



## RECHERCHE DE SURSAUTS GAMMA AVEC 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](mailto: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 dix fois supérieures à celles des instruments existants et à des capacités inédites pour l'étude des phénomènes transitoires. L'objectif de la thèse est d'étudier l'influence du fond diffus de lumière extragalactique sur la détectabilité des sursauts gamma, et de contribuer à optimiser les performances de détection en temps réel de ces sursauts et ainsi que d'éventuelles contreparties aux ondes gravitationnelles. Le travail de recherche contribuera au développement de la chaîne de traitement des données et aux outils d'analyse scientifique de CTA, et exploitera les premières données de l'observatoire.*

### Le contexte

Les sursauts gamma (GRB pour *Gamma Ray Burst*) comptent parmi les phénomènes les plus mystérieux de l'astronomie : ils peuvent émettre en quelques dizaines de secondes autant d'énergie qu'une étoile pendant toute sa durée de vie et devenir alors plus brillants que la totalité du reste du ciel. L'explosion initiale est suivie d'une émission s'étendant sur des semaines ou des mois et dont l'intensité et l'énergie décroissent au fil du temps. Ils sont détectés à des distances cosmologiques, à raison d'un par jour, sur l'ensemble de la voûte céleste, dans le domaine visible, en radio, en rayons X et en rayons gamma jusqu'à quelques dizaines de GeV. Pour comprendre en détail l'origine de ces sursauts il est important d'obtenir des informations à toutes les longueurs d'onde dès leur apparition. Or, sur les quelques milliers de GRB observés depuis 1967, une trentaine d'entre eux seulement ont pu être détectés à haute énergie ( $E > 1$  GeV) en raison des limitations instrumentales.

L'observatoire CTA (Cherenkov Telescope Array) est un instrument au sol permettant d'explorer le ciel avec des rayons gamma de très haute énergie. Il est conçu pour étudier les phénomènes cataclysmiques de l'Univers, révéler leur capacité à accélérer les rayons cosmiques et sonder la matière soumise à des conditions extrêmes sous l'influence d'étoiles compactes, trous noirs ou étoiles à neutrons. CTA comportera plus d'une centaine de télescopes répartis sur deux sites dans les hémisphères sud (Chili) et nord (Iles Canaries). Chacun des sites accueillera à terme quatre télescopes de grande taille (LST) disposants d'un seuil en énergie particulièrement bas (20 GeV) et capables de pointer vers n'importe quelle position dans le ciel en 20 secondes. Ces caractéristiques les rendent particulièrement adaptés à la recherche de phénomènes transitoires, en particulier les GRB ou les contreparties aux ondes gravitationnelles, ces dernières présentant un intérêt grandissant après la détection en rayons gamma de GW170817.

La thèse s'inscrit dans un contexte particulièrement favorable car la mise en opération récente du premier LST permettra de disposer de données réelles avant fin 2019. En outre le groupe CTA au DAp contribue fortement à la création de la chaîne de traitement des données (ctapipe), soutenu par un financement TGIR. Il en coordonne le développement et s'apprête à livrer le premier prototype complet au consortium début 2019. Le lancement, prévu en 2021, du satellite SVOM, un projet dans lequel le DAp est fortement impliqué, et la réception des premières alertes GRB au sol, ajoute un intérêt supplémentaire à ce sujet qui permettra de renforcer les liens entre les deux projets.

Le doctorant ou la doctorante intégrera un grand consortium international dans une phase particulièrement enrichissante marquée par la disponibilité des toutes premières données. Il ou elle participera aux activités des groupes de physique et d'analyse liés à son sujet. Ce sujet couvrira des aspects scientifiques et méthodologiques très complémentaires : l'étude des sursauts gamma et des modèles de fond diffus de lumière extragalactique, témoin du contenu et de l'évolution de l'Univers ; l'optimisation d'algorithmes de reconstruction des données dans un contexte *Big Data* (calcul sur la grille) en s'appuyant en particulier sur le filtrage en ondelette (outils du groupe Cosmostat au DAp) et le *Machine Learning* ; les méthodes d'analyse de signaux faibles et d'erreurs systématiques liées aux données réelles.

### Le sujet

La thèse a pour but de mettre au point des algorithmes novateurs et d'optimiser les stratégies de recherche pour la détection en temps-réel de sursauts gamma et de contreparties à des détection d'ondes gravitationnelles, soit à l'issue d'une alerte indiquant avec une bonne précision la localisation du signal à rechercher (cas de la plupart des sursauts) ou

dans le cas où la direction initiale est incertaine et dépasse le champ de vue de CTA (ondes gravitationnelles). Le travail de recherche comporte les volets suivants :

**Caractériser la population de sursauts gamma accessible à CTA, et étudier les effets de l'absorption par le fond diffus de lumière extragalactique.** Le signal dans CTA pourra être obtenu de l'extrapolation de courbes de lumières détectées à plus basse énergie (satellite FERMI) ou en s'appuyant sur des modèles théoriques ou phénoménologiques. Dans la gamme d'énergie accessible à CTA les rayons gamma peuvent être absorbés par interaction (création de paires  $e^+e^-$ ) sur le fonds diffus de lumière extragalactique (ou *EBL*, pour *Extragalactic Background Light*). Cette absorption induit une coupure à haute énergie allant du TeV à la dizaine de GeV quand la distance croît. Cette atténuation a pour conséquence de limiter la détectabilité des GRB distants et peut masquer une coupure intrinsèque liée au mécanisme à l'origine du sursaut. En revanche elle garde la trace du flux diffus traversé par les rayons gamma et peut apporter des contraintes sur le contenu et l'évolution de l'Univers (modèle cosmologique). Cette première étude permettra de comprendre quels sont les GRB accessibles à CTA, un sujet relativement peu traité jusqu'à maintenant, et dans quelle mesure l'intensité du signal détecté peut permettre de différencier les modèles d'EBL étudiés dans la littérature.

**Contribuer au développement d'algorithmes de détection en ligne de sursauts gamma dans CTA.** 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), à reconstruire les gerbes (direction, énergie) et à discriminer les rayons gamma des rayons cosmiques à l'aide de méthode d'analyse avancées (*Machine Learning*).

Les performances de détection seront étudiées et optimisées dans des conditions de prise de données inhabituelles en réponse à une alerte externe, comme par exemple une connaissance incomplète de l'étalonnage du détecteur, des fonds de ciel très anisotropes ou particulièrement lumineux (sources dans le champ de vue, nuages, nuit avec Lune...). Un flux de données en « temps réel » sera produit à partir des simulations Monte Carlo existantes de gerbes atmosphériques. Les événements une fois reconstruits et filtrés par la chaîne de traitement de données de CTA (ctapipe), seront cumulés pour produire une série d'images du ciel traitées par des méthodes avancées (dont le filtrage en ondelettes) et analysées avec les outils scientifiques de CTA.

La doctorante ou le doctorant 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.

**Estimer les performances pour la détection de GRB** et de contreparties aux ondes gravitationnelles en guise de conclusion aux études précédentes. Cette dernière partie nécessitera d'étudier les stratégies de recherche de signal en fonction des 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.

## L'équipe

Le consortium CTA rassemble 1450 scientifiques de 31 pays dans le monde, répartis dans plus de 200 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). L'équipe 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.

*Mots-clés : Analyse des données, EBL, sursauts gamma, ondes gravitationnelles, temps réel, CTA.*

<u>Date souhaitée</u> : Septembre 2019 – Septembre 2022	CTA : <a href="http://www.cta-observatory.org/">http://www.cta-observatory.org/</a>
<u>Compétences techniques</u> : Python sous Linux, outils d'analyse en astronomie.	Irfu : <a href="http://irfu.cea.fr/">http://irfu.cea.fr/</a> DAP : <a href="http://irfu.cea.fr/Sap/">http://irfu.cea.fr/Sap/</a>
<u>Lieu de la thèse</u> : CEA Saclay, IRFU/DAP, Orme des Merisiers, bât. 709, 91191 Gif-sur-Yvette	