

Évolution temporelle de l'accélération de particules dans les vestiges de supernova

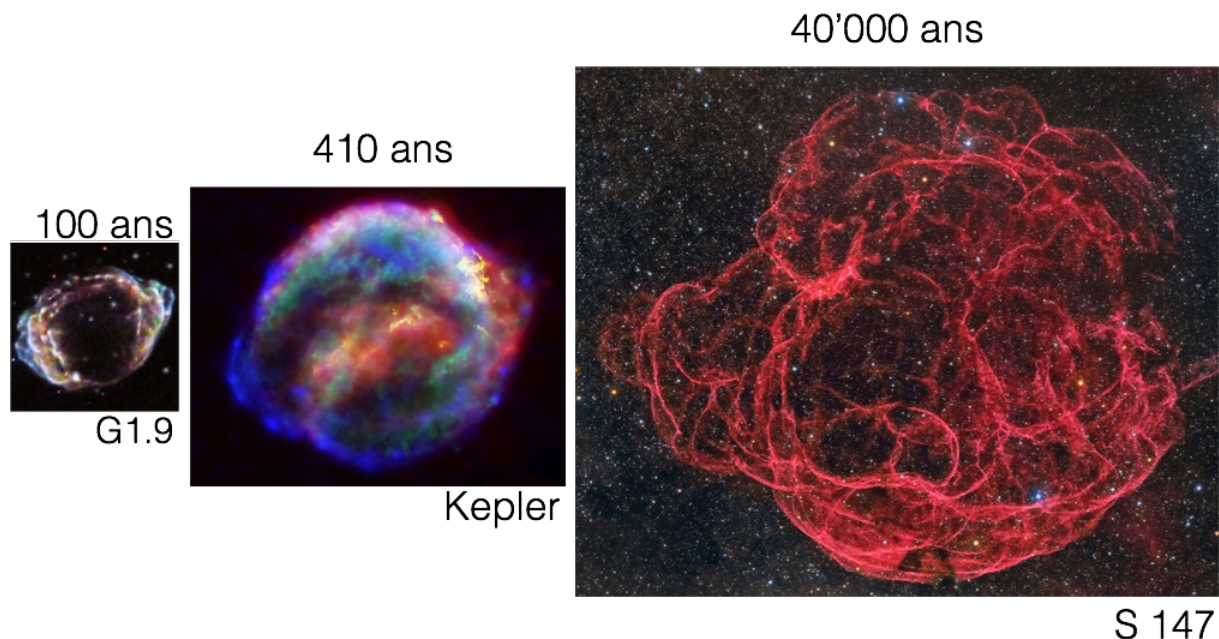
Contact : fabio.acero@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce stage est d'étudier l'évolution temporelle des vestiges de supernova et de l'accélération de particules qui a lieu dans l'onde de choc de ces objets.

Pour cela l'étudiant, utilisera le code d'accélération de particules [CRAFT](#) développé par D. Caprioli (Princeton) avec qui nous collaborons. Cet outil prend en compte l'évolution temporelle du SNR et les caractéristiques du milieu ambiant ainsi que les dernières avancées théoriques en la matière. Ceci permettra de comprendre les conditions dans lesquelles ces objets accélèrent efficacement les particules, contribuant ainsi à la compréhension de l'origine du rayonnement cosmique galactique.

L'étude pourrait conduire à construire un diagramme d'évolution, similaire au diagramme Hertzsprung-Russell pour l'évolution stellaire, en identifiant les séquences principales de l'évolution des vestiges de supernova et de leurs émissions radio, X et gamma.



Mots clés

Modélisation, hautes énergies, astroparticules, télescopes XMM, Fermi, HESS, CTA.

Les sources de rayons cosmiques dans notre Galaxie

Les rayons cosmiques 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. Elles jouent un rôle clé dans le cycle de la matière et de la formation stellaire 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 vestiges de supernova engendrent une onde de choc qui se propage à ~5000 km/s dans le milieu interstellaire et qui pourrait être l'origine principale des rayons cosmiques galactiques. 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. L'étude de l'accélération des rayons cosmiques se fait donc à travers le rayonnement de photons, non chargé, produit par l'interaction in-situ de ces particules avec le milieu environnant. Ces photons sont observés dans une large gamme de longueurs d'ondes allant des ondes radio jusqu'au rayons gamma. Alors que l'émission en radio –le rayonnement synchrotron des électrons de basse énergie ~ 1 GeV- est vue pendant la totalité de la vie du SNR, l'émission synchrotron en rayons X provenant d'électrons de très haute énergie (~ 10 - 100 TeV) est détectée seulement pendant les premiers milliers d'années de la vie du vestige.

Ces dix dernières années, le satellite Fermi et les instruments Tcherenkov au sol ont bouleversé notre vision du ciel en rayons gamma (respectivement aux alentours du GeV et du TeV). Les observations des SNRs avec ces télescopes ont révélé que les objets brillants au GeV étaient principalement « âgés » (10000 ans), en interaction avec leur milieu ambiant. Dans les observations au TeV, les objets brillants sont au contraire plutôt les objets jeunes et isolés (~ 1000 ans). Cette évolution temporelle de l'émission radio, X et gamma est le reflet des différentes étapes dans l'accélération de particules et des mécanismes de radiation dans les SNRs. La plupart des études en rayon gamma actuelles tentent de contraindre les propriétés des rayons cosmiques SNR par SNR ce qui est rendu difficile par l'importante évolution de ces accélérateurs au fil du temps. Les mesures locales sur quelques objets ne permettent pas de répondre de manière globale à la question de l'origine des rayons cosmiques.

Un diagramme d'évolution temporelle des SNRs

Il n'existe pas aujourd'hui de scénario global sur les grandes étapes de l'évolution de l'émission radio, X et gamma des SNRs. Alors que pour les étoiles (le diagramme Hertzsprung-Russell) et les pulsars (graphique P-Pdot) des diagrammes d'évolution temporelle existent, rien d'équivalent n'existe pour les vestiges de supernova.

Avec la génération actuelle d'observatoire en rayon gamma (Fermi et HESS par exemple), les études de population de SNRs émettant en rayons gamma sont désormais possible. Cet échantillon de population sera bientôt complété par la prochaine génération de télescopes Tcherenkov CTA, en préparation. CTA, avec une sensibilité dix fois meilleure que celle de HESS devrait permettre d'observer la majorité des SNRs jeunes dans notre Galaxie (~ 40 objets contre 5 connus aujourd'hui).

L'objectif de ce stage est d'utiliser le code d'accélération de particules CRAFT pour suivre l'émission radio, X, gamma en fonction du temps et dans différentes conditions du milieu ambiant. Ce modèle permettra ainsi d'étudier les séquences principales de l'évolution des SNRs et de dessiner un diagramme de l'évolution de l'émission radio, X et gamma. Les résultats de ce modèle seront alors comparés aux observations pour contraindre la contribution d'une population de SNRs aux RCs Galactiques. Ces travaux pourront apporter des réponses aux questions suivantes : « Dans quelle étape de sa vie et condition environnementale le SNR est-il un accélérateur efficace ? » ou « Est ce que tous les SNRs accélèrent des particules dans les mêmes conditions ? »

Environnement de travail

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 forte expérience 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. Ce stage pourra se poursuivre par une thèse sur l'aspect modélisation des SNRs et/ou sur la préparation de l'exploitation scientifique des observations de CTA dont les premières lumières sont attendues courant 2018.