

RECHERCHE DE SURSAUTS GAMMA AVEC CTA

A search for gamma ray bursts with CTA

CEA Paris-Saclay
Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu)
Département d'astrophysique, UMR 7158 (AIM)

Thierry Stolarczyk, +33 1 69 08 78 12, thierry.stolarczyk@cea.fr, <http://neutrini.free.fr>

L'observatoire CTA est sur le point de transformer notre vision du ciel à très haute énergie grâce à des performances 10 fois supérieures à celles des instruments existants et à des capacités inédites pour l'étude du ciel variable. L'objectif de la thèse est de contribuer à optimiser les performances de détection en temps réel de sources transitoires, en particulier les sursauts gamma et les contreparties aux ondes gravitationnelles.

The CTA observatory is a next-generation ground-based instrument for exploring the sky in gamma rays at very high energies, with a sensitivity ten times better than the existing and an amazing new capacity for the search of transient source counterparts. The thesis work is a contribution to the performance optimisation of the real-time search strategy for transient sources, in particular gamma ray bursts and gravitational wave counterparts.

Le contexte

L'observatoire CTA (Cherenkov Telescope Array) est un instrument au sol permettant d'explorer le ciel en rayons gamma à très haute énergie, d'étudier les phénomènes cataclysmiques de l'Univers, révélant ainsi leur capacité à accélérer le rayonnement cosmique, et de sonder la matière soumise à des conditions extrêmes sous l'influence d'astres compacts, trous noirs ou étoiles à neutrons.

CTA comportera trois types de télescopes répartis sur deux sites dans les hémisphères sud (Chili) et nord (Iles Canaries) : des télescopes de grande taille (LST, 4 au sud, 4 au nord) avec un seuil en énergie particulièrement bas (20 GeV) permettant un bon recouvrement avec les données du satellite Fermi ; des télescopes de taille moyenne (MST, 25 au sud, 15 au nord), destinés à obtenir une sensibilité au TeV dix fois supérieure aux observatoires actuellement en opération (H.E.S.S., Magic, Veritas); des télescopes de petite taille (SST, 70 au sud), permettant d'explorer le ciel jusque 100 TeV et plus.

Dans l'atmosphère l'interaction des rayons gamma ou du rayonnement cosmique produit une gerbe de particules relativistes qui sont à l'origine de la lumière Tcherenkov. Cette lumière se reflète des miroirs des télescopes vers la caméra disposée à leur foyer et y crée une image. Obtenir une vue du ciel consiste à accumuler ces événements, à supprimer le bruit de fond des caméras (fond du ciel, bruit électronique), à reconstruire les gerbes (direction, énergie) et à discriminer les rayons gamma des rayons cosmiques. Une version de la chaîne de reconstruction fonctionnera « en ligne » sur site (analyse temps-réel), afin d'évaluer les performances de l'observatoire et de permettre de réagir à des événements inattendus dans les plus brefs délais.

La construction du premier grand télescope (miroir de 23 m de diamètre) a débuté sur l'île de La Palma (Canaries). Elle sera achevée mi 2019 et les premières données exploitables sont attendues dès 2020. Les LST peuvent être dirigés en moins de 30 secondes dans la direction d'alertes émises par d'autres observatoires afin de rechercher une contrepartie à très haute énergie de sources transitoires. Ces alertes comprennent les sursauts gamma et les ondes gravitationnelles dont la détection par CTA d'une contrepartie constituerait une découverte majeure.

Le sujet

La thèse a pour but de mettre au point des algorithmes novateurs pour la détection en temps-réel de signaux transitoires qu'il s'agisse de variations de flux de la source observée, de l'apparition d'une source dans le champ de vue, ou de la recherche en temps-réel de contreparties à des signaux transitoires observés par d'autres observatoires.

Le travail de recherche comporte les volets suivants :

- **Extrapoler aux énergies de CTA les courbes de lumières** d'un certain nombre de phénomènes prometteurs, à partir de données existantes et/ou en s'appuyant sur des modèles théoriques ou phénoménologiques. Citons par exemple :
 - Les sursauts d'émissions de noyaux actifs de galaxies déjà détectés au TeV, ou de sources galactiques variables ;

- Les sursauts gammas, en partant des données détectées par FERMI/LAT, ou en s'appuyant sur des modèles théoriques pour des observations à plus basse énergie (Swift, Fermi/GBM).
- Les contreparties aux ondes gravitationnelles en photons de haute énergie dont l'intérêt est grandissant après la détection en rayons gamma de GW170817.

Ce travail bénéficiera entre autres des connexions du groupe avec l'équipe SVOM du DAp/AIM (Diego Götz) et des chercheurs théoriciens spécialistes des sursauts gammas avec qui le groupe est en relation (F. Daigne et al.).

- **Développer un algorithme de détection en ligne de phénomènes transitoires** dans CTA et optimiser ses performances pour la détection des courbes de lumières précédemment sélectionnées.

Ce travail utilisera les simulations CTA existantes dans lequel le signal en rayon gamma sera modulé par une courbe de lumière. Des images du ciel seront produites en temps réel à intervalles réguliers (de l'ordre d'une dizaine de secondes) et pourront être analysées par une méthode de détection en ondelette spatio-temporelle. Ce travail sera aussi l'occasion d'optimiser la reconstruction en temps-réel des gerbes atmosphériques (abaissement du seuil en énergie).

L'étudiant bénéficiera de l'expertise du groupe sur la chaîne d'analyse de CTA et de la collaboration existante avec le groupe *Cosmostat* du DAp/AIM, spécialiste des méthodes de parcimonie.

- **Etudier les stratégies de recherche de contreparties aux signaux transitoires**, à partir des courbes et des résultats précédents. Ces stratégies devront s'adapter en particulier aux caractéristiques des alertes reçues (temps écoulé depuis la première détection, imprécision sur la position de la source) qui peuvent nécessiter de parcourir rapidement des régions du ciel plus vastes que le champ de vue de CTA. Le but est d'établir in-fine les performances de CTA et le taux d'évènements pour les différents phénomènes étudiés.

- **Analyser les premières données de CTA pour valider le travail réalisé en simulation.** L'étudiant pourra bénéficier des premières données de CTA pour évaluer le taux de fausses détections en l'absence de source et appliquer l'algorithme de détection aux premières alertes reçues par l'observatoire.

L'équipe

Le consortium CTA rassemble 1300 scientifiques de 32 pays dans le monde, répartis dans 190 laboratoires, avec une forte composante européenne et en particulier française. La thèse se déroulera au sein du groupe CTA du département d'astrophysique (DAp, UMR AIM) de l'Irfu (CEA Paris-Saclay, Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers). Le groupe compte une dizaine de scientifiques, exploitant déjà ou ayant exploité les données d'autres télescopes comme H.E.S.S., les satellites Fermi, Integral, XMM-Newton, et le télescope à neutrinos Antares. Les thématiques scientifiques couvertes dans le groupe vont de l'astrophysique galactique (restes de supernova, binaires X et pulsars, flux diffus...) aux sursauts gamma en collaboration avec le groupe SVOM du DAp.

Le groupe est engagé dans les études préparatoires à l'analyse des données. Il développe des outils novateurs pour la reconstruction des gerbes atmosphériques et l'analyse des images du ciel. Le développement des logiciels de la chaîne de traitement des données de CTA est coordonné au sein du groupe.

L'étudiant sera conduit à participer à des réunions du groupe logiciel CTA, aux réunions des groupes scientifiques pertinents pour le sujet (sources transitoires, analyses multi-longueur d'onde...), et aux réunions générales de CTA dans les pays participants, membres du consortium.

Mots-clefs : Analyse des données, sources variables, sursauts gamma, ondes gravitationnelles, temps réel, CTA.

Cette thèse peut être précédée d'un stage de niveau M2.

<p><u>M2 recommandés</u> : Astrophysique, astroparticules</p> <p><u>Date souhaitée</u> : Septembre 2018 – Septembre 2021</p> <p><u>Compétences techniques</u> : programmation c, C++, python sous Linux, outils d'analyse en astronomie.</p> <p><u>Lieu de la thèse</u> CEA Saclay, IRFU/DAp, Orme des Merisiers, bât. 709, 91191 Gif-sur-Yvette</p>	<p><u>Pour en savoir plus</u></p> <p>CTA : http://www.cta-observatory.org/</p> <p>SVOM : http://www.svom.fr/</p> <p>Cosmostat: http://www.cosmostat.org/</p> <p>Irfu : http://irfu.cea.fr/</p> <p>DAp : http://irfu.cea.fr/Sap/</p>
--	---