

Maquette de Licences 2014-2018

(version de synthèse)

Parcours Physique

I.1 Unités d'enseignements

Semestre 1

	Descriptif de l'UE	ECTS
UE 1	Physique 1 (mécanique du point)	9
UE 2	Méthodologie de la physique1 (outils mathématiques)	3
UE 3	Techniques expérimentales	3
UE 4	Mathématiques 1	9
UE 5	Chimie 1	6

Semestre 2

	Descriptif de l'UE	ECTS
UE 1	Physique 2 (mécanique, solides, hydrostatique)	9
UE 2	Méthodologie de la physique 2 (raisonner en 3D)	3
UE 3	Projet de physique expérimentale	3
UE 4	Mathématiques 2	9
UE 5	Outils Bureautiques pour Scientifiques (OBI)	3
UE 6	Projet professionnel personnel 1 + Crl-Anglais	3

Semestre 3

	Descriptif de l'UE	ECTS	
UE 1	Electromagnétisme en régime quasi-statique	10	
UE 2	Physique 3 (en série)	Physique de la lumière	4
		Flux et lois de conservation	4
UE 3	Méthodologie de la physique 3 (outils formels)	3	
UE 4	Mathématiques 3	6	
UE 5	Anglais	3	

Semestre 4

	Descriptif de l'UE	ECTS	
UE 1	Physique 4 (en série)	Electrocinétique	4
		Ondes et vibrations	6
UE 2	Informatique/ programmation (en série)	Algorithmique/programmation	5
		Simulations : de la mécanique à la physique statistique	3
UE 3	Mathématiques 4	6	
UE 4	Panorama de la recherche en physique (PhyClub) <i>Cours couvrant les grands thèmes de recherche de notre UFR ainsi que le métier de chercheur et d'enseignant-chercheur.</i>	3	
UE 5	UE libres : Biophoto, Energie, Matériaux, la physique des jouets	3	

Semestre 5

	Descriptif de l'UE	ECTS
UE 1	Electromagnétisme et optique ondulatoire	8
UE 2	Physique Contemporaine / Projet de Physique expérimentale	6
UE 3	Approche lagrangienne et relativité	5
UE 4	Mathématiques 5	5
UE 5	Anglais	3
UE 6	2-3 UE libre :	3

Semestre 6

	Descriptif de l'UE	ECTS
UE 1	Mécanique quantique	8
UE 2	Thermodynamique et introduction à la physique statistique	8
UE 3	Physique contemporaine / Projet de Physique expérimentale	6
UE 4	Mathématiques 6	5
UE 5	Stage obligatoire	3

PHYSIQUE 1 (9 ECTS)

= Mécanique classique 1

Ouvrages recommandés: Hecht en Français et Halliday-Resnick-Walker en Anglais

Technique: Modéliser une situation physique par une équation différentielle scalaire.

1) Le cadre de la mécanique classique : espace, temps, matière. Dimensions et unités, manipulation des ordres de grandeur. Notion de référentiel.

2) *Note : dans la suite, les principes de la mécanique sont introduits en vectoriel, mais d'abord appliqués à 1D. On utilisera donc dès le début les notions de "vecteur unitaire" et de "composante", en lien étroit avec la notion de "valeur algébrique". Exemples : $\vec{F}_{\text{pesanteur}} = -mg\vec{u}_z$, $\vec{F}_{\text{frottement}} = -\alpha\vec{v} = -\alpha\dot{z}\vec{u}_z$, $\vec{a} = \ddot{z}\vec{u}_z$.*

- Cinématique à 1D du point matériel : position, vitesse, accélération. Interprétation des graphiques espace-temps.

- Cinématique 2D. Interprétation graphique espace-temps et espace-espace (trajectoires). Utilisation des coordonnées cartésiennes uniquement

- Mécanique du point : les trois lois de Newton (*PFD appliqué seulement à 1D pour l'instant*)

- Forces phénoménologiques et forces fondamentales

- Exemples de forces :

(*Note : avec progression en termes de difficulté des équ. diff. correspondantes.*)

- force de pesanteur

- force électrique,

- forces de contact; frottement solide et frottement visqueux

- force de rappel et loi de Hooke

- Mécanique du point : les trois lois de Newton (PFD appliqué seulement à 1D puis 2D dans le plan : tir balistique, solide sur plan incliné avec frottement solide...Toujours avec les coordonnées cartésiennes uniquement)

- Notion de quantité de mouvement

3) - Travail, énergie cinétique et son théorème

- Énergie potentielle et forces conservatives; forces dissipatives

- Théorème de l'énergie mécanique (+ principe de conservation)

4) - Systèmes oscillants : oscillateur harmonique libre et amorti, oscillateur entretenu et résonance

TECHNIQUES EXPERIMENTALES (3 ECTS)

Note : l'ordre du cours est prévu pour permettre une progression pédagogique pendant les TP.

Mesurer (en partie sur documents et sur internet)

- Pourquoi mesurer ? Ce qu'on peut mesurer et ce qu'on ne peut. Comment mesurer ? Instrument de mesure et son calibrage. Erreur aléatoire et systématique.

- Rappel des notions d'incertitudes vues en terminale. Incertitude relative et absolue. Plage de confiance.

- Évaluation de type B

- Évaluation de type A (statistique) : histogramme et loi de probabilité vue comme le passage au continu ; estimer une moyenne et un écart-type. Incertitude sur la moyenne et l'écart-type.

- Loi de propagation d'erreur.

- Écriture du résultat d'un mesurage. Chiffres significatifs.

Concepts de base de l'électricité

- Tension. Courant. Circuit. Loi des nœuds. Loi des mailles.

- Masse.

- Résistor et loi d'Ohm.

- Générateur de tension. Résistance interne. Loi de Pouillet.

- Association de résistors en série et parallèle.

- Diviseur de tension et montage potentiométrique.

Mesurer en électricité

- Voltmètre (en dérivation), Ampèremètre (en série). Savoir que les instruments de mesure perturbent la mesure (sans détail précis). Mode DC et AC.
- Ohmmètre : à quoi sert-il ?
- Faire un schéma d'un circuit avec la mesure.

Comparer mesure et prédiction d'un modèle

- Que signifie que la prédiction est dans la "barre d'erreur" ? Boîtes à moustache. Test statistique en z.
- Vérification d'une loi affine : régression linéaire. Ses hypothèses (erreurs indépendantes constantes sur y) et limitations. À quoi sert le R^2 ? Incertitude sur les paramètres ajustés.
- Ramener l'étude d'une loi à celle d'une loi affine par changement d'axe de coordonnées.

Travailler en sécurité avec l'électricité

- Risque électrique : mortalité associée au courant, résistance électrique de l'être humain, influence de l'humidité.
- Prise de terre, disjoncteur différentiel, coup de poing.
- Que faire en cas d'électrisation ?

5 TP

TP1. Introduction à la mesure

Utiliser un chronomètre, une règle. Évaluation d'incertitude de type A et de type B. Calculs sous Matlab : nommer et affecter les variables.

TP2. Mesurer tension et courant.

Introduction au multimètre utilisé en voltmètre et ampèremètre. Calibre. Rechercher une donnée du constructeur (l'incertitude) dans une notice. Réalisation de circuits simples, et mise en évidence de l'effet de la mise en série ou parallèle de lampes. Caractéristique d'une lampe.

TP3. Série et parallèle.

Caractéristique d'une lampe (suite) : ajustement par une loi phénoménologique. Vérification de la loi des mailles et des nœuds. Deux résistances en série et en parallèle : loi d'association. Introduction aux diviseurs de tension et de courant. Alimentation stabilisée réglée en source de courant et source de tension.

TP4. Produire et mesurer une tension alternative.

Statistiques descriptives. Avec un ohmmètre, mesurer la résistance de 100 résistors. Construction de l'histogramme des résultats sous Matlab. Calculer la moyenne et l'écart-type. Mesure de masse volumique et identification d'un alliage à l'aide d'un test en z.

TP5. Température et puissance.

Caractérisation de la résistance chauffante d'une bouilloire. Mesure de la puissance dissipée par calorimétrie. Ajustement linéaire sous Matlab.

TP6. Agrégation (révisions)

Cinq sujets faisables en une heure sont distribués aux étudiant-e-s. Il leur est donné la possibilité de préparer ces 5 sujets pendant les deux semaines de révision, en libre service.

Semaine 13 : examen de TP

Tirage au sort d'un sujet sur les cinq qui ont été préparés. Passage individuel sans aide en une heure pour valider l'acquisition des compétences expérimentales enseignées.

CHIMIE (6 ECTS)

- L'atome : Structure d'un atome polyélectronique.
- Liaisons entre les atomes et les molécules : Liaison de covalence dans les molécules, polarisation des liaisons et classification périodique
- Molécules organiques : Structure dans l'espace des molécules

METHODOLOGIE DE LA PHYSIQUE (3 ECTS)

Première partie: calcul différentiel

- | | |
|--|------------|
| 3) Dérivation / variations infinitésimales, dérivées composées | 2 semaines |
| 4) Calculs de primitives, conditions aux limites, interprétation graphique | 1 semaine |
| 3) Equations différentielles (séparation des variables, équations différentielles linéaires) | 2 semaines |
| 4) Calculs de sommes (intégrales, changement de variables) | 2 semaines |

Deuxième partie : introduction au calcul vectoriel

- 1) Rappels de trigonométrie / géométrie *1 semaine*
- 2) Calcul vectoriel, projection sur vecteurs unitaires, produit scalaire et vectoriel *2 semaines*
- Troisième partie: modélisation
- 7) Poser/résoudre un problème (paramètres, inconnues, système d'équations..) *1 semaine*
- 8) Manipulation d'équations non-linéaires (fonctions réciproques, entre autres) *1 semaine*
- 9) Approximations et développements limités *1 semaine*

MATHEMATIQUES 1 (9 ECTS)

(programme actuel de MMI)

Algèbre et Analyse élémentaires :

- Ensembles et applications
- Nombres réels et nombres complexes
- Fonctions polynôme.
- Introduction à l'algèbre linéaire.
- Fonctions continues.
- Fonctions dérivables.
- Fonctions de deux variables réelles.

PHYSIQUE 2 (9 ECTS)

Ouvrages recommandés: Hecht en Français et Halliday-Resnick-Walker en Anglais

Savoir : Mécanique à 2D et 3D, hydrostatique

Technique: Apprendre à maîtriser les vecteurs, les projections, les produits scalaires et vectoriels. Savoir faire un bilan de forces. Introduction au champ scalaire avec l'hydrostatique.

Hydrostatique (au maximum 2 semaines)

- Fluide
- Pression et masse volumique
- Pression en tant qu'énergie volumique
- Equation de l'hydrostatique
- Principe de Pascal, principe d'Archimède. Applications.

Mécanique Classique 2

- Cinématique en repères locaux: repère polaire, repères cylindrique et sphérique.
- Etude du mouvement en coordonnées polaires ; vitesse tangentielle et aréolaire, accélérations centripète et tangentielle.
- Mouvement circulaire autour d'un axe fixe, vecteur rotation.
- PFD et ses applications 2D et 3D
- Changements de référentiels : mouvement d'entraînement, loi de composition des vitesses et des accélérations pour des référentiels en mouvement relatif. Exemples simples seulement.
- Introduction à la Mécanique en référentiels non inertiels ; pseudo-forces et principe fondamental généralisé. Exemples simples seulement : référentiels en translation ou référentiels en rotation autour d'un axe fixe avec mouvement dans le plan (ex : manège). Les pseudo-forces liées à la rotation de la terre peuvent être mentionnées en cours, mais sont non exigibles à l'examen.
- Systèmes de points matériels; centre de masse
- Quantité de mouvement et ses théorèmes (+ principe de conservation)
- Chocs et collisions
- Moment de forces, moment cinétique et ses théorèmes (+ principe de conservation)
- Statique des solides indéformables : conditions d'équilibre
- Dynamique des solides indéformables : translation et rotation instantanées par rapport à un axe fixe
- Moment d'inertie et énergie cinétique de rotation par rapport à un axe fixe
- Forces centrales et conservation du moment cinétique-
- Loi de la gravitation universelle : aspects historiques, lois de Kepler, masse inertielle et masse gravitationnelle, champ de gravitation et lien avec la pesanteur
- Application des principes de conservation au problème à deux corps, dans le but d'insister sur le rôle du centre de masse.

Note : les sujets suivants ne seront pas traités :

Le théorème de Koenig.

Le mouvement de précession de l'axe de rotation.

Les trajectoires elliptiques des planètes (on pourra traiter l'approche énergétique, mais pas le calcul des trajectoires).

3 TP :

- Hydrostatique, principe d'Archimède
- Rebonds d'une bille lâchée sans vitesse initiale
- Pendule simple: oscillations libres amorties

MATHEMATIQUES 2 (9 ECTS)Algèbre

- espaces vectoriels
- applications linéaires
- résolution des systèmes d'équations linéaires
- matrices

- déterminants
- produit vectoriel

Analyse

- développements limités
- intégrales
- équations différentielles linéaires

METHODOLOGIE DE LA PHYSIQUE 2 (3 ECTS)

Objectif: travailler dans l'espace à 2D ou 3D avec les différents systèmes de coordonnées

Première partie: calcul vectoriel (suite) et systèmes de coordonnées *4-5 semaines*

A faire pour chaque système (cartésien, polaire/cylindrique, sphérique):

- Coordonnées, vecteurs unitaires, composantes, décomposition sur les vecteurs unitaires
- Passage d'un système de coordonnées à l'autre
- Calcul de produits scalaires et vectoriels après projection sur vecteurs unitaires
- Dérivées de vecteurs unitaires

Seconde partie : Intégration 1D sur des courbes/surfaces/volumes *4 semaines*

- Éléments de longueur, surface, volume infinitésimaux (coquilles sphériques, etc...)
- Calculs de longueurs, surfaces, volumes, par intégration 1D grâce aux symétries
- Calculs de masses et de moments d'inertie, par intégration 1D grâce aux symétries
- Calculs de forces résultantes (sommes de vecteurs infinitésimaux) par intégration 1D

Troisième partie : Fonctions de plusieurs variables

4 semaines

- Variations infinitésimales et dérivées partielles, application à l'étude de surfaces
- Vecteur déplacement et notion de gradient dans les différents systèmes de coordonnées
- Introduction aux intégrales doubles et triples

PROJET DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE (3 ECTS)

ANGLAIS/PP (3 ECTS)

OUTILS BUREAUTIQUE ET INTERNET (3 ECTS)

(éventuellement projet bibliographique?)

PHYSIQUE 3 (8 ECTS)

décomposé en 2 ECUE en série :

♦ **Physique de la lumière** (4 ECTS)

- Lois de la réfraction et applications (fibre optique, prisme, mirage, arc-en-ciel, rayon vert...)
- La notion d'objet, d'image, de système optique, images réelles et virtuelles, stigmatisme
- La vision par l'oeil (incluant éventuellement la sensation de couleur)
- Lentilles, construction et manipulation d'images
- Instruments pour enregistrer (appareil photo) ou observer (jumelle, microscope) une image
- Introduction au rayonnement thermique : origine, puissance, gamme spectrale, propriétés optiques des matériaux dans le visible et l'infrarouge, applications quotidiennes. Constitue également une introduction aux transferts d'énergie, pour transition avec l'ECUE suivante.

3 TP :

- réflexion/réfraction/réflexion totale
- relation objet-image
- construction d'un instrument avec deux lentilles

♦ **Flux et lois de conservation** (4 ECTS)*Ce cours se propose de traiter des équations bilans, et des flux de matière et d'énergie.*Première partie : flux de matière

3 semaines

Remarque : tout est traité à 1 D• **Écoulements**

- notion de champ de vitesse et densité de courant de matière $j_m = \rho v$
- conservation du débit (flux de j_m) sous forme globale et locale (équation de continuité)
- viscosité, courant proportionnel au gradient de pression \Rightarrow loi de Poiseuille
- applications: écoulement visqueux dans une canalisation, rétrécissements

• **Flux de particules chargées**

- notion de densité de courant électrique j_e , lien avec la magnétostatique
- conservation du courant électrique (flux de j_e) sous forme globale (loi des nœuds) et locale
- densité de courant j proportionnel au gradient de potentiel électrique \Rightarrow loi d'Ohm microscopique
- conductivité électrique, loi d'Ohm

• **Diffusion de molécules**

- Notion de densité de courant de molécules j_n
- conservation du nombre de molécules (flux de j_n) \Rightarrow équation de continuité
- coefficient de diffusion
- j_n proportionnel au gradient de concentration \Rightarrow première loi de Fick puis équation de la diffusion
- application 1D en régime stationnaire $j_n = D(n_1 - n_2) / L$ (on ne fait pas le régime transitoire)

Deuxième partie : flux d'énergie – exemple de l'énergie thermique

3 semaines

• **Introduction aux transferts thermiques**

- transfert thermique = transfert d'énergie cinétique désordonnée
- grandeurs: énergie thermique, température, chaleur, capacité calorifique, capacité thermique massique
- 3 modes de transfert : par convection, conduction, rayonnement
- flux de chaleur en général proportionnel aux différences de températures : résistance thermique
- bilans simples d'énergie thermique (températures d'équilibre, régimes transitoires...)

• **Conduction thermique (approche locale)**

- notion de densité de courant d'énergie (chaleur) j_q
- conservation de l'énergie thermique (flux de j_q) \Rightarrow équation de continuité
- coefficient de conductivité thermique
- j_q proportionnel au gradient de température \Rightarrow loi de Fourier puis équation de diffusion de la chaleur
- application 1D en régime stationnaire : $j_q = \kappa (T_1 - T_2) / L$

• **Bilans de rayonnement thermique**

- flux d'énergie émis (rappel σT^4), calculs d'ordres de grandeur
- application à l'éclairage solaire et à l'émission infrarouge des planètes. TD: calcul de la température d'équilibre de la surface d'une planète, avec éventuellement modèle ultra-simplifié d'atmosphère pour voir l'amplitude de l'effet de serre (environ 20-30K)

3 TP :

- Hydro : débit en fonction du gradient de pression (hydrostatique), en fonction de la viscosité
- Mesures de conductivité thermique : plaque de cuivre sur chauffelette, avec ou sans graisse pour la conduction, avec ou sans feuille de papier intercalée etc...
- et/ou manips variées avec plaque chauffante (conduction, convection, rayonnement)
- Mesures de capacité calorifique avec des vases Dewar / bilan thermique d'une bouilloire électrique ou d'un thermoplongeur

ÉLECTROMAGNETISME EN REGIME QUASI-STATIQUE (10 ECTS)

Savoir : Bases de l'électrostatique et de la magnétostatique dans le vide. Introduire les notions de capacité et d'induction/auto-induction pour préparer l'électrocinétique du S4.

Technique : Maîtriser les champs scalaires et vectoriels. Dériver et intégrer dans l'espace avec conditions aux limites. Fonctions à plusieurs variables.

Introduction

(1 semaine)

- Charges, champ électrique, loi de Coulomb, milieux conducteurs/isolants
- Potentiel électrostatique, lien avec la gravitation, gradient
- Distributions de charges, invariances et symétries (globales ou locales)

Champ et potentiel électrique

(5 semaines)

- Calculs directs dans très peu de cas simples (ex : dipôle)
- Flux et théorème de Gauss, applications (quelques cas seulement : fil, plan)
- Insister sur la forme locale du théorème de Gauss, résolution d'équa.diff.
- Calculs de potentiels pour des champs connus, et vice-versa
- Insister sur la forme locale (Laplace, Poisson), résolution d'équa.diff.

Les formules des opérateurs dans les différents systèmes seront données.

On ne traitera pas en TD l'énergie électrostatique totale d'un système chargé

Conducteurs en équilibre

(1 semaine)

- Position des charges et discontinuité de champ en surface
- Introduction à la notion de capacité (en préparation à l'électrocinétique du S4)
- Calcul de capacité uniquement pour les condensateurs plan et sphérique (cf TP)

Magnétostatique

(3 semaines)

- Distributions de courant, champs et forces magnétiques (Laplace, Lorentz), symétries
- Calculs de champs par la loi de Biot-Savart uniquement dans quelques cas simples (fil, spire circulaire)
- Symétries et calculs de champs magnétiques par le théorème d'Ampère
- Utilisation de la forme locale du théorème d'Ampère, résolutions d'équa.diff.

Induction/Autoinduction

(3 semaines)

- Force électromotrice dans un circuit fixe dans un champ magnétique variable : flux magnétique, loi de Faraday, loi de modulation de Lenz
- Force électromotrice dans un circuit se déplaçant/déformant dans un champ magnétique constant : flux coupé et application à la loi de Faraday
- Changement de référentiel.
- Auto-inductance d'une bobine (en préparation à l'électrocinétique du S4) ; mise en équation du haut-parleur.

5 TP d'électrostatique et magnétostatique (*matériel déjà disponible*)

TP1 : Force entre deux sphères chargées sous haute tension. (Coulomb)

Deux sphères reliées à un capteur de force sont chargées sous haute tension. On apprend à tracer dans les bonnes coordonnées afin que la vérification d'une loi se ramène à l'alignement de points expérimentaux. On voit que la théorie vue en cours ne fonctionne pas ce qui trouble beaucoup les étudiant-e-s.

TP2 : Capacité d'une sphère. (Musschenbroek)

Charge d'une sphère par contact d'une source HT. On utilise un Coulomb-mètre pour mesurer sa charge par influence. Montrer que la charge d'une sphère est proportionnelle à son potentiel de surface. Appréhender la notion de capacité. Comparer expérience/théorie (ici encore, le modèle est insuffisant, ce que l'étudiant-e doit comprendre).

TP3 : Loi de Laplace (Ampère)

Mesure de la force sur un cadre parcouru par un courant soumis à un champ magnétique, par un capteur de force. Apprendre utiliser un unique graphique pour étudier une loi (de Laplace ici) qui dépend de plusieurs variables (I , l , B). Lire la courbe de calibrage d'un électroaimant.

TP4 : Loi de Biot et Savart (Laplace)

Mesure du champ magnétique créé par une bobine plate, dans son plan médian. Ajustement de courbe non linéaire pour voir si la loi de Biot et Savart est vérifiée pour le calcul du champ sur l'axe. Faire l'approximation d'une intégrale curviligne par une somme discrète (pour vérifier expérimentalement le théorème d'Ampère).

TP5 Induction : Loi de Faraday (Faraday)

Induction par champ magnétique variable : une bobine parcourue par un courant induit une fém dans une autre bobine proche. Mesure de la tension dans la seconde bobine. observation à l'oscilloscope pour différentes formes d'ondes dans la première bobine. Test de la loi de Faraday.

TP6 : Révision

Cinq sujets faisables en une heure sont distribués aux étudiant-e-s. Il leur est donné la possibilité de préparer ces 5 sujets pendant les deux semaines de révision, en libre service.

Semaine 13 : examen de TP : Tirage au sort d'un sujet sur les cinq qui ont été préparés.

MATHEMATIQUES 3 (6 ECTS)

Algèbre

- Opérateurs linéaires
- Diagonalisation et triangulation d'opérateurs linéaires;
- Valeurs propres et vecteur propres

Analyse

- Suites
- Séries numériques et intégrales impropres
- Séries entières
- Systèmes différentiels

METHODOLOGIE DE LA PHYSIQUE 3 (3 ECTS)

Première partie: champs et opérateurs (en support du S3)

~ 7 semaines

- Gradient d'un champ scalaire, courbes iso, lignes de gradient
- Calculs de flux d'un champ vectoriel, lien avec opérateur divergence
- Calculs de circulation d'un champ vectoriel, lien avec opérateur rotationnel
- Manipulation d'opérateurs dans les différents systèmes de coordonnées

Seconde partie: nombres complexes et signaux périodiques (pour le S4)

~ 5 semaines

- Rappels sur les complexes, exponentielles complexes
- Solutions d'équations diff's linéaires homogènes grâce aux exponentielles complexes
- Solutions d'équations diff's linéaires avec second membre périodique
- Introduction à la notion de série de Fourier et à l'analyse spectrale

ANGLAIS (3 ECTS)

PHYSIQUE 4 (10 ECTS)

décomposé en 2 ECUE en série :

♦ **Electrocinétique** (4 ECTS)

Objectifs: Introduction de R , L , et C , et introduction à l'analyse fréquentielle et à l'utilisation des exponentielles complexes.

Circuits électriques

- Tension, Courant, Loi des Mailles, Loi des nœuds, Loi des mailles.
- Loi d'Ohm, Générateur idéal de tension, de courant. Résistance interne et générateur de Thévenin.
- Diviseur de tension, de courant, Théorème de Thévenin., Théorème de Millmann.
- Puissance instantanée.

Bobines et condensateurs

- Modélisation par une autoinductance pure et une capacité pure.
- Energie stockée.

Régimes transitoires

(On traitera préférentiellement le cas de l'ouverture d'un interrupteur, la réponse à un échelon étant plus complexe.)

- Relaxation de la charge dans un circuit RC, du courant dans un circuit RL. Constante de temps. Interprétation en termes énergétiques. Processus sans mémoire (tout dépend de la condition initiale).
- Relaxation de la charge aux bornes d'un condensateur dans un circuit RLC. Universalité de l'équation du second ordre (cf. mécanique masse/ressort/amortisseur). Introduction du facteur de qualité et de la pulsation propre comme grandeurs caractéristiques de l'équation. Typologie des solutions (pseudo-périodique/critique/suramorti).

Régime sinusoïdal permanent

- Circuit du premier ordre (RC passe bas, RL passe haut), sans notations complexes. Amplitude et déphasage.
- Introduction de la résolution en notation complexe. Résolution du RC avec les notations complexes. Notion d'impédance complexe.
- Puissance en complexes : attention !
- Circuit RLC série en complexes : résonance avec surtension aux bornes de la capacité. Universalité des solutions.
- Circuits divers : résolution en complexe. Notion de filtre. Diagrammes de Bode.

Régime quelconque

(Il s'agit ici juste d'une introduction de principes)

- Etablissement d'un régime : réponse à un échelon (régime stationnaire), à un train d'onde (établissement du régime sinusoïdal et battements).
- Montrer que si l'on connaît le régime transitoire, on peut par convolution (théorème de superposition) déduire toute réponse. Idée de fonction de Green (comme en électrostatique superposition des potentiels créés par une distribution de charges).

5 TPTP1 : Décharge d'un supercondensateur

Décharge d'un supercondensateur (capacité de l'ordre du farad) dans une résistance. Mesure d'une loi de relaxation avec un chronomètre. Utiliser un diagramme lin/log. Faire une régression linéaire pour en déduire la constante de temps, avec son incertitude. Confronter ses résultats aux autres groupes pour vérifier si $\tau=RC$ aux incertitudes expérimentales près.

TP2 : Régime transitoire d'un circuit RLC (partie 1/2)

Régime transitoire d'un circuit RLC, excité par une tension en créneaux d'un GBF. Tout est réglé de façon à voir un régime pseudopériodique uniquement. Réglage de la période des créneaux. Mesure de la tension aux bornes de la capacité. Acquisition à l'ordinateur. Exploitation de courbe pour en déduire pseudo-pulsation et facteur de qualité (*régression non-linéaire sous Matlab*). Vérification de la justesse de la modélisation du second ordre, et des paramètres prédits (attention à inclure la résistance de sortie du GBF).

TP3 : Régime transitoire d'un circuit RLC (partie 2/2)

Étude du même circuit, mais cette fois-ci en faisant varier la résistance. Étude de la variation de la pseudo-pulsation et du facteur de qualité en fonction de la résistance. Mise en évidence des trois régimes. Détermination du facteur de qualité en réglant le régime critique.

TP4 : Résonance d'un circuit RLC

Étude du même circuit (avec bon facteur de qualité), mais cette fois-ci en régime sinusoïdal. Mesure de la tension aux bornes de la capacité. Tracer la courbe de résonance expérimentale, et y ajuster les prédictions théoriques. Faire de même pour le déphasage.

TP5 : Filtre passe-haut et passe-bas

Étude du circuit RC en régime sinusoïdal, dans le cas du passe-bas et du passe-haut. Mesure de l'amplitude et de la phase de la fonction de transfert. Tracé du diagramme de Bode avec Matlab. Application au redressement.

TP6 : Agrégation (révisions)

Deux sujets faisables en une heure sont distribués aux étudiant-e-s. Il leur est donné la possibilité de préparer ces 2 sujets pendant la semaine de révision.

Semaine 7 : examen de TP

Tirage au sort d'un sujet sur les deux qui ont été préparés. Passage individuel sans aide en une heure pour valider l'acquisition des compétences expérimentales enseignées.

◆ Ondes et vibrations (6 ECTS)

- Oscillateurs simples (rappels)
- Oscillateurs harmonique : régime libre et forcé (rappels), espace des phases
- Oscillateurs à plusieurs degrés de liberté
- Chaînes d'oscillateurs : monoatomique et diatomique, de la chaîne discrète au continuum
- Ondes, équation de propagation (corde vibrante, guide d'onde, vitesse de groupe, lignes électriques, impédance caractéristique, onde élastique longitudinale dans une barre)
- Ondes acoustiques dans un fluide (propagation d'une onde plane, équation de propagation, aspects énergétiques, impédance acoustique, propagation dans les tuyaux)

6 TP (les 5 premiers : actuels en L3-PMA)

- Le pendule simple (anharmonicité, frottements solides et fluides, portrait de phase)
- Autres oscillateurs à 1 degré de liberté en régime libre et forcé : le pendule simple accroché à deux ressorts, le circuit (R)LC, la bouteille de Helmholtz
- Oscillateurs à 2 degrés de liberté en régime libre et forcé (couplage des 3 oscillateurs précédents)
- Modes propres et Ondes stationnaires (tuyau acoustique, ondes sur une chaîne de 5 pendules, ondes transverses sur une corde)
- Ondes progressives, réflexion, amortissement (ondes ultrasonores, ondes électriques dans câbles coaxiaux)
- Acoustique musicale avec introduction à l'analyse de Fourier (*mais thème non traité en cours*)
- Révisions et Examen de TP

PHYSIQUE NUMERIQUE (8 ECTS)

L'objectif de ce cours est triple : acquérir des connaissances de base en programmation, en résolution de problèmes en physique numérique et ensuite initier les étudiants aux bases de la simulation numérique. Pour cela les étudiants développeront (en partie seulement) et utiliseront un code de simulation de dynamique moléculaire pour explorer la transition entre un système particulière discret et la thermodynamique. Le langage utilisé sera le PYTHON.

décomposé en 2 ECUE, en série:

◆ Algorithmique et programmation (5 ECTS)

Note : Les TP pourront s'étaler sur plusieurs séances, donc on peut encore les étoffer au besoin par rapport à la proposition ci-dessous.

- 1) Prise en main de la machine sous UNIX, calculs élémentaires en interactif, aspects graphiques simples, lien avec Matlab (qui est utilisé en TP).
- 2) Variables, opérations, mode interactif et mode exécuté, modules.
- 3) Structures de contrôle du langage.
TP1 : Mon premier programme : résolution d'une équation du 2nd degré, calcul d'une suite numérique (suite de Fibonacci ?), affichage du résultat, diagramme de bifurcation de la suite (très joli !)
- 4) Notion de tableaux, indices, Librairies scientifiques : application au calcul vectoriel.
TP2 : Tracer l'ensemble de Mandelbrot ou un fractal, type ensemble de Julia (\Leftrightarrow domaine de convergence d'une suite)
- 5) Introduction aux méthodes numériques : Outils de base : Calcul du Zéro d'une fonction (méthode de bisection), calcul du minimum d'une fonction (descente de gradient et encadrement du minimum à 3 points).
TP3 : Mettre en œuvre la méthode de Newton, résoudre $F(x)=0$ dans un cas particulier.
TP4 : Ajuster une fonction au sens des moindres carrés, minimiser le χ^2 (Un peu de traitement de données
Exemple : décroissance radioactive, courbe de température et détermination d'une capacité calorifique ... ou autre)
- 6) Résolution des Equations différentielles ordinaires : principes, intégrateur d'Euler, ordre d'un intégrateur, solveurs d'ordres élevés, intégrateurs explicites, RK4
TP5 : mouvement des planètes autour du Soleil, ou mouvement de quelques molécules (conditions périodiques)

7) Bases de statistiques (notions d'estimateurs ddp, fdr, histo...) et construction de générateurs aléatoires. Introduction aux méthodes Monte Carlo. Exemple du calcul intégral.

TP 6 : Mise en œuvre d'une méthode Monte Carlo : Calcul d'une intégrale, détermination de π ou autre.

◆ Simulations : de la mécanique à la physique statistique (3 ECTS)

Objectif: traiter les notions élémentaires de physique statistique par la simulation numérique, en programmant la simulation et les mesures, avec un petit nombre de particules. Permet d'illustrer les concepts appris en "Algorithmique et programmation".

Les étudiants vont mettre en œuvre un programme de dynamique moléculaire et explorer le passage progressif d'un système discret de particules à l'apparition progressive d'un système thermodynamique.

Pour cela, on leur mettra en main un "squelette" de programme (une structure générale avec plusieurs fonctions déjà programmées) qu'ils devront améliorer et compléter pour calculer l'évolution thermodynamique d'un ensemble de particules. Ils apprendront à mettre en œuvre un outil de simulation numérique à "prendre une mesure" dans le système numérique (une "expérience" numérique), à visualiser les résultats et à commenter cela physiquement. Pour bâtir ce squelette, l'équipe enseignante pourra s'inspirer de :

<http://www.fisica.uniud.it/~ercolessi/md/>

<http://dirac.cnrs-orleans.fr/MMTK/using-mmtk>

<http://stp.clarku.edu/simulations/>

Dans le code, les étudiants devront implémenter (1) le calcul du mouvement et (2) le calcul des forces 2 à 2.

Note : On pourra étudier 2 types d'interactions (conservatives) entre particules : soit des collisions de types sphères dures, soit une force d'interaction dérivant du potentiel de Lennard-Jones.

Pour éviter la notion de "boîte" et le traitement explicite des parois, les particules pourront se déplacer dans un espace périodique 3D, de volume élémentaire V . Les simulations seront donc faites à énergie constante et la densité sera N/V où N est le nombre de particules dans le volume élémentaire.

1) présentation du code : structure, variables, architecture du programme : où se calcule le mouvement, où sont traitées les collisions (type « sphères dures » ou « ressort » ou autre).

2) utilisation du code : coder le calcul du mouvement : Résoudre l'équation du mouvement avec un intégrateur adhoc (RK4, Verlet , Leap-Frog ?) en négligeant les collisions => Vérification de la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement dans le système.

3) Prendre une mesure dans le système : comment faire une mesure "numérique", comment définir la valeur moyenne et les barres d'erreur. Mesurer l'Energie cinétique, l'énergie potentielle, visualiser les résultats, notion d'estimateur.

4) Mise en place des interactions 2 à 2 : collisions type conservatives, soit "sphères dures", soit un potentiel de Lennard-Jones. Tests de validité du code à l'aide d'un paramètre de contrôle : Vérification de la conservation d'énergie et de la quantité de mouvement. Choix d'un pas de temps adapté

5) Expérience numérique: Mise en évidence du mouvement brownien, notion de libre parcours moyen, diffusion d'une particule dans le système

6) Notion microscopique sur la température (rappel sur la notion de distribution de vitesses dans un gaz), notion d'ergodicité => mesurer la température dans le système et la relier au bilan énergétique

7) Notion microscopique de pression, mise en place d'un dispositif numérique pour mesurer la pression (la relier au flux de quantité de mouvement à travers un paroi fictive) => mesurer la pression dans la simulation

8) Notion d'équation d'état => détermination de $P(T)$ (en réduisant la taille du système ou l'énergie initiale du système).

MATHEMATIQUES 4 (6 ECTS)

Algèbre

- Espaces euclidiens
- Formes quadratiques,

Analyse

- Intégrales multiples
- Intégrales à paramètres
- Courbes et surfaces
- Formes différentielles

- Séries de Fourier

LES METIERS DE LA PHYSIQUE (3 ECTS)

Ces cours couvriront les grands thèmes de recherche de notre UFR ainsi que le métier de chercheur et d'enseignant-chercheur.

UE LIBRE (3 ECTS)

Les semestres S5 et S6 se construisent comme l'aboutissement de la Licence avec l'initiation à la recherche (Phy.ex. et stage) et une introduction à la physique du 20^{ème} siècle.

ELECTROMAGNETISME ET OPTIQUE ONDULATOIRE (8 ECTS)

- Equations de Maxwell dans le vide [lien avec S3], 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

5 TP (TP actuels) :

TP1 : Interférence par fentes d'Young et réseau

TP2 : Interféromètre de Michelson

TP3 : Interféromètre de Fabry Pérot et laser

TP4 : Diffraction et spectroscopie

TP5 : Optique de Fourier, filtrage

MATHEMATIQUES 5 (5 ECTS)

Analyse complexe

- fonctions analytiques et transformations conformes
- singularités, pôles et zéros des fonctions analytiques
- intégration dans le plan complexe; théorème de Cauchy
- développement en série; séries de Taylor et de Laurent
- Théorème des résidus et applications

Espaces linéaires

- espaces vectoriels linéaires
- espaces euclidiens et espaces de Hilbert

APPROCHE LAGRANGIENNE ET RELATIVITE RESTREINTE (5 ECTS)

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

UE LIBRE (3 ECTS)

ANGLAIS (3 ECTS)

PHYSIQUE CONTEMPORAINE (6 ECTS)

(pour le groupe 1 en alternance avec le groupe 2)

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

• **Découverte de la physique contemporaine** (3 semaines pour chaque thème)

1) 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...).

2) 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.

3) 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.

4) 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 TP : Approche expérimentale de la physique contemporaine**

- Etude des muons cosmiques et mesure de c
- Mesure de la constante de Rydberg
- Mesure du nombre d'Avogadro
- L'effet photoélectrique
- Mesure de kT

MECANIQUE QUANTIQUE (8 ECTS)*Tome 1 du Cohen*

- Introduction : pourquoi la MQ ? Instabilité de l'atome classique. Corps noir. Chaleur spécifique des gaz à basse température. Expérience d'Young. Effet photoélectrique.
- Dualité onde/corpuscule, relation d'incertitude, révision de la notion de trajectoire. Objet quantique : action et quantum d'action.
- Postulats de la MQ.
- Application 1 : particule libre. Paquet d'ondes, propagation, étalement.
- Application 2 : particule dans un puits de potentiel. Etats stationnaires. Marche de potentiel, puits infini, diffusion par un atome etc.
- Application 3 : effet tunnel. Exemple : désintégration alpha.
- Application 4 : oscillateur harmonique I. Spectre d'énergie. Etats stationnaires. Exemple : vibrations d'une molécule diatomique.
- Opérateurs et commutateurs. Image matricielle des opérateurs. Algèbre linéaire. Espace de Hilbert. Relation d'incertitude.
- Application 5 : système à 2 niveaux. Exemples : Molécule d'ammoniac, oscillations de neutrinos.
- Application 6 : oscillateur harmonique II. Opérateurs de création et d'annihilation. OH a 3 dimensions. Dégénérescence. Exemples : phonons.

THERMODYNAMIQUE ET INTRODUCTION A LA PHYSIQUE STATISTIQUE (8 ECTS)1) Généralités, premier principe

- Etats d'un système: états d'équilibre, équations d'état, paramètres intensifs et extensifs
- Transformations irréversibles, quasi-statiques, réversibles
- Premier principe, énergie interne, travail et échanges de chaleur
- Application au gaz parfait

2) Entropie et second principe

- Machines thermiques, cycle de Carnot, nécessité d'un second principe
- Entropie, température thermodynamique, énoncé moderne du second principe
- Rendements d'une machine thermique, moteurs et machines frigorifiques

3) Changements de phase du corps pur

- Représentation en paramètres P, T et P, V des états du corps pur
- Point triple, point critique
- Coefficients calorimétriques, relations de Clapeyron

4) Aspects microscopiques et introduction à la physique statistique

- Théorie cinétique des gaz, libre parcours moyen
- Equations de diffusion, équation de Boltzmann, distribution de Maxwell des vitesses
- Postulat fondamental de la physique statistique, ergodicité, équiprobabilité des micro-états
- Entropie comme mesure du "désordre", flèche du temps, entropie microcanonique

STAGE (3 ECTS)

Il s'agit d'un stage d'initiation aux métiers de la physique, d'une durée de 5 semaines.

PROJET DE PHYSIQUE EXPERIMENTALE (6 ECTS)

(2 TP / semaine)

*(pour le groupe 2 en alternance avec le groupe 1)***MATHEMATIQUES 6 (5 ECTS)**Espaces linéaires (suite)

- fonctionnelles linéaires et distributions

- Espace de Hilbert continu 1D, lien avec ondes et transformée de Fourier, paquet d'onde
- Série de Fourier, Transformées de Laplace et de Fourier

Probabilités et statistiques

- Statistique descriptive 1D, distributions, moments, représentations graphiques
- Statistique descriptive 2D, covariance, coefficients de corrélation, variables indépendantes
- Introduction à la théorie des probabilités : axiomes, calcul combinatoire, variables aléatoires
- Lois discrètes et lois continues (exemples : Bernoulli, Binomiale, Poisson, Gauss,...)
- Théorèmes fondamentaux
- Introduction à l'inférence statistique; intervalles de confiance et tests d'hypothèses
- Ajustement et régression linéaire, maximum de vraisemblance, moindres carrés