

## Titre/Title : Analyse spatiale de vestige de supernova en rayons gamma

### Directeurs :

Isabelle Grenier (Professeur à l'Université Paris Diderot, AIM-Laboratoire d'études des phénomènes cosmiques et haute énergie) & Fabio Acero (chargé de recherche au CNRS, AIM-Laboratoire d'études des phénomènes cosmiques et haute énergie)

### RESUME

L'objectif de cette thèse est de comprendre comment les différences d'environnement influent sur le mécanisme d'accélération de particules au choc des vestiges de supernova. Pour cela des outils pour effectuer des analyses résolues spatialement avec les données en rayons gamma du satellite Fermi seront à développer. Ces méthodes serviront à séparer les différentes composantes spectrales dans les vestiges de supernova qui évoluent dans des milieux ambiants complexes. Les moyens développés pourront être implémentés dans les outils d'analyse pour CTA, la prochaine génération de télescope en rayons gamma au sol.

### MOTS CLES:

Vestiges de supernova, rayons gamma, astroparticules, modélisation, télescopes Fermi, HESS, CTA.



*Vestige de supernova RCW86 en rayons X (vert et bleu) et infrarouge (rouge).*

### LES SOURCES DE RAYONS COSMIQUES DANS NOTRE GALAXIE

Les rayons cosmiques (RCs) qui sillonnent notre galaxie et interagissent avec l'atmosphère terrestre sont des particules chargées composées à ~99% d'ions -essentiellement des protons- de 1% d'électrons et d'une fraction plus faible d'antiparticules. Ils jouent un rôle clé dans le cycle de la matière et de la chimie du milieu interstellaire dans la Galaxie.

Aujourd'hui, plus d'un siècle après leur découverte, la question de l'origine et du mécanisme d'accélération de ces rayons cosmiques est toujours posée. Les observations à différentes longueurs d'ondes suggèrent que les pulsars, nébuleuses de pulsars et vestiges de supernova (supernova remnants; SNRs) sont les candidats privilégiés à l'origine des RCs galactiques. En effet comme les particules accélérées sont électriquement chargées, elles sont déviées par les champs magnétiques et leur direction d'arrivée sur Terre ne nous permet pas de retracer leur source d'origine. La recherche des accélérateurs de RCs et la compréhension des mécanismes d'accélération se fait donc à travers l'étude du rayonnement multi-longueur d'ondes (des ondes radio aux rayons gamma) produit par l'interaction in-situ de ces particules avec le milieu environnant. Dans ces études, les rayons gamma jouent un rôle particulier car ils représentent le seul moyen de sonder directement les propriétés des

ions accélérés (99% des RCs).

Avec bientôt 8 ans d'observation, le satellite [Fermi](#) a révélé un ciel en rayons gamma (énergie du GeV) riche et complexe dans le plan galactique où certaines études sont désormais limitées non pas par la statistique mais par la superposition d'émission provenant de plusieurs sources ou par le mélange de différentes composantes spectrales d'une même source. Cet enchevêtrement nous limite dans la compréhension de l'origine de l'émission gamma et de ses propriétés dans les accélérateurs galactiques.

#### ANALYSE SPATIALEMENT RESOLUE DES VESTIGES DE SUPERNOVA EN RAYONS GAMMA

Depuis l'été 2015, il est possible dans les données Fermi de ne sélectionner que les photons gamma ayant la meilleure résolution angulaire (jusqu'à une résolution trois fois meilleure). Cette sélection permet d'exploiter le satellite Fermi à son meilleur potentiel et rend possible des analyses en énergie à haute résolution angulaire ( $\sim 0.1^\circ$ ) pour les sources brillantes. Ces nouvelles performances ouvrent la possibilité de discerner des composantes jusque là confondues et cette méthode a un vaste champ d'application dans les sources galactiques qui se trouvent souvent dans un environnement complexe. En particulier cette thèse s'intéressera à l'étude des SNRs qui présentent des variations spectrales le long de leur coquille. Ces variations peuvent être dues à différentes densités et configurations du milieu ambiant et de son champ magnétique autour du SNR. D'un point de vue théorique, ces variations ont un fort effet sur l'efficacité du processus d'accélération au choc et sur la composante dominante l'émission en rayons gamma (électrons et ions accélérés ont des signatures spectrales gamma bien différentes). Jusqu'à présent la statistique et la résolution angulaire avec Fermi ne permettaient qu'une étude globale du SNR et mélangeait plusieurs zones d'émission et composantes. Des études spectrales spatialement résolues sont déjà communément effectuées dans toutes les autres longueurs d'ondes et les rayons gamma étaient jusqu'à présent le dernier facteur limitant. C'est ce verrou que nous nous proposons de lever pour isoler l'émission de chaque partie du choc de la radio aux rayons gamma dans différentes conditions d'environnement. Ceci nous permettra d'obtenir des contraintes observationnelles sur l'impact du milieu ambiant sur le mécanisme d'accélération. Par ailleurs, la problématique de mélange des composantes est très similaire pour les données en rayons gamma du TeV qui seront obtenues par [CTA](#) (la prochaine génération de télescope gamma au sol). Les méthodes d'analyses spectrales développées pour Fermi pourront donc être portées dans les outils d'analyse CTA.

#### METHODOLOGIE

La première étape de cette thèse sera de comparer et d'optimiser le pouvoir de séparation et le rapport signal/bruit pour différentes coupures sur les données en fonction des caractéristiques des sources analysées et de développer des outils pour la définition des régions d'extraction comme la tessellation pour des sources étendues.

Dans le deuxième volet de cette thèse les données spectrales recueillies seront modélisées avec le code d'accélération de particule [CRAFT](#) développé par D. Caprioli (Princeton) avec qui nous collaborons. Cet outil qui prend en compte l'évolution temporelle du SNR et les caractéristiques du milieu ambiant ainsi que les dernières avancées théoriques en la matière permet d'aller au-delà des simples modélisations à une zone. Cette analyse s'effectuera dans un contexte multi-longueur d'ondes (radio, X, rayons gamma du GeV et du TeV) et permettra de contraindre les caractéristiques des populations de particules accélérées en fonction des conditions extérieures du milieu ambiant.

Ces travaux se dérouleront au sein de l'équipe haute énergie du laboratoire [AIM](#) au CEA-Saclay (site Orme des merisiers). Cette équipe a une expérience reconnue dans la modélisation et l'analyse de données X et gamma (télescopes XMM, Integral, Fermi, HESS) et est un des acteurs principaux en France du projet [CTA](#), dont les premières lumières sont attendues courant 2018 pendant la durée de cette thèse.