

**Approche lagrangienne et relativité restreinte** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Résumé du programme :

Première partie : approche lagrangienne et mécanique analytique

- Introduction : mécanique Newtonienne vs mécanique Lagrangienne
- Méthodes variationnelles : fonctionnelles et équations d'Euler-Lagrange. Applications.
- Symétries et lois de conservation (intégrale première, énergie, théorème de Noether, impulsion, moment cinétique). Applications.
- Hamiltonien, équations de Hamilton, crochets de Poisson.

Seconde partie : théorie de la relativité restreinte

- Relativité galiléenne. Transformation de Galilée. Cas de la particule libre. Remise en question.
- Relativité restreinte. Transformation de Lorentz. Concept d'espace-temps.
- Dilatation de la durée et contraction de la longueur.
- Espace de Minkowski. Métrique. Quadri-vecteurs et leurs invariants.
- Cinématique et dynamique relativiste
- Equations de Maxwell covariantes

**Electromagnétisme en régime quasi-statique** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Résumé du programme :

Électrostatique : lois de Coulomb, de Gauss, potentiel électrostatique, conducteurs, énergie électrostatique, dipôles.

Magnétostatique : lois de Laplace, Biot-Savart, Lorentz, Ampère. Induction et auto-induction

Compétences visées :

Connaître les lois de base de l'électromagnétisme en régime statique, et être capable de les mobiliser pour des applications variées.

**Électromagnétisme et optique ondulatoire** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Résumé du programme :

- Equations de Maxwell dans le vide, transversalité des champs, ondes planes et sphériques, surfaces d'onde, énergie
- Polarisation
- Réflexion-réfraction, les coefficients de Fresnel
- Optique ondulatoire : conditions d'interférence, cohérence spatiale, cohérence temporelle
- Interférences par division du front d'onde : trous d'Young, réseaux
- Interférences par division d'amplitude : lames à faces parallèles, Michelson
- Interférences à ondes multiples, Fabry-Perot
- Diffraction : principe d'Huyghens-Fresnel, diffractions de Fresnel ou de Fraunhofer
- Optique de Fourier

Travaux Pratiques : interférences, diffraction, spectroscopie, polarisation, filtrage.

**Mécanique et Ondes** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : Cours Magistral : 22h ; Travaux Dirigés : 22h ; Travaux Pratiques : 16h

Pré-requis : Manipulation d'ordres de grandeur, notions de temps et d'espace, mesure physique, modélisation de systèmes physiques. Les outils mathématiques nécessaires seront introduits pendant le cours.

Descriptif de l'enseignement : Cette UE recouvre deux domaines distincts de la physique : la mécanique et la physique des ondes. Ces deux domaines permettent de comprendre et d'étudier de nombreuses situations du quotidien : chute d'objet, équilibre des corps, four à micro-ondes, télécommunications, phénomènes optiques et sonores.

*Mécanique :*

Cinématique : vitesse, mouvement relatif, accélération, mouvement uniformément accéléré.  
Application : balistique.

Lois de Newton : inertie, force, quantité de mouvement, principe d'action-réaction. Application : chute d'un objet, piqué de l'aigle.

Equilibre et mouvement : statique, principe fondamental de la dynamique, mouvement à force centrale, lois de Kepler. Application : planétologie.

Travail et énergie : travail d'une force, énergie cinétique, potentielle, mécanique, lois de conservation, équilibres stable et instable. Application : chocs à deux dimensions.

Rotation des solides, moment cinétique, moment d'inertie. Application : rotation d'un patineur.

Oscillateurs mécaniques

*Ondes :*

Equation d'onde et ses solutions. Ondes planes.

Propagation des ondes dans le vide et les milieux.

Superposition des ondes progressives. Interférences lumineuses à deux ondes. Notions de cohérence temporelle et spatiale. Application : interférométrie astronomique.

Ondes acoustiques. Effet Doppler. Notion d'impédance acoustique. Application : acoustique d'une salle de concert, haut-parleur.

Transport d'énergie par une onde.

Réflexion et transmission, ondes stationnaires, modes propres, résonance. Application : instruments de musique, guitare et instruments à vent.

Acquis attendus à l'issue de l'UE :

Savoir-faire techniques :

Savoir résoudre des équations différentielles du 1er et 2nd degré

Savoir déterminer géométriquement un produit vectoriel

Savoir décrire le mouvement de systèmes simples soumis à la gravitation

Savoir décrire mathématiquement différents types d'ondes

Savoir utiliser la notation complexe et les formules d'Euler

Savoir reconnaître une équation d'onde

Comprendre la notion de phase

Savoir identifier la période spatiale et la période temporelle d'une onde

Savoir-faire expérimentaux :

Savoir utiliser un oscilloscope et un générateur basse fréquence

Savoir mesurer le facteur de qualité d'une résonance mécanique

Savoir mesurer un déphasage entre deux ondes

Savoir créer et caractériser un système d'interférences lumineuses à deux ondes

Savoir présenter de façon claire un ensemble de résultats expérimentaux et savoir tracer et exploiter une courbe

Ouvrages de référence :

« Physique », Eugène Hecht, ed. DeBoeck Université 2007

« Physique », Halliday, Resnick & Walker, ed. Dunod

« Physique générale » tome 2, Alonso & Finn, ed. Dunod

**Mécanique quantique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : 30h de cours + 30h de Travaux Dirigés

Prérequis : Quanta et relativité – Outils mathématiques

Thèmes abordés :

- Fonction d'onde et équation de Schrödinger, paquets d'onde, particule soumise à un potentiel (effet tunnel), quantification de l'énergie, puits simple et double (cas de la molécule d'ammoniac), oscillateur harmonique.
- Espace de Hilbert et notations de Dirac, vecteur d'état, opérateurs, projecteurs et relations de fermeture, théorème spectral, principes de la mécanique quantique, mesure des grandeurs physiques : résultats possibles et probabilités, réduction du paquet d'onde, système à deux états.
- Théorème d'Ehrenfest, base commune à deux observables qui commutent ; Ensemble complet d'observables qui commutent (E.C.O.C.), Commutation et relation d'inégalité d'Heisenberg généralisée
- Bases continues : représentation position et impulsion
- Oscillateur harmonique avec le formalisme de Dirac
- Moment magnétique orbital de l'électron, expérience de Stern et Gerlach, appareils de Stern et Gerlach successifs, mesures de spin, probabilités, valeurs moyennes
- Opérateur rotation, Résonance Magnétique Nucléaire
- Quantification du moment cinétique : moment cinétique orbital, énergie de rotation d'une molécule diatomique, harmoniques sphériques
- Information quantique, portes quantiques et notions sur la cryptographie quantique
- Etat d'une particule dans un potentiel central : l'atome d'hydrogène

Acquis attendus :

- Savoir faire le lien entre mécanique ondulatoire et formalisme de Dirac
- Comprendre les principes de la mécanique quantique et plus particulièrement le principe d'une mesure • Connaître la définition d'un espace de Hilbert
- Connaître l'expérience de Stern et Gerlach, l'effet tunnel, la quantification du moment cinétique et l'oscillateur harmonique
- Connaître le lien entre moment cinétique et opérateur de rotation
- Savoir donner les grandes lignes de la résolution d'une particule dans un potentiel central

Ouvrages de référence :

Notes/slides de cours

*Mécanique quantique*, J.-L. Basdevant et J. Dalibard, Editions de l'Ecole Polytechnique

*Mécanique Quantique*, Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloe (Hermann)

**Du microscopique au macroscopique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : Cours 24 h, Travaux Dirigés 24 h

Pré-requis : En physique ; bases de thermodynamique (1P003). En mathématiques : fonctions de plusieurs variables, dérivées partielles.

Thèmes abordés :

- Description statistique d'un système de particules. Etat macroscopique et micro-états classiques et quantiques.

- Système isolé : états accessibles ; principe d'équiprobabilité des micro-états ; entropie ; évolution vers l'équilibre et fluctuations ; second principe.
- Systèmes en interaction thermique : condition d'équilibre ; température statistique ; entropie et chaleur dans les processus réversibles et irréversibles.
- Source de chaleur idéale : le thermostat. Facteur de Boltzmann. Théorème d'équipartition.
- Systèmes fermés en interaction généralisés : conditions d'équilibre ; les potentiels thermodynamiques et l'évolution vers l'équilibre.
- Systèmes ouverts : le potentiel chimique. Application aux transitions de phases.
- Introduction à la théorie cinétique des phénomènes de transport. Libre parcours moyen. Diffusion de matière, de chaleur, de quantité de mouvement, de charges. Equation de diffusion.

Acquis attendus :

« Expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple », Jean Perrin, Les Atomes (1913). Donner du sens aux principes quasi-axiomatiques de la thermodynamique macroscopique à partir d'une approche microscopique. Réinterpréter des propriétés macroscopiques en termes de processus moléculaires. Les concepts par l'exemple : l'étude approfondie de modèles statistiques simples permet de dégager simplement toutes les notions fondamentales et d'en comprendre la signification macroscopique. Une place particulière sera faite à des exemples pratiques issus de la chimie, de la physique des matériaux. L'utilisation d'applets Java ou de simulations numériques aidera l'étudiant à « visualiser », « expérimenter » et développer son intuition des phénomènes.

Ouvrages de référence :

- « L'entropie et tout ça », P. Depondt, Ed. Cassini
- « Thermodynamique », S. Olivier, H. Gié, Ed. Lavoisier
- « Thermodynamique », M. Bertin, J.-P. Faroux, J. Renault, Ed. Dunod
- « Thermodynamique statistique », C. Chahine, P. Devaux, Ed. Dunod
- « Physique statistique », C. Ngo, H. Ngo, Ed. Dunod
- « Physique statistique », R. Balian, Ed. Ellipse

**Ondes** – Licence 2<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : Cours Magistral : 22h ; Travaux Dirigés : 24h ; Travaux Pratiques : 12h

Pré-requis : En physique : bases de thermodynamique (1P003) et de mécanique (1P004). En mathématiques : fonctions de plusieurs variables, dérivées partielles, nombres complexes.

Descriptif de l'enseignement :

Thèmes abordés

- Propagation des ondes dans le vide et les milieux. Application : effet Doppler, radar, vélocimétrie.
- Superposition des ondes progressives. Notions de cohérence spatiale et temporelle. Interférences à deux ondes. Application : interférométrie astronomique.
- Principe de la diffraction.
- Propagation des ondes mécaniques : corde vibrante et ondes sonores, ondes dans les solides. Applications : acoustique d'une salle de concert, haut-parleur.
- Réflexion et transmission, ondes stationnaires, modes propres. Application : instruments de musique.

Acquis attendus

- Savoirs faire techniques : Savoir décrire mathématiquement différents types d'ondes (phase, période spatiale et temporelle). Savoir utiliser la notation complexe. Savoir reconnaître une équation d'onde. Savoir identifier la période spatiale et la période temporelle d'une onde. Savoir décrire les interférences à deux ondes.

• Savoirs faire expérimentaux : Savoir utiliser un oscilloscope et un générateur basse fréquence. Savoir mesurer un déphasage entre deux ondes. Savoir créer et caractériser un système d'interférences à deux ondes dans différents domaines de la physique. Savoir présenter de façon claire un ensemble de résultats expérimentaux et savoir tracer et exploiter une courbe.

Ouvrages de référence :

« Physique », Eugène Hecht, ed. DeBoeck Université 2007

« Physique », Halliday, Resnick & Walker, ed. Dunod

« Physique générale » tome 2, Alonso & Finn, ed. Dunod

### **Physique expérimentale 1 – Licence 2<sup>ème</sup> année**

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : 60 h (20h de cours de démonstration et 40h travaux pratiques en autonomie : chaque semaine 2h de cours de démonstration, 4h de travaux pratiques)

Descriptif de l'enseignement : Comment une manette de jeu détecte-t-elle mes mouvements et comment mon smartphone connaît-il l'orientation de son écran ? Puis-je prendre une empreinte sans plâtre grâce à un scanner 3D ? Comment m'assurer que dans « Gravity » les mouvements de Sandra Bullock sont réalistes ? Comment un robot détecte-t-il son environnement et interagit-il ? Cette UE est centrée sur l'instrumentation et le concept de mesure, deux thèmes au cœur de toutes disciplines expérimentales. L'objectif est de former les étudiants à l'utilisation de matériels modernes de type oscilloscopes et générateurs numériques, microcontrôleurs, ainsi que des capteurs et techniques d'acquisition modernes comme l'analyse vidéo, les centrales inertielles, capteurs optiques... L'interfaçage par ordinateur se fera grâce à de logiciels professionnels de type Labview ou Origin largement utilisés aussi bien dans le domaine scientifique que dans celui de l'industrie. Les étudiants acquerront ainsi une véritable expérience sur des équipements qu'ils seront amenés à utiliser dans leur vie professionnelle.

Thème 1 : Initiation à LabVIEW

Thème 2 : Pilotage d'un oscilloscope numérique et d'un générateur arbitraire avec LabVIEW

Thème 3 : Utilisation de la vidéo. Analyse de vidéo, construction d'un scanner 3D.

Thème 4 : Centrale inertielle, utilisation d'accéléromètres et gyromètres (Wii mote).

Thème 5 : Électronique passive, RLC.

Thème 6 : Filtrage électronique, acquisition de donnée automatisée.

Thème 7 : Électronique numérique, conversion analogique/digitale.

Thème 8 : Capteur de lumière, automatisation d'un robot pour suivre une ligne tracée au sol.

Thème 9 : Microcontrôleur, programmation d'une carte ARDUINO

Thème 10 : Miniprojet autour de la construction d'un robot et mise à l'épreuve lors d'une compétition.

Acquis attendus. Compétence expérimentale : Savoir utiliser les appareils de tests et mesures numériques standards : oscilloscope, générateur de signaux, multimètre. Utilisation de logiciel de pilotage, d'acquisition et traitement de données : Savoir programmer à un niveau élémentaire en LabVIEW. Savoir visualiser et analyser des données numériques (analyse statistique, ajustement). Connaître le fonctionnement et savoir utiliser des capteurs standard : accéléromètres, gyromètres, microscope. Compétences en électronique : composants passifs et actifs. Circuits logiques.

### **Physique numérique – Licence 3<sup>ème</sup> année**

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : un Cours Magistral d'introduction (2h), Travaux Dirigés /Travaux Pratiques d'introduction : environnement informatique (2h), 6 Travaux Dirigés /Travaux Pratiques de 4 h devant les machines (un étudiant par poste de travail) : langage, préparation des TP (24h), 6 TP de 4h devant les machines (un étudiant par poste de travail) : physique numérique (24h), Projet : 4 séances de 2h devant les machines (8h).

Prérequis : Les connaissances de physique et de mathématiques normales pour un étudiant de physique de L3 : mécanique du point, énergie, optique géométrique et interférentielle, électromagnétisme dans le vide, dérivées, dérivées partielles, intégration, équations différentielles, séries, systèmes linéaires, matrices, espaces vectoriels, valeurs propres... Si le module de L2 Calcul scientifique et modélisation (2P022) constitue une excellente introduction, aucune connaissance informatique préalable n'est requise.

Thèmes abordés :

L'enseignement d'un langage compilé (C++) est conçu en vue de la résolution de problèmes de physique -compatibles avec le niveau de connaissances attendu en L3. Des techniques standards (racines d'une équation, équations différentielles ordinaires, marches au hasard, manipulations de matrices) seront appliquées systématiquement à des questions de physique : il s'agit de constituer rapidement un outil puissant pour s'attaquer aux multiples équations que sont susceptibles de produire les physiciens et qu'ils sont bien incapables de résoudre analytiquement !

Acquis attendus :

- une familiarité avec un langage de calcul compilé (C++) permettant d'écrire sans trop d'hésitation des programmes de complexité moyenne susceptibles de résoudre des problèmes de physique.
- la capacité à analyser un problème de physique donné, proposer une méthode pour le résoudre, réaliser un programme qui fonctionne et résolve effectivement le problème
- l'analyse en termes de grandeurs physiques pertinentes (quelles conclusions physiques peut-on en tirer ?) et la critique des résultats obtenus (sont-ils physiquement acceptables ? les résultats obtenus dépendent-ils de paramètres arbitraires (pas d'intégration) ?).
- familiarisation avec le travail en ligne de commande de base en Linux, utilisation d'outils de tracé de courbes.

Ouvrages de référence :

Les fiches ou poly de l'UE

Claude Delannoy : Programmer en langage C/C++

Giordano, Nakanishi: Computational Physics, <http://www.physics.purdue.edu/~hisao/book/>

Mark Newman : Computational Physics <http://wwwpersonal.umich.edu/~mejn/computational-physics/>

**Physique contemporaine** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Descriptif de l'enseignement : Il s'agit d'une UE introductive aux grands domaines de la physique contemporaine.

Introduction à la Physique Macroscopique

- Etats de la matière : forces de liaison intermoléculaires, des solides cristallins à la matière désordonnée.
- Introduction à la mécanique des milieux continus : milieux continus, forces élastiques dans les solides et forces visqueuses dans les fluides, lien avec les caractéristiques microscopiques.
- Interface entre deux milieux fluides ou solides : fluides miscibles (diffusion), fluides non miscibles (tension de surface), interface entre deux solides (friction).

- Matière molle : interactions, exemples de systèmes (colloïdes, tensioactifs, systèmes auto-organisés, mousses, granulaires, cristaux liquides, systèmes biologiques...).

Introduction à la physique du solide

- La conductivité dans les métaux : modèle de Drude (conductivité électrique, conductivité thermique, limites du modèle)
- Liaisons et Structure des solides - Vibrations du réseau : phonons
- De l'électron libre à l'électron dans un cristal : le concept de bande d'énergie
- Métaux, Isolants, Semiconducteurs

Introduction à la Physique Subatomique

- Physique nucléaire : découverte et structure du noyau atomique, fission et fusion, les types de radioactivité, les centrales nucléaires.
- Physique des particules : les particules élémentaires et leurs nombres quantiques (+ aspects historiques). Les interactions fondamentales et les lois de conservation. Les détecteurs de la physique des particules.
- Le rayonnement cosmique : découverte, composantes (noyaux, photons, neutrinos), sources et propagation. Les détecteurs de la physique des astroparticules.

Introduction à l'Astrophysique et la Cosmologie

- Interaction lumière-matière et rayonnement de corps noir. Les étoiles (naissance, nucléo-synthèse, évolution).
- Les galaxies et la structure à grande échelle de l'Univers. La loi de Hubble.
- La théorie du Big Bang et l'expansion de l'univers. Le redshift. L'histoire thermique de l'Univers et le fond de rayonnement cosmologique.

5 Travaux Pratiques :

- Approche expérimentale de la physique contemporaine
- Observation de muons cosmiques et mesure de  $c$
- Spectroscopie de l'atome d'Hydrogène
- Diffusion thermique
- Effet photoélectrique
- Morphogenèse

## Physique expérimentale 2 – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : 40h de Travaux Pratiques

Descriptif de l'enseignement : Cette UE de Travaux Pratiques est centrée sur les techniques modernes de pointe en physique qui font de notre discipline un outil essentiel d'analyse pour les autres disciplines expérimentales.

Thèmes abordés

Thème 1 : Propriétés magnétiques de la matière.

Thème 2 : Propriétés électriques de la matière.

Thème 3 : Thermique.

Thème 4 : Acoustique.

Thème 5 : Laser.

Thème 6 : Plasma.

Thème 7 : Matière molle.

Thème 8 : Physique nucléaire.

Thème 9 : Nanosciences

Acquis attendus :

Cet enseignement expérimental permettra à l'étudiant d'acquérir les compétences expérimentales largement utilisées dans les laboratoires de recherche mais étant également abondamment diffusées dans le monde industriel. Dans ce but, le choix des thématiques abordées s'appuie sur les forces de la recherche expérimentale en Physique de l'Université Pierre & Marie Curie dont la transmission du « savoir-faire » est une des missions primordiales.

Ouvrages de référence :

« Experiments and Demonstrations in Physics: Bar-Ilan Physics Laboratory » by Yaakov Kraftmakher (Bar-Ilan University, Israel) – Edited by World scientific; -

« Concevoir et réaliser des expériences de physique : Initiation à la recherche » de Pierre Léna et François Petit-Gosgnach – de Boeck edition

### Physique 3 – Licence 2<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PARIS DIDEROT

Résumé du programme :

Optique géométrique : réfraction, système optique, objet, image, stigmatisme, vision par l'œil, lentilles, instruments (photo...).

Flux et lois de conservation : flux de matière, écoulement visqueux, flux de charges électriques, diffusion de molécules. Flux d'énergie thermique, convection, conduction, rayonnement.

Compétences visées :

Découverte et applications des lois de l'optique géométrique.

Mise en perspective des notions de courant et de flux dans divers domaines physiques.

### Thermodynamique et aspects statistiques – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : deux cours d'1h30 et deux Travaux Dirigés de 2h00 par semaine

Pré-requis : Connaissance de base en mécanique classique, force de pression. Fonction de plusieurs variables. Éléments de probabilité.

Descriptif de l'enseignement : Cette UE propose une étude approfondie de la thermodynamique, en s'appuyant sur des exemples variés. La priorité est donnée à une approche phénoménologique, suivie par une introduction à la physique statistique.

Thèmes abordés

- Les fondamentaux (4 cours) – énergie interne, premier principe, point de vue microscopique – entropie, irréversibilité, second principe – équation d'états d'un corps pur, identité thermodynamique – fonctions d'état, transformation de Legendre – potentiel chimique, cas des systèmes extensifs, relation de Gibbs-Duhem – coefficients calorimétriques, relations de Clapeyron – potentiels thermodynamiques, inégalités thermodynamiques
- Exemples (4 cours) – principe des machines thermiques, diagramme de P-T, rendement – gaz parfait, mélanges de gaz, gaz réels (van der Waals), effet Joule-Thomson – systèmes élastiques, loi de Hooke – systèmes diélectriques et magnétiques – phénomènes de surface
- Les changements de phase (3 cours) – diagrammes de phase – classification d'Ehrenfest, chaleur latente, relation de Clapeyron – transition liquide/gaz : modèle de van der Waals, construction de Maxwell
- Les mélanges (3 cours) – réaction chimique, loi d'action de masse – solutions, phénomène d'osmose, loi de Raoult, loi de Henry, cryoscopie – diagrammes binaires
- Les phénomènes hors d'équilibre (3 cours) – loi de Fourier – loi de Fick loi d'Ohm - effet Joule – équations de la diffusion et de la chaleur

- Théories cinétiques (3 cours) – pression cinétique – distribution des vitesses de Maxwell-Boltzmann – interprétation cinétique de la température – libre parcours moyen, temps de collision – mouvement brownien, équation de la diffusion (simulations numériques)
- Introduction à la physique statistique (4 cours) – micro et macro-états – irréversibilité (simulations numériques) – système isolé : interprétation statistique de l'entropie, formule de Boltzmann – système thermostaté : facteur de Boltzmann, fluctuations – Cas classique : théorème d'équipartition, loi de Dulong et Petit – Cas quantique : système à deux niveaux, modèle d'Einstein.

Acquis attendus :

Connaître les principes fondamentaux de la thermodynamique et maîtriser sa démarche, savoir la mettre en œuvre pour une grande variété de systèmes. Comprendre l'origine microscopique des phénomènes macroscopiques, savoir le mettre en œuvre dans des cas simples.

### **Thermodynamique et Thermostatique** – Licence 3<sup>ème</sup> année

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Volume horaire : 12 cours de 2 h, 12 Travaux Dirigés de 2h

Pré-requis : Eléments de mécanique classique : bilan de forces, travail d'une force, énergie cinétique et énergie potentielle. Eléments de thermodynamique : notions de travail et chaleur, premier principe. Outils mathématiques : fonctions à plusieurs variables, dérivée de fonction composée, bases de dénombrement.

Descriptif de l'enseignement : Dans une première partie, ce module présente de façon approfondie les concepts de la thermodynamique des systèmes à l'équilibre et développe le formalisme pour décrire les transformations d'un système entre deux états d'équilibre. Ces notions seront appliquées à l'étude des transitions de phase et à une introduction à la physique des solutions diluées. La seconde partie du module sera consacrée à l'introduction des concepts de base de la physique statistique afin de montrer le lien entre les descriptions microscopique et macroscopique d'un système

Thèmes abordés

#### Première partie : Thermodynamique (7 ou 8 cours)

- Description classique d'un système thermodynamique. Notion d'énergie interne. Exemples de travail (forces de pression et autres). « Travail chimique » et introduction du potentiel chimique.
- Etat d'équilibre d'un système. Transformation thermodynamique. Premier principe.
- Entropie. Second principe. Notion d'irréversibilité. Identité thermodynamique. Définition des grandeurs intensives. Equilibre entre deux systèmes.
- Techniques de la thermodynamique : fonctions de plusieurs variables, coefficients calorimétriques.
- Fonctions thermodynamiques : enthalpie, énergie libre, enthalpie libre
- Transitions de phase des corps purs : équilibre liquide-vapeur et autres exemples. • Solutions diluées. Pression osmotique. Description thermodynamique des réactions chimiques. Deuxième partie : Introduction à la physique statistique (4 ou 5 cours) On étudiera essentiellement le cas des gaz de particules.
- Description microscopique classique d'un système. Collisions. Libre parcours moyen. Section efficace. Thermalisation.
- Distribution gaussienne des vitesses. Vitesse moyenne. Energie moyenne. Interprétation cinétique de la température et de la pression.
- Loi des grands nombres. Théorème centrale limite. Fluctuations.
- Introduction du facteur de Boltzmann, exemple du système à deux niveaux.
- Description statistique d'un système : état macroscopique vs micro-états, définition statistique de l'entropie.

Acquis attendus

- Connaître les ordres de grandeurs associés à la description microscopique d'un système thermodynamique (masse et vitesse des particules, distance entre particules) pour des gaz, liquides et solides.
- Connaître les notions de base de la thermodynamique : état d'équilibre, transformation quasistatique, réversible ou irréversible, grandeurs extensives et intensives, coefficients calorimétriques.
- Savoir appliquer les principes de la thermodynamique à des exemples simples.
- Connaître les fonctions thermodynamiques usuelles et leur rôle. Relation de Gibbs-Duhem.
- Savoir manipuler les fonctions de plusieurs variables (dérivées de fonction composées,
- Décrire l'équilibre entre plusieurs phases. Connaître la notion de chaleur latente et la relation de Clapeyron
- Savoir écrire le potentiel chimique d'un corps dans un mélange. Connaître la notion pression osmotique.
- Connaître la définition microscopique de la température et de la pression.
- Connaître la distribution des vitesses dans un gaz. Comprendre les notions de valeur moyenne et de fluctuation.
- Connaître le facteur de Boltzmann, calculer les grandeurs thermodynamiques pour un système à deux niveaux.
- Connaître la définition statistique de l'entropie.