'Entrepreneuriat

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

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

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

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

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

Chapitre 4 : Construire et modéliser son projet innovant

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

Chapitre 5 : Lancer son projet scientifique ou technologique

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

Chapitre 6 : Réussir et se développer comme entrepreneur scientifique

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

Références :

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