



# Astroparticules 1



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
3 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
24h

## En bref

- **Méthode d'enseignement:** En présence
- **Forme d'enseignement :** Cours magistral
- **Ouvert aux étudiants en échange:** Non

## Présentation

### Description

Ce cours se veut une introduction à la physique des astroparticules (accélérateurs cosmiques, rayons gamma, multi-messagers, techniques expérimentales, ...).

Le cours s'appuie sur les connaissances acquises en L3 pour offrir aux étudiants une brève introduction à la physique des astroparticules. Après une description du contexte général, deux exemples de détecteurs en astronomie gamma seront détaillés suivi d'une introduction à la physique de l'astrophysique multi messagers (en particulier via la détection des ondes gravitationnelles). Le cours abordera ensuite la physique du rayonnement cosmique (RC), la problématique de l'accélération et de la propagation des RCs et l'hypothèse des restes de Supernovae comme accélérateurs galactiques des RCs (description du mécanisme d'accélération de Fermi du premier ordre).

Le cours se conclura par une description des enjeux cosmologiques des futurs relevés à grands champs au sol et spatiaux (LSST et Euclid en particulier).

## Objectifs

Ce cours est une introduction permettant d'acquérir les notions de bases nécessaires à l'UE « Astrophysique des hautes énergies » (HAP001P) du semestre 3 du master CCP.

## Pré-requis nécessaires

Formation générale en physique du niveau L3,

- Physique nucléaire et corpusculaire,
- Mathématique pour la physique.

### Prérequis recommandés :

Notions de bases en :

- Relativité restreinte et de cinématique relativiste,
- Physique nucléaire,
- Connaissances rudimentaires de l'astrophysique galactique et extragalactique.

## Contrôle des connaissances

Examen final écrit sans documents d'une durée de 3h.



---

## Syllabus

Supports de cours/TD et cours/corrections des exercices en anglais. I/ Astroparticle physics overview

1/ Two exemples from gamma-ray astronomy

a) Space based observatory (Fermi-LAT)

Ex 1 : GeV Galactic Centre as seen by Fermi-LAT

Ex 2 : Gamma-Ray Bursts and quantum gravity

b) Ground based observatory (HESS)

Ex 1: TeV Galactic Centre as seen by HESS

Ex 2: Supernovae Remnants as source of Cosmic Rays

2/ Astroparticle at LUPM : Modelling, HESS2, CTA, SVOM, LSST

3/ New area : Gravitational waves and the Time Domain Astronomy

II/ Cosmic-Rays :

1/ Cosmic-ray spectra

2/ Number and Energy density of the Cosmic-Rays

3/ Detection of VHE cosmic Rays, the Pierre Auger Observatory

4/ The Greisen-Zatsepin-Kuzmin (GZK) effect

5/ Hillas Diagram

6 Fermi acceleration mechanism

III/ Overview of expected Cosmology results from future wide-area spectroscopic surveys experiments

IV/ Dark Matter (if time left)

---

## Infos pratiques

---

### Contacts

Responsable pédagogique

Eric Nuss

✉ [eric.nuss@umontpellier.fr](mailto:eric.nuss@umontpellier.fr)

FdS master physique

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)

---

### Lieu(x)

➤ Montpellier - Triolet



# Dynamique des fluides en astrophysique et cosmologie



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
2 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
16,5h

## En bref

- **Méthode d'enseignement:** En présence
- **Forme d'enseignement :** Cours magistral
- **Ouvert aux étudiants en échange:** Non

## Présentation

### Description

La mécanique des fluides est un outil fondamental pour les sciences de l'Univers : depuis la Terre et les planètes géantes jusqu'aux étoiles, aux disques d'accrétion et au milieu interstellaire c'est une approche incontournable pour étudier les objets astrophysiques. L'UE « Dynamique des fluides en astrophysique et cosmologie » constitue un approfondissement de l'UE « Hydrodynamique » organisée autour de 3 thèmes centraux en astrophysique : fluides en rotation, convection thermique, et magnétohydrodynamique.

### Objectifs

- Être capable de décrire un problème astrophysique grâce aux équations de la mécanique des fluides
- Connaître les principales propriétés des écoulements en rotation, de la convection thermique et des écoulements magnétohydrodynamiques

- Savoir appliquer une analyse de stabilité à un problème astrophysique

L'objectif général de ce cours est de pouvoir aborder les cours de M2 d'astrophysique stellaire et de milieu interstellaire qui font largement intervenir l'hydrodynamique et la magnétohydrodynamique.

### Pré-requis nécessaires

- Hydrodynamique
- Outils Mathématiques

### Contrôle des connaissances

Contrôle terminal

### Syllabus

#### 1. Fluides en rotation

# équations et nombres caractéristiques

# écoulement géostrophique

# ondes inertielles et ondes de Rossby

# effets de la viscosité

#### 2. Convection thermique

# équilibre conductif



# approximation de Boussinesq et approximation anélastique

# baroclinicité

# critère de Schwarzschild et instabilité de Rayleigh-Bénard

# critère de Ledoux et convection thermohaline

3. Magnétohydrodynamique

# rappels sur le mouvement de particules chargées dans un champ magnétique

# approximation fluide pour la description des plasmas et équations du mouvement

# propriétés remarquables des écoulements MHD

# champ gelé, pression et tension magnétique, champ-sans-force, équipartition

# ondes d'Alfvén et magnéto-sonores

# le problème de la dynamo

---

## Bibliographie

· Une introduction à la dynamique des fluides, M. Rieutord, De Boeck, 2014

· Astrophysics for physicists, A.R. Choudhuri, Cambridge University Press, 2010

## Infos pratiques

---

## Contacts

Responsable pédagogique

Julien Morin

✉ [julien.morin@umontpellier.fr](mailto:julien.morin@umontpellier.fr)

FdS master physique

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)

---

## Lieu(x)

➤ Montpellier - Triolet



# Physique des particules 1



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
3 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
24h

## En bref

- **Méthode d'enseignement:** En présence
- **Forme d'enseignement :** Cours magistral
- **Ouvert aux étudiants en échange:** Non

## Présentation

### Description

Ce cours est une introduction au Modèle Standard de la Physique des Particules. Nous ferons dans un premier temps un inventaire des particules élémentaires et de leurs interactions. Puis nous verrons comment utiliser la théorie des groupes de Lie pour classer ces particules élémentaires. Enfin nous aborderons la notion d'interactions électromagnétiques pour des particules chargées mais sans spin (théorie de l'électrodynamique scalaire).

### Objectifs

- Connaître les particules élémentaires,
- Savoir les classer en utilisant la théorie des groupes et de leurs représentations,
- Apprendre à calculer des probabilités d'interactions en utilisant les diagrammes de Feynman.

Ce cours est une introduction permettant d'acquérir les bases nécessaires au module « Physique des Particules 2 » du semestre 3 du Master CCP.

### Pré-requis nécessaires

- Electromagnétisme
- Mécanique Quantique
- Relativité Restreinte
- Théorie Classique des Champs
- Mécanique Analytique
- Physique Mathématique

#### Prérequis recommandés :

- Physique Nucléaire et Corpusculaire

### Contrôle des connaissances

Contrôle Terminal, épreuve écrite (2h) sans document.

### Syllabus

- 0 – Introduction
- 1) Historique
- 2) Théorie Quantique des Champs



3) Systèmes d'unités

4) Réactions

I – Particules et Interactions

1) Classification selon le spin

2) Classification selon les interactions

3) Types d'interactions – diagrammes de Feynman

4) Particules et antiparticules

II – Symétries et Quarks

1) Groupes de symétrie

2) SU(3) et le modèle des quarks

III – Electrodynamique Scalaire

1) Relativité restreinte

2) Fonction d'onde d'une particule sans spin

3) Interactions électromagnétiques

## Infos pratiques

---

### Contacts

**Responsable pédagogique**

Cyril Hugonie

✉ [cyril.hugonie@umontpellier.fr](mailto:cyril.hugonie@umontpellier.fr)

**FdS master physique**

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)

---

### Lieu(x)

➤ Montpellier - Triolet



# Physique quantique avancé



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
6 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
49,5h

## En bref

- **Méthode d'enseignement:** En présence
- **Forme d'enseignement :** Cours magistral
- **Ouvert aux étudiants en échange:** Non

(ex : diffusion par un potentiel isotrope). Savoir utiliser le formalisme de la matrice densité pour le traitement des systèmes quantiques ouverts et son application en optique quantique (équations de Bloch optiques). Connaître les fondements de la représentation de la mécanique quantique bâtie sur les intégrales de chemins et savoir les appliquer au calcul du propagateur d'un système modèle (oscillateur harmonique).

## Présentation

### Description

Ce cours a pour vocation d'introduire et développer plusieurs concepts et outils fondamentaux de la physique quantique non-relativiste nécessaires à la compréhension des processus physiques décrivant les interactions entre les constituants élémentaires de la matière et le rayonnement. On abordera également la seconde quantification et la formulation de la mécanique quantique par intégrale de chemin qui représentent le cadre idéal pour le développement de la théorie quantique des champs et ses applications variées (ex : physique des hautes énergies, physique de la matière condensée).

### Objectifs

Maîtriser les différentes techniques de résolution de l'équation de Schrödinger pour des problèmes physiques complexes (ex : méthode variationnelle, approximation WKB, ...). Connaître les éléments fondamentaux des processus de diffusion et savoir les appliquer dans des situations simples

### Pré-requis nécessaires

Compétences de bases en physique quantique (niveau L3 d'une licence de physique). Bonne maîtrise des outils mathématiques de base (espaces Hilbertiens, algèbre linéaire, transformée de Fourier, distribution de Dirac) pour la mécanique quantique.

#### Prérequis recommandés :

- Physique Quantique
- Atomes-Molécules-Rayonnement
- Mécanique Analytique

### Contrôle des connaissances



Contrôle continu

---

## Syllabus

- \* Rappels et principes fondamentaux
- \* Théorie de la symétrie et règles de conservation
- \* Méthodes d'approximations
- \* Particules identiques et formalisme de seconde quantification
- \* Systèmes ouverts et formalisme de la matrice densité
- \* Introduction à la théorie de la diffusion
- \* Méthodes fonctionnelles et intégrales de chemin

## Infos pratiques

---

### Contacts

Responsable pédagogique

Yohann Scribano

✉ [yohann.scribano@umontpellier.fr](mailto:yohann.scribano@umontpellier.fr)

FdS master physique

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)

---

### Lieu(x)

› Montpellier - Triolet



# Physique statistique



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
6 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
49,5h

## En bref

- > **Méthode d'enseignement:** En présence
- > **Forme d'enseignement :** Cours magistral
- > **Ouvert aux étudiants en échange:** Non

## Présentation

### Description

Introduction à la physique statistique avancée : ensemble grand canonique ; statistiques quantiques ; fluides quantiques (condensation de Bose-Einstein, rayonnement thermique ; théorie de Sommerfeld) ; transitions de phase ; modèle d'Ising ; théorie de champ moyen ; dynamique des systèmes complexes.

### Objectifs

Apprendre des méthodes de la physique statistique avancées pour décrire des systèmes complexes.

### Pré-requis nécessaires

Introduction à la physique statistique

**Prérequis recommandés :**

Introduction à la physique statistique

Mécanique

Electromagnétisme

Thermodynamique Dynamique Newtonienne

Mécanique quantique

### Contrôle des connaissances

Contrôle Terminal

### Syllabus

Introduction à la physique statistique avancée : ensemble grand canonique ; statistiques quantiques ; fluides quantiques (condensation de Bose-Einstein, rayonnement thermique ; théorie de Sommerfeld) ; transitions de phase ; modèle d'Ising ; théorie de champ moyen ; dynamique des systèmes complexes.

### Infos pratiques



---

## Contacts

### Responsable pédagogique

Walter Kob

✉ [walter.kob@umontpellier.fr](mailto:walter.kob@umontpellier.fr)

### FdS master physique

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)

---

## Lieu(x)

➤ Montpellier - Triolet



# Stage M1 Astro-CCP



Niveau d'étude  
BAC +4



ECTS  
10 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences

## En bref

- **Forme d'enseignement** : Stage d'apprentissage
- **Ouvert aux étudiants en échange**: Non

## Présentation

### Description

Ce stage de 7 semaines (usuellement de ~ fin Avril à fin juin) (10 ECTS) permettra un premier contact de l'étudiant avec le monde de la recherche en astrophysique, cosmologie ou encore en physique des particules. Des stages à l'intersection de ces disciplines, plus communément appelée « astroparticules » sont aussi proposés. Les stages peuvent avoir une orientation plus théorique ou plus expérimentale selon les choix des étudiants et des encadrants.

Ce stage peut être effectué dans un laboratoire de recherche en France ou à l'étranger. Cependant, traditionnellement il se déroule dans l'une des deux UMR de l'Université Montpellier 2, le Laboratoire Univers et Particules de Montpellier (LUPM, IN2P3) ou le Laboratoire Charles Coulomb (L2C, INP).

Le stage permettra à l'étudiant d'interagir avec une équipe de recherche (nationale et/ou internationale) et de commencer à découvrir les sujets de recherche qu'il préférera développer dans la suite de ses études.

## Objectifs

Offrir à l'étudiant un premier contact avec le monde de la recherche et sa méthodologie de travail.

## Pré-requis nécessaires

Cours dispensés en S1 et S2 du parcours Cosmos, Champs et Particules

## Contrôle des connaissances

Rapport de stage et soutenance orale.

## Infos pratiques

### Contacts

#### Responsable pédagogique

Eric Nuss

✉ [eric.nuss@umontpellier.fr](mailto:eric.nuss@umontpellier.fr)

FdS master physique

✉ [fds-master-physique@umontpellier.fr](mailto:fds-master-physique@umontpellier.fr)