UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Faculté Sciences et Ingénierie

PÉRIODE D'ACCRÉDITATION : 2022 / 2026

UNIVERSIT&EACUTE DE TOULOUSE

SYLLABUS MASTER

Mention Physique Fondamentale et Applications

M2 Physique Fondamentale, Ingénierie Quantique et Matière Condensée

http://www.fsi.univ-tlse3.fr/

2024 / 2025

3 JUILLET 2025

SOMMAIRE

PRÉSENTATION 3
PRÉSENTATION DE LA MENTION ET DU PARCOURS 3
Mention Physique Fondamentale et Applications 3
Parcours 3
PRÉSENTATION DE L'ANNÉE DE M2 Physique Fondamentale, Ingénierie Quantique et Matière Condensée 3
RUBRIQUE CONTACTS 5
CONTACTS PARCOURS 5
CONTACTS MENTION 5
CONTACTS DÉPARTEMENT : FSI.Physique 5
Tableau Synthétique des UE de la formation 6
LISTE DES UE 9
GLOSSAIRE 32
TERMES GÉNÉRAUX 32
TERMES ASSOCIÉS AUX DIPLOMES 32
TERMES ASSOCIÉS AUX ENSEIGNEMENTS 33

PRÉSENTATION DE LA MENTION ET DU PARCOURS

MENTION PHYSIQUE FONDAMENTALE ET APPLICATIONS

La mention Physique Fondamentale et Applications (PFA) se décline suivant 4 parcours :
"Agrégation de sciences physiques et chimique, option physique (ASPCP),
"Ingénierie du diagnostic, de l'instrumentation et de la mesure" (IDIM),
"Physique fondamentale, ingénierie quantique et matière condensée" (PFIQMC),
"Physique et mécanique du vivant" (PMV).
L'objectif est d'insérer les étudiants dans le monde industriel ou dans le monde académique en sortie de master 2 ou de doctorat.
Cette formation structure les connaissances et les compétences techniques de l'étudiant dans les domaines de la physique, de la physique du vivant, de la modélisation, des propriétés physiques de la matière, de l'instrumentation. Les débouchés visés sont les métiers de l'ingénierie (ingénieurs physiciens, tests et essais, recherche et développement, biotechnologies/santé, matériaux avancés...), le doctorat en physique dans un laboratoire français ou étranger, et les métiers de l'enseignement dans le secondaire ou le supérieur.

PARCOURS

Le Master 2 "Physique Fondamentale, Ingénierie Quantique, Matière Condensée" (PFIQMC) permet d'acquérir une formation de haut niveau dans les domaines de la physique de la matière (physique de la matière condensée, nanophysique, physique atomique, optique), dans le domaine des technologies quantiques, ainsi que dans les techniques expérimentales et numériques indispensables à tout physicien souhaitant travailler dans ces domaines. Les compétences expérimentales, numériques et théoriques acquises lors de ce parcours permettront aux étudiants de mener des activités de recherche et développement dans les industries de haute technologie (matériaux avancés pour l'aéronautique, nanomatériaux pour la micro-électronique, nanotechnologies, optique, cryptographie quantique, capteurs quantiques, calculateurs quantiques) ou de débuter un doctorat de physique dans un laboratoire de recherche académique. Le Master 2 PFIQMC s'appuie sur le riche réseau de laboratoires de recherche fondamentale toulousains, sur le Laboratoire d'Excellence "NanoX" et sur les contacts et coopérations que les laboratoires toulousains ont tissés avec les entreprises et industries de haute technologie.

PRÉSENTATION DE L'ANNÉE DE M2 PHYSIQUE FONDAMENTALE, INGÉNIERIE QUANTIQUE ET MATIÈRE CONDENSÉE

Le Master 2 "Physique Fondamentale, Ingénierie Quantique et Matière Condensée (M2-FPIQMC)" est organisé en un premier semestre basé sur des des enseignements théoriques, numériques et expérimentaux, suivi d'un second semestre de stage. Le premier semestre est organisé comme suit :

- Il comporte tout d'abord 5 modules d'enseignement de physique fondamentale permettant aux étudiants d'acquérir des connaissances théoriques approfondies dans des domaines relativement généralistes et qui donnent lieu à des applications très importantes en physique de la matière (Mécanique quantique avancée, Effets à N-corps en matière condensée, Physique des composants pour l'électronique et la spintronique, Physique des surfaces, Phénomènes hors d'équilibre , Phénomènes critiques et transitions de phases),
- Il comporte ensuite une série de 5 modules très importants qui décrivent les bases de l'ingénierie quantique (Physique du contrôle et optimisation, Communication et information quantique), ainsi que les avancées les plus récentes effectuées au cours des toutes dernières décennies dans le domaine de la physique de la matière (Physique des nouveaux matériaux fonctionnels, Avancées récentes en matière condensée, Avancées récentes en mécanique quantique et optique),

— Il comporte une série de modules qui permettent aux étudiants d'acquérir un savoir-faire très riche en physique numérique, en particulier sur les méthodes numériques permettant d'étudier les propriétés physiques de la matière à des échelles très différentes (Méthodes Monte Carlo, Dynamique moléculaire, Eléments finis, Méthodes basées sur la théorie de la fonctionnelle de la densité, Machine learning),
— Il comporte enfin un important module dédié aux techniques avancées en physique expérimentale. Ce module consiste en une série de travaux pratiques qui se déroulent soit dans les laboratoires de recherche académique de Toulouse et utilisent les équipements hautement performants de ces laboratoires, soit sur la plateforme de technologies quantiques actuellement développée sur le campus toulousain. Ce module permet aux étudiants de se former non seulement aux techniques expérimentales de pointe utilisées en recherche fondamentale comme en R&D (microscopie électronique en transmission, spectroscopies optiques avancées, STM et AFM, physique en champ magnétique intense, synthèse de nano-objects et de composants pour la micro-électronique), mais également aux techniques expérimentales spécifiques au domaine en pleine expension des technologies quantiques.

Le stage de 5 mois du second semestre doit être effectué dans un laboratoire de recherche académique ou en entreprise.

RUBRIQUE CONTACTS

CONTACTS PARCOURS

RESPONSABLE M2 PHYSIQUE FONDAMENTALE, INGÉNIERIE QUANTIQUE ET MATIÈRE CONDENSÉE

CALMELS Lionel
Email : Lionel.Calmels@cemes.fr

GUERY ODELIN David
Email : dgo@irsamc.ups-tlse.fr

SECRÉTAIRE PÉDAGOGIQUE

BESOMBES Valerie
Email : valerie.besombes@univ-tlse3.fr Téléphone : 0561556827

Université Paul Sabatier
Bâtiment U3- PORTE 110
118 route de Narbonne
31062 TOULOUSE cedex 9

CONTACTS MENTION

RESPONSABLE DE MENTION PHYSIQUE FONDAMENTALE ET APPLICATIONS

CALMELS Lionel
Email : Lionel.Calmels@cemes.fr

CONTACTS DÉPARTEMENT: FSI.PHYSIQUE

DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT

BATTESTI Rémy
Email : remy.battesti@univ-tlse3.fr Téléphone : 05 62 17 29 77

SECRETARIAT DU DÉPARTEMENT

THOMAS Jean-Christophe
Email : jean-christophe.thomas@univ-tlse3.fr Téléphone : 05.61.55.69.20

Université Paul Sabalier
1R2
118 route de Narbonne
31062 TOULOUSE cedex 9

TABLEAU SYNTHÉTIQUE DES UE DE LA FORMATION

page	Code	Intitulé UE	semestre*	ECTS	Obligatoire Facultatif	Cours-TD	TD	Stage*	Terrain*
		Premier semestre							
	KPFP9AAU	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	I	9	O				
10	KPFP9AA1	Physique du contrôle et optimisation				20			
14	KPFX9AA2	Communication et information quantique				20			
11	KPFP9AA2	Physique des nouveaux matériaux fonctionnels				20			
12	KPFP9AA3	Avancées récentes en mécanique quantique et optique				20			
13	KPFP9AA4	Avancées récentes en matière condensée				20			
	KPFP9ABU	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	I	9	O				
20	KPFX9AB1	Machine learning					20		
15	KPFP9AB1	Méthodes Monte Carlo					12		
16	KPFP9AB2	Dynamique moléculaire					12		
17	KPFP9AB3	Eléments finis					12		
18	KPFP9AB4	Méthodes basées sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT)					12		
21	KPFX9AB5	Techniques avancées en physique expérimentale							18
	KPFP9ACU	PHYSIQUE FONDAMENTALE	I	12	O				
23	KPFP9AC2	Mécanique quantique avancée				20			
24	KPFP9AC3	Effets à N-corps en matière condensée				20			
29	KPFX9AC2	Physique des surfaces				20			
28	KPFX9AC1	Phénomènes hors équilibre				25			
25	KPFP9AC4	Phénomènes critiques et transitions de phases				15			
26	KPFP9AC5	Physique des composants pour l'électronique et la spintronique				30			

* **AN** :enseignenents annuels, **I** : premier semestre, **II** : second semestre
Terrain: en nombre de demi-journées **Stage**: en nombre de mois

page	Code	Intitulé UE	semestre*	ECTS	Obligatoire Facultatif	Cours-TD	TD	Stage*	Terrain*
		Second semestre							
31	KPFPAABU	STAGE	II	27	O			5	
30	KPFPAAAU	LANGUE VIVANTE	II	3	O		8		

* **AN** :enseignenents annuels, **I** : premier semestre, **II** : second semestre
Terrain: en nombre de demi-journées **Stage**: en nombre de mois

LISTE DES UE

UE	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Physique du contrôle et optimisation		
KPFP9AA1	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 125 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

GUERY ODELIN David
Email : dgo@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Le module permet aux étudiants d'acquérir les concepts et les outils des diverses techniques d'optimisation et de contrôle en physique classique, thermodynamique stochastique et mécanique quantique. Il décrit les outils analytiques et numériques permettant de résoudre des problématiques d'optimisation et de contrôle. Il aborde notamment les bases de la théorie du contrôle optimal classique, et sa transposition à des problématiques de physique statistique ou quantique.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

Il s'agira de présenter la notion de minimisation fonctionnelle, les conditions du contrôle des systèmes linéaires en présence ou non de bruit et la théorie du contrôle optimal, à travers de nombreux exemples concrets. Le cours abordera les méthodes récentes développées en thermodynamique stochastique, puis le volet quantique du contrôle, avec un bilan des méthodes analytiques. Le contrôle sera présenté sous l'angle des transformations adiabatiques, puis des outils récemment développés pour les méthodes non adiabatiques avec notamment la transposition à la mécanique quantique de la théorie du contrôle optimal. Le cours abordera les notions suivantes :
- La minimisation fonctionnelle d'Euler Lagrange
- Les critères de controllabilité et théorie de la rétroaction linéaire
- Le filtre de Kalman continu et discret
- Le théorème des Pontryagin
- Les méthodes contre-adiabatique, d'ingeniérie inverse et de Fast forward en thermodynamique stochastique et en mécanique quantique
- Les méthodes exploitant les changements de jauge ou les invariants adiabatiques
- La théorie du contrôle optimal en mécanique quantique

PRÉ-REQUIS

Physique Statistique et Mécanique quantique de niveau Master 1

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- J.-L. Basdevant, *Le principe de moindre action et les principes variationnels en physique* , Paris, Vuibert, 2010.
- E. R. Pinch, *Optimal Control and the Calculus of Variations* , Oxford Science Publications.

MOTS-CLÉS

Optimisation, Théorie du contrôle, Transformations adiabatiques, Raccourcis à l'adiabaticité

UE	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Physique des nouveaux matériaux fonctionnels		
KPFP9AA2	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 125 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

CALMELS Lionel
Email : Lionel.Calmels@cemes.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Les matériaux fonctionnels sont des cristaux dont les propriétés originales (ferroélectriques, ferromagnétiques, piézoélectriques,...) peuvent être mises à profit dans des dispositifs modernes pour l'électronique, les mémoires, les capteurs. Ces propriétés peuvent être ajustées en jouant sur la structure cristalline ou l'épaisseur des couches. Ces matériaux peuvent également être associés par une interface dont les propriétés peuvent être radicalement différentes de celles des matériaux qui la constituent. Le module permettra de décrire plusieurs catégories de nouveaux matériaux fonctionnels, ainsi que l'origine microscopique de leurs propriétés originales. Ces nouveaux matériaux fonctionnels devraient permettre de concevoir les dispositifs électroniques ou photovoltaïques du futur.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Matériaux multiferroïques
- Propriétés physiques des cristaux 2D (graphène, silicène, germanène, MoX2, WX2, CrI3, Fe3GeTe2), propriétés physiques des hétérostructures de Van der Waals associées, moirés, applications (en photocatalyse, stockage de l'énergie, photo-detection, photo-transistors, spintronique, valleytronique, spectroscopies exaltées)
- Gaz d'électrons 2D aux interfaces d'oxydes (interface LaAlO3/SrTiO3), application aux composants "oxytroniques"
- Nouveaux matériaux pour applications photovoltaïques
- Nouveaux matériaux pour mémoires résistives et dispositifs neuromorphique
- Nouveaux matériaux pour applications thermoélectriques

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en L3 et M1 (physique des solides, physique quantique).

SPÉCIFICITÉS

Le module vise à donner aux étudiants une culture scientifique riche dans le domaine en plein essort des nouveaux matériaux fonctionnels et de leurs propriétés physiques. L'acquisition d'une telle culture est nécessaire, car ils sont actuellement l'objet de nombreuses recherches fondamentales et leurs propriétés physiques en font de bons candidats comme éléments de base des composants (électroniques, spintroniques,...) du futur.

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

MOTS-CLÉS

Matériaux et cristaux ferroélectriques, ferromagnétiques, multiferroïques, thermoélectriques, photo-voltaïques, oxytronique, hétérostructures de Van-der-Waals

UE	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Avancées récentes en mécanique quantique et optique		
KPFP9AA3	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 125 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

GAUGUET Alexandre
Email : alexandre.gauguet@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectif de l'enseignement est d'acquérir des savoirs dans le domaine des technologies quantiques utilisant des atomes froids manipulés par des champs électromagnétiques. Des applications en physique fondamentale seront étudiées comme les tests de la relativité générale et de l'électrodynamique quantique réalisés avec des horloges atomiques ou des interféromètres à onde de matière. Les expériences de simulation quantique à l'aide de condensats de Bose Einstein seront également présentées.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Métrologie des fréquences : Horloge atomique, peignes de fréquence
- Manipulation d'atomes par laser
- Refroidissement laser, mélasse optique et pièges à atomes
- Gaz quantique : condensat de Bose-Einstein et laser à atomes
- Interférométrie atomique

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en M1 (mécanique quantique, physique nucléaire atomique et moléculaire, laser et matière).

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Avancés en physique atomique, Claude Cohen-Tannoudji, David Guéry-Odelin (Hermann)
- Atomic Physics, Christopher J. Foot (Oxford Master Series in Physics)

MOTS-CLÉS

Atomes froids, horloges atomiques, interférométrie atomique.

UE	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Avancées récentes en matière condensée		
KPFP9AA4	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 125 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

PUJOL Pierre
Email : pierre.pujol@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectif de ce cours et de faire découvrir aux étudiants des phénomènes de la physique de la matière condensée observés pour la plupart au cours des toutes dernières décennies et qui ont été récemment donné lieu à de nombreux prix Nobel (1998, 2003, 2010 et 2016). Le cours est une introduction à des avancées conceptuelles notables et très récentes (états topologiques de la matière), susceptibles d'avoir des retombées technologiques de grande importante en physique mésoscopique, en micro-électronique et en spintronique.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- États électroniques dans le Graphène, semi-métal de Dirac
- Effet Hall quantique, non relativiste et relativiste (Graphène), entier puis fractionnaire, hiérarchie de Jain.
- Isolants topologiques de Chern, isolants Z2, effet Hall de spin, exemple du modèle BHZ pour le HgTe.
- Semi-métaux de Weyl, observation dans le TaAs.
- Asymétrie cristalline et couplage spin orbite : états de Rashba.

PRÉ-REQUIS

Physique des solides et mécanique quantique de niveau Master 1

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- The electronic properties of graphene, A. H. Castro Neto et al., Rev. Mod. Phys. **81** , 109, 2009.
- Quantum Hall Effects, M. O. Goerbig, Les Houches summer school lecture notes, cond-mat/0909.1998

MOTS-CLÉS

Graphène, états topologiques, spintronique

UE	INGENIERIE QUANTIQUE ET AVANCEES RECENTES EN PHYSIQUE	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Communication et information quantique		
KPFX9AA2	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 125 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

CHALOPIN Benoît
Email : benoit.chalopin@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Ce cours vise à démontrer l'apport de la mécanique quantique dans les domaines de la communication et du traitement de l'information, notamment grâce au calcul quantique. Nous nous intéresserons aux deux protocoles de communication quantique que sont la cryptographie quantique et la téléportation quantique. Nous introduirons les briques élémentaires du traitement quantique de l'information que sont les qubits, les portes quantiques et la mesure quantique. Nous aborderons ensuite les algorithmes quantiques, qui peuvent être plus performants que leurs homologues classiques. Enfin, nous discuterons de l'implémentation pratiques de ces notions en regardant quelques systèmes physiques modèles utilisés actuellement (polarisation de photons uniques, qubits supraconducteurs, ions piégés, etc).

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Communication quantique : partage de clé quantique, téléportation quantique.
- Briques de base de l'information quantique : notions de qubit et de porte quantique.
- Algorithmes quantiques : représentation et exemples.
- Complexité d'un algorithme classique et d'un algorithme quantique
- Sources de photons intriqués ; Intrication, application de la matrice densité
- Principe de fonctionnement des qubits à base de supraconducteurs, d'atomes froids ou de spin d'électrons dans le silicium ; description des technologies associées.

PRÉ-REQUIS

Mécanique Quantique avancée, Algèbre linéaire et analyse hilbertienne en dimension finie

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Quantum computation and quantum information, M.A. Nielsen and I.L Chuang, Cambridge University Press

MOTS-CLÉS

Communication quantique, information quantique, calcul quantique, qubits, ordinateur quantique

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Méthodes Monte Carlo		
KPFP9AB1	TD : 12h	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

NICOLAZZI William
Email : william.nicolazzi@lcc-toulouse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Ce module a pour but d'initier les étudiants à la modélisation de processus stochastiques de systèmes à grand nombre de degrés de liberté à l'aide de méthodes Monte Carlo. On s'intéressera à la résolution numérique de problème incontournables de physique statistique à l'équilibre et hors de l'équilibre thermodynamique, principalement de physique du solide (modèles de spins sur réseau, transition liquide-gaz, cristallisation...).

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Introduction : calcul intégral
- Fonction d'importance
- Echantillonnages aléatoire/ d'importance
- Equation Maîtresse/ Chaîne Markov/Monte Carlo cinétique
- Critère de balance
- Exemple d'algorithme local : l'algorithme de Métropolis dans différents ensembles de Gibbs
- Autres exemples d'algorithmes locaux
- Théorème central limite et incertitudes numériques
- Ralentissement et super-ralentissement critique-problème de convergence
- Comparaison avec la dynamique moléculaire
- Génération d'aléatoires
- Projet : Ecriture d'un code Monte Carlo

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en L3 et M1 (notamment en programmation, physique statistique...).

COMPÉTENCES VISÉES

- Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Applications of the Monte-Carlo Method in Statistical Physics, K. Binder, Springer-Verlag 1984
- Monte Carlo Simulations in Statistical Physics, an introduction, K. Binder, D. Heermann, Springer Series in Solid State Physics. Vol 80, 1988

MOTS-CLÉS

Estimateur d'espérances mathématiques, dynamique markovienne, critère de balance, dynamique de réseau/de spin, dynamique de Metropolis

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Dynamique moléculaire		
KPFP9AB2	TD : 12h	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

NICOLAZZI William
Email : william.nicolazzi@lcc-toulouse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

La dynamique moléculaire permet d'étudier la dynamique de systèmes par des méthodes d'intégration du principe fondamental de la dynamique. On s'intéressera tout particulièrement à la méthodologie employée pour la conception de ces algorithmes d'intégration. On considérera dans ce cours le cas des systèmes isolés et partiellement ouverts, en particulier aux systèmes en contact avec un bain thermique. Le cours se divisera en deux parties. Une première partie théorique et second pratique dans laquelle les étudiants seront amenés à développer des codes de dynamique moléculaire sur des systèmes modèles.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Schéma d'intégration à un pas : erreur locale-erreur globale-stabilité-invariance par renversement du temps.
- Systèmes isolés : Algorithme de Verlet, Algorithme Leapfrog, velocity Verlet
- Système à grand nombre de degrés de liberté : théorème et équation de Liouville : invariance par renversement du temps de l'algorithme velocity Verlet
- Calcul des quantités observables
- Les différents ensembles de Gibbs
- Systèmes ouverts - thermostats stochastique et déterministe
- Fonctions d'autocorrélation et leurs applications
- Comparaison avec les méthodes Monte Carlo
- Développement d'un code de dynamique moléculaire

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en L3 et M1 (physique statistique, formalisme lagrangien, programmation).

COMPÉTENCES VISÉES

- Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Understanding molecular simulations : From algorithms to applications, D. Frenkel, D et B. Smit, Academic Press : San Diego, 1996

MOTS-CLÉS

Algorithme de Verlet, leapfrog, thermostats d'Andersen et de Nosé-Hoover, fonction d'autocorrélation des vitesses, densité d'états vibrationnels simulée.

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Eléments finis		
KPFP9AB3	TD : 12h	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

COLLARD Christophe
Email : christophe.collard@l2it.in2p3.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Ce module a pour but de donner les fondements théoriques de la méthode des éléments finis (MEF), utilisée tant en recherche pour étudier le couplage de plusieurs champs de la physique (élasticité, mécanique des fluides, électricité, thermique, diffusion) que dans l'industrie (calculs de structures en aéronautique : Airbus ...). Le but de la MEF est de calculer les valeurs locales des différentes grandeurs physiques

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

Après une introduction théorique sur la MEF, chaque étudiant résoudra une série d'applications sur ordinateur individuel, grâce à un logiciel commercial (COMSOL) :
- Introduction
- Principes de la méthode (équations aux dérivées partielles du 2ème ordre, maillage, interpolation, convergence...)
- Applications simples : élasticité, épitaxie ...
- Applications multi-physiques : échauffement local par effet Joule

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en L3 et M1

COMPÉTENCES VISÉES

- Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine

MOTS-CLÉS

Modélisation, Multiphysique, éléments finis.

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Méthodes basées sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT)		
KPFP9AB4	TD : 12h	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

MARTINS Cyril
Email : cyril.martins@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Ce module a pour but d'initier les étudiants à la théorie de la fonctionnelle de la densité (Density Functional Theory, DFT) introduite en 1964 par W. Kohn et qui est aujourd'hui l'une des méthodes les plus utilisée pour étudier les propriétés électroniques des matériaux tant dans les laboratoires de recherche que dans l'industrie. L'objectif de ce cours est non seulement de présenter aux étudiants les fondements théoriques de la DFT mais aussi de les initier aux aspects pratiques des calculs de structure électronique pour les matériaux, en réalisant eux-mêmes ces calculs sur des exemples simples au cours de séances de travaux pratiques numériques.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

Après une introduction des concepts de base de la DFT, chaque étudiant résoudra une série d'applications sur ordinateur individuel, grâce au logiciel libre de calcul de structure électronique Quantum Espresso (www.quantumespresso.o

- Concepts et théorèmes fondamentaux de la DFT :

- Notion de densité électronique à une particule,
- Théorèmes d'Hohenberg et Kohn
- Méthode de Kohn et Sham, notion de potentiel d'échange et corrélation,
- Approximations les plus courantes pour la fonctionnelle d'échange et corrélation

- La DFT « en pratique » pour les solides cristallins :

- Rappel de physique des solides (théorème de Bloch, approche des liaisons fortes, théorie des bandes,...)
- Introduction des techniques de calcul avec une base d'ondes planes
- Principe d'une « boucle de calcul » DFT

- Réalisation de calcul de structure électronique sur des systèmes simples :

- Etude de la convergence en fonction des différents paramètres d'entrée
- Calcul de la densité d'états et des densités d'états partiel, du diagramme de bandes Kohn-Sham et interprétation
- Introduction de quelques notions plus « avancées » (rôle du choix de la fonctionnelle, calcul magnétique, DFT+U,...) à travers l'étude de systèmes remarquables.

PRÉ-REQUIS

Cet enseignement se fonde sur les connaissances acquises en M1, notamment en mécanique quantique et en physique de la matière condensée.

SPÉCIFICITÉS

L'enseignement sera donné en langue française et s'effectuera en présentiel à l'université Paul Sabatier, avec des séances de travaux pratiques numériques.

COMPÉTENCES VISÉES

- Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- *Physique des solides* , N. W. Aschcroft & N. D. Mermin, EDP Sciences, 2002

— *Electronic Structure : Basic Theory and Practical Methods* , R. M. Martin, Cambridge University Press, 2004

MOTS-CLÉS

Théorie de la fonctionnelle de la densité, méthode ab-initio, structure électronique, physique des solides, physique numérique, physique quantique

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Machine learning		
KPFX9AB1	TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

WIECHA Peter
Email : pwiecha@laas.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectif du module est de développer des compétences théoriques et pratiques sur la façon d'appliquer l'apprentissage profond à la résolution de problèmes de physique.
Une introduction générale à l'apprentissage automatique et en particulier à l'apprentissage profond sera donnée, couvrant les concepts mathématiques, la formation des réseaux neuronaux et les architectures de réseau les plus importantes, ainsi que quelques concepts clés de l'apprentissage profond moderne. Des applications de l'apprentissage profond en physique seront présentées, avec des interventions externes de chercheurs. Les séances de cours seront accompagnées par des exemples de programmation. La deuxième partie du module sera un TP-projet de programmation, appliquant l'apprentissage profond à un problème de physique.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

L'objectif du module est de développer des compétences théoriques et pratiques sur la façon d'appliquer l'apprentissage profond à la résolution de problèmes de physique.
Une introduction générale à l'apprentissage automatique et en particulier à l'apprentissage profond sera donnée, couvrant les concepts mathématiques, la formation des réseaux neuronaux et les architectures de réseau les plus importantes, ainsi que quelques concepts clés de l'apprentissage profond moderne. Des applications de l'apprentissage profond en physique seront présentées, avec des interventions externes de chercheurs. Les séances de cours seront accompagnées par des exemples de programmation. La deuxième partie du module sera un TP-projet de programmation, appliquant l'apprentissage profond à un problème de physique.

PRÉ-REQUIS

Connaissances de programmation, idéalement en python

COMPÉTENCES VISÉES

- Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention
- Se servir de façon autonome des outils numériques avancés pour un ou plusieurs métiers ou secteurs de recherche du domaine

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- neural networks livre en ligne par Michael Nielso : http://neuralnetworksanddeeplearning.com/
- Le Cun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. Deep learning. Nature 521, 436-444 (2015)

MOTS-CLÉS

Réseaux de neurones artificiels, apprentissage automatique, apprentissage profond en physique, problèmes inverses par apprentissage profond

UE	TECHNIQUES EXPERIMENTALES ET NUMERIQUES AVANCEES	9 ECTS	1er semestre
Sous UE	Techniques avancées en physique expérimentale		
KPFX9AB5	Terrain : 18 demi-journées	Enseignement en français	Travail personnel 103 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

CALMELS Lionel
Email : Lionel.Calmels@cemes.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Ce module a pour but de former les étudiants aux techniques expérimentales avancées actuellement mises en œuvre dans les laboratoires de recherche, ainsi que dans certaines industries. Le module consiste en une série de travaux pratiques qui se déroulent soit dans les laboratoires de recherche académique de Toulouse et utilisent les équipements hautement performants de ces laboratoires, soit sur la plateforme de technologies quantiques actuellement développée sur le campus toulousain. Les étudiants suivent tout d'abord une série de cours destinés à leur présenter les expériences sur lesquelles ils vont ensuite travailler pendant plusieurs demi-journées en petits groupes, encadrés par des enseignant-chercheurs ou des chercheurs spécialistes des techniques mises en œuvre.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

1. Série de TPs effectués directement dans les laboratoires de recherche de Toulouse :
- synthèse/étude de propriétés physiques de micro/nano-objets : nanomatériaux magnétiques ; transistor à nanoparticules
- étude par STM de l'organisation de molécules sur une surface cristalline
- Expériences en champ magnétique intense : transport, effet Hall quantique dans le graphène
- spectroscopie optique : diffusion inélastique de la lumière, spectroscopie femtoseconde
- microscopie électronique en transmission, diffraction de rayons X

2. Série de TPs sur la plateforme expérimentale de technologies quantiques :
- Interférences à 1 photon, à 2 photons, statistique de photons uniques (mesure du coefficient d'autocorrélation en intensité)
- Superposition et intrication quantique
- Quantum sensing et optique quantique avec des centres N-V
- Information quantique et calcul quantique
- vérification expérimentale des inégalités de Bell
- tomographie quantique
- Gaz quantiques

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base de la pratique expérimentale et des connaissances théoriques acquises en L3 et M1.

SPÉCIFICITÉS

Ces travaux pratiques auront lieu :
- dans les laboratoires de recherche académiques de Toulouse
- sur la plateforme toulousaine de technologies quantiques
- à l'atelier inter-universitaire de micro-électronique (AIME) de Toulouse

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)

- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

MOTS-CLÉS

Techniques expérimentales des laboratoires de recherche, plateforme expérimentale de technologies quantiques

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Mécanique quantique avancée		
KPFP9AC2	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

PUJOL Pierre
Email : pierre.pujol@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectif de ce module et de faire acquérir aux étudiants les concepts et outils techniques des développements les plus récents et avancés en mécanique quantique, en insistant sur les aspects physiques fondamentaux. Ces acquis permettront ensuite aux étudiants d'aborder les sujets les plus avancés des autres domaines de la physique, tels que la physique de la matière condensée ou l'optique quantique.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Seconde quantification, application en matière condensée et à l'optique quantique
- Théorie de la diffusion, approximation de Born, ondes partielles
- Intégrale de chemin, application à l'effet Ehrenberg-Siday-Aharonov-Bohm et à l'oscillateur harmonique
- Intrication, entropie de Von Neumann, problèmes de mesure

PRÉ-REQUIS

Mécanique quantique de niveau Master 1

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Quantum Mechanics, Eugen Merzbacher
- Modern Quantum Mechanics, J. J. Sakurai et Jim J. Napolitano
- Path Integrals in Quantum Mechanics, J. Zinn-Justin

MOTS-CLÉS

Mécanique Quantique, interactions, cohérences, intrication et interférences

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Effets à N-corps en matière condensée		
KPFP9AC3	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

CAPPONI Sylvain
Email : capponi@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

de cet enseignement est l'étude des effets des interactions pour la description qualitative et quantitative de certains matériaux. Par exemple, en partant d'un métal, nous verrons que les interactions électroniques peuvent soit modifier les paramètres effectifs (liquide de Fermi), soit complètement changer la nature de la phase en induisant par exemple un isolant de Mott. Nous utiliserons la seconde quantification pour faire des calculs précis sur des modèles simples comme les modèle de Hubbard ou Heisenberg. En considérant aussi les degrés de liberté du réseau ionique, nous verrons comment la supraconductivité peut apparaître et nous décrirons la théorie BCS expliquant ce phénomène remarquable.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Théorie du liquide de Fermi : notion de quasi-particule, paramètres effectifs, durée de vie.
- Théorie BCS de la supraconductivité conventionnelle : problème de Cooper, approximation Hartree-Fock, étude de l'état fondamental et des excitations.
- Autres exemples d'instabilités du liquide de Fermi : transition de Mott.
- Introduction au magnétisme quantique : magnétisme itinérant, magnétisme localisé (modèle de Heisenberg : approximation champ moyen, ondes de spin).
- Effet Kondo.

PRÉ-REQUIS

Physique du solide, physique quantique de niveau M1.

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Solid state physics, Mermin and Ashcroft (Brooks Cole,1976)
- Solid state physics, Mermin and Ashcroft (Brooks Cole,1976)

MOTS-CLÉS

Liquide de Fermi, approximation de Hartree-Fock, supraconductivité BCS, magnétisme quantique, effet Kondo

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Phénomènes critiques et transitions de phases		
KPFP9AC4	Cours-TD : 15h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

MANGHI Manoel
Email : manghi@irsamc.ups-tlse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectif de cet enseignement est l'étude des phénomènes critiques et des transitions de phase des corps pur (liquide-vapeur), des mélanges binaires, dans les systèmes magnétiques (ferro-paramagnétique), électroniques (supraconductivité) ou encore les cristaux liquides (sméctique-nématique). L'approche sera quantitative grâce à l'introduction de techniques de physique statistique développées au XXe siècle permettant d'étudier le comportement des grandeurs thermodynamiques près des points critiques.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Présentation des différentes transitions de phase (continues et discontinues). Paramètre d'ordre, lois d'échelles, exposants critiques et classe d'universalité.
- Un modèle paradigmatique : le modèle d'Ising. Résolution exacte à une dimension (matrice de transfert) et en champ moyen.
- Théorie de Landau des transitions de phase. Role des fluctuations, fonction de corrélation, critère de Ginzburg. Dynamiques de Cahn-Hilliard et Landau-Ginzburg
- Introduction aux techniques de renormalisation : construction de Kadanoff (décimation de Ising 1D), méthode de Wilson

PRÉ-REQUIS

Thermodynamique des transitions de phase, physique statistique.

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Principles of condensed matter physics, Chaikin and Lubensky (Cambridge,1995)
- Statistical physics of particles, Statistical physics of fields, Kardar (Cambridge, 2007)

MOTS-CLÉS

Transition liquide-vapeur, modèle d'Ising, théorie de Landau, points et exposants critiques, groupe de renormalisation

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Physique des composants pour l'électronique et la spintronique		
KPFP9AC5	Cours-TD : 30h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

GATEL Christophe
Email : gatel@cemes.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

A partir des développements récents en physique de la matière condensée, notamment ceux liés à la miniaturisation des composants, à la réduction de dimensionnalité et à la maîtrise de la polarisation de spin, ce module présente l'état de l'art des composants qui constituent les briques de base des dispositifs électroniques actuels et futurs. Le module décrit les différentes structures mettant en jeu le caractère quantique des porteurs de charge et de spin, la physique du transport de charge à l'échelle nanoscopique où les effets d'interférences quantiques peuvent être prépondérants, les propriétés optiques des structures quantiques à base de semiconducteurs. Il décrit enfin les propriétés de magnétotransport des multicouches magnétiques présents dans les dispositifs pour la spintronique.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

1. Physique des composants pour la microélectronique et l'optoélectronique :
- Hétérostructures. Nanostructures semi-conductrices : puits, fils et boîtes quantiques.
- Gaz d'électrons bidimensionnels : propriétés fondamentales et applications. Principe de fonctionnement des transistors (bipolaire, à effet de champ, MOS).
- Propriétés optiques des semi-conducteurs. Applications aux composants pour l'optoélectronique : diodes électroluminescentes, lasers solides, lasers à cascade quantique, photodétecteurs, cellules photovoltaïques.
2. Physique des composants pour la spintronique :
- Propriétés magnétiques des couches minces : couplage, anisotropie magnétique.
- Vannes de spin : magnétorésistance géante.
- Jonctions tunnel magnétiques : magnétorésistance tunnel, interprétation quantique en termes d'états électroniques.
- Contrôle et manipulation de la configuration magnétique des composants pour la spintronique.
- Magnetic race-track memory, skyrmions et spin-orbitronique.

PRÉ-REQUIS

Les enseignements se font sur la base des connaissances acquises en L3 et M1 (mécanique quantique, physique de la matière condensée, physique statistique).

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Physique des semiconducteurs et des composants électroniques, H. Mathieu, H Fanet, Dunod (2009)
- Optoélectronique , E. Rosencher, B . Vinter, Dunod (2002)
- Magnetism & Magnetic Materials, Michael Coey (Cambridge University Press, 2010)

MOTS-CLÉS

Dispositifs à base de semiconducteurs, gaz d'électrons 2D, optoélectronique, couches magnétiques, vanne de spin, jonction tunnel magnétique, spintronique

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Phénomènes hors équilibre		
KPFX9AC1	Cours-TD : 25h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

NICOLAZZI William
Email : william.nicolazzi@lcc-toulouse.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

L'objectifs de ce cours est d'acquérir les concepts permettant d'aborder l'étude de systèmes possédant un grand nombre de degrés de liberté placés en dehors de leur équilibre thermodynamique (les modules de licence et Master 1, portaient sur la description des états thermodynamiques à l'équilibre).
Ce module se consacrera à l'évolution de systèmes hors de l'équilibre. Contrairement à la thermodynamique axiomatique ou la physique statistique à l'équilibre, il n'existe pas d'approche systématique permettant de décrire un système hors équilibre, à la fois proche et loin de son équilibre thermodynamique. Ce module s'attachera à présenter les différents formalismes développés tout au long du XXème siècle et à établir les liens qui peuvent exister entre ces différentes approches théoriques.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Fluctuations autour de l'équilibre thermodynamique
- Approche macroscopique du transport (théorie de la réponse linéaire-formalisme d'Onsager)
- Mouvement Brownien et Equation de Langevin
- Théorème fluctuation-dissipation et formule de Kubo
- Processus stochastique. Equation de Chapman-Kolmogorov- processus de Markov diffusif - équation de Fokker-Planck
- Fonction de distribution dans l'espace des phases. Equation de Liouville-Hiérarchie BBGKY- équation de Boltzmann- théorème H- limite hydrodynamique
- Formalisme de l'équation maîtresse-thermodynamique stochastique- relation de Jarzynski

PRÉ-REQUIS

Les pré-requis sont ceux de la Licence et du M1, en particulier ceux concernant la thermodynamique et la physique statistique.

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Non-Equilibrium thermodynamics, De Groot et Mazur
- A modern course in statistical Physics, Reichl
- Statistical physics II, Kubo

MOTS-CLÉS

Réponse linéaire, fonctions de corrélations, fluctuation, dissipation

UE	PHYSIQUE FONDAMENTALE	12 ECTS	1er semestre
Sous UE	Physique des surfaces		
KPFX9AC2	Cours-TD : 20h	Enseignement en français	Travail personnel 170 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

CORATGER Roland
Email : Roland.Coratger@cemes.fr

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Les objectifs de ce module sont multiples. Il s'agira tout d'abord de décrire la structure atomique des surfaces solides (métalliques, semiconductrices et isolantes) et des principaux défauts observés, tels que la relaxation ou les reconstructions. Dans un deuxième temps, les propriétés électroniques de ces systèmes 2D seront étudiées notamment grâce au modèle du jellium. Les principales techniques d'investigation de la structure électronique seront également abordées et illustrées par des résultats significatifs tirés de la littérature. Enfin, la dernière partie sera consacrée aux mouvements d'atomes en surface et à la thermodynamique des systèmes 2D.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

- Structure cristallographique des surfaces, modèle TLK : reconstruction, relaxation, défauts ponctuels.
- Structure électronique des surfaces : états de Shockley, liaisons pendantes, détection par photoémission et par champ proche. Application aux isolants topologiques.
- Mouvement d'atomes en surface : physisorption, chimisorption, chimisorption dissociative. Aspects cinétiques, thermodynamiques, manipulation d'atomes en champ proche.
- Thermodynamique des surfaces : énergie de surface et construction de Wulff. Formes d'équilibre des cristaux, croissance des films minces.

PRÉ-REQUIS

Physique des solides, physique statistique, physique quantique et cristallographie de niveau Master 1

COMPÉTENCES VISÉES

- Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études, comme base d'une pensée originale (Expertise)
- Développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines (Maîtrise)
- Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines (Maîtrise)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Physics at surfaces, A. Zangwill- Surfaces and interfaces of solid materials, H. Lüth, Springer- Chimie des surfaces et catalyse, G.A. Somorjai, M.P. Delplancke, Edisciences International

MOTS-CLÉS

Réseau de Bravais 2D, reconstruction, relaxation, états de Shockley, liaisons pendantes, photoémission, physi/chimisorptio diffusion, énergie de surface.

UE	LANGUE VIVANTE	3 ECTS	2nd semestre
KPFPAAAU	TD : 8h	Enseignement en français	Travail personnel 67 h

[Retour liste des UE]

ENSEIGNANT(E) RESPONSABLE

AVRIL Henri
Email : h-avril@live.com

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Niveau C1/C2 du CECRL (Cadre Européen Commun de Référence pour les Langues) L'objectif de cette UE est de permettre aux étudiants de développer les compétences indispensables à la réussite dans leur future vie professionnelle en contextes culturels variés.Il s'agira d'aquérir l'autonomie linguistique nécessaire et de perfectionner les outils de langue spécialisée permettant l'intégration professionnelle et la communication d'une expertise scientifique dans le contexte international.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

Les étudiants développeront :- les compétences liées à la compréhension de publications scientifiques ou professionnelles rédigées en anglais ainsi que les compétences nécessaires à la compréhension de communications scientifiques orales.- les outils d'expression permettant de maîtriser une présentation orale et/ou écrite et d'aborder une discussion critique dans le domaine scientifique, (ex. rhétorique, éléments linguistiques, prononciation...) .- la maîtrise des éléments d'argumentation critique à l'oral et/ou à l'écrit d'une publication scientifique- une réflexion plus large sur leur place, leur intégration et leur rayonnement en tant que scientifiques dans la société, abordant des questions d'actualité, d'éthique, d'intégrité.

PRÉ-REQUIS

Niveau B2 du CECRL

COMPÉTENCES VISÉES

S'exprimer avec aisance à l'oral, devant un public, en usant de registres adaptés aux différents contextes et aux différents interlocuteurs.Se servir aisément d'une langue vivante autre que le français : compréhension et expression écrites et orales :
- Comprendre un article scientifique ou professionnel rédigé en anglais sur un sujet relatif à leur domaine.
- Produire un écrit scientifique ou technique dans un anglais adapté, de qualité et respectant les normes et usages de la communauté scientifique anglophone.
-Interagir à l'oral en anglais : réussir ses échanges formels et informels lors des colloques, réunions ou entretiens professionnels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

howjsay.com, granddictionnaire.com, linguee.fr, iate.europa.eu.[img]https ://sgce.univ-tlse3.fr/sgce/images/symbol_check.
Mots clés :

MOTS-CLÉS

projet - Anglais scientifique - Rédaction - Publication - Communications - esprit critique scientifique - interculturel

UE	STAGE	27 ECTS	2nd semestre
KPFPAABU	Stage : 5 mois minimum	Enseignement en français	Travail personnel 675 h

[Retour liste des UE]

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Le stage a pour but de mettre en oeuvre les connaissances théoriques, expérimentales ou numériques acquises dans les modules de formation du Master 2.

DESCRIPTION SYNTHÉTIQUE DES ENSEIGNEMENTS

Stage de 5 mois, effectué dans un laboratoire de recherche académique ou en tant que physicien dans une entreprise.

COMPÉTENCES VISÉES

- Gérer des contextes professionnels ou d'études complexes, imprévisibles et qui nécessitent des approches stratégiques nouvelles
- Prendre des responsabilités pour contribuer aux savoirs et aux pratiques professionnelles et/ou pour réviser la performance stratégique d'une équipe
- Analyser ses actions en situation professionnelle, s'autoévaluer pour améliorer sa pratique dans le cadre d'une démarche qualité
- Respecter les principes d'éthique, de déontologie et de responsabilité environnementale
- Identifier, sélectionner et analyser avec esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation
- Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et dans au moins une langue étrangère

TERMES GÉNÉRAUX

SYLLABUS

Dans l'enseignement supérieur, un syllabus est la présentation générale d'un cours ou d'une formation. Il inclut : objectifs, programme de formation, description des UE, prérequis, modalités d'évaluation, informations pratiques, etc.

DÉPARTEMENT

Les départements d'enseignement sont des structures d'animation pédagogique internes aux composantes (ou facultés) qui regroupent les enseignantes et enseignants intervenant dans une ou plusieurs mentions.

UE : UNITÉ D'ENSEIGNEMENT

Un semestre est découpé en unités d'enseignement qui peuvent être obligatoires, à choix ou facultatives. Une UE représente un ensemble cohérent d'enseignements auquel sont associés des ECTS.

UE OBLIGATOIRE / UE FACULTATIVE

L'UE obligatoire fait référence à un enseignement qui doit être validé dans le cadre du contrat pédagogique. L'UE facultative vient en supplément des 60 ECTS de l'année. Elle est valorisée dans le supplément au diplôme. L'accumulation de crédits affectés à des UE facultatives ne contribue pas à la validation de semestres ni à la délivrance d'un diplôme.

ECTS : EUROPEAN CREDITS TRANSFER SYSTEM

Les ECTS constituent l'unité de mesure commune des formations universitaires de licence et de master dans l'espace européen. Chaque UE obtenue est ainsi affectée d'un certain nombre d'ECTS (en général 30 par semestre d'enseignement, 60 par an). Le nombre d'ECTS varie en fonction de la charge globale de travail (CM, TD, TP, etc.) y compris le travail personnel. Le système des ECTS vise à faciliter la mobilité et la reconnaissance des diplômes en Europe.

TERMES ASSOCIÉS AUX DIPLOMES

Les diplômes sont déclinés en domaines, mentions et parcours.

DOMAINE

Le domaine correspond à un ensemble de formations relevant d'un champ disciplinaire ou professionnel commun. La plupart des formations de l'UT3 relèvent du domaine « Sciences, Technologies, Santé ».

MENTION

La mention correspond à un champ disciplinaire. Il s'agit du niveau principal de référence pour la définition des diplômes nationaux. La mention comprend, en général, plusieurs parcours.

PARCOURS

Le parcours constitue une spécialisation particulière d'un champ disciplinaire choisie par l'étudiant·e au cours de son cursus.

LICENCE CLASSIQUE

La licence classique est structurée en six semestres et permet de valider 180 crédits ECTS. Les UE peuvent être obligatoires, à choix ou facultatives. Le nombre d'ECTS d'une UE est fixé sur la base de 30 ECTS pour l'ensemble des UE obligatoires et à choix d'un semestre.

LICENCE FLEXIBLE

À la rentrée 2022, l'université Toulouse III - Paul Sabatier met en place une licence flexible. Le principe est d'offrir une progression "à la carte" grâce au choix d'unités d'enseignement (UE). Il s'agit donc d'un parcours de formation personnalisable et flexible dans la durée. La progression de l'étudiant·e dépend de son niveau de départ et de son rythme personnel. L'inscription à une UE ne peut être faite qu'à condition d'avoir validé les UE pré-requises. Le choix de l'itinéraire de la licence flexible se fait en concertation étroite avec une direction des études (DE) et dépend de la formation antérieure, des orientations scientifiques et du projet professionnel de l'étudiant·e. L'obtention du diplôme est soumise à la validation de 180 crédits ECTS.

DIRECTION DES ÉTUDES ET ENSEIGNANT·E RÉFÉRENT·E

La direction des études (DE) est constituée d'enseignantes et d'enseignants référents, d'une directrice ou d'un directeur des études et d'un secrétariat pédagogique. Elle organise le projet de formation de l'étudiant·e en proposant une individualisation de son parcours pouvant conduire à des aménagements. Elle est le lien entre l'étudiant·e, l'équipe pédagogique et l'administration.

TERMES ASSOCIÉS AUX ENSEIGNEMENTS

CM : COURS MAGISTRAL(AUX)

Cours dispensé en général devant un grand nombre d'étudiantes et d'étudiants (par exemple, une promotion entière), dans de grandes salles ou des amphithéâtres. Ce qui caractérise également le cours magistral est qu'il est le fait d'une enseignante ou d'un enseignant qui en définit les structures et les modalités. Même si ses contenus font l'objet de concertations avec l'équipe pédagogique, chaque cours magistral porte donc la marque de la personne qui le crée et le dispense.

TD : TRAVAUX DIRIGÉS

Ce sont des séances de travail en groupes restreints (de 25 à 40 étudiantes et étudiants selon les composantes), animées par des enseignantes et enseignants. Les TD illustrent les cours magistraux et permettent d'approfondir les éléments apportés par ces derniers.

TP : TRAVAUX PRATIQUES

Méthode d'enseignement permettant de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises durant les CM et les TD. Généralement, cette mise en pratique se réalise au travers d'expérimentations et les groupes de TP sont constitués de 16 à 20 étudiantes et étudiants. Certains travaux pratiques peuvent être partiellement encadrés ou peuvent ne pas être encadrés du tout. A contrario, certains TP, du fait de leur dangerosité, sont très encadrés (jusqu'à une enseignante ou un enseignant pour quatre étudiantes et étudiants).

PROJET OU BUREAU D'ÉTUDE

Le projet est une mise en pratique en autonomie ou en semi-autonomie des connaissances acquises. Il permet de vérifier l'acquisition de compétences.

TERRAIN

Le terrain est une mise en pratique encadrée des connaissances acquises en dehors de l'université.

STAGE

Le stage est une mise en pratique encadrée des connaissances acquises dans une entreprise ou un laboratoire de recherche. Il fait l'objet d'une législation très précise impliquant, en particulier, la nécessité d'une convention pour chaque stagiaire entre la structure d'accueil et l'université.

SESSIONS D'ÉVALUATION

Il existe deux sessions d'évaluation : la session initiale et la seconde session (anciennement appelée "session de rattrapage", constituant une seconde chance). La session initiale peut être constituée d'examens partiels et terminaux ou de l'ensemble des épreuves de contrôle continu et d'un examen terminal. Les modalités de la seconde session peuvent être légèrement différentes selon les formations.

SILLON

Un sillon est un bloc de trois créneaux de deux heures d'enseignement. Chaque UE est généralement affectée à un sillon. Sauf cas particuliers, les UE positionnées dans un même sillon ont donc des emplois du temps incompatibles.

UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER