



# ÉCOLE DOCTORALE

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT  
ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

Candidature à la composante « Physique de l'Univers »

Le dossier doit être envoyé à [edstepup\\_pu@univ-paris-diderot.fr](mailto:edstepup_pu@univ-paris-diderot.fr).

---

TITRE ET NUMERO DU SUJET : « **GAZ SOMBRE ET RAYONS COSMIQUES DANS LA GALAXIE** »

Nom de l'étudiant :

Directeur (trice) : **GRENIER, Isabelle, Professeur; [isabelle.grenier@cea.fr](mailto:isabelle.grenier@cea.fr)**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) :

Equipe d'accueil : AIM, CEA Saclay

Financement possible hors contrat doctoral : demande de CFR

---

*Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres\_de\_thèse  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

---

## DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

Les rayons gamma produits par les rayons cosmiques de haute énergie diffusant dans le gaz interstellaire offrent une vue unique de ces deux acteurs clés de l'évolution des galaxies. Ils révèlent en particulier que de grandes quantités de gaz échappent, faute d'émission, à l'inventaire du milieu interstellaire [1]. Ce gaz sombre se concentre à l'interface entre les phases atomiques et moléculaires des nuages. Il joue donc un rôle déterminant dans l'évolution structurelle et chimique des nuages, c'est-à-dire dans la capacité des grands réservoirs de gaz atomique diffus des galaxies à se fragmenter en complexes de nuages moléculaires capables de former des étoiles. Or on ignore presque tout de la nature, de l'état et de l'abondance du gaz sombre. On connaît encore moins comment ses propriétés varient selon le type d'environnement galactique. Aussi son étude représente-t-elle un objectif majeur pour la communauté, tant sur le plan des observations que des simulations numériques.

L'étude du plus grand complexe de gaz sombre du voisinage solaire a été différée à cause de problèmes de confusion avec les Bulles de Fermi, ces grands jets de particules de haute énergie qui sont expulsés des régions centrales de la Galaxie et qui ont été découverts en rayons gamma. Nous sommes en mesure aujourd'hui de relever le défi de séparer les nuages des Bulles en arrière-plan. La première partie de la thèse exploitera la richesse des données multi-longueurs d'onde actuelles (Fermi, Planck et WMAP, Gaia, nouveaux relevés radio et mm) pour séparer le complexe de nuages et en mesurer le contenu en gaz et en rayons cosmiques. Les résultats permettront de quantifier comment la proportion de gaz sombre varie selon la masse des nuages dans les conditions du voisinage solaire.

Une seconde partie visera à mettre au point une méthode innovante pour mesurer le gaz sombre au-delà du voisinage solaire car la méthode locale, qui s'appuie sur le couplage des observations



École Doctorale : **STEP UP** : Bâtiment Condorcet - Bureau 376A  
Université Paris Diderot, Case courrier 7008 - 75205 Paris Cedex 13  
Tél.: +33(0)1. 57.27.61.10 - Email : [edstepup\\_pu@univ-paris-diderot.fr](mailto:edstepup_pu@univ-paris-diderot.fr)

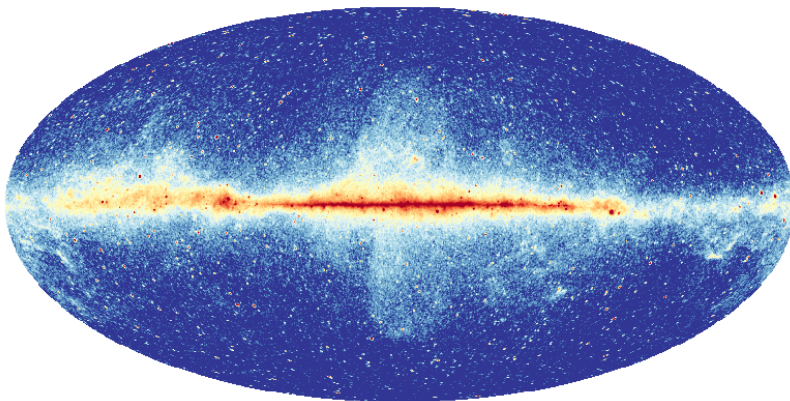


COMPOSANTE PHYSIQUE DE L'UNIVERS

gamma et des poussières, perd rapidement de sa fiabilité à plus grande distance dans la Galaxie. La méthode sera testée sur des données simulées et sur de vrais complexes interstellaires situés à l'extérieur ou entre les bras spiraux de la Galaxie, là où on attend une surabondance de gaz sombre et une diminution du flux de rayons cosmiques, c'est-à-dire deux variations qu'il convient de quantifier pour mieux cerner l'évolution interstellaire des galaxies.

L'étudiant(e) pourra également participer au projet de ballon sub-millimétrique co-PILOT du CNES, qui recherchera des signatures de recombinaison de C+ dans le gaz sombre local pour ouvrir la voie à de futures études extragalactiques du gaz sombre.

Fermi LAT > 4 GeV



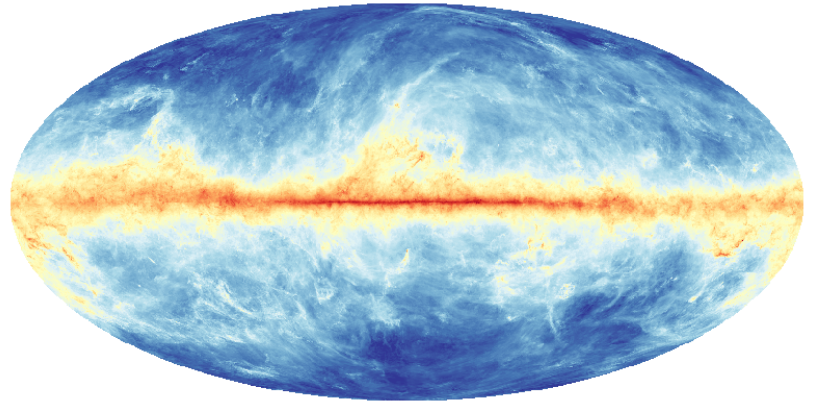
**Figure 1** : Carte du ciel en rayons gamma d'énergie supérieure à 4 GeV, obtenue par l'Observatoire gamma spatial Fermi. Elle montre l'étendue de l'émission interstellaire diffuse produite dans la Voie Lactée et les nuages proches, dans les lobes des Bulles de Fermi émergeant des régions centrales, ainsi qu'un grand nombre de sources ponctuelles (principalement des pulsars et des quasars).

**Figure 2** : Carte du ciel de la profondeur optique des poussières déduite à 353 GHz des observations de Planck et d'IRAS [2]. La forte corrélation entre l'émission gamma et celle des poussières permet de tracer la totalité du gaz sur les lignes de visée.

[1] Grenier et al., 2005, Science 307, 1292

[2] Planck et al., 2014, A&A 571, A11

Planck  $\tau_{353\text{GHz}}$



**DESCRIPTION GROUPE/LABO/ENCADREMENT**

Le travail s'effectuera au laboratoire AIM, au Département d'Astrophysique du CEA à Saclay, et au sein de la Collaboration internationale Fermi LAT. Il profitera de nombreux échanges avec des experts interstellaires en France (à l'ENS et l'IRAM), aux Etats-Unis (Alma, Stanford), en Australie (SKA-GASKAP) et en Chine (FAST). L'étudiant(e) participera en début de thèse au mois d'atelier international organisé sur le gaz sombre par l'Institut Pascal de l'Université Paris-Saclay. Pour la séparation des nuages et des Bulles de Fermi, l'étudiant(e) bénéficiera de l'expertise des membres du laboratoire CosmoStat d'AIM en méthodes parcimonieuses et hyper-spectrales de séparation de composantes.



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

COMPOSANTE PHYSIQUE DE L'UNIVERS

### TRAVAIL PROPOSE

Le travail de thèse consistera d'une part en une séparation spatio-spectrale des différentes sources d'émission gamma, d'autre part en séparation spatiale et cinématique des différents nuages présents sur les lignes de visée, enfin en une modélisation des différentes phases de gaz pour étudier leur contenu en masse et en poussières. L'étudiant(e) sera amené(e) à utiliser un large panel de données multi-longueurs d'onde, du continuum radio aux raies radio (HI et CO), émissions sub-mm et IR, données gamma et rougissemements stellaires.

### FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Un master 2 en astroparticules ou en astrophysique, un goût certain pour l'observation et l'analyse de données, une maîtrise suffisante de l'anglais pour présenter rapidement les avancées du travail aux collaborateurs étrangers et dans la collaboration Fermi LAT.

### COMPETENCES ACQUISES

Compétences en analyses de données : analyses dans diverses longueurs d'onde ; analyse critique de fiabilité des résultats face à des données complexes, aux problèmes de confusion, aux faibles rapports de signal à bruit.

Compétences méthodologiques : différentes méthodes statistiques ; méthodes de séparation de composantes ; ondelettes.

Compétences personnelles : autonomie, synthèse de problèmes et de résultats, écriture d'articles et de rapport, présentations dans des réunions internationales, travail en équipe.

Eventuellement, missions d'enseignement.

### COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Collaboration Fermi LAT (<https://sites.stanford.edu/glast/>) (<https://fermi.gsfc.nasa.gov/>)

Collaboration SKA-GASKAP (<http://www.atnf.csiro.au/research/GASKAP/index.html>)

### CONTACTS

Isabelle Grenier [isabelle.grenier@cea.fr](mailto:isabelle.grenier@cea.fr)

Tel : 01 69 08 44 00



École Doctorale : **STEP UP** : Bâtiment Condorcet - Bureau 376A  
Université Paris Diderot, Case courrier 7008 - 75205 Paris Cedex 13  
Tél.: +33(0)1. 57.27.61.10 - Email : [edstepup\\_pu@univ-paris-diderot.fr](mailto:edstepup_pu@univ-paris-diderot.fr)

