



# Astrophysique des Hautes Énergies



Niveau d'étude  
BAC +5



ECTS  
3 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
18h

## 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 à l'accélération, la propagation et aux mécanismes de rayonnement des particules énergétiques dans les milieux astrophysiques. Il en donnera les concepts fondamentaux.

### Objectifs

Acquérir les notions de bases sur les processus d'accélération et de propagations des astroparticules dans les milieux magnétisés. Le cours sera donné sous forme magistrale, mais accompagné d'exercices avec leurs corrigés, à faire chez soi en complément. Une fiche de lecture d'une courte revue sur les rayons cosmiques sera aussi demandée pour se familiariser avec la lecture d'articles.

Acquérir les connaissances essentielles sur les mécanismes de rayonnement des particules énergétiques dans les milieux astrophysiques, notamment synchrotron, Bremsstrahlung, Compton inverse et production de pi-mésons. Ces processus

seront présentés sous forme magistrale, mais le cours visera à développer la mise en pratique de ces connaissances dans la résolution de problèmes.

## Pré-requis nécessaires

Pré-requis nécessaires\* :

Mécanique des fluides, électromagnétisme, relativité restreinte.

**Pré-requis recommandés :**

Physique des plasmas, dynamique hamiltonienne, mécanique analytique, magnétohydrodynamique.

## Contrôle des connaissances

CCI 100% : Examen écrit avec documents (3h) + Fiche de lecture à rendre. La note sera le max entre la note d'examen et la moyenne pondérée de l'examen avec la fiche de lecture.

## Syllabus

1ère série cours :

- Revue sur le rayonnement cosmique.



- Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme: mouvement de Larmor, effet d'un champ électrique, cas de dérive du centre guide produit par une force externe perpendiculaire au champ magnétique, dérive du centre guide produite par un gradient du champ magnétique : moment magnétique de la particule. Le premier invariant adiabatique du mouvement dans champ magnétique non uniforme et le miroir magnétique.

- Dérivation de l'équation de Vlasov à partir de Klimontovich, l'équation de Vlasov non-relativiste et relativiste, l'effet Landau, une introduction à l'équation de Fokker-Planck

- Dérivation des équations de la MHD idéale à partir de Vlasov, équations à un et deux fluides et la loi d'Ohm généralisée, théorème d'Alfvén.

- La reconnexion magnétique, modèle de Sweet-Parker et deux mots sur Petschek

- La formule de confinement de Hillas, Les processus d'accélération de Fermi 2ème et 1er ordre (cas d'une onde de choc).

- La théorie quasi-linéaire du transport du rayonnement cosmique.

2ème série cours :

- Rayonnement de charges accélérées: électrodynamique classique, généralisation relativiste

- Émission Bremsstrahlung

- Rayonnement synchrotron

- Applications: électrons cosmiques

- Processus quantiques : Compton inverse, émission hadronique

- Applications: vestige de supernova

## 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



# Matière noire



Niveau d'étude  
BAC +5



ECTS  
3 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
18h

## En bref

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

## Présentation

### Description

Ce cours décrit les fondements théoriques et observationnels du problème dit de la matière noire cosmologique. Cette dernière se manifeste par des effets gravitationnels à différentes échelles astrophysiques, depuis l'échelle des galaxies jusqu'aux échelles cosmologiques (l'univers observable dans son ensemble). Elle constitue environ 85 % de la matière totale de l'univers, et il est exclu qu'elle soit composée des particules élémentaires caractérisant la matière ordinaire connue. Le cours portera notamment sur des solutions potentielles à ce problème connectant l'infiniment petit (particules élémentaires) à l'infiniment grand (univers à grande échelle).

### Objectifs

Les objectifs sont (1) d'éveiller les étudiants à un problème moderne et majeur de physique fondamentale dans un contexte cosmologique, (2) de leur transmettre un corpus théorique avancé leur permettant d'avoir des bases de

compréhension solides de cette problématique, (3) de leur apprendre à faire usage de plusieurs concepts fondamentaux issus de plusieurs disciplines pour traiter un problème interdisciplinaire par nature (mécanique classique, statistique, fluides, thermodynamique, théorie quantique des champs, relativité générale, etc.).

### Pré-requis nécessaires

Pré-requis nécessaires\* :

Calcul différentiel et intégral, équations différentielles, mécanique classique, mécanique statistique, mécanique des fluides, thermodynamique, relativité restreinte.

**Pré-requis recommandés :**

Physique des particules, éléments de relativité générale et de cosmologie (univers homogène).

### Contrôle des connaissances

Contrôle Terminal : Examen écrit (3h).

### Syllabus

Ce cours décrit les fondements théoriques et observationnels du problème dit de la matière noire cosmologique. Cette dernière se manifeste par des effets gravitationnels à différentes échelles astrophysiques, depuis l'échelle des galaxies jusqu'aux échelles cosmologiques (l'univers observable dans son ensemble). Elle constitue environ 85 %



de la matière totale de l'univers, et il est exclu qu'elle soit composée des particules élémentaires caractérisant la matière ordinaire connue. Malgré son origine mystérieuse, ses propriétés sont toutefois fondamentales pour comprendre la formation des galaxies.

Le cours détaillera les signatures gravitationnelles de la matière noire aux différentes échelles astrophysiques, et explorera un scénario dans lequel elle trouverait son origine dans des particules exotiques produites thermiquement dans l'univers primordial : production thermique, découplage chimique et cinétique dans l'univers primordial, recherches directes et indirectes, et discussion de scénarios alternatifs, seront les principaux points abordés. Il s'agit donc de connecter très concrètement l'infiniment petit à l'infiniment grand. Le cours donnera ainsi un aperçu de l'état de l'art en confrontant des développements théoriques relativement récents et des contraintes observationnelles, rendant compte d'un sujet de recherche toujours exploratoire et convoquant des notions de physique extrêmement variées. Le cours sera donné au tableau (ou en visio-conférence si nécessaire), où de nombreux calculs seront détaillés, sans diapositive.

## 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



## Stage M2 CCP



Niveau d'étude  
BAC +5



ECTS  
21 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences

### En bref

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

## Présentation

### Description

Stage de 3 à 6 mois (21 ECTS) en laboratoire ayant pour but l'immersion dans le monde de la recherche et la préparation à la thèse. Ce stage peut être effectué dans un laboratoire de recherche en France ou à l'étranger. Il se déroule du 1er Mars au 31 Mai, date de remise du rapport écrit. Une soutenance orale a lieu au début du mois de Juin. Le stage peut se prolonger jusqu'au 31 Août afin d'enchaîner directement sur la thèse. Les sujets couvrent un vaste spectre allant de la physique théorique (cosmologie, physique des particules et des astroparticules) à la physique expérimentale (expériences du LHC, recherche d'ondes gravitationnelles ou de matière noire, relevés cosmologiques à grands champs...).

### Objectifs

Préparation à la thèse.

### Pré-requis nécessaires

Prérequis nécessaires\* :

- Cours dispensés en S3 et S4 du parcours Cosmos, Champs et Particules.

**Prérequis recommandés :**

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

- Stage de M1 sur une thématique proche.

### Contrôle des connaissances

Rapport de stage et soutenance orale.

## 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





# Travaux pratiques CCP



Niveau d'étude  
BAC +5



ECTS  
3 crédits



Composante  
Faculté des  
Sciences



Volume horaire  
20h

## En bref

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

## Présentation

### Description

Les travaux pratiques concernent la détection et la mesure de rayons cosmiques (muons).

Il s'agira de se familiariser avec une chaîne d'acquisition dédiée à la mesure de rayons cosmiques (principalement des muons). Les étudiants devront comprendre le fonctionnement individuel des différents éléments intervenants dans la chaîne d'acquisitions (alimentations, photomultiplicateurs, scintillateurs, discriminateurs, oscilloscopes...) puis réaliser par eux même un dispositif d'acquisition à partir de ces éléments. Un des objectif du dispositif pourra être la détermination de la masse du muon mais d'autre finalités sont envisageables et laissées libres à l'imagination des étudiants.

Les étudiants devront ensuite réaliser la prise de donnée à partir de leur dispositif puis analyser ces données en tenant compte des erreurs systématiques et statistiques du lot de données.

## Objectifs

L'objectif de cette UE est de permettre aux étudiants de maîtriser les différents éléments classiques d'une chaîne d'acquisition

## Pré-requis nécessaires

Notions de bases en :

- Connaissances générales des interactions particules-matières et du principe des détecteurs classiques tels que d'écrits dans le module de M2 CCP "Astroparticules expérimentales 2"
- Relativité restreinte et de cinématique relativiste,
- Physique nucléaire et corpusculaire
- Formation générale en physique niveau M1

### Prérequis recommandés :

- Mathématiques pour la physique

## Contrôle des connaissances

Les séances de TP se dérouleront par binômes ou trinômes selon les effectifs.

A l'issu des TP, un rapport sera remis et sera noté en fonction des résultats obtenus, de la rédaction et de la clarté



pédagogique. Cette note constituera la note du contrôle des connaissances.

---

## Syllabus

- Prise de contact et familiarisation avec les différents appareils constituant de la chaîne d'acquisition.
- Premières mesures avec un photomultiplicateur (étude de la variation de la réponse en fonction de la distance/intensité de la source lumineuse, saturation ...)
- Création pour chaque groupe d'une chaîne de mesure de signaux en provenance des muons cosmiques.
- Acquisition sur plusieurs jours
- Analyse des données (détermination de la masse du muon et des erreurs associées aux mesures, ...)
- Rédaction du rapport

## 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