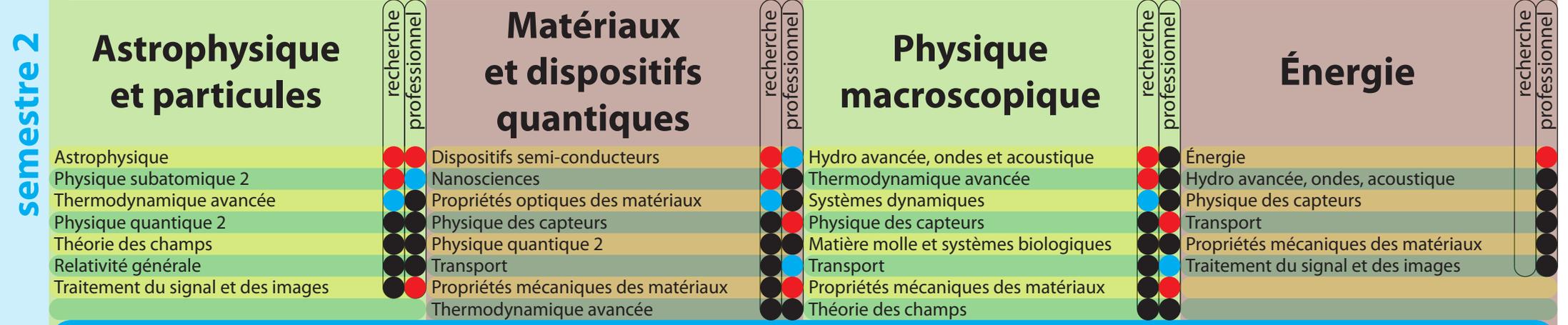
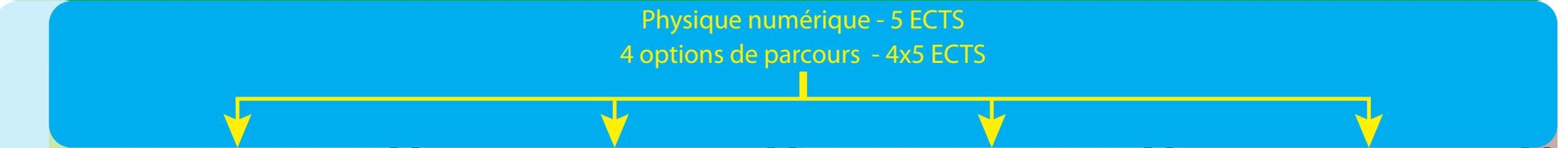
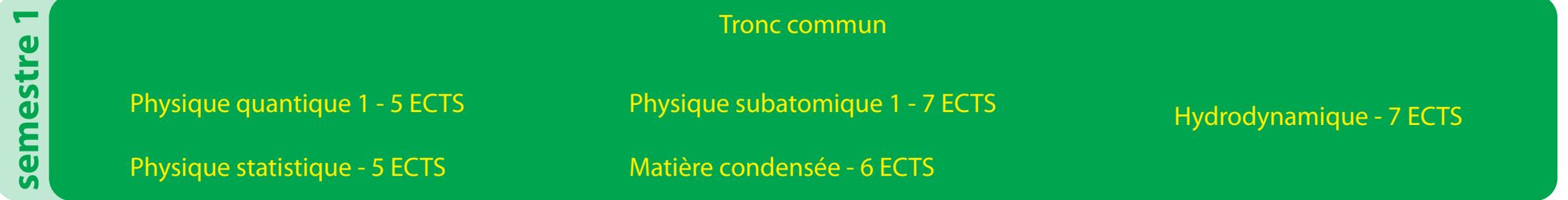




Maquette de Master 1 2014-2018

(version de synthèse)



● fortement conseillé ● conseillé ● optionnel

Semestre 1

Tronc commun

Physique Quantique 1 (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

1. Rappels (oscillateur harmonique...)
2. Particules identiques, anti-symétrisation
3. Invariance par rotation et moment cinétique. Somme de moments cinétique (règles sans démonstration (voir MQ2))
4. Atome d'hydrogène
5. Théorie des perturbations stationnaires
6. Théorie des perturbations dépendant du temps, règle d'or de Fermi.
7. Le spin : l'expérience de Stern-Gerlach, la précession de Larmor, la résonance, l'expérience de Rabi.

Physique Statistique (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

1. Rappel ensemble microcanonique
 - a. Entropie
 - b. Température
 - c. Forces généralisées
2. Ensemble canonique
 - a. Fonction de partition - énergie libre
 - b. Equipartition de l'énergie
 - c. Applications : gaz réels (Viriel)-électrolytes
3. Ensemble grand-canonique
 - a. Réservoir - Potentiel chimique
 - b. Grande fonction de partition - Grand potentiel
4. Introduction aux statistiques quantiques
 - a. distribution de Bose-Einstein
 - b. distribution de Fermi-Dirac

Hydrodynamique (7 ECTS) C35%–TD35%–TP35%

1. Hypothèse de continuité.
2. Cinématique (Euler-Lagrange, théorème de transport).
3. Lois de conservations (Quantité de mouvement, Énergie).
4. Dynamique (Tenseur des contraintes, Viscosité, Navier Stokes, équation de la vorticité, Conditions aux limites, Similitude).
5. Écoulements visqueux.
6. Écoulements inertiels.
7. Couches limites.

8. Travaux pratiques : Hydrodynamique (TPs du L3 actuel)
 - a. Loi de Poiseuille
 - b. Loi de Stokes
 - c. Frottement turbulent
 - d. Rhéomètre et couette plan
 - e. Ressaut hydraulique
 - f. Cellule de Hele-Shaw, écoulement plan autour d'un cylindre (visualisation des lignes de courant avec injection de colorant)

Physique subatomique 1 (7 ECTS) C40%–TD30%–TP30%

1. Rappels et notions de bases
 - a. Ordres de grandeur.
 - b. Notion de section efficace.
 - c. Éléments de structure du noyau : charge, rayon, masse (avec formule empirique de Bethe-Weiszacker)
 - d. Le modèle du gaz de Fermi
2. Stabilité du noyau
 - a. Désintégrations radioactives : émission gamma, émission alpha, désintégration beta, capture électronique.
 - b. Méthodes de mesure des constantes de désintégration, avec applications de chronologie géologique.
 - c. Fission
3. Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire.
 - a. Les neutrons : Sources ; Ralentissement, diffusion ; Réactions de fusion.
 - b. Réactions à chaîne ; Contrôle, modération.
 - c. Le cycle du combustible.
 - d. Types de réacteurs.
 - e. Questions de sûreté. Ordres de grandeur.
4. Physique des particules
 - a. Existence des particules et de leurs antiparticules, en particulier, électron et positron.
 - b. Panorama rapide des particules élémentaires
 - c. Interactions fondamentales : ordres de grandeurs de durées de vie et sections efficaces, messagers.
 - d. Interaction électromagnétique : le photon en tant que messenger, lois de conservation.
 - e. Interaction forte : du noyau aux quarks : existence de hadrons et leurs nombres quantiques, les quarks, existence du nombre quantique de couleur.
 - f. Interaction faible: exemples a travers la non conservation de l'étrangeté dans l'interaction faible.
 - g. Classification en particules élémentaires, leptons et quarks.
5. Travaux pratiques
 - a. Interaction des photons avec la matière.
 - b. Observation de la raie d'annihilation électron-positron dans le cas d'une

- source de ^{22}Na .
- c. Mesure d'efficacités de détection et d'activités de désintégration.
- d. Mesures de section efficace d'interaction plomb-photon, cuivre-photon, aluminium-photon.
- e. Étude des corrélations angulaires dans le cas de l'annihilation électron-positron et de la désintégration d'un noyau de ^{22}Na .
- f. Observation de l'existence des muons cosmiques par coïncidence entre deux détecteurs, spectre d'énergie déposée.

Matière condensée (6 ECTS) C40%–TD40%–TP20%

1. Structures cristallines
 - a. réseau, symétrie, maille, motif, réseau réciproque, zone de Brillouin
 - b. Vibration dans les réseaux, courbe de dispersion, vitesse du son, fréquence de coupure, chaleur spécifique.
 - c. Structure des liquides homogènes. Description statistique, facteur de structure, facteur de forme. Facteur de forme d'objets complexes, lien avec la dimension fractale.
2. Magnétisme
 - a. Fondements du magnétisme, ordres magnétiques
 - b. Domaines magnétiques, Micromagnétisme
3. Gaz d'électrons libres
 - a. Conductivité des métaux. Modèle de Drude
 - b. Effet Hall, magnéto-résistance et conductivité AC
 - c. Théorie de Sommerfeld des métaux: densité d'état, statistique de Fermi-Dirac et application aux propriétés thermiques
4. Structure de bandes
 - a. Le potentiel cristallin, approximation des électrons presque libres. Notion d'écrantage.
 - b. Modèle des liaisons fortes
 - c. Distinction isolant-conducteur
5. Semi-conducteurs
 - a. Conductivité des semi-conducteurs, régimes intrinsèque (application :sonde de température) et extrinsèque (dopage n et p).
 - b. Jonction p-n
6. Travaux Pratiques
 - a. Transport électronique dans les solides: loi de Bloch-Gruneisen dans les métaux et loi activée dans les semiconducteurs intrinsèques
 - b. Effet Hall
 - c. Propriétés optiques des métaux et semi-conducteurs: mesures d'absorption et de réflectivité.
 - d. Spectroscopies des Phonons

Semestre 2 :

Cours obligatoire:

Physique numérique (5 ECTS) C10%–TD0%–TP90%

Projet numérique sur un sujet en lien avec une des options de second semestre choisies par l'étudiant. Les étudiants auront accès à une bibliothèque de photocopies et/ou ouvrages de référence sur les langages de programmation et les méthodes numériques.

1. Cours introductif à certaines des méthodes numériques utilisées dans les projets.
Par exemple
 - a. Typologie des équations aux dérivées partielles : Différences finies, Méthodes spectrales, Équation de diffusion, Équation de propagation
 - b. Méthode Monte-Carlo, Métropolis, bilan détaillé...
2. Projet en lien avec les options choisies. Par exemple
 - a. Traitement de données de physique sur accélérateur (grille de calcul)
 - b. Traitement d'image appliquée à l'astrophysique
 - c. Utilisation de bases de données liées à l'astrophysique
 - d. détection de particules
 - e. modélisation de la propagation de rayons cosmiques dans une galaxie
 - f. modélisation de disques d'accrétion.
 - g. Stabilité des systèmes planétaires (non-linéaire)
 - h. Rebond d'une bille sur un plateau oscillant (non-linéaire)
 - i. Le problème des rossignols de la Pampa: synchronisation d'oscillateurs de van der Poll
 - j. Acoustique dans un milieu hétérogène (dynamique moléculaire masses-ressorts)
 - k. Plissement d'une poutre élastique dans un milieu confiné (élasticité)
 - l. Étalement d'un dôme de lave (équations de lubrification, diffusion non-linéaire)
 - m. Modélisation d'une rivière (équation de Saint-Venant, équations propagatives).
 - n. Transition de phase en Monte-Carlo
 - o. Chaîne polymérique en Monte-Carlo
 - p. Acoustique instrumentale
 - q. Étude de la propagation d'ondes à la surface d'un liquide,
 - r. Équation de Schrödinger non linéaire
 - s. Dispersion d'un paquet d'onde en mécanique quantique
 - t. Problèmes de physique quantique à 1 corps: localisation de Anderson (diagonalisation de matrices avec entrées aléatoires, Hofstadter butterfly), potentiels périodiques et ondes de Bloch.
 - u. Matrice de transfert en physique Statistique et Quantique,
 - v. Monte Carlo variationnel pour des molécules simples (H2).
 - w. Écoulements en milieu diphasique

- x. Potentiel vent (éolien)
- y. Potentiel solaire (photovoltaïque).

4 options à choisir

Pour être suivies, certaines options nécessitent un niveau minimum dans des modules antérieurs (premier semestre de M1 ou L). Ceux-ci apparaissent comme « prérequis ».

Physique Quantique 2 (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi le module « Physique Quantique 1 » du 1er semestre pour suivre cette option.

1. Somme de moments cinétiques, coefficients de Clebsch-Gordan
2. Atome multi-électronique : règles de Hund et couplage spin-orbite
3. Méthodes d'approximation pour la solution de l'équation de Schrödinger
 - a. méthode variationnelle.
 - b. émission et absorption de radiation (potentiel oscillant).
4. Matrice densité, états purs et états mélange
5. Introduction à l'intrication
6. Collisions

Thermodynamique avancée (5 ECTS) C50%–TD40%–TP10%

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi le module « Physique Statistique » du 1er semestre pour suivre cette option.

1. Gaz parfaits quantiques
 - a. Gaz de Fermi
 - b. Gaz de Bose
 - c. Gaz de photons
2. Transitions de phase
 - a. Modèle de Landau-Ginzburg
 - b. Approximations de champ moyen (transition liquide/gaz)
 - c. Modèle d'Ising.
3. Thermodynamique des mélanges
 - a. Définitions (variance, concentration, quantités partielles, exemple du mélange idéal de gaz parfaits)
 - b. Mélanges binaires (solutions diluées, pression osmotique, lois de Raoult)
 - c. Diagrammes d'état d'un mélange binaire (solution idéale, solution régulière, distillation fractionnée, démixtion, azéotropes)
4. Processus irréversibles
 - a. Fluctuations, irréversibilité
 - b. Approche macroscopique pour les systèmes faiblement hors d'équilibre (Affinité et flux, régime linéaire -Fick Fourier et Ohm-, relations

- d’Onsager, effets thermoélectrique...)
- c. Théorie cinétique : équation de Boltzman.
- d. Mouvement Brownien, diffusion, et équation de Langevin.
- 5. Travaux pratiques
 - a. calorimétrie
 - b. transition ferro-para

Physique subatomique 2 (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi les modules « Physique Subatomique 1 » et « Physique Quantique 1 » du 1er semestre pour suivre cette option.

1. Modèles nucléaires :
 - a. modèle en couches
 - b. spectres gamma et règles de sélection
 - c. modèles collectifs
2. Rappels de cinématique relativiste.
3. Symétries discrètes (parité, conjugaison de charge, renversement du temps) et lois de conservation.
4. Nombres quantiques internes
 - a. étrangeté, isospin
 - b. oscillations des mésons K neutres
 - c. multiplets de hadrons
5. Modèle des quarks
 - a. symétrie SU(3) de saveur
 - b. SU(3) de couleur, gluons
 - c. preuves expérimentales de l’existence des quarks et des gluons
 - d. diffusion profondément inélastique, facteurs de forme
 - e. introduction à la QCD
6. Les interactions faibles :
 - a. violation de la parité, expérience de Mme Wu, désintégration du pion charge
 - b. hélicité du neutrino, expérience de Goldhaber
 - c. désintégrations faibles des hadrons
 - d. angle de Cabibbo, mécanisme GIM, découverte du J/psi
 - e. troisième famille de quarks, découverte, matrice CKM
 - f. les bosons W,Z et leur découverte
7. Introduction au Modèle Standard :
 - a. Invariance de jauge U(1), théories de jauge local, SU(2)xU(1)
 - b. brisure spontanée de symétrie : le mécanisme de Higgs.
8. Questions actuelles
 - a. Recherche du boson de Higgs
 - b. Oscillations de saveur des neutrinos
 - c. Liens entre physique des particules et cosmologie
9. Interaction rayonnement - matière et son exploitation pour la détection

- a. Interaction des particules chargées : diffusion Rutherford, perte d'énergie par collision et par ionisation (formule de Bethe-Block), radiation de freinage.
- b. Interaction des photons : effet photo-électrique, diffusion Compton, création de paires.
- c. Exemples d'appareillages pour l'imagerie médicale.

Hydrodynamique avancée, ondes et acoustique (5 ECTS) C40%–TD30%–TP30%

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi le module « Hydrodynamique » du 1er semestre et le module « Ondes » de la licence pour suivre cette option.

- 1. Capillarité et tension de surface.
- 2. Lubrification.
- 3. Vorticité et dynamique des tourbillons.
- 4. Instabilités et turbulence.
- 5. Ondes de surface
- 6. Ondes acoustiques
- 7. Ondes internes
- 8. Travaux pratiques:
 - a. Ascension capillaire. Loi de Jurin + stalagmométrie
Tensiomètre: lame de Wilhelmy
 - b. Instabilités hydrodynamiques
 - c. Cuve à onde: ondes capillaires/ondes de gravité.
 - d. Mesures de vitesses du son dans un fluide (mélange eau/éthanol)
 - e. Propagation d'ondes guidées (guide fluide)

Nanosciences (5 ECTS) C40%–TD20%–TP40%

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi les modules « Matière Condensée » et « Physique Quantique 1 » du 1er semestre pour suivre cette option.

- 1. Sondes à l'échelle nanométrique
 - a. Principes de l'AFM/STM
 - b. Microscopie électronique
- 2. Physique mésoscopique et confinement quantique
 - a. Transport électronique dans les conducteurs de basse dimension: régimes ballistiques et diffusifs.
 - b. Nanostructures: puits et points quantiques
- 3. Travaux pratiques
 - a. Propriétés optiques des puits quantiques : photoluminescence et absorption
 - b. Microscopies électroniques : TEM/MEB
 - c. Microscopie à effet tunnel: STM
 - d. Microscopie à force atomique
 - e. Microscopie à force magnétique

Dispositifs Semiconducteurs (5ECTS) C55%-TD30%-TP15%

option mutualisé avec l'EIDD

prérequis : il est conseillé d'avoir réussi le module « Matière Condensée » du 1er semestre pour suivre cette option.

1. Briques de base pour les dispositifs
 - a. Électronique des semiconducteurs
 - b. Contacts métal-semiconducteur
 - c. Jonction pn
 - d. Courants dans la jonction pn
 - e. Hétérojonctions et puits quantiques
 - f. Transistor bipolaire
 - g. Jonction MOS (métal-oxyde-semiconducteur)
 - h. Transistor MOSFET

 - i. Rappels d'optique des semiconducteurs
2. Photodétecteurs
 - a. Photodiodes Schottky, pn et pin
 - b. Photodétection : bande, bruit, figures de mérite
 - c. Photodiodes à avalanche, compteurs de photons
 - d. Cellules solaires, détecteurs photovoltaïques
 - e. Photoconducteurs, caméras CCD (charge-coupled-device)
 - f. Détecteur à puits quantiques
3. Travaux Pratiques
 - a. Émetteur et récepteur en optoélectronique
 - b. Pompage et modulation de la puissance de sortie d'une diode Laser par un courant. Application à la transmission analogique d'un son par voie optique
 - c. Étude de la longueur d'onde d'émission de la diode en fonction du courant de pompage et de la température à l'aide d'un spectromètre à réseau et d'une barrette CCD

Astrophysique (5 ECTS) C50%–TD20%–TP30%

1. Planétologie : problème à deux corps, Résonance spin-orbite, Mouvements des planètes. Mouvements séculaires, Précession. Mouvement chaotique des obliquités
2. Base du transfert radiatif
 - a. Équilibre thermique dans la matière et dans le rayonnement
 - b. Processus atomiques : les coefficients A et B
 - c. Théorie élémentaire de la diffusion
3. Structure et évolution des étoiles
 - a. Diagramme de Hertzsprung-Russel.
 - b. Structure et évolution sur la séquence principale.
 - c. Transformations thermonucléaires.

- d. Phases tardives de l'évolution stellaire.
- e. Supernovae de type II.
- 4. Physique des objets compacts
 - a. Naines blanches, étoiles à neutrons, trous noirs.
 - b. Étoiles binaires à rayons X et disques d'accrétions.
- 5. Galaxies et matière noire
 - a. Morphologie des galaxies.
 - b. Structure et dynamique des galaxies.
 - c. Halos galactiques, amas de galaxies.
- 6. Cosmologie
 - a. Loi de Hubble et récession des galaxies.
 - b. Structure à grande échelle de l'Univers.
 - c. Formation des galaxies.
 - d. Physique de l'Univers primordial
- 7. Travaux pratiques "cw'ej qlz"<
 - a. Initiation à l'observation astronomique sur télescopes (OBSPM)
 - b. Mesure de la température du fond cosmologique à 10 GHz
Mesure du diamètre du Soleil avec un interféromètre radio

Traitement du signal (5 ECTS) – C30%–TD0%–TP70%

Enseignement essentiellement pratique (sur ordinateur)

- 1. Signaux déterministes.
 - a. outils d'analyse des signaux déterministes à temps continu, Transformée de Fourier analogique, observation spectrale en analogique déterministe, produit BT (vision signal de l'inégalité de Heisenberg).
 - b. notion de système linéaire invariant par translation. Réponse impulsionnelle, fonction de transfert, filtrage par un système.
 - c. Procédure d'échantillonnage, théorème de Shannon-Nyquist-Whittaker, échantillonnage pratique, quantification.
 - d. outils d'analyse des signaux déterministes à temps discret, Transformée en Z, Transformée de Fourier à temps discret, temps et fréquences discrètes, transformée de Fourier rapide, observation spectrale en numérique déterministe (distinction précision / résolution).
 - e. filtres numériques (IIR/FIR, synthèse de filtres) .
- 2. Signaux aléatoires
 - a. concepts de base, stationnarité.
 - b. Corrélation, densité spectrale de puissance.
 - c. Prédiction linéaire, modélisation AR / ARMA.
 - d. Introduction à la théorie de la détection et de l'estimation.

Propriétés mécaniques des matériaux (5 ECTS) C40%–TD30%–TP30%

- 1. Introduction

- a. Notion de milieu continu
- b. Rappels (ou compléments) de mécanique des solides indéformables (statique essentiellement).
- 2. Comportement des matériaux
 - a. Élasticité (loi de Hooke, Module d'Young, coefficient de Poisson), visco-élasticité, plasticité (limite élastique, fluage), rupture
 - b. Liens avec l'échelle microscopique (matériaux cristallin - polycristallins - amorphes - polymériques)
- 3. Déformations
 - a. Tenseur des déformations
 - b. Directions principales
 - c. Limite des petites déformations
- 4. Contraintes
 - a. Tenseur des contraintes
 - b. Directions principales
 - c. Conditions aux limites
- 5. Élasticité linéaire
 - a. Loi de Hooke tensorielle
 - b. Coefficients élastiques
 - c. Énergie libre élastique.
- 6. Applications
 - a. Traction
 - b. Cisaillement
 - c. Torsion
 - d. Flexion et flambage.
- 7. Propagation des ondes élastiques dans un solide isotrope
 - a. Ondes de compression
 - b. Ondes de cisaillement
 - c. Ondes de Rayleigh
 - d. Utilisation en contrôle des matériaux (fréquences allant du dixième de Hertz -ondes sismiques- au GHz – ultrasons-).
- 8. Au delà de l'élasticité linéaire
 - a. Non linéarité (élasticité caoutchoutique)
 - b. Visco-élasticité (modules complexes, modèles de Maxwell, Kelvin-Voigt)
 - c. Plasticité (modèle élastique/plastique parfait)
 - d. Rupture (concentration de contraintes, distinction fragile/ductile, Théorie de Griffith, fatigue).
- 9. Travaux pratiques :
 - a. Résonance d'une poutre en vibration transversale
 - b. Mesure des vitesses du son dans les solides
 - c. Contrôle ultrasonore de solides fissurés
 - d. Élasticité caoutchoutique

Physique non linéaire et chaos (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

1. Introduction aux systèmes dynamiques
 - a. Systèmes mécaniques
 - b. Dynamique des populations
 - c. Cinétique chimique
 - d. bilan thermique de la terre
 - e. lampe fer-hydrogène
2. Systèmes non linéaires
 - a. Points fixes; Stabilité; Analyse de stabilité linéaire. Stabilité structurelle
 - b. Notion de bifurcation : noeud col, trans-critique, fourche.
3. Plan de phase
 - a. Oscillateurs; exemples (Pendule suramorti, Lucioles, Jonctions Josephson)
 - b. Portrait de phase
 - c. Existence, unicité et conséquences
 - d. Points fixes et linéarisation
 - e. Systèmes conservatifs
4. Cycles limites
 - a. Oscillateur de van der Pol
 - b. Section de Poincaré.
 - c. Systèmes dynamiques discrets.
 - d. Éliminer la possibilité des orbites fermées (Système gradient; Fonction Lyapunov, Critère de Dulac)
 - e. Théorème de Poincaré-Bendixon
 - f. Oscillations de relaxation; Oscillations faiblement non linéaires
5. Bifurcations II
 - a. Bifurcation de Hopf
 - b. Réactions chimiques oscillantes
 - c. Bifurcation globale de cycles
6. Introduction au chaos dans les systèmes dissipatifs
 - a. Modèle de Lorenz
 - b. Notion d'attracteur étrange
 - c. Scénarios de transition vers le chaos : scénario de Ruelle et Takens, cascade de doublement de période
 - d. Fenêtre périodique
 - e. Intermittence
 - f. Exposant de Lyapunov

Énergie (5 ECTS) C50%-TD50%-TP0%

1. Panorama des énergies renouvelables
 - a. Rappels sur l'énergie
 - b. La situation énergétique mondiale
 - c. Les différentes technologies des énergies renouvelables
2. Gisement éolien ZDE et puissance du vent
 - a. Mesures de la vitesse et puissance du vent

- b. Variations (avec la hauteur, annuelle et statistique)
 - c. Distribution de Weibull et de Rayleigh.
 - d. Estimation de la production énergétique d'une centrale : ZDE.
 - e. Prix de revient de l'électricité.
3. Physique des éoliennes
 - a. Relation de Betz des vitesses.
 - b. Moment et poussée.
 - c. Loi de Bernoulli et moteur éolien.
 - d. Limite de Betz.
 - e. Facteur d'induction.
 - f. Coefficient de puissance et de poussée.
 - g. Éolienne à force de trainée exemple : Savonius.
 4. Lumière du soleil
 - a. Spectre solaire TOA.
 - b. Spectre solaire et puissance au niveau de la mer.
 - c. Effet de serre.
 - d. Rayonnement direct et diffus.
 - e. Position de la planète et position des capteurs solaires.
 - f. Pyranomètre et luxmètre.
 5. Processus radiatifs, thermiques et convectifs
 - a. Rappel corps noir.
 - b. Emission, luminance, loi de Lambert, indicatrice.
 - c. Corps gris et corps réels.
 - d. Absorption, réflexion, transmission.
 - e. Échanges radiatifs, formule de Bouguer.
 - f. Facteurs de forme.
 - g. Transferts de chaleur par conduction, convection (libre et forcée), massique.
 - h. Échangeur de chaleur.
 6. Physique des Capteurs thermiques
 - a. Chauffage solaire de l'eau.
 - b. Couverture, absorbeur, isolant.
 - c. Bilan énergétique.
 - d. Puissance absorbée. Puissance utile.
 - e. Rendement, formule HWB.
 7. Physique des Panneaux solaires
 - a. Cellule solaire : de la jonction à la réponse spectrale.
 - b. Rappels sur les semi-conducteurs et la jonction PN.
 - c. Génération et recombinaison pour le photovoltaïque.
 - d. Efficacité quantique et réponse spectrale.
 - e. Paramètres et caractérisation des cellules réelles.
 - f. Balance détaillée, efficacité et limite de Shockley et Queisser.

Théorie des champs (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

prérequis : il est conseillé d'avoir un très bon niveau en « Mathématique » et « Approche lagrangienne et relativité » pour suivre cette option

1. Rappels de Relativité restreinte
2. Formulation Lagrangienne
3. Équations de champs
 - a. Klein-Gordon (libre couplage à une source,...), scalaire massif, masse nulle.
 - b. Maxwell (libre, couplage à un courant,...), vecteur masse nulle
 - c. Dirac (Origine, libre,...), spineur massif.
 - d. Autres: Weyl, Proca,...
4. Symétries, Théorème de Noether
5. Champs de jauge abéliens, introduction aux champs non abéliens (Yang Mills)
6. Introduction à la quantification (champs libres)

Relativité générale (5 ECTS) C50%–TD50%–TP0%

prérequis : il est conseillé d'avoir un bon niveau en « Mathématique » et « Approche lagrangienne et relativité » pour suivre cette option

1. Introduction: du principe de relativité de Galilée au Principe d'équivalence. Rappels de relativité restreinte. Rappels et compléments de formalisme tensoriel.
2. Gravitation, principe d'équivalence, principe de covariance.
3. Conséquences: décalage vers le rouge gravitationnel, interprétation d'Einstein (courbure). Notions de géométrie différentielle (variété, connexion, courbure, métrique, etc.).
4. Équations d'Einstein.
5. Champ central
 - a. métrique de Schwarzschild
 - b. trous noirs.
6. Cosmologie
 - a. Données observationnelles
 - b. métrique de Friedmann-Robertson-Walker
 - c. constante cosmologique,...
7. Ondes gravitationnelles

Propriétés optiques des matériaux (5 ECTS) C50%–TD35%–TP15%

prérequis : il est conseillé d'avoir un bon niveau en « électromagnétisme » et « optique ondulatoire » pour suivre cette option

1. Propriétés optiques de la matière
 - a. Rappel d'optique électromagnétique
 - b. Aspect microscopique de l'interaction lumière matière: modèle de l'électron élastiquement lié

- c. Milieux anisotropes
 - d. Optique non-linéaire d'ordre 2
- 2. Optique intégrée
 - a. Guide d'ondes planaires diélectriques
 - b. Fibres optiques
- 3. Lasers
 - a. Rappel sur l'interféromètre de Fabry Perot
 - b. Laser : équations d'Einstein, condition d'inversion de population et effet de la cavité.
 - c. Propriétés optiques des semiconducteurs
 - d. Amplification optique dans les semiconducteurs. , Diode laser , Laser à réaction distribuée et à cavité verticale
- 4. Travaux pratiques
 - a. bi-réfringence
 - b. effet Pockels
 - c. Acousto-optique et génération de seconde harmonique.

Physique des capteurs (5 ECTS) C50%–TD0%–TP50%

- 1. Généralités – caractéristiques des capteurs
- 2. Amplification et adaptation d'impédance
- 3. Mesure des distances et des déplacements
- 4. Mesure des forces
- 5. Thermométrie
- 6. Capteurs optiques
- 7. Piézo-électricité — Application aux transducteurs ultrasonores
- 8. Micro-capteurs
- 9. Travaux pratiques
 - a. Mesure de déplacement
 - b. Photodétecteurs
 - c. Mesure de température
 - d. Caractérisation de champs acoustiques émis par des transducteurs finis, par interférométrie optique
 - e. Amplification et adaptation d'impédance (AO, transistor, push-pull)

Transport (5 ECTS) C50%–TD35%–TP15%

- 1. Introduction
 - a. Rappels de thermodynamique à l'équilibre.
 - b. Équilibre thermodynamique dans un champ de force.
- 2. Lois élémentaires du transport par diffusion

- a. Lois de Fick, d'Ohm et de Fourier
- b. Évaluation du coefficient de diffusion dans le cas simple des gaz (théorie cinétique).
- c. Équation de diffusion : résolution dans quelques situations très simples.
- 3. Au-delà du transport diffusif
 - a. Convection - terme convectif dans l'équation de diffusion, nombre de Peclet, couche limite.
 - b. Rayonnement - étude de cas où le transport radiatif est important (gaz chauds, enceintes sous vides).
- 4. Couplage entre divers phénomènes de transport
 - a. Cadre formel : relations d'Onsager
 - b. Application : thermodiffusion, électro-osmose, transport trans-membranaire, effets thermoélectriques.
- 5. Évolution vers l'équilibre d'un système sous plusieurs phases
 - a. Tension de surface
 - b. Métastabilité et nucléation
 - c. Transition de phases des mélanges
 - d. Croissance limitée par la diffusion de matière et de chaleur (régime diffusif aux temps courts, mûrissement d'Ostwald aux temps longs).
 - e. Front de croissance.
- 6. Travaux pratiques
 - a. Effet Peltier
 - b. Diffusion de particules

Matière molle et systèmes biologiques (5 ECTS) C60%–TD40%–TP0%

- 1. Interactions entre molécules
 - a. interactions entre ions et entre molécules polaires
 - b. polarisation des molécules
 - c. interactions de van der Waals
 - d. liaison hydrogène
- 2. Polymères, synthétiques et biologiques
 - a. chaîne idéale, pelote gaussienne
 - b. longueur de persistance, polymères semi-flexibles, polymères rigides
 - c. macromolécules biologiques : ADN, protéines
 - d. solutions de polymères : théorie de Flory-Huggins, volume exclu, bon/mauvais solvant
- 3. Surfaces, capillarité, thermodynamique des interfaces
 - a. tension de surface, loi de Laplace
 - b. thermodynamique des interfaces : équation de Kelvin, équation de Gibbs
 - c. mouillage : angle de contact, effets de la gravité, effets des hétérogénéités
 - d. tensio-actifs : films et bulles, micelles
 - e. les membranes biologiques
- 4. Interactions entre surfaces et particules
 - a. équation de Poisson-Boltzmann, Debye-Hückel

- b. mouvement brownien et limite colloïdale, stabilité colloïdale
 - c. interactions par fluctuations thermiques
- 5. Introduction à la biologie moléculaire
 - a. ADN,
 - b. transcription et ARN
 - c. traduction
 - d. régulation
- 6. La cellule
 - a. architecture cellulaire
 - b. cytosquelette, moteurs moléculaires
 - c. migration et motilité
 - d. propriétés mécaniques des cellules