

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

# **OFFRE DE FORMATION MASTER**

## **ACADEMIQUE/PROFESSIONNALISANT**

<b>Etablissement</b>	<b>Faculté / Institut</b>	<b>Département</b>
<b>Université Abderrahmane Mira de Bejaia</b>	<b>Sciences Exactes</b>	<b>Physique</b>

**Domaine :Sciences de la Matière**

**Filière :Physique**

**Spécialité : Astrophysique**

**Année universitaire : 2020/2021**

## **II – Fiche d'organisation semestrielle des enseignements**

(Prière de présenter les fiches des 4 semestres)

## 1- Semestre 1 :

Unité d'Enseignement	VHS	/.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF11(O/P)</b>									
Introduction à l'Astrophysique	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Mécanique quantique approfondie	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Mécanique quantique relativiste	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM12(O/P)</b>									
Astronomie sphérique	45h00	1h30	1h30			2	2	33%	67%
Programmation approfondie en C++	45h00	1h30	---	1h30		2	4	50%	50%
<b>UE découverte</b>									
<b>UED13(O/P)</b>									
Physique Nucléaire et Astrophysique	45h00	1h30	1h30	---		2	4		100%
<b>UE transversales</b>									
<b>UET14(O/P)</b>									
Anglais scientifique et technique I	22h30	1h30	--	--		2	2		100%
<b>Total Semestre 1</b>	<b>360h00</b>	<b>15h00</b>	<b>7h30</b>	<b>1h00</b>		<b>17</b>	<b>30</b>		

## 2- Semestre 2 :

Unité d'Enseignement	VHS	/.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF21(O/P)</b>									
Électrodynamique quantique	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Relativité générale	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Analyse de données en astrophysique	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM22(O/P)</b>									
Traitement du signal et de l'image	45h00	1h30	---	1h30		2	3	33%	67%
Programmation avec Python	45h00	1h30	---	1h30		2	3	50%	50%
<b>UE découverte</b>									
<b>UED23(O/P)</b>									
Milieu interstellaire	45h00	1h30	1h30	---		2	4	33%	67%
<b>UE transversales</b>									
<b>UET24(O/P)</b>									
Anglais scientifique et technique II	22h30	1h30	--	---		2	2		100%
<b>Total Semestre 2</b>	<b>382h30</b>	<b>15h00</b>	<b>7h30</b>	<b>1h30</b>		<b>17</b>	<b>30</b>		

### 3- Semestre 3 :

Unité d'Enseignement	VHS	/.H hebdomadaire				Coeff	Crédits	Mode d'évaluation	
	14-16 sem	C	TD	TP	Autres			Continu	Examen
<b>UE fondamentales</b>									
<b>UEF31(O/P)</b>									
Astrophysique Approfondie	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Physique des Gaz et des Plasmas	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
Cosmologie	67h30	3h00	1h30	---		3	6	33%	67%
<b>UE méthodologie</b>									
<b>UEM32(O/P)</b>									
Instrumentation et techniques d'observations	45h00	1h30	1h30	Stage au CRAAG		2	3	50%	50%
Traitement de données avec le langage R-project	45h00	1h30	---	1h30		2	3	50%	50%
<b>UE découverte</b>									
<b>UED33(O/P)</b>									
Introduction à la physique des particules	45h00	1h30	1h30	---		2	4	50%	50%
<b>UE transversales</b>									
<b>UET34(O/P)</b>									
Recherche bibliographique, techniques de rédactions et séminaires	22h30	1h30	1h30	---		2	2		100%
<b>Total Semestre 3</b>	<b>382h30</b>	<b>15h00</b>	<b>7h30</b>	<b>3h00</b>		<b>17</b>	<b>30</b>		

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

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 1.1)**

**Intitulé de la matière : Introduction à l'Astrophysique**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

Ce cours décrit de façon simple les processus physiques qui expliquent l'univers dans lequel nous vivons. En couvrant une large gamme de sujets, le but du cours est aussi de donner un aperçu général des objets astrophysiques qui nous entourent.

### **Connaissances préalables recommandées**

*Physique Générale*

### **Contenu de la matière**

**Naissance de la science:** rôle de l'astronomie et de l'astrophysique de l'Antiquité à nos jours.

**Connaissances de base:** astronomie sphérique, télescopes, détecteurs et observations ; concepts de photométrie et magnitudes ; concepts de spectroscopie ; mécanisme de radiation ; mécanique céleste.

**Système solaire:** le soleil ; la terre et la lune ; planètes et astéroïdes ; planètes hors du système solaire ; formation de systèmes planétaires ; apparition de la vie.

**Les étoiles:** énergie nucléaire et synthèse des éléments ; évolution stellaire des étoiles de petites et grandes masses ; naines blanches, étoiles à neutrons, trous noirs ; amas d'étoiles et diagramme de Hertzsprung-Russell.

**Le milieu interstellaire:** poussières, gaz et molécules interstellaires.

**La Voie Lactée, notre galaxie:** populations stellaires ; rotation galactique différentielle ; structure spirale.

**Les galaxies:** classification ; distribution de la luminosité et de la masse dans les galaxies régulières ; galaxies à noyaux actifs et quasars ; trous noirs supermassifs ; amas de galaxies ; formation et évolution des galaxies.

**Cosmologie:** cosmologie newtonienne ; relativité générale et cosmologie ; l'histoire de l'univers ; formation des structures à grandes échelles ; les contraintes observationnelles ; matière sombre, énergie sombre.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu 33% + Examen 67%

### **Références**

An Introduction to Modern Astrophysics , B.W. Carroll & D.A. Ostlie, Addison Wesley, 1996

Galactic Astronomy , J. Binney & M. Merrifield, Princeton, 1998

Extragalactic Astronomy and Cosmology, P. Schneider, Springer-Verlag, 2006

The New Cosmos, A. Unsöld, B. Baschek, Springer-Verlag, 2001

Fundamental Astronomy, H. Karttunen, P. Kröger, H. Oja, M. Poutanen, K.J. Donner, Springer-Verlag, 2001

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 1.2)**

**Intitulé de la matière : Mécanique quantique approfondie**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'objectif de cette matière est d'approfondir les connaissances de l'étudiant en matière de mécanique quantique en le familiarisant aux différentes images de la mécanique quantique et au formalisme de la deuxième quantification ainsi qu'à l'aspect relativiste de la mécanique quantique. A la fin, l'étudiant sera apte à aborder la théorie quantique des champs.

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de base de la mécanique quantique non relativiste (postulats de la mécanique quantique, équation de Schrödinger, oscillateur harmonique, formalisme de Dirac,...).  
Relativité restreinte (notion covariance, groupe de Lorentz, dynamique relativiste,...).

### **Contenu de la matière**

**Dynamique quantique** : Opérateur d'évolution. Série de Dyson. Image de Schrödinger. Image de Heisenberg. Image intermédiaire. Notion de propagateur. Mouvement en présence d'un champ électromagnétique.

**Particules identiques** : Définition. Concept d'indiscernabilité et dégénérescence d'échange. Postulat de symétrisation. Opérateur de permutation (symétriseur et anti symétriseur). Système de particules identiques indépendantes. Atome d'Hélium.

**Introduction à la seconde quantification** : Représentation nombre d'occupation. Espace de Fock. Opérateurs de créations et d'annihilations pour les bosons et les fermions. Opérateurs à un corps. Opérateurs à deux corps. Théorème de Wick pour les fermions.

**Les symétries en Mécanique Quantique** : Introduction. Définition d'une transformation de symétrie. Conséquence d'une symétrie (invariance et dégénérescence). Translation. Rotation. Parité. Renversement du temps. Transformation de jauge.

**Théorie de la diffusion** : Eléments de la Théorie de la diffusion en Mécanique Quantique

**Mode d'évaluation** : *Contrôle continu 33%+ Examen 67%*

### **Références**

J. J. Sakurai, Jim J. Napolitano « Modern Quantum Mechanics » (Addison Wesley 2010)

Michel Le Bellac, « Physique Quantique » Tome 1 et 2 (EDP Sciences 2013)

Initiation à la mécanique quantique : Approche élémentaire et applications. Elie Belorizky, Dunod (2003)

Le cours de physique de Feynman Mécanique quantique. Robert Leighton, Matthew Sands et Richard Feynman, Dunod (2014).

*Bjorken James, Drell Sidney, Relativistic Quantum Mechanics, Editeur : McGraw-Hill; Édition : Clean & Tight Contents (1965), Collection : Pure & Applied Physics S.*

*A. Messiah, Mécanique quantique, DUNOD (Edition de 1995).*

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 1.3)**

**Intitulé de la matière : Mécanique quantique relativiste**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'objectif de ce cours est de permettre à l'étudiant de découvrir la version relativiste de la Mécanique Quantique et de se familiariser avec le groupe de Poincaré, les équations de Klein-Gordon et de Dirac.

### **Connaissances préalables recommandées**

*Mécanique Quantique, Relativité restreinte, Electromagnétisme*

### **Contenu de la matière**

**Rappels et Compléments** : Rappel sur la Relativité Restreinte, Formulation covariante de l'Electromagnétisme, Le groupe de Poincaré

**Description Relativiste des particules de Spin 0** : L'Equation de Schrödinger et sa Covariance de dans la cadre de la Relativité de Galilée, l'Equation de Klein-Gordon, Interaction avec le champ électromagnétique, l'Equation de Klein- Gordon sous forme de l'Equation de Schrödinger, limite non relativiste de l'Equation de Klein- Gordon

**Description Relativiste des particules de Spin 1/2** : L'équation de Dirac, Solutions de l'équation de Dirac libre, Interaction avec le champ électromagnétique, Covariance de l'équation de Dirac, le Spin de la particule de Dirac, limite non relativiste de l'Equation de Dirac, Théorie des trous, Transformation de FoldyWouthuysen, Propriétés de matrices de Dirac

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu 33%+ Examen 67%

### **Références**

W Greiner - Relativistic quantum mechanics 1990 - Springer

2. Introduction à la physique moderne : relativité et physique quantique Cours et exercices. Fabre Claude, Charles Antoine, Nicolas Treps. Dunod (2015)

3. Mécanique quantique relativiste : Théories de jauge. Cours et exercices corrigés. Michael Klasen, Dunod (2009).

4. Relativistic Quantum Mechanics. Lawrence P. Horwitz, Springer (2015)

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM 1.1)**

**Intitulé de la matière : Astronomie sphérique**

**Crédits : 2**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Aptitude à réaliser des calculs utiles en astronomie de position et en mécanique céleste : changements de coordonnées, calcul des trajectoires, ...

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de base de la mécanique classique, Géométrie plane, Géométrie dans l'espace.

### **Contenu de la matière**

**Éléments de mécanique céleste** : Description du système Solaire, Lois de Kepler, Mouvement elliptique, mouvement parabolique, éléments orbitaux, vitesse de libération, ...

**Systemes de coordonnées** : Trigonométrie sphérique, systèmes équatorial, écliptique, ..., Changement de coordonnées, Mouvement apparents des astres, unités, magnitude, parallaxe, séparation angulaire, sphère céleste, ...

**Mouvement de la Terre et ses effets** : Le jour et la nuit, précession, nutation, saisons, le temps et les variations de la rotation de la Terre : calendriers et conversions, temps civil, temps universel, phases de la Lune, période synodique, période sidérale, éclipses, conjonctions, occultations, éphémérides, ...

**Mode d'évaluation** : *Contrôle continu 33%+ Examen 67%*

### **Références**

André Danjon, Astronomie générale : Astronomie sphérique et éléments de mécanique céleste, (Paris 1994).

Jean Meeus, calcul astronomique à l'usage des amateurs, SAF (1986)

W. M. Smart, R. M. Green, Textbook on Spherical Astronomy (1977, Cambridge University Press).

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM 1.2)**

**Intitulé de la matière : Programmation approfondie en C++**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Offrir une bonne base de programmation avec le langage C++

### **Connaissances préalables recommandées**

*Notions de programmation de base avec C et C++*

### **Contenu de la matière**

Fondamentaux

Types, constantes et variables fondamentales

Utilisation des fonctions et des classes

Entrée et sortie avec flux

Opérateurs pour les types fondamentaux

Flux de contrôle

Constantes symboliques et macros

Conversion de types arithmétiques

La chaîne de classe standard

Les fonctions

Classes de stockage et espaces de noms

Références et pointeurs

Définition des classes

Les méthodes

Objets membres et membres statiques

Tableaux

Tableaux et pointeurs

Principes fondamentaux de l'entrée et de la sortie de fichiers

Opérateurs de surcharge

Conversion de type pour les classes

Allocation dynamique de mémoire

Membres dynamiques

Héritage

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu 33%+ Examen 67%

### **Références**

A Complete Guide to Programming in C++, Ulla Kirch-Prinz and Peter Prinz. 2002 by Jones and Bartlett Publishers

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Découverte (UED 1.1)**

**Intitulé de la matière : Physique Nucléaire et Astrophysique**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Maîtrise de la théorie et des modèles nucléaires appliqués à l'astrophysique

### **Connaissances préalables recommandées**

*Notions de base de Physique atomique, de Physique nucléaire et de mécanique quantique*

### **Contenu de la matière**

#### **Nucléosynthèse stellaire**

Rappels sur les réactions nucléaires

Réactions de fusion entre particules chargées

L'écrantage électronique

Combustion de l'hydrogène

#### **Les cycles nucléaires**

Chaines PP-I, PP-II, PP-III

Cycle CNO

Combustion de l'hélium

Combustion des éléments au-delà de l'Hélium

Photodésintégration et équilibre

Réaction d'absorption de neutrons : processus r et s

Réactions de spallation

**Mode d'évaluation** : continu 33% examen 67%

### **Références**

Cauldrons in the cosmos, C.E. Rolfs, S. Rodney

Principles of stellar evolution and nucleosynthesis, D.D. Clayton

Nuclear physics of stars, C. Iliadis

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 1**

**Intitulé de l'UE : UE Transversale (UET 1.1)**

**Intitulé de la matière : Anglais scientifique et technique I**

**Crédits : 2**

**Coefficients :2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Acquérir une bonne maîtrise de l'anglais scientifique pour comprendre et écrire des articles scientifiques et présenter des séminaires dans cette langue.

### **Connaissances préalables recommandées**

Anglais pour débutants

### **Contenu de la matière**

Développer le 'Listening and comprehension' de l'anglais scientifique

Comprendre le contenu d'une conférence ou d'un séminaire

Développer le 'reading' et le 'speaking' de l'anglais scientifique

**Mode d'évaluation :** Examen 100%

### **Références**

Minimum competence in scientific English, S. Blattes, V. Jans, J. Upjohn, EDP 2003

An Outline of Scientific Writing: For Researchers With English As a Foreign Language

Jen TsiYang , Janet N. Yang, World Scientific Publishing Company; 1995

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 2.1)**

**Intitulé de la matière : Électrodynamique quantique**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

Avoir une idée précise sur la procédure de construction d'une théorie quantique des champs et relativiste

Aptitude à effectuer des calculs faisant appel à la technique des diagrammes de Feynman

Etude de quelques processus intervenant dans le domaine de l'astrophysique

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de Mécanique quantique, de Relativité restreinte et d'Électromagnétisme

### **Contenu de la matière**

**Rappels et préliminaires** : Théorie des champs classique, électrodynamique classique, formulation lagrangienne, théorème de Noether,...

**Quantification des champs de Klein-Gordon, de Dirac et électromagnétique**

**Champs en Interaction** : Théorie de self-interaction « phi-quatre »

**Matrice S et règles de Feynman**

**Théorie de Yukawa**(théorie passerelle)

**Electrodynamique quantique (QED) et applications**

**Mode d'évaluation** : *Contrôle continu 33%+ Examen 67%*

### **Références**

M.E. Peskin et D.V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, CRC Press, 1995.

M.D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

M. Veltman, Diagrammatica: the path to Feynman diagrams. Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

D. Griffiths, Introduction to Elementary Particles, Wiley-VCH, Weinheim, 2004.

J.P. Derendinger, Théorie quantique des champs, Presses Polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, 2001.

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 2.2)**

**Intitulé de la matière : Relativité générale**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'objectif de ce cours est de permettre à l'étudiant de découvrir les concepts de base de la relativité générale et de la cosmologie et d'acquérir des connaissances sur l'analyse tensorielle et sur les équations d'Einstein et leurs applications.

### **Connaissances préalables recommandées**

Mécanique, Relativité Restreinte

### **Contenu de la matière**

**Chapitre 1 - Rappels sur la Gravitation newtonienne :** Coniques - Forces centrales - Lois de Kepler - Equations locales du champ gravitationnel.

**Chapitre 2 - Principe de Relativité et Analyse tensorielle :** Principe d'Equivalence - Principe de Relativité étendu aux référentiels accélérés - Analyse Tensorielle - Analyse Tensorielle dans un espace euclidien - Analyse Tensorielle dans un espace de Riemann.

**Chapitre 3 - Gravitation Relativiste :** Tenseur énergie impulsion - Tenseur d'Einstein - Equation d'Einstein.

**Chapitre 4 - Applications :** Solution de Schwarzschild- Avance du Périhélie des planètes- Déviation des rayons lumineux- Décalage des raies spectrales.

**CHAPITRE 5 - Ondes Gravitationnelles :** Equations d'Einstein linéarisées - Propagation des ondes gravitationnelles - Comportement des particules lors du passage d'une onde gravitationnelle - Sources des ondes gravitationnelles - Détection des ondes gravitationnelles.

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu 33%+ Examen 67%

### **Références**

S Weinberg, Gravitation and cosmology: principles and applications of the general theory of relativity.

La relativité restreinte. Loïc Villain, Editeur (s) : De Boeck (2015)

La théorie de la relativité restreinte et générale. Albert Einstein, Editeur(s) : Dunod (2012)

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 2.3)**

**Intitulé de la matière : Analyse de données en astrophysique**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'objectif de cette matière est donner à l'étudiant les outils de base nécessaires à l'analyse de données recueillis dans le cadre des expériences dans différents domaines en astrophysique.

### **Connaissances préalables recommandées**

Des notions de base de statistique et de probabilité

### **Contenu de la matière**

**CHAPITRE 1 - Erreurs et lois de distribution** : Définition des erreurs - Probabilités - Variables aléatoires - The « golden laws » - Lois multi-variables - Propagation des erreurs.

**CHAPITRE 2 - Simulation** : Génération de nombres aléatoires - Techniques Monte-Carlo.

**CHAPITRE 3 - Estimation de paramètres** : Généralités - Maximum de vraisemblance - Moindres carrés - Ajustement d'histogrammes.

**CHAPITRE 4 - Test d'hypothèses** - Test de Neyman-Pearson - Test du  $\chi^2$  - Test de Komogorov-Smirnov.

**CHAPITRE 5 - Tri d'événements ou classification multivariable** : Problématique générale (classification-multivariables) - Analyse en composantes principales - Analyse discriminante linéaire - Réseaux de neurones - Arbre de décision

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu 33% + Examen 67%

### **Références**

F.E. James, "Statistical Methods in Experimental Physics", 2nd edition, World Scientific 2006.

B.Clément, Analyse de données en sciences expérimentales, Dunod 2012.

D.S.Sivia, "Data Analysis: A Bayesian Tutorial", Oxford 1996.

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM2.1)**

**Intitulé de la matière : Traitement du signal et de l'image**

**Crédits : 3**

**Coefficients :2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Initier les étudiants au traitement du signal et de l'image en astrophysique

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de programmation

### **Contenu de la matière**

Introduction

Les signaux déterministes

Fonctions de corrélation et densités spectrales des signaux déterministes

Etude des filtres en représentation temporelle

Analyse fréquentielle des filtres

Numérisation des signaux Echantillonnage – Quantification

Introduction au traitement numérique du signal

Fonctions aléatoires : généralités

Fonctions aléatoires stationnaires : ergodisme

Analyse spectrale et filtrage des signaux aléatoires

Introduction aux Processus stochastiques

Estimation de quelques grandeurs caractéristiques des signaux

Inégalité de Schwarz

Détermination de la variance des estimateurs de la DSP

Introduction aux problèmes inverses

Introduction à l'analyse temps-fréquences

Introduction aux techniques paramétriques de l'estimation spectrale.

Traitement d'images.

**Mode d'évaluation :** *Contrôle continu 50% + examen 50%*

### **Références**

Astronomical image and data analysis, J.-L. Starck, F. Murtagh

Introduction to astronomical image processing, R. Berry

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM2.2)**

**Intitulé de la matière : Programmation avec Python**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Ce cours sera consacré au langage Python en général : on y apprendra la programmation orientée objet ainsi que des bonnes pratiques de programmation.

### **Connaissances préalables recommandées**

Un minimum de notions de programmation

### **Contenu de la matière**

**Rappel et approfondissement des bases de python :** Utilisation de python (ligne de commande, spyder, Jupyter notebook); Types de données, instructions; Faire un projet, utiliser et créer des packages et des modules

**Introduction à la programmation orientée objet :** Qu'est ce qu'un objet ? Comment créer un objet ? TD système de calcul formel

**Calcul numérique :** Bien utiliser numpy; Faire des graphiques; Utiliser du code compilé (numba, cython, ctypes); Exemple : ensemble de Mandelbrot

**Quelques exemples :** Transformée de Fourier, filtrage; Équations différentielles

**Interfacer des instruments :** Principes généraux; TP réalisation d'un diagramme de Bode

**Statistique :** variable aléatoire, estimateurs, maximum de vraisemblance; Ajustement de courbes

**Traitement du signal :** Densité spectrale de puissance; TD : détection des ondes gravitationnelles.

### **Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 50 %, Examen : 50 %

### **Références**

Python 3 Les fondamentaux du langage, de Sébastien CHAZALLET. Édition : ENI - 672 pages , 3e édition, 9 octobre 2019

PYTHON. APPRENTISSAGE ACTIF Pour l'étudiant et le futur enseignant, de Jean-Paul ROY. Édition : ELLIPSES - 342 pages , 1re édition, 3 mars 2020

Apprendre Python 3, de Franck Ebel. Édition : Pearson Education - 210 pages , 1re édition, 12 décembre 2013

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Découverte (UED2.1)**

**Intitulé de la matière : Milieu interstellaire**

**Crédits : 4**

**Coefficients :2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Maîtrise des processus atomiques et moléculaires dans le Cosmos

### **Connaissances préalables recommandées**

*Notions de bases d'introduction à l'Astrophysique, de Physique atomique et moléculaire, de Physique statistique et de Thermodynamique.*

### **Contenu de la matière**

#### **Physique atomique et moléculaire et spectroscopie**

Théorie quantique de l'atome d'hydrogène

Structure fine et hyperfine

Effets Zeeman et Stark

Les transitions électromagnétiques

L'atome d'hélium

Les atomes à plusieurs électrons

Les molécules diatomiques

Techniques spectroscopiques

#### **Le Milieu Interstellaire**

Le gaz interstellaire neutre et ionisé

Les poussières interstellaires

Chauffage et refroidissement du gaz interstellaire

Chimie interstellaire

Les régions de photodissociation

Les chocs

**Mode d'évaluation :** Contrôle continu 33% + examen 67%

### **Références**

Le milieu interstellaire, J. Lequeux

Physical processes in the interstellar medium, L. Spitzer, Jr.

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 2**

**Intitulé de l'UE : UE Transversale (UET2.1)**

**Intitulé de la matière : Anglais scientifique et technique II**

**Crédits : 2**

**Coefficients :2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Donner aux étudiants une bonne maîtrise de l'anglais scientifique pour être capable de comprendre et d'écrire des articles scientifiques et présenter des séminaires dans cette langue.

### **Connaissances préalables recommandées**

Anglais scientifique I

### **Contenu de la matière**

Développer le niveau du 'reading' et du 'speaking' de l'anglais scientifique

Améliorer sa communication en anglais scientifique etc..

Developper le 'Writting' de l'anglais scientifique

Comprendre le contenu d'un article scientifique

**Mode d'évaluation :** Examen 100%

### **Références**

Minimum competence in scientific English, S. Blattes, V. Jans, J. Upjohn, EDP 2003

An Outline of Scientific Writing: For Researchers With English As a Foreign Language

Jen TsiYang , Janet N. Yang, World Scientific Publishing Company; 1995

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 3.1)**

**Intitulé de la matière : Astrophysique Approfondie**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

L'objectif de ce cours est d'acquérir les connaissances de base sur des phénomènes dynamiques spécifiques liés à l'origine, l'équilibre et l'évolution des amas d'étoiles, des galaxies et des amas de galaxies. Une deuxième partie du cours sera consacrée à l'étude du contenu et des propriétés de l'Univers observable

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de bases des UEF du S1 et S2

### **Contenu de la matière**

Introduction: distances, tailles, masses des systèmes de dynamique stellaire

Théorie du potentiel.

Les orbites des étoiles.

Équilibres des systèmes sans collision.

Stabilité des systèmes sans collision.

Dynamique du disque.

Théorie cinétique: processus de relaxation, thermodynamique des systèmes auto-gravitationnels, approximation de Fokker-Planck.

Collisions et rencontres de systèmes stellaires

Bases de la cosmologie moderne

Le contenu matière dans l'univers

L'Univers intermédiaire

Lentille gravitationnelle

Le fond des micro-ondes cosmiques

Inhomogénéités dans l'univers

Ondes gravitationnelles et futures expériences cosmologiques

### **Mode d'évaluation :**

Contrôle continu 33% + examen 67%

### **Références**

Galacticdynamics. 2nd ed, James Binney; Scott Tremaine; 2008

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF3.2)**

**Intitulé de la matière : Physique des gaz et des plasmas**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

Un cours centré sur les outils de la mécanique des fluides utiles aux chercheurs en astrophysique.

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de mécanique des fluides, de thermodynamique et d'électromagnétisme.

### **Contenu de la matière**

**Notions de mécanique des fluides** : Théorie de chocs - Dynamique des atmosphères planétaires – Expansion - Instabilité de Jean - Instabilité de Rayleigh-Taylor - Instabilité de Kelvin-Helmoltz- Notions de MHD - Effets non linéaires et instabilités – ondes de Alfvén.

**Propriétés générales des plasmas** : Mouvement d'une particule chargée dans un champ électromagnétique - Théorie fluide des plasmas et théorie cinétique - Ondes et oscillations dans les plasmas - Solutions approximatives des équations cinétiques - Rayonnement dans les plasmas - Notions de M.H.D ( à mettre au S1 dans la matière de dynamique des fluides) - Effets non linéaires et instabilités.

**Plasmas astrophysiques** : Simulations Hydrodynamiques dans les disques d'accrétion - Jets astrophysiques et leurs origines, ...

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu 33% + examen 67%

### **Références**

The physics of plasma, T.J.M. Boyd, J.J. Sanderson, Cambridge 2003

Plasma Physics, J.A. Bittencourt, Springer, 2004

Physique des plasmas, J.L.Delcroix, A. Bers, EDP 1994

Introduction à la dynamique des fluides, Michel Rieutard, manuel de cours LMD, de boeck

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Fondamentale (UEF 3.3)**

**Intitulé de la matière : Cosmologie**

**Crédits : 6**

**Coefficients : 3**

### **Objectifs de l'enseignement**

Cette matière est une suite logique de la matière "Relativité Générale". Son but est de donner aux étudiants un aperçu sur les applications de la relativité générale et de les initier à des thématiques de recherche d'actualité.

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de relativité restreinte et générale.

### **Contenu de la matière**

**Vecteurs de Killing, Tetrads et Classification de Petrov** : Vecteur de Killing - Dérivées du vecteur de Killing - Construction d'un courant conservé avec des vecteurs de Killing - Vecteurs et Tetrads Nuls - Formalisme de Newman-Penrose - Interprétation physique et classification de Petrov.

**Trous Noirs** : Trou noir de Schwarzschild- Coordonnées d'Eddington-Finkelstein - Coordonnées de Kruskal - Horizon d'évènement - Horizon apparent - Distinction entre l'horizon d'évènement et l'horizon apparent - Trou noir de Kerr - Métrique de Kerr - Caractéristiques du trou noir de Kerr - Coordonnées de Kerr-Schild - Nature de la singularité du trou noir de Kerr - Equations orbitales autour d'un trou noir de Kerr - Propriétés générales d'un trou noir - Les lois de la mécanique des trous noirs.

**Cosmologie newtonienne** : Principe de cosmologie - Loi de Hubble et Expansion de l'Univers - Dynamique de l'Univers - Insuffisances de la cosmologie newtonienne.

**Cosmologie Relativiste** : La métrique de Robertson Walker - La géométrie de l'univers - Le décalage vers le rouge cosmique - Dynamique de l'univers (Equations de Friedmann) - Modèles cosmologique à composante unique - Modèles cosmologique à plusieurs composantes - L'inflation.

### **Mode d'évaluation :**

Contrôle continu 33% + examen 67%

### **Références**

C. Misner, K. Thorne, et J. Wheeler, "Gravitation", Freeman, 1973.

B. F. Schutz, "A First Course in Relativity", Cambridge University Press, 1985.

E. Poisson, "A Relativist's Toolkit :The Mathematics of Black-Hole Mechanics", Cambridge University Press, 2007

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM3.1)**

**Intitulé de la matière : Instrumentation et techniques d'observations**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

*Maîtrise des techniques de détection de radioactivité et de spectroscopie*

### **Connaissances préalables recommandées**

*Physique atomique, nucléaire et spectroscopie*

### **Contenu de la matière**

**Radioactivité** : Utilisation de la table des isotopes ; Fluctuations statistiques ;

Étude des caractéristiques d'un détecteur Geiger-Muller ; Activation et mesure de périodes radioactives ; Chambre d'ionisation et chambre proportionnelle.

**Spectroscopie** : structure fine du spectre alpha de l'américium ; Spectroscopie rayon Gamma avec un détecteur au Germanium et NaI ; Annihilation de positrons dans les matériaux ; Le détecteur au silicium ; Spectroscopie alpha par jonction Silicium et mesure du pic de Bragg ; Spectroscopie bêta avec un scintillateur plastique et étude des interactions électron-matière ; Spectroscopie gamma par jonction HP-Ge, étude des interactions photon-matière et caractérisation de la jonction (résolution, efficacité, identification de radioéléments) ; Mesures de coïncidences gamma-gamma et bases de la tomographie.

### **Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 50 %, Examen : 50 %

### **Références**

Instrumentation spatiale de l'IR aux hautes énergies S. Corbe

Instrumentation spatiale : mesures in situ M. Fulchignoni

Instrumentation et Observation en Radioastronomie P. Zarka

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Méthodologie (UEM3.2)**

**Intitulé de la matière : Traitement de données avec le langage R-project**

**Crédits : 3**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Le cours vise à donner à l'étudiant une expertise pratique en analyse de données astrophysiques avec un outils très puissant qui est le R-project.

### **Connaissances préalables recommandées**

*Notions de base de l'Analyse de données*

### **Contenu de la matière**

**Chapitre 1** : Premiers pas avec le logiciel R.

**Chapitre 2** : Manipuler les données au travers des objets et des opérateurs de R.

**Chapitre 3** : Explorer et nettoyer les tables de données avec R.

**Chapitre 4** : Statistiques descriptives avec R.

**Chapitre 5** : Présentation graphique des données avec R.

**Chapitre 6** : Analyses univariées avec R.

**Chapitre 7** : Réalisation de tests statistiques avec R.

**Chapitre 8** : Utilisation des tests.

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu 50% + examen 50%

### **Références**

S'initier à l'analyse des données avec le logiciel R, Vincent Richard.

Jean-Luc Kop. Introduction à l'environnement R pour l'analyse de données quantitatives en psychologie. Master. France. 2018.

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Découverte (UED3.1)**

**Intitulé de la matière : Introduction à la physique des particules**

**Crédits : 4**

**Coefficients : 2**

### **Objectifs de l'enseignement**

- Acquérir des compétences techniques nécessaires en physique des particules
- Aptitude à calculer des observables physiques : section efficace d'un processus, Taux de désintégration, ...
- Avoir une idée précise des différentes particules d'origine cosmique

### **Connaissances préalables recommandées**

Notions de base de Mécanique quantique, de Théorie quantique des champs, de Relativité restreinte et d'Électromagnétisme.

### **Contenu de la matière**

**Historique des découvertes** : de l'atome à la mise en évidence du Higgs

**Cinématique des interactions** : Variables de Mandelstam, Rapidité, Energie de seuil, ...

**Symétries, lois de conservation, et Modèle des quarks** : Symétries globales, Isospin hypercharge, Baryons, théorie de jauge, ...

**Phénoménologie des interactions** : Interactions électrofaible et forte, brisure spontanée de symétrie, diagrammes de Feynman, ...

**Astroparticules, rayons cosmiques et physique des neutrinos**

**Mode d'évaluation** : Contrôle continu 50% + examen 50%

### **Références**

D. Griffiths, Introduction to Elementary Particles, Wiley-VCH, Weinheim, 2004.

B. Clément, Physique des particules, Cours et exercices corrigés, Dunod, Paris, 2013

M. Veltman, Diagrammatics: the path to Feynman diagrams. Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

L. Marleau, Introduction à la physique des particules, Université Laval, Québec, 2006.

C. Grupen et G. Cowan, Astroparticle Physics, Springer, Berlin, 2005.

Particle Data Group : <http://pdg.lbl.gov/>

## **Intitulé du Master : Astrophysique**

**Semestre : 3**

**Intitulé de l'UE : UE Transversale (UET3.1)**

**Intitulé de la matière : Recherche bibliographique, techniques de rédactions et séminaires**

**Crédits : 2**

**Coefficients :2**

### **Objectifs de l'enseignement**

Développer les compétences de communication et de rédaction par des séminaires présentés par les étudiants et la rédaction d'une newsletter d'astrophysique destinée aux étudiants du campus.

### **Connaissances préalables recommandées**

Les acquis du S1 et S2

### **Contenu de la matière**

Libre aux étudiants de choisir leurs thématiques (en concertation) avec le chargé de la matière

### **Mode d'évaluation :**

*Examen 100%*

### **Références**

Recherche bibliographique essentiellement sur internet