

Table des matières

I	Nom de la session	3
	Loïc ROLLAND : <i>Les sources galactiques observées par H.E.S.S.</i>	5
1.1	Introduction	5
1.2	Conclusion	8

Première partie

Nom de la session

François	Rabelais
RABELAIS	FRANÇOIS

Les sources galactiques observées par H.E.S.S.

Loïc ROLLAND

*Laboratoire de Physique Nucléaire et
des Hautes Energies, Paris*



Résumé

1.1 Introduction

L'expérience d'astronomie γ H.E.S.S. a pour objectif l'étude des sources les plus violentes de l'univers dans lesquelles les particules sont accélérées à des vitesses ultrarelativistes. Des processus non-thermiques d'émission de photons comme les processus inverse-Compton ou de désintégration de π^0 émettent alors des γ de haute énergie. Les sources typiques sont les noyaux actifs de galaxies ou les restes de supernovae. Le détecteur H.E.S.S. est un réseau de quatre imageurs Cherenkov permettant de détecter les γ entre 100 GeV et 100 TeV. L'introduction à la technique de détection et l'étude des sources extragalactiques observées par H.E.S.S. sont présentées par Anne Lemièrre dans [1]. Rappelons simplement que la résolution angulaire de H.E.S.S., inférieure à $6'$, et son grand champ de vue de 5° de diamètre permet d'étudier en détail la morphologie de sources étendues. La résolution en énergie est de l'ordre de 15%. Les résultats obtenus sur quatre sources galactiques observées par H.E.S.S. sont présentés dans ce papier. Ces sources sont de types très différents : RXJ1713.7-3946 est un reste de supernova en coquille, PSR B1259-63 est la première source galactique variable détectée au TeV, HESS J1303-631 est une source non identifiée. L'origine du signal en provenance du centre galactique n'est pas encore identifiée tant les candidats sont nombreux.

1.1.1 Un reste de supernova en coquille : RXJ1713.7-3946

Un des objectifs principaux de H.E.S.S. est la résolution d'un problème existant depuis que Victor Hess a découvert les rayons cosmiques en 1912 : quelle est l'origine des rayons cosmiques ? Les rayons cosmiques chargés d'énergie inférieure à 10^{15} eV sont confinés à l'intérieur de notre galaxie, la Voie Lactée, par le champ magnétique interstellaire turbulent. Leur origine est donc recherchée parmi des objets galactiques et les candidats principaux sont les restes de supernovae en coquille. Après l'explosion d'une étoile massive, les couches externes de l'étoile sont dispersées dans l'espace interstellaire et forment une onde de choc. Des particules sont accélérées par processus de Fermi au niveau de ce choc. De plus, l'onde est ralentie par les collisions des particules éjectées sur les particules du milieu ambiant. Dans le premier cas, les particules accélérées sont préféren-

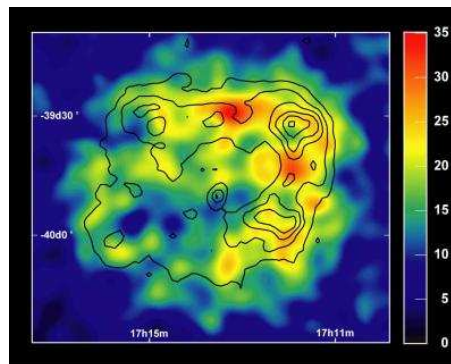


FIG. 1.1 – Carte γ du reste de supernova RXJ 1713.7-3946 observé avec H.E.S.S. en 2003. Les axes sont en RaDec (Ascension droite-Déclinaison) et l'échelle de couleur est en nombre de γ . Les contours superposés montrent la luminosité observée en rayons X par ASCA entre 1 et 3 keV avec une résolution angulaire similaire à celle de H.E.S.S..

tiellement des électrons, dans le second cas, des hadrons sont accélérés et contribuent alors à la population des rayons cosmiques galactiques. Cependant, l'information sur la source des rayons cosmiques chargés observés sur Terre est perdue au cours de leur propagation aléatoire : leur distribution est isotrope. Une manière de détecter leur source d'origine est l'observation des γ de haute énergie. Des γ sont forcément émis dans les zones d'accélération de particules et se propagent ensuite en ligne droite. Les γ sont émis par inverse-Compton dans le cas où les particules accélérées sont des électrons, ou par désintégration de π^0 dans le cas de collisions hadroniques. L'observation de ce type d'objet est donc une priorité pour H.E.S.S..

Un reste de supernova en coquille, RXJ 1713.7-3946, a été vu par H.E.S.S. en 2003 [2] et 2004 avec une significativité de plus de 30σ . L'émission γ est étendue et sa forme en coquille est corrélée avec le signal en rayons X. La première image γ d'un objet astrophysique résolu à l'échelle d'une minute d'arc est donnée figure 1.1. Le spectre de cette source est ajusté par une loi de puissance $dN/dE \propto E^{-\Gamma}$ avec un indice spectral $\Gamma = 2.19 \pm 0.09(\text{stat}) \pm 0.15(\text{syst})$.

Ce reste de supernova est un très bon candidat d'accélérateur de particules à des énergies de l'ordre de 100 TeV. L'étude des corrélations entre les structures en γ et en X, ainsi que l'étude des interactions du choc de la supernova avec les nuages moléculaires qui entourent

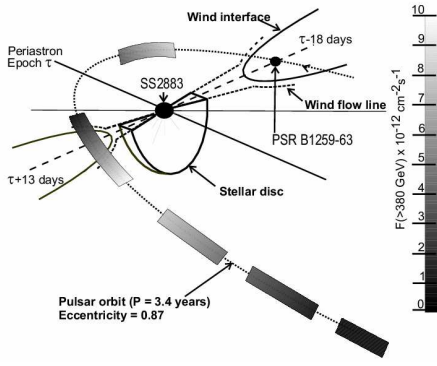


FIG. 1.2 – Schéma de la morphologie du système binaire PSR B1259-63 dans lequel un pulsar est en rotation autour d'une étoile massive de type B2e avec une orbite très elliptique de période 3,4 ans. De plus, l'étoile possède un disque équatorial que le pulsar traverse dans sa trajectoire. Les zones sombres correspondent aux périodes d'observation de ce système par H.E.S.S., le niveau de gris représentant le flux observé.

une partie devrait permettre de valider l'idée que les supernovae en coquille sont des sources de rayons cosmiques d'énergie inférieure à 10^{15} eV. L'analyse des observations de 2004 est en cours.

1.1.2 Deux sources originales : PSR B1259-63 et HESS J1303-631

La détection de deux sources dans un même champ de vue est une première en astronomie γ et est maintenant reportée.

La première source est un système binaire composé d'un pulsar de période ~ 48 ms, en orbite autour d'une étoile massive B2e comme schématisé sur la figure 1.3. L'orbite du pulsar, très excentrique, lui permet de s'approcher très proche ($\sim 10^{12}$ cm) de l'étoile tout les $\sim 3,4$ ans au périastre. On pense, d'après des données en rayons X, que des électrons sont accélérés à des énergies de plusieurs TeV par le vent ultra-relativiste du pulsar. Des γ de haute énergie peuvent être émis par diffusion inverse-Compton des électrons accélérés sur les photons émis par l'étoile. Cette émission dépend de la distance du pulsar à l'étoile et devrait donc être variable. De plus, des observations en radio indiquent la présence d'un disque équatorial autour de l'étoile, coupant la trajectoire du pulsar 18 jours avant et 13 jours après le périastre. On peut donc s'attendre à une émission γ additionnelle due à l'interaction des électrons accélérés par le pulsar avec les hadrons présent dans le gaz du disque.

Pour contraindre ces prédictions, PSR B1259-63 a été observé par H.E.S.S. début 2004 autour du périastre [3]. Une source variable a été effectivement détectée au niveau de 13σ . L'image 1.3 donne la carte de significativité mesurée sur le ciel. La variation de la luminosité de la source en fonction du temps est montrée sur

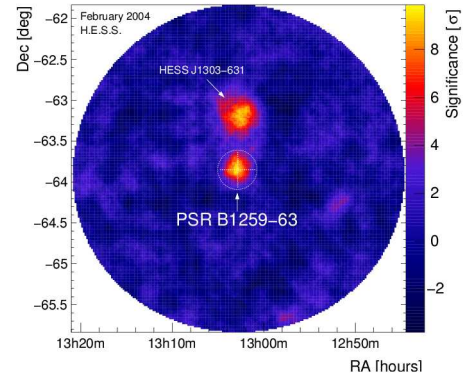


FIG. 1.3 – Carte du ciel γ en significativité. Deux sources sont visibles : le système binaire PSR B1259-63 initialement observé et une nouvelle source non identifiée HESS J1303-631. Les axes sont en RaDec (Ascension droite-Déclinaison).

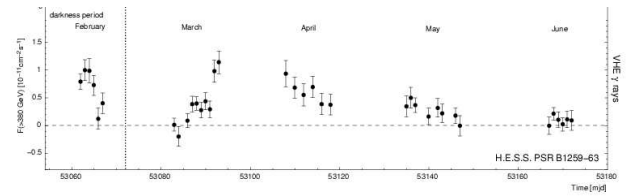


FIG. 1.4 – Courbe de lumière du système binaire PSR B1259-63 : le flux intégré au-dessus de 380 GeV est variable en fonction du temps. La ligne pointillée verticale indique la position du périastre.

la figure 1.4. La détection de γ de haute énergie émis par le système binaire PSR B1259-63 par H.E.S.S. est la première preuve indépendante de tout modèle que des particules sont accélérées dans cet objet. L'émission augmente autour des dates où le pulsar croise le disque équatorial. Ces variations observées sont en cours de comparaison avec les prédictions théoriques.

Une deuxième source a été vue dans le champ de vue des observations de PSR B1259-63 comme on le voit sur la figure 1.3. Après de nombreuses vérifications, on peut maintenant affirmer qu'une source stable et légèrement étendue ($\sigma \sim 0,16^\circ$) est observée à un niveau de 21σ : HESS J1303-631 [4]. Actuellement, elle n'a pu être associée à aucune autre source observée dans d'autres longueurs d'onde. Les caractéristiques de cette source, son spectre dur ($\Gamma \sim 2,2$) et sa taille, sont similaires à celle d'une autre source γ non identifiée observée par l'expérience HEGRA [5]. Des observations dans plusieurs longueurs d'onde de cette région du ciel vont être faites en 2005 pour comprendre la nature de ces sources.

1.1.3 La région du centre galactique

Le centre galactique est une région très riche en source potentielle pour l'astronomie γ . Un trou noir supermassif [7], Sgr A*, de l'ordre de 10^6 masses solaires, se situe au centre dynamique de la galaxie. Des

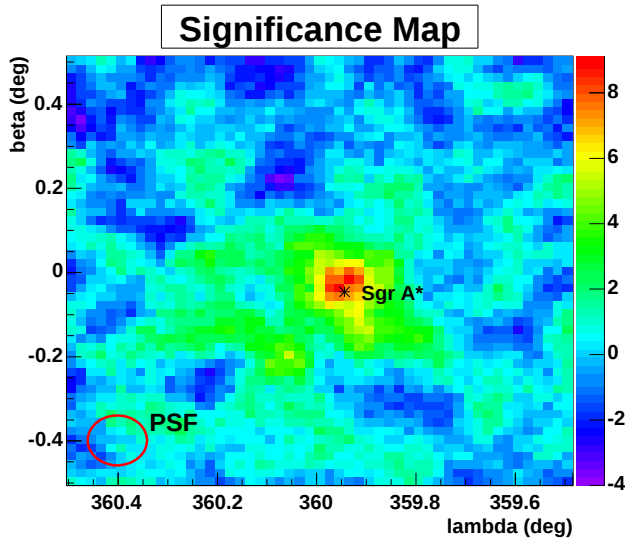


FIG. 1.5 – Carte de significativité mesurée dans la région du centre galactique en 2003. Les coordonnées sont galactiques (longitude (l), latitude (b)). La position du trou noir Sgr A* est marquée. Le cercle en bas à gauche représente la taille d'une source ponctuelle vue par H.E.S.S..

processus d'accélération de particules dans un disque d'accrétion ou des jets pourraient être à l'origine d'une émission γ . Un reste de supernova Sgr A East [8] se situe dans la même direction. Une hypothèse plus exotique est la présence d'un halo dense de matière noire [9, 10]. Les particules massives interagissant faiblement (WIMPs) supposées constituer cette matière peuvent alors s'auto-annihiler dans ce halo et émettre des γ . Les observations du centre galactique sont donc parmi les plus prioritaires de H.E.S.S..

La région du centre galactique a été observée en 2003 puis en 2004. Un signal γ a été vu à un niveau de 12σ en 2003 [6] et à plus de 30σ en 2004 à une moins d' $1'$ de Sgr A*. Une carte de significativité mesurée en 2003 est donnée figure 1.5. En supposant que la source a une forme gaussienne, une limite supérieure $\sigma < 3'$ est obtenue. Etant donné la taille de la source, la position observée par H.E.S.S. est compatible avec Sgr A* ou Sgr A East. Le spectre, montré sur la figure 1.6 est dur, avec un indice spectral $\Gamma = 2,39 \pm 0,12_{\text{stat}} \pm 0,15_{\text{syst}}$. L'analyse des données 2004 est en cours : le spectre est compatible avec celui mesuré en 2003. Le flux de cette source est constant au cours de 2003-2004 avec la statistique disponible.

L'expérience γ INTEGRAL [11] a récemment détecté une dizaine de sources dans le champ de vue de H.E.S.S. autour du centre galactique dans le domaine en énergie de 18 à 60 keV. La plupart de ces sources sont des binaires X associées à une étoile à neutrons. L'une d'elle est un noyau actif de galaxie.

Au-dessus de 100 MeV, une source non identifiée, 3EG1746-2851, a été détectée par le satellite γ EGRET [12]. Plusieurs analyses et les données de différentes années conduisent à des positions pour cette

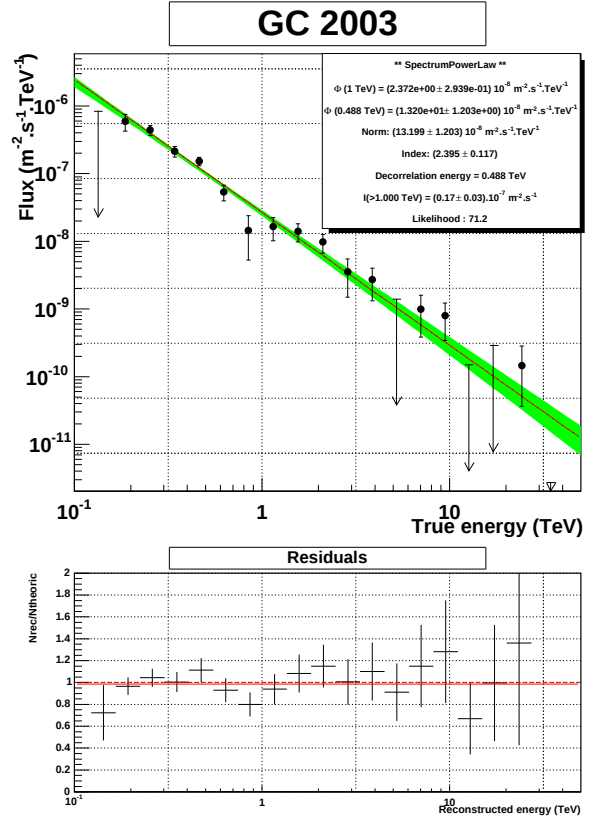


FIG. 1.6 – Spectre dN/dE de la source γ au centre de la galaxie. La courbe supérieure donne le résultat de l'ajustement avec en vert l'intervalle à 1σ sur le flux. Les résidus indiquent la qualité de l'ajustement.

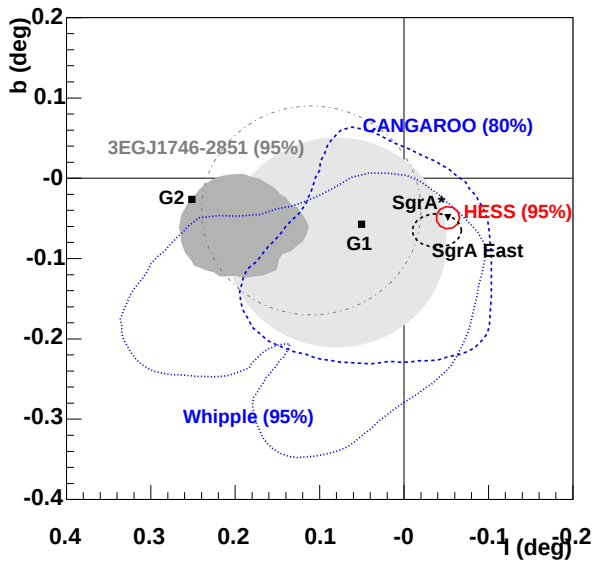


FIG. 1.7 – Carte du ciel de la région du centre galactique en coordonnées galactiques. Les contours correspondant à la position de la source observée par les autres expériences d'imagerie Cherenkov atmosphérique sont montrés en bleu : région à 95% de niveau de confiance pour Whipple [16] et à 80% pour CANGAROO [17]. Les régions à 95% de niveau de confiance sur la position de la source EGRET sont données en gris pour 3 lots de données et analyses différentes [13, 14, 15]. Quelques sources observées à plus basse énergie sont aussi montrées : Sgr A* (triangle), le reste de supernova Sgr A East (ellipse pointillée) et le centre de gravité de deux sources observées par INTEGRAL (G1 et G2). La région à 95% de niveau de confiance sur la position de la source observée par H.E.S.S. est représentée par le cercle rouge continu.

source légèrement différentes [13, 14, 15]. Les rayons de confiance pour la position de la source sont de l'ordre de $8'$. Le recouvrement des régions à 95% de niveau de confiance de ces trois mesures conduisent à une position pour la source EGRET de $l = 0, 13^\circ$, $b = -0, 06^\circ$ en coordonnées galactiques. Les résultats de ces différentes analyses sont montrés sur la figure 1.7 et comparés aux positions des sources vues par les autres expériences γ . L'identification de notre source γ de très haute énergie avec la source EGRET 3EG1747-2851 n'est pas possible car les positions des sources sont séparées de plus de $0, 2^\circ$.

1.2 Conclusion

De nombreuses sources galactiques ont déjà été observées par H.E.S.S. deux ans après l'installation du premier télescope. Parmi ces sources, on trouve un reste de supernova en coquille RXJ 1713.7-3946, la première source galactique variable au TeV PSR B1259-63, une deuxième source non identifiée au TeV HESS J1303-631 et une source proche du centre galactique mais dont

la nature reste encore inconnue. De nombreuses autres sources galactiques sont en cours d'analyse.

Les performances de H.E.S.S., sa résolution angulaire et son grand champ de vue en particulier, permettent d'étudier la morphologie de sources étendues, mais aussi de découvrir plusieurs sources γ dans un même champ ou de faire des observations systématiques du plan galactique comme en 2004 entre -30° et $+30^\circ$ en longitude.

H.E.S.S. va contribuer efficacement à la recherche de l'origine des rayons cosmiques galactiques. De plus, sa sensibilité va permettre d'augmenter significativement le nombre de sources γ de haute énergie, ouvrant probablement ma voie à de nouveaux types de sources γ .

Remerciements

Je remercie toute la collaboration H.E.S.S. pour ces presque trois années qui sont passées si vite ! Et bien sûr... c'est un plaisir de remercier les coordinateurs des différentes sessions sans oublier les gentils organisateurs !

Références

- [1] A. Lemièrre, ces proceedings, 2004.
- [2] F. Aharonian, et al, (H.E.S.S. collaboration), *Nature*, 432, 75-77 (2004)
- [3] F. Aharonian, et al, (H.E.S.S. collaboration), en préparation
- [4] F. Aharonian, et al, (H.E.S.S. collaboration), en préparation
- [5] F. Aharonian, et al, (HEGRA collaboration), *A&A*, 393, L37 (2002)
- [6] F. Aharonian, et al, (H.E.S.S. collaboration), *Astron. Astrophys.*, 425, L13-L17 (2004)
- [7] F. Aharonian, A., Neronov, *ApJ*, in press, astro-ph/0408303 (2004)
- [8] Crocker, R.M., et al, *ApJ*, submitted (2004)
- [9] Bergstrom, L., et al, astro-ph/0410359 (2004)
- [10] Horns, D., astro-ph/0408192 (2004)
- [11] Revnivtsev, M.G., et al, *Astronomy Letters*, 30, 207-389 (2004)
- [12] Thompson, D.J., et al, *Ap.J.Supp.*, 101, 259-286 (1995)
- [13] Lamb, R.C. and Macomb, D.J., *ApJ*, 488, 872-880 (1997)
- [14] Hartman, R.C., et al, *Ap.J.Supp.*, 123, 79-202 (1999)
- [15] Hooper, D. and Dingus, B., astro-ph/0212509 (2002)
- [16] Kosack, K., et al, *ApJ*, 608, L97 (2004)
- [17] Tsuchiya, K., et al, *ApJ*, 606, L115 (2004)