

# Virgo : L'astronomie gravitationnelle

L'expérience Virgo a pour objectif la détection des ondes gravitationnelles émises par des sources astrophysiques, d'une part pour apporter une preuve expérimentale directe de leur existence et vérifier leurs propriétés, d'autre part pour ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'Univers en exploitant ce nouvel outil pour l'astrophysique et la cosmologie. Le détecteur est un interféromètre de trois kilomètres de long, construit à Cascina in Italia, près de Pise.

## Introduction

Virgo a pris des données en 2007 lors de son premier run scientifique (VSR1) à une sensibilité proche de la sensibilité nominale du détecteur. Après une année consacrée à des interventions sur le détecteur pour améliorer sa sensibilité et l'amener à la configuration Virgo+, l'expérience est à nouveau en phase de commissioning, avec l'objectif d'entamer une nouvelle prise de données (VSR2) avec une sensibilité accrue à l'été 2009. En parallèle, la collaboration œuvre à la conception finale de l'étape suivante de l'expérience, Advanced Virgo, avec l'objectif d'une approbation mi-2009 ouvrant sur quatre années de construction puis deux ans de commissioning. L'ambition d'Advanced Virgo est de prendre des données à partir de 2015, avec une sensibilité permettant très probablement d'observer de nombreuses sources et d'ouvrir véritablement l'ère de l'astronomie gravitationnelle.

## Points forts

Virgo a franchi une étape importante avec sa première prise de données scientifiques en 2007.

Le groupe du LAPP s'efforce d'être présent sur les différents fronts permettant de faire progresser Virgo : travail en lien avec le détecteur (système de détection, électronique et software, commissioning, amélioration de la sensibilité...) et travail d'analyse de données (calibration, caractérisation de la qualité des données, recherche de coalescences binaires...).



Figure 1 : Vue aérienne du détecteur Virgo.

## La collaboration

La collaboration Virgo compte, début 2009, 16 laboratoires de 5 pays européens. Outre le LAPP, les laboratoires français sont : LAL (Orsay), LMA/ESPCI (Lyon/Paris), APC (Paris), OCA (Nice). La collaboration Virgo est par ailleurs liée à la LSC (LIGO Scientific Collaboration) par un accord conclu début 2007.

## Activités de recherche du groupe du LAPP

Le LAPP a fortement contribué à la construction de Virgo, pour laquelle le groupe a pris en charge la conception et la réalisation des chambres à vide abritant les miroirs, de l'ensemble du système de détection, d'une partie importante du système *online* (timing, acquisition des données, boucles de contrôle temps réel), et du système de calibration. Ceci a naturellement conduit le groupe par la suite à réaliser les upgrades nécessaires pour Virgo+ sur ces différents systèmes, notamment la refonte d'une grande partie de l'électronique et software temps réel et la préparation de l'implantation sous vide des principales photodiodes de la détection. Le groupe est par ailleurs impliqué dans des activités de développement logiciel, de monitoring du détecteur, de commissioning et d'analyse de données, qui sont des activités transversales dans la collaboration.

Outre les charges associées aux systèmes sous la responsabilité du groupe, plusieurs membres de l'équipe ont occupé des postes de responsabilité transversale dans la collaboration lors de la période écoulée : Benoît Mours a été le porte-parole de la collaboration Virgo de mai 2005 à mai 2008. Edwige Tournefier a coordonné la caractérisation optique du détecteur de juillet 2004 à février 2007 et l'ensemble des activités de commissioning de février 2007 à juillet 2008. Alain Masserot coordonne les activités d'électronique et software depuis juillet 2008. Frédérique Marion coordonne le groupe d'analyse « coalescences binaires » depuis juillet 2006.

### Projets techniques

Durant la période écoulée, le groupe a continué à assurer le support, la maintenance et les évolutions des systèmes sous sa responsabilité : système de détection, système *online*, calibration. Il est également impliqué dans la maintenance, le développement et l'utilisation d'un certain nombre d'outils logiciels, notamment pour la visualisation des données et le monitoring du détecteur.

Dans la période ayant précédé le début du run VSR1 (année 2006 et début 2007), le groupe a participé au commissioning du détecteur, et en particulier à sa caractérisation optique ainsi qu'à l'identification et la réduction des sources de bruit

limitant la sensibilité. Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs notes techniques et d'une publication, ainsi que de la thèse de Romain Gouaty.

Par ailleurs, plusieurs projets techniques d'envergure ont été menés par le groupe pour améliorer le détecteur en vue de la phase Virgo+ :

- Refonte de l'électronique de timing et de contrôle et du software associé : le but était de remplacer une électronique devenue obsolète tout en diminuant le bruit de la chaîne de lecture et en accroissant le potentiel des boucles de contrôle. Après plusieurs années de R&D, la production des éléments a eu lieu en 2007 et 2008, notamment pour quatre cartes d'électronique spécifiques, conçues et réalisées par le LAPP. L'upgrade a également impliqué le choix et l'achat de nouveaux récepteurs GPS, ainsi que de nouveaux processeurs temps réel. Le déploiement sur le détecteur de cette nouvelle électronique a démarré en 2008, en parallèle avec l'évolution du software associé et est aujourd'hui en grande partie achevé.
- Mise sous vide des photodiodes principales : la motivation de ce changement est d'éliminer le couplage des bruits sismique et acoustique à travers les photodiodes principales du système de détection, et représente également une première étape dans une évolution vers un mode de détection homodyne. L'implémentation des photodiodes dans un caisson étanche destiné à être placé sur le banc de détection suspendu sous vide a été conçue et réalisée et se trouve en phase de test avant de pouvoir être mise en œuvre sur le détecteur.
- Amélioration du calibrateur optique : ces changements nécessaires pour être compatible avec les exigences de Virgo+ ont démarré en 2008 et s'achèveront en 2009.

Le groupe est aussi impliqué dans la conception du détecteur dans sa version future – Advanced Virgo – en particulier en ce qui concerne le système de détection. Le résultat de cet effort de conception est présenté dans le document "Advanced Virgo Preliminary Design" délivré par la collaboration en novembre 2008. Le groupe est par ailleurs engagé dans un travail de R&D concernant une cavité *mode-cleaner* compatible avec un mode de détection homodyne et les

conditions d'Advanced Virgo. Ce travail a fait l'objet d'une note technique.

### Analyse de physique et résultats

Le fait marquant de la période écoulée est naturellement la première prise de données scientifiques de Virgo. Le run VSR1 a eu lieu du 18 mai au 1<sup>er</sup> octobre 2007 et a été caractérisé par un cycle utile de 81 % en *science mode*. L'horizon moyen pour les coalescences binaires d'étoiles à neutrons (distance moyenne à laquelle ces sources sont visibles avec un rapport signal sur bruit de 8) atteint 4 Mpc.

Durant le run, les membres du groupe ont participé à la prise de données et assuré le support à distance pour les systèmes sous notre responsabilité (astreintes *on call*). Ils furent également impliqués dans le monitoring du détecteur, la caractérisation de son fonctionnement et le monitoring de la qualité des données grâce à l'application d'algorithmes en temps réel, dont un algorithme de recherche de coalescences d'étoiles à neutrons.

Le groupe a en charge la calibration de Virgo et, pour mener à bien cette tâche, a développé les méthodes de mesure et d'analyse permettant de caractériser la réponse de l'interféromètre. Celles-ci sont régulièrement appliquées afin de réaliser le suivi de la sensibilité du détecteur dans le domaine fréquentiel. La procédure permettant de reconstruire les données calibrées dans le domaine temporel est également sous la

responsabilité du groupe. Ces travaux ont été particulièrement importants pour VSR1 et ont fait l'objet de plusieurs notes techniques. Une publication est en préparation.

Les membres du groupe ont contribué à la caractérisation des données recueillies, en amont du run VSR1 sur les courtes périodes de prise de données l'ayant précédé, et de manière plus approfondie sur les données de VSR1. Ils ont participé à la définition d'indicateurs de qualité permettant d'identifier les dysfonctionnements de l'appareillage ou des anomalies dans l'environnement du détecteur, et à leur utilisation sous forme de véto par les recherches de signaux physiques.

Au niveau de l'analyse des données, hormis une activité s'attachant à la recherche de signaux continus émis par des étoiles à neutrons en système binaire, la contribution du groupe se focalise sur la recherche de signaux émis lors de la coalescence d'astres compacts (étoiles à neutrons et trous noirs), qui a fait notamment l'objet du travail de thèse de Daniel Grosjean pendant la période écoulée. Le travail de développement autour du pipeline d'analyse MBTA – fondé sur une analyse par bandes de fréquence – s'est poursuivi. Une méthode originale permettant d'améliorer la résolution sur la mesure du temps d'arrivée des signaux de coalescence – ayant un impact sur la capacité à localiser la source par triangulation – a également été développée et a fait l'objet d'une publication.

Un aspect important de l'analyse des données de Virgo est qu'elle est réalisée conjointement avec l'analyse des données de l'expérience analogue LIGO (USA), suite à l'accord de coopération signé début 2007 entre les deux collaborations, incluant un partage total des données à partir du début de VSR1. Cet accord fait suite à un ensemble d'actions communes préparatoires auquel le groupe du LAPP a été associé et qui ont donné lieu à des publications.

C'est donc dans ce cadre commun LIGO-Virgo que s'effectue l'analyse des données de VSR1 (et des données prises en parallèle par LIGO pendant le run S5). Le groupe participe activement aux activités du groupe conjoint CBC (*compact*

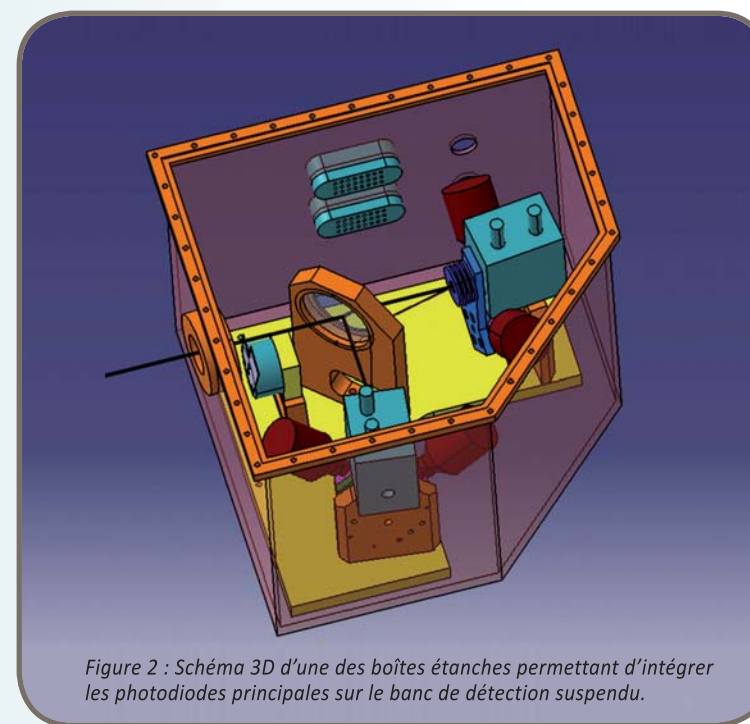


Figure 2 : Schéma 3D d'une des boîtes étanches permettant d'intégrer les photodiodes principales sur le banc de détection suspendu.

*binary coalescence*) et est notamment impliqué dans les recherches de coalescences à basse masse (masse totale de 2 à 35  $M_{\odot}$ ) et haute masse (masse totale de 25 à 100  $M_{\odot}$ ), ainsi que dans la recherche de coalescences associées à des sursauts gamma courts. Ces analyses sont en cours de finalisation et seront publiées en 2009.

## Plan pour 2010-2014

L'ambition du groupe Virgo du LAPP pour la période à venir est de s'investir au maximum pour mener à bien le plan d'upgrades du détecteur, devant conduire à la première détection d'un signal d'onde gravitationnelle par Virgo. Ce plan prévoit une évolution en deux étapes – Virgo+ puis Advanced Virgo – et est contraint dans son planning par la volonté de progresser en parallèle des évolutions de LIGO – enhanced LIGO puis advanced LIGO.

Le détecteur dans sa configuration Virgo+ initiale est actuellement en cours de commissioning. L'objectif est de réduire les sources de bruit de sorte de pouvoir commencer le deuxième run scientifique – VSR2 – à l'été 2009 avec une sensibilité supérieure à celle de Virgo. Un accroissement significatif de la sensibilité est ensuite attendu d'améliorations incrémentales qui seront réalisées lors d'arrêts dédiés pendant le run VSR2. Au total, un facteur d'amélioration de 2 à 3 par rapport à la sensibilité nominale de Virgo est attendu, se traduisant par un gain d'un

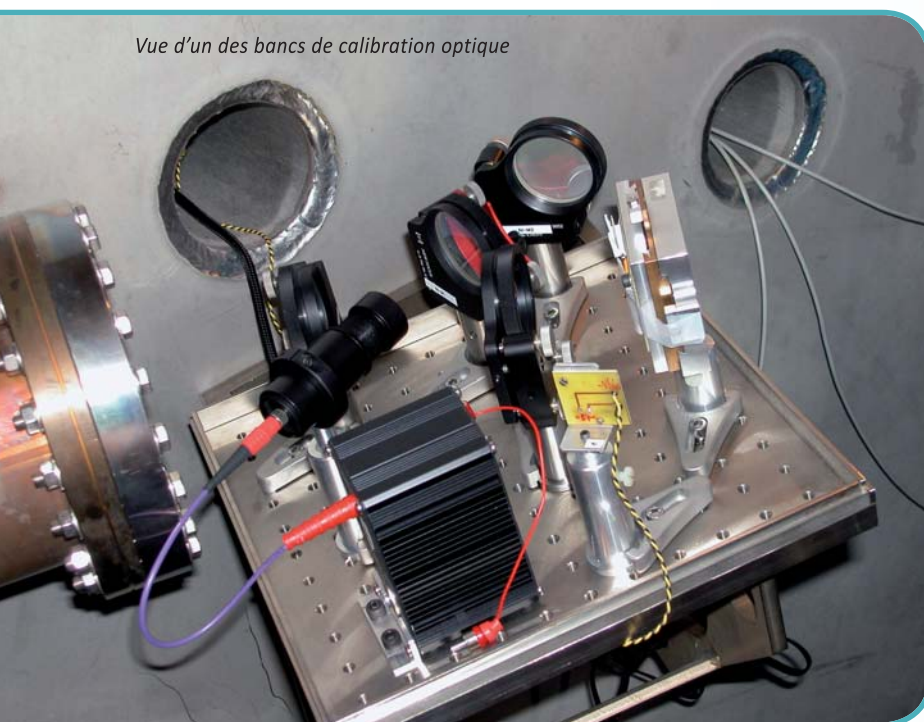
ordre de grandeur sur le volume de l'Univers observable par Virgo, rendant une détection plausible quoique encore très incertaine.

Les intentions du groupe pour Virgo+ sont de continuer à assumer ses responsabilités sur les systèmes dont il a la charge, et notamment d'achever les changements techniques réalisés pour Virgo+ (voir plus haut). Le groupe poursuivra également ses contributions dans le domaine du commissioning, de l'identification des sources de bruit parasites, de la caractérisation du détecteur et de l'analyse des données.

L'étape suivante, Advanced Virgo, représente un saut qualitatif et quantitatif plus important, avec la conception et la construction d'un détecteur en évolution significative par rapport à Virgo, permettant un gain d'un facteur 10 sur la sensibilité, ouvrant donc un volume 1 000 fois plus grand sur l'Univers. Ce gain rendra la détection de signaux d'ondes gravitationnelles très probable, notamment avec un horizon moyen de 150 Mpc pour les coalescences d'étoiles à neutrons. Il est donc crucial que le planning d'Advanced Virgo soit respecté, afin de démarrer la prise de données en phase avec advanced LIGO en 2015.

Dans l'hypothèse favorable d'une approbation d'Advanced Virgo par le CNRS et l'INFN à la mi-2009, assortie d'un financement du projet permettant une construction en quatre ans, le groupe fera tout son possible pour contribuer à la réalisation d'Advanced Virgo dans les délais. Il souhaite prendre en charge des évolutions en lien avec les systèmes traditionnellement sous sa responsabilité, ce qui demandera un effort technique soutenu du laboratoire. Une équipe d'une dizaine de techniciens et ingénieurs est nécessaire pour mener ces projets à bien, exigeant notamment un renfort en électronique analogique.

Dans une perspective à plus long terme, mentionnons également que des membres du groupe participent à la *design study* financée par l'Union Européenne pour le détecteur de troisième génération Einstein Telescope.



Vue d'un des bancs de calibration optique

## Publications importantes

Les membres de groupe sont auteurs des articles publiés par la collaboration Virgo. Parmi ces publications et en plus de celles-ci, on peut distinguer celles auxquelles des membres du groupe ont activement participé :

1. "Improvement in the shot noise of a laser interferometer gravitational wave detector by means of an output mode-cleaner", *Class.Quant.Grav.*23:3235–3250 (2006). F. Beauville et al.
2. "Thermal noise reduction in interferometric gravitational wave antennas: Using high order TEM modes", *Class.Quant.Grav.*23:5777-5784 (2006). B. Mours, E. Tournefier, J.-Y. Vinet.
3. "Improving the timing precision for inspiral signals found by interferometric gravitational wave detectors", *Class. Quantum Grav.* 24 S617–S625 (2007). Virgo Collaboration.
4. "Measurement of the optical parameters of the Virgo interferometer", *Applied Optics*, 46, 17-3466 (2007). Virgo Collaboration.
5. "Data Acquisition System of the Virgo Gravitational Waves Interferometric Detector", *IEEE Transactions on Nuclear Sciences*, vol.55, issue 1 (2008) 225-232. Virgo Collaboration.
6. "Detailed comparison of LIGO and Virgo inspiral pipelines in preparation for a joint search", *Class. Quantum Grav.* 25, 22pp (2008). F. Beauville et al (The joint LIGO/Virgo working group).

## Thèses et Habilitations

Deux doctorants ont soutenu leur thèse durant la période écoulée :

- R. Gouaty « Analyse de la sensibilité du détecteur d'ondes gravitationnelles Virgo » mai 2006.  
 D. Grosjean « Aspects de la recherche de coalescences binaires avec le détecteur Virgo » juillet 2007.

Il est à noter que plusieurs physiciens du groupe ont soutenu une habilitation à diriger des recherches pendant la période écoulée : Damir Buskulic (mars 2006), Didier Verkindt (mai 2007), Edwige Tournefier (septembre 2007).

## Présentations dans des conférences

2006 :

B. Mours, "The search for Gravity Waves and the Virgo experiment", Workshop de prospective astroparticules, Amsterdam (Pays-Bas).

B. Mours, "Virgo status and Plan", Workshop de prospective astroparticules, Lausanne (Suisse).

R. Gouaty pour la collaboration Virgo, "Analysis of the Virgo runs sensitivities", *Gravitational Wave Advanced Detector Workshop 2006*, Ile d'Elbe (Italie).

E. Tournefier, "Thermal noise and high order Laguerre-Gauss modes", *Gravitational Wave Advanced Detector Workshop 2006*, Ile d'Elbe (Italie).

S. Karkar pour la collaboration Virgo, "Calibration of the Virgo interferometer", *Rencontres du Vietnam, Challenges in AstroParticle Physics*, Hanoi (Vietnam).

B. Mours, "h(t) reconstruction and validation", *Gravitational Wave Data Analysis Workshop*, Institut Henri Poincaré, Paris (France).

D. Grosjean pour la collaboration Virgo, "Improving the timing accuracy for inspiral signals", Poster, 11<sup>th</sup> *Gravitational Wave Data Analysis Workshop*, Postdam (Allemagne).

2007 :

E. Tournefier pour la collaboration Virgo, "Noise budget and noise hunting in Virgo", *Rencontres de Moriond, Gravitational Waves and Experimental Gravity*, La Thuile (Italie).

D. Verkindt pour la collaboration Virgo, "Data Acquisition System of the Virgo Gravitational Waves Interferometric Detector", *IEEE NPSS Real Time Conference 2007*, Batavia (USA).

F. Marion pour la collaboration Virgo, "Virgo Status", 7<sup>th</sup> *Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves*, Sydney (Australie).

D. Buskulic pour la collaboration Virgo, "Search for Coalescing Binaries Gravitational Waves Signal Associated with GRB070219A Using the Virgo Detector", Poster, 7<sup>th</sup> *Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves*, Sydney (Australie).

E. Tournefier pour la collaboration Virgo, "The status of VIRGO", HEP 2007, Manchester (Royaume-Uni).

E. Tournefier, "Les ondes gravitationnelles : nouveaux messagers du cosmos", Journées de la SFP, Grenoble (France).

2008 :

V. Granata pour la collaboration Virgo, "R&D for DC readout and under vacuum detection optics in Virgo", Gravitational Waves Advanced Detectors Workshop, Ile d'Elbe (Italie).

D. Buskalic, "DéTECTEURS d'ondes gravitationnelles, présent et avenir", Journée de prospective sur les GRB, Marseille (France).

## Séminaires

B. Mours, "Virgo Status and Plans", Albert Einstein Institut à Golm (Allemagne).

F. Marion, Séminaires grand public sur la recherche des ondes gravitationnelles à l'Université Ouverte de l'Université Claude Bernard Lyon I (juin 2006), à Marseille (janvier 2006), Gap (janvier 2006), Lyon (janvier 2008)

F. Marion, "Data analysis: coalescing binaries", Cours à l'école de la VESF (mai 2007 et mai 2008).

D. Verkindt, "A l'écoute des étoiles... Les détecteurs interférométriques d'ondes gravitationnelles", EduSCOL ENS Lyon (France).

D. Buskalic, "Etat et perspectives de la détection d'ondes gravitationnelles dans le monde", Ecole de Physique des Astroparticules, OHP (France).

E. Tournefier, "La recherche d'ondes gravitationnelles : Virgo et ses sœurs", LPNHE Paris (France).

E. Tournefier, "La détection d'ondes gravitationnelles et l'interféromètre Virgo", Cours au Master 2 de Grenoble (France).

F. Marion, "Détection des ondes gravitationnelles ; où en sont Virgo et les autres ?", LPSC à Grenoble (France).

R. Gouaty, "Détection des ondes gravitationnelles : où en sont LIGO et Virgo ?", IRFU-SPP Saclay (France).

## L'équipe du LAPP

**Physiciens** : D. Buskalic, R. Flaminio, R. Gouaty, F. Marion, B. Mours, L. Rolland, E. Tournefier, D. Verkindt, M. Yvert

**Post-Docs** : L. Baggio (sept. 2005-sept. 2006), A. Dietz (depuis juil. 2008), V. Granata (mai 2006-août 2008), S. Karkar (oct. 2004-sept. 2006), J. Trummer (janv.-déc. 2008).

**Doctorants** : R. Gouaty, D. Grosjean

**Equipe Technique** : T. Bouedo, S. Cap, P.-Y. David, L. Giacobone, N. Letendre, A. Masserot, P. Mugnier, J.-M. Nappa, E. Pacaud, J. Tassan, S. Vilalte

**Stagiaires** : Un stagiaire ingénieur en électronique (2006), un stagiaire technicien en électronique (2006), un stagiaire de M2 (2007), un stagiaire de M1 (2008), deux stagiaires de L3 (2008).

# HESS : Etude des accélérateurs cosmiques

L'expérience HESS détecte le rayonnement gamma de très haute énergie pour mieux comprendre les mécanismes de production et de propagation des rayons cosmiques. Les quatre télescopes qui la compose sont opérationnels depuis janvier 2004. Ils sont situés sur un plateau Namibien de haute altitude. Le groupe du LAPP a rejoint la collaboration HESS fin 2005 et participe à la construction de la caméra du cinquième télescope. Les activités de recherche de ce groupe seront détaillées dans ce document.

## Introduction

L'expérience HESS détecte le rayonnement gamma de très haute énergie (100 GeV à 10 TeV) pour mieux comprendre les mécanismes de production et de propagation des rayons cosmiques produits dans les sources astrophysiques telles que les noyaux actifs de galaxie, les pulsars, les nébuleuses de pulsar et les restes de supernovae. Les rayons gamma de très haute énergie, en interagissant dans l'atmosphère, produisent une gerbe électromagnétique qui est détectée via l'émission de rayonnement Tcherenkov. Cette lumière Tcherenkov est alors focalisée sur une caméra composée de photomultiplicateurs. Depuis janvier 2004, HESS comprend quatre télescopes de 15 m de distance focale (HESS1) installés sur un plateau désertique à 1 800 m d'altitude en Namibie. Un cinquième télescope d'une focale d'environ 36 m (HESS2) est en cours de construction. Les laboratoires français sont impliqués dans la construction de la caméra de ce cinquième télescope.

### Points forts

- Système autofocus et de déchargement de la caméra de HESS2.
- Sécurité de la caméra.
- Tests de production des photomultiplicateurs.
- Analyse des sources étendues et performances HESS2.

## La collaboration

HESS est une collaboration inter-nationale réunissant 21 laboratoires, dont pour la partie française 5 de l'IN2P3, 3 de l'INSU et l'IRFU. Lors de la réunion de collaboration de l'automne 2008, le LAPP a pu accueillir ainsi plus d'une centaine de collaborateurs.

## Activités de recherche du groupe du LAPP

Le groupe du LAPP a rejoint l'expérience HESS fin 2005. Il a acquis de nombreuses responsabilités techniques dans la construction de la caméra du futur télescope. Le LAPP s'est impliqué dans l'analyse des sources étendues avec HESS1, comme les nébuleuses de pulsar ou les sources potentielles de matière noire.

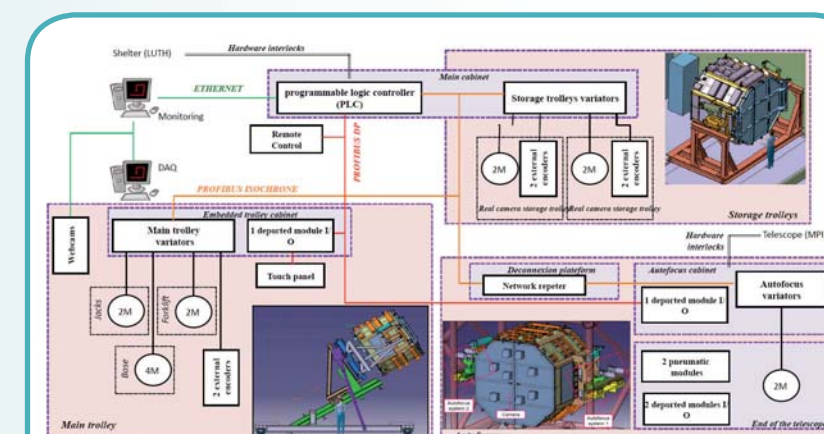


Figure 1 : Synoptique du système de mouvement de la caméra où l'on retrouve le système autofocus, les chariots de transfert et de stockage et les mouvements associés.

Le groupe participe activement à la préparation de l'analyse avec HESS2 en mode mono-télescope : en particulier il a développé des algorithmes de reconstruction de l'énergie des rayons gamma et travaillé sur la discrimination des protons.

## Projets techniques

### Mécanique des déplacements de la caméra

La caméra est constituée d'un peu plus de 2 000 photomultiplicateurs avec leur électronique de lecture associée. C'est un cube d'environ 2,50 m de côté et pesant 2,6 tonnes qui n'est pas hermétique (à l'eau ou la poussière) ; il est donc nécessaire de l'abriter. La caméra est à au moins 5 m du sol quand le télescope est bloqué en position repos, rendant difficile la solution d'abri fixe avec des dimensions raisonnables. Dans ce contexte, le défi du projet mécanique du LAPP était de proposer un système automatique le plus léger possible, capable de :

- de fixer et de verrouiller la caméra dans le nez du télescope avec la possibilité de régler la focalisation sur une distance maximale de 20 cm,
- de positionner ou de retirer la caméra du nez du télescope (système de chargement ou de déchargement).

En septembre 2006, un groupe de travail au LAPP a été mis en place pour étudier les déformations et les contraintes sur la caméra, le télescope et



Figure 3 : Partie inférieure du chariot de transfert avec le plateau pivotant incliné.



Figure 2 : Eléments du système autofocus assemblés sur l'un des côtés du faux nez du télescope. 40 pièces mécaniques constituent le système de focalisation. Les cotes de chaque pièce, définies avec la CAO Catia, ont pu être directement transférées sur la machine à commande numérique lors de leur réalisation.

le système autofocus. Des calculs par éléments finis ont permis de valider le système mécanique proposé par le LAPP, d'optimiser les attaches et points de renforts de la caméra et de satisfaire les contraintes en poids. Ces résultats ont été présentés à la collaboration en avril 2007, laquelle a accepté officiellement le système global d'autofocus et de déchargement. Le projet mécanique comprend trois sous-projets, mêlant étroitement les parties mécaniques et l'automatisme : le système autofocus, les chariots de débarquement et de transfert puis les tests grandeur nature au LAPP. Un synoptique du projet global est détaillé sur la Figure 1.

### Système Autofocus - déplacement dans le nez du télescope :

Le système autofocus a été conçu et entièrement réalisé au LAPP. Il s'agit d'un système pneumatique monté sur 2 ensembles mécaniques fixés sur le nez du télescope. Chaque ensemble est composé de deux parties, l'une étant fixée sur le télescope et l'autre mobile. En juillet 2008, l'autofocus était monté sur le système de test, prêt pour les premiers tests d'automatisme. Le système assemblé sur un des côtés est visible sur la Figure 2.

### Système de débarquement - déplacements en dehors du télescope :

L'étude du chariot de débarquement s'est achevée début 2008. C'est un chariot de 20 tonnes robotisé, long de 6,50 m, large de 4,80 m et haut de 3,50 m, dont on peut séparer les fonctions en deux groupes : la partie supérieure dite « fourche » assure le positionnement de la caméra dans

le télescope et le levage de celle-ci alors que la partie inférieure assure le déplacement sur rails et le levage avec un mouvement de rotation pour se positionner à 35°. La partie inférieure (base et plateau pivotant) est complète depuis février 2009. Les premiers tests de mouvement sur rails se sont déroulés en novembre 2008. Cet ensemble est visible sur la Figure 3. L'étude des chariots de transfert dans l'abri a été finalisée début 2009. Leur réalisation est prévue courant 2009.

### Système de tests :

Un ensemble de tests comportant un « faux nez » (4 m sur 4 m) et une « fausse caméra » (copie conforme en dimension et poids de la caméra) est opérationnel au LAPP depuis le printemps 2008. La fausse caméra a été réalisée au LLR et testée au LAPP. Le « faux nez » du télescope, reproduisant le nez du quadripode de HESS2, a été conçu au LAPP. Il est placé à l'extérieur du laboratoire. Il peut prendre plusieurs positions : de la station zénithale (Figure 4) à l'horizontale en passant par des stations intermédiaires.

### Banc test des PMs

Un banc sous acquisition LABVIEW a été monté au LAPP pour qualifier 1000 photomultiplicateurs. Ce banc comprend une partie mécanique (caissons sources lumineuses et banc), une partie optique, une partie électronique et une partie informatique. Le signal du photon unique a été observé dès les premiers tests. Le logiciel ROOT a pu être interfacé sur l'acquisition, permettant d'exploiter les données de mesure de manière standard (pour un physicien) tout en bénéficiant de la convivialité de LABVIEW. Les ingénieurs du LAPP ont pu cloner leur système (électronique et informatique) sur le banc du CESR (Centre des études spatiales du rayonnement de Toulouse) avec lequel nous avons étroitement collaboré dans les mises au point optique et mécanique du banc du LAPP. Le banc était opérationnel fin 2007, en lumière blanche et UV. Les tests se sont déroulés au printemps 2008, sur 4 mois, en parallèle avec les laboratoires du LPNHE et du CESR. L'acquisition complètement automatisée a permis d'effectuer l'ensemble des mesures en moins de 15 minutes par lot de 8 photomultiplicateurs.

### Système de sécurité de la caméra

Le LAPP a la responsabilité de la sécurité de la

caméra (déplacements et "slow control").

L'architecture et le partage des tâches entre automatisme (commande des automates par un système commercial) et informatique (supervision, transfert et exploitation des données, analyse de risques) ont été finalisés début septembre 2007. Les parties monitoring et sécurité de la caméra seront développées et testées dans l'environnement officiel de l'expérience.

Le système de sécurité électronique de la caméra appelé aussi "slow control" comporte une carte principale et trois types de carte annexe dans un même châssis : la carte LEDs pour la calibration de la position du plan focal, les cartes de températures et la carte de commande des ventilateurs. Le système complet a été conçu, réalisé et testé au LAPP. La carte principale centralise les différentes informations du slow control (photodiodes, température, ventilateurs, HV statut, calibration LEDs) et intègre la logique de contrôle. Les cartes de températures (principale et ventilateur) fonctionnent et sont intégrées depuis

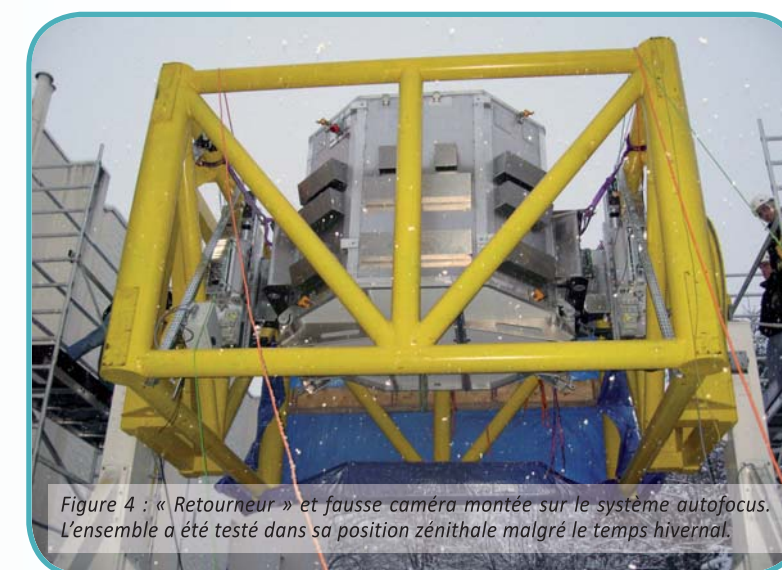


Figure 4 : « Retourneur » et fausse caméra montée sur le système autofocus. L'ensemble a été testé dans sa position zénithale malgré le temps hivernal.

novembre 2008 à la mini caméra contenant 20 tiroirs de photomultiplicateurs. La dernière carte LEDs est prête pour les tests au MPI Heidelberg. L'intégration finale de l'ensemble des cartes du slow control dans la caméra HESS2 est prévue pour l'été 2009.

## Analyse de physique et résultats

Connaître la nature des rayons cosmiques primaires accélérés (leptons ou hadrons) est l'un des enjeux scientifiques principaux de HESS. Cela peut se faire en étudiant précisément la morphologie des sources, leur spectre en énergie

et en combinant les observations dites multi-longueurs d'onde. L'étude morphologique des sources étendues nécessite une sensibilité à des flux faibles (quelques % de la Nébuleuse du Crabe). L'équipe du LAPP s'est impliquée dans l'amélioration de la discrimination du fond par rapport aux événements de photons pour une meilleure sensibilité sur HESS1. L'accès aux énergies de la dizaine de GeV sera possible avec HESS2 et permettra de différencier les contributions de photons issus des interactions hadroniques ( $p + p \rightarrow \pi^0$ ) ou produits par inverse Compton. Aussi, l'équipe du LAPP s'est-elle fortement impliquée dans la préparation à l'analyse avec HESS2 dans ce domaine d'énergie.

### Etudes des sources étendues avec HESS1

#### Nébuleuses de pulsars avec HESS1 :

En utilisant les informations disponibles relatives à la géométrie des gerbes électromagnétiques, il est possible de définir un estimateur plus efficace. Plusieurs solutions consistent à utiliser les distributions de différentes variables discriminantes et à déterminer la probabilité qu'un événement détecté soit un photon, ou au contraire une particule issue du fond de rayons cosmiques. Parmi ces solutions, la variable  $X_{eff}$ , basée sur une méthode de minimum de vraisemblance, est définie selon :

$$X_{eff} = \frac{\eta f_B(x_i)}{\eta f_B(x_i) + (1 - \eta) f_S(x_i)}$$

où  $f_S$  et  $f_B$  sont les distributions de probabilité associées respectivement au signal (photon) et au bruit (protons),  $\eta$  représente la fraction de bruit de fond.

Cette méthode d'analyse développée au LAPP (Publication 1) a été appliquée à l'étude des restes de supernovae et des nébuleuses de pulsar, telles que la nébuleuse du Crabe ou Vela X (voir Figure 5). La première est utilisée comme « chandelle standard » pour comparer l'efficacité des différentes méthodes d'analyse (Table 1) où un gain notable de sensibilité a été

obtenu en termes de rapport signal sur bruit ou significativité. La seconde, de par sa proximité (~290 pc), représente un excellent sujet d'étude de la morphologie dépendante de l'énergie (Figure 5).

#### Nuages moléculaires :

Les restes de supernova en coquille sont actuellement les candidats privilégiés à l'accélération de rayons cosmiques jusqu'à des énergies de l'ordre du PeV (1 000 TeV). La détection de plusieurs de ces objets par HESS, bien qu'elle confirme l'accélération de particules, ne permet pas de confirmer qu'il s'agisse bien d'accélérateurs hadroniques. Une concentration de matière dense, telle qu'un nuage moléculaire, constitue une sonde idéale pour mettre en évidence la surdensité de rayons cosmiques attendue à proximité immédiate d'un accélérateur. De telles associations accélérateurs - cibles sont fréquentes dans notre Galaxie. HESS a observé ces trois dernières années plusieurs d'entre elles et détecté une émission de rayons gamma en provenance des nuages moléculaires. La dernière détection en date est visible sur la Figure 6. Cette source de rayons gamma, HESS J1923+141, est située dans la région de W51 (Publication 2). Cette région a été longuement observée à basse fréquence et est connue pour abriter une multitude d'objets. Parmi eux un vestige de supernova en coquille interagit avec un nuage moléculaire géant. Cette interaction est mise en évidence par la présence d'émissions maser du radical OH, indicatrices de la présence de matière choquée après le passage de l'onde de choc associée au vestige de supernova. Une origine possible de l'émission de rayons gamma est l'interaction de hadrons accélérés par le vestige avec la matière du nuage moléculaire. Cette hypothèse est étayée par la détection récente par FERMI/Glast d'une source de rayons gamma dans la gamme en énergie du GeV coïncidant avec celle détectée par HESS. De nouvelles observations de cette région seront effectuées au printemps prochain et vont permettre d'affiner notre compréhension de cette source et de son origine.

	$N_{ON}$	$N_{OFF}(\alpha)$	Excès $\gamma$	$\sigma$	S/B
Analyse Standard (Publiée)	4759	2417(5.0)	4283	94.2	8.9
Nouvelle Analyse $X_{eff}$	4999	897(5.0)	4820	114.9	26.9

Table 1 : Comparaison des sensibilités classique et nouvelle ( $X_{eff}$ ) sur la Nébuleuse du Crabe.

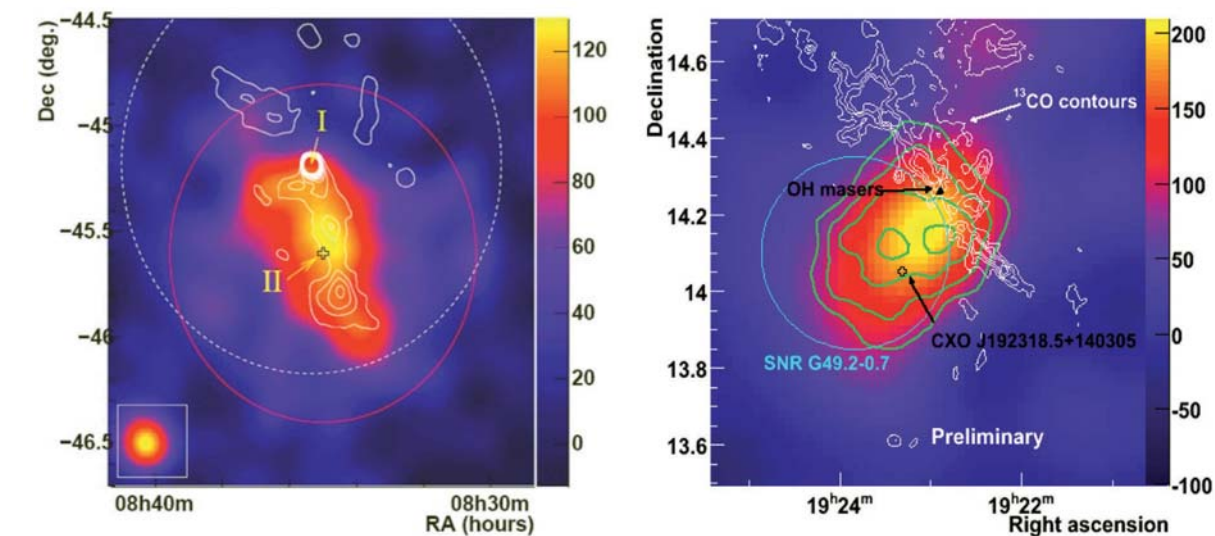


Figure 5 (gauche) : Carte d'excès de la nébuleuse de pulsar Vela X vue par HESS. La position I correspond à la position du pulsar déduite des observations radio, le centre de gravité de l'émission est marqué par la croix/carré (position II).

Figure 6 (droite) : Carte d'excès de rayons gamma obtenue par HESS dans la région de W51. Les contours verts représentent les contours de significativité de 3 à 6  $\sigma$  de la source HESS. La position du maser du radical OH est indiquée par un triangle noir et celle de la nébuleuse de pulsar observée par Chandra en rayons X par une croix. Le maser indique l'interaction du vestige de supernova représenté par le cercle bleu avec le nuage moléculaire indiqué par les contours blancs de la raie du CO.

### Préparation à l'analyse de HESS2 et amélioration de l'acceptance aux basses énergies (30-50 GeV)

Avec les télescopes Tcherenkov atmosphériques, les images des gerbes électromagnétiques sont bien représentées par une ellipse dans le plan focal de la caméra. Cette ellipse peut être décrite par les paramètres dits de "Hillas". Dans le cas d'une reconstruction stéréoscopique (comme HESS1) 2 paramètres suffisent pour discriminer les gerbes électromagnétiques des gerbes hadroniques (la longueur et la largeur de l'ellipse) sous forme de variables réduites. Pour déterminer l'énergie de l'événement, l'intensité du signal (la charge) et la connaissance du paramètre d'impact sont les mesures déterminantes.

La technique précédente stéréoscopique ne peut s'appliquer pour les basses énergies. De même, la mesure du paramètre d'impact se révèle être peu précise. Pour pallier ces problèmes, une analyse multi-variables a été développée au LAPP (Publication 3) en utilisant uniquement le cinquième télescope. Elle est basée sur les arbres de décision et les

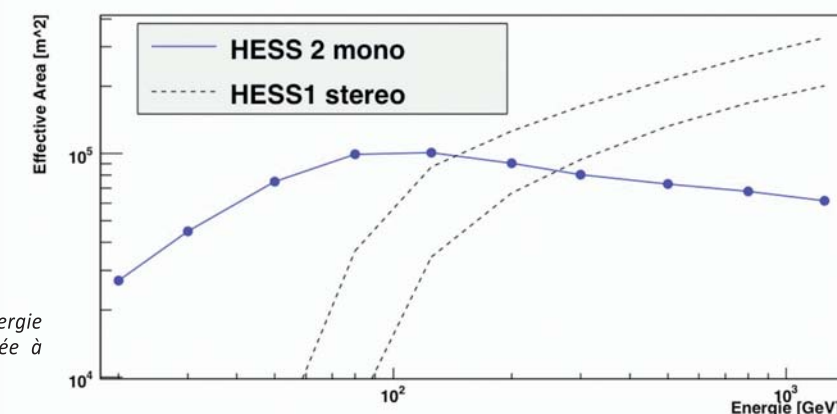


Figure 7 : Calcul d'acceptance en fonction de l'énergie en mode mono (HESS2 ligne bleue) comparée à l'acceptance de HESS1 (lignes pointillées).

réseaux de neurones dans le but de déterminer l'énergie des photons et de rejeter les hadrons, dont le taux augmente quand le seuil en énergie diminue. L'analyse en cours permet d'atteindre une efficacité de 45 % pour une réjection de 95 % des hadrons avec un seuil à 50 GeV. Cette étude a permis de réduire aussi considérablement le biais systématique sur la reconstruction en énergie. L'acceptance estimée pour HESS2 en mode mono est comparée à celle de HESS1 sur la figure 7.

### Plan pour 2010-2014

Le groupe souhaite poursuivre ses études sur les sources étendues telles que les nébuleuses de pulsar, les nuages moléculaires ou des sources potentielles de matière noire (galaxies naines) sur HESS (1 et 2). Il souhaite aussi

s'investir sur l'étude des fonds diffus galactique et extragalactique et travailler conjointement avec les théoriciens du LAPTH spécialistes de la propagation des rayons cosmiques (sujet de recherche du CDD ANR). Lorsqu'AMS sera en prise de données, il y aura des études conjointes menées entre les deux groupes sur les sources (spectres des pulsars aux énergies communes), le fond diffus et toute déviation possible révélant de la Nouvelle Physique. Le groupe est aussi engagé dans le futur projet CTA (nous renvoyons le lecteur à cette partie détaillée dans ce rapport).

Compte tenu des évolutions du groupe (S. Rosier-Lees 50 %, G. Lamanna 70 %, J.-P. Vialle 40 %, G. Coignet (Emérite), R. Kossakowski 40 %, A. Fiasson (CDD)) et de la contribution importante du LAPP, deux entrées permanentes : CR2 ou CR1 et un poste de maître de conférences sont indispensables. Cela permettra de renforcer le groupe dans l'analyse et d'y jouer un rôle moteur.

#### Dates clés

Mai 2009 : premiers tests complets au LAPP de déchargement de la camera de HESS.

Décembre 2009 : fin de la construction du cinquième télescope de HESS.

Premier semestre 2010 : installation de la camera sur le télescope de HESS2.

Septembre 2010 : premières prises de données HESS2.

### L'équipe du LAPP

**Physiciens** : G. Coignet, R. Kossakowski, G. Lamanna, S. Rosier-Lees, J.-P. Vialle

**Post-doc.** : A. Fiasson, S. Ranchon

**Doctorants** : F. Dubois, J. Masbou

**Equipe Technique** : Y. Bastian, J.-P. Baud, P. Baudin, Y. Beeldens, L. Brunetti, F. Cadoux, M. Cailles, P.-Y. David, J.-M. Dubois, N. Fouque, N. Geoffroy, R. Hermel, L. Journet, T. Leflour, B. Lieunard, I. Monteiro, P. Mugnier, J.-L. Panazol, J. Prast, V. Riva S. Tissot-Lieunard, T. Yildizkaya

**Stagiaires** : K. Cochard, T. Cordier, A. Jacholkowska, J. Masbou, J. Méhault

### Publications importantes

Le groupe a cosigné 34 publications de HESS depuis son arrivée dans la collaboration, <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/publications>

#### Referee interne

1. "Search for Gamma-rays from Dark Matter annihilations around Intermediate Mass Black Holes with the H.E.S.S. experiment", Phys.Rev. D78 (2008) 072008. F. Aharonian et al.
2. "A search for a dark matter annihilation signal towards the Canis Major overdensity with H.E.S.S." Astrophysical Journal 691 (2009) 175-181. F. Aharonian et al.
3. "The discovery source HESS 1908+063 coincident with Mgro 1909", submitted for publication. F. Aharonian et al.

#### Proceedings

"A multivariate analysis approach for the IACT HESS system", Gamma08, F. Dubois et al., to be submitted to Astrophysical Journal. SF2a Emissions de très haute énergie dans les nébuleuses de pulsar, F. Dubois et al.

Moriond09 Abstract submitted to ICRC2009, A. Fiasson et al.

"Acceptance Study of HESS2", Gamma08 et Abstract submitted to ICRC09, J. Masbou et al.

"Observations of VHE gamma-ray Galactic sources with Hess", (Frascati Series publication) G. Lamanna at SciNeGH07.

### Responsabilités du groupe

**Mouvements de la caméra** :

**Chefs de projet** : L. Brunetti, B. Lieunard.

**Physiciens coordinateurs** : S. Rosier-Lees, J.-P. Vialle.

**Sécurité de la caméra** :

**Chefs de projet** : T. Leflour, J. Prast.

**Physicien coordinateur** : G. Lamanna.

**Tests des PMs** :

**Chefs de projet** : N. Fouque, J.-L. Panazol.

**Physicien coordinateur** : S. Rosier-Lees.

## CTA : L'observation du cosmos aux énergies extrêmes

CTA, ("Cherenkov Telescope Array") est le projet européen de grand réseau de télescopes Cherenkov de nouvelle génération en astronomie gamma des très hautes énergies. Son développement s'inscrit dans la suite logique du succès des expériences européennes HESS et MAGIC, qui ont élargi le domaine d'investigation du cosmos aux énergies extrêmes, avec la détection d'une centaine de sources et de nombreux nouveaux types de sources cosmiques au TeV (restes de supernovae, nébuleuses de vents de pulsars, systèmes binaires, amas d'étoiles, milieu interstellaire diffus, centre galactique, blazars, radiogalaxies et sources cosmiques détectées uniquement au TeV).

### Introduction

La génération actuelle des télescopes Cherenkov tels que HESS, vient d'ouvrir le domaine de l'astronomie gamma au sol à la gamme d'énergie au-dessus de quelques dizaines de GeV. Le projet suivant, CTA, permettra quant à lui d'explorer en profondeur notre Univers en rayons gamma de très hautes énergies et d'étudier pleinement les processus cosmiques non-thermiques en jeu.

Les résultats de cette nouvelle astronomie gamma sont impressionnants et ont valu l'attribution du prix européen Descartes à HESS en 2006. Ils ne donnent cependant qu'un aperçu limité de notre cosmos aux très hautes énergies, avec un échantillon atteignant peu à peu la centaine de sources. L'observatoire CTA consistera en un réseau de télescopes Cherenkov, observant les brefs et faibles flashes de lumière Cherenkov émis par les gerbes de particules secondaires provoquées par l'entrée de photons de très haute énergie dans la haute atmosphère. CTA doit

### Points forts

Simulation Monte Carlo sur grille de calcul.

Réalisation des calculs de dimensionnement des structures mécaniques des télescopes.

augmenter la sensibilité des détecteurs actuels d'un ordre de grandeur, améliorer les capacités en résolution angulaire et étendre le domaine spectral d'environ 10 GeV jusqu'au-delà de 100 TeV (Figure 2). Deux sites sont prévus pour garantir l'accès à l'ensemble du ciel. Le principal sera dans l'hémisphère austral étant donné la multitude de sources dans les régions centrales de notre galaxie et la richesse de leur morphologie. Un site complémentaire dans l'hémisphère nord, optimisé pour les « basses » énergies (10 GeV – 1 TeV), sera principalement dédié à l'étude des NAG (noyaux actifs de galaxies) de l'espace extragalactique et des aspects cosmologiques. CTA offre une des rares possibilités d'obtenir des signatures de la nature de la matière noire par la détection de signaux spectraux d'annihilation de particules de matière noire, ainsi que par la recherche de possibles constituants mineurs de cette matière (trous noirs primordiaux, reliques cosmiques). Il contribuera à élaborer la vision globale de la matière noire attendue par la communauté pour la prochaine



Figure 1 : Vue artistique du réseau de télescopes de l'observatoire CTA.

décennie, et effectuera de nouvelles percées dans plusieurs domaines de l'astrophysique tels que l'environnement des objets compacts, la physique des trous noirs, des pulsars, des supernovae, les vents stellaires et le milieu interstellaire, les systèmes binaires et les amas stellaires, l'évolution des galaxies. Outil irremplaçable pour l'exploration des accélérateurs cosmiques, CTA devrait permettre une avancée significative dans notre compréhension de l'origine des rayons cosmiques galactiques et extragalactiques.

Le projet CTA assure à la fois un retour scientifique garanti ainsi qu'un fort potentiel de découvertes et de percées décisives sur des questions de physique fondamentale. Outre la physique des particules, l'astronomie et la cosmologie, il a des implications directes en physique des plasmas et en physique nucléaire, et des liens avec les géosciences (physique de l'atmosphère, monitoring des aérosols, et étude des sites), les simulations numériques et le traitement statistique.

### La collaboration

CTA est un consortium international avec 34 instituts dont le CNRS (7 laboratoires CNRS), le CEA (1 laboratoire) et l'Observatoire de Paris (1 laboratoire CNRS), impliquant 14 pays (Allemagne, France, Espagne, Italie, Royaume-Uni, Irlande, Finlande, Suisse, Pologne, République tchèque, Arménie, Pays-Bas, Afrique du Sud, Etats-Unis).

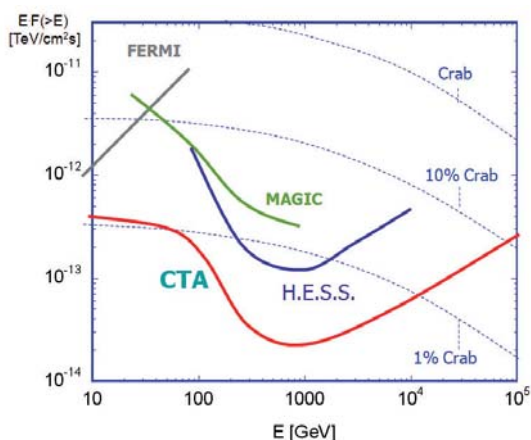


Figure 2 : Sensibilité et domaine spectral globalement visés pour le projet CTA, comparés aux expériences en cours de fonctionnement HESS et MAGIC, et au satellite FERMI (GLAST).

## Activités de recherche du groupe du LAPP

Les équipes françaises impliquées dans HESS ont pleinement contribué au lancement du projet CTA. S'appuyant sur l'expertise précédemment acquise avec HESS, la responsabilité française pour l'étude de la conception concerne prioritairement les simulations et l'optimisation du réseau, la conception de caméras à électronique rapide et la réalisation des prototypes, ainsi que le développement des méthodes de calcul nécessaires à l'analyse.

### Projets techniques

En 2008, pendant la première année du projet "CTA-Design Study", l'équipe du LAPP a participé au lancement du projet CTA. Elle est déjà très engagée et peut prétendre à assurer des responsabilités essentielles au sein du consortium international à l'issue de l'étude de conception et en particulier pour les travaux d'analyse et de simulations et pour la construction des télescopes. La réalisation du système de débarquement automatique de la caméra HESS II et les études en mécanique, entièrement assurée par l'équipe HESS du LAPP, ont ainsi permis d'acquérir une expertise internationalement reconnue dans ce domaine. Cela positionne l'équipe CTA du LAPP en première ligne dans les études de mécanique pour la structure des télescopes :

- Réalisation des calculs de dimensionnement statique et dynamique des structures mécaniques des futurs télescopes en association avec le LadHyX, Laboratoire d'Hydrodynamique de l'Ecole Polytechnique, unité du CNRS qui devra réaliser une expertise technique sur les futurs calculs concernant CTA.
- Les simulations et l'optimisation du réseau ainsi que le développement des méthodes de calcul nécessaires à l'analyse physique.
- Etude R&D de futurs photo-détecteurs et leur électronique de lecture associée.

### Analyse de physique et résultats

Les sujets scientifiques prioritaires dans lesquels l'équipe LAPP s'investit au niveau d'une étude préliminaire de simulations Monte Carlo et ensuite dans l'analyse de données sont :

- L'étude morphologique et spectrale de sources astrophysiques génératrices du rayonnement cosmique galactique de haute énergie.
- La recherche de signature de matière noire.

### Plan pour 2010-2014

La majorité des membres de l'équipe du LAPP aussi bien que des participants au Consortium CTA-France, est également engagée sur HESS II, qui de fait s'insère parfaitement dans l'étude de conception de CTA pour la partie à basse énergie.

Après la fin de travaux pour la mise en opération de HESS2 (fin 2009) l'équipe du LAPP entend dédier les mêmes ressources humaines déjà investies dans le projet HESS II dans la réalisation du projet CTA. Le soutien financier à impliquer sera garanti par le CNRS. Les études préliminaires

sur le concept du réseau et des différentes composantes sont évaluées à 5 M€. Avec la réalisation des prototypes, le montant total approche 10 M€ entre 2008 et 2011, hors salaires des permanents. La participation française peut s'évaluer typiquement à 25 % de l'effort total du consortium. Les travaux de "design studies" ont démarré au sein du consortium international. Les tâches à effectuer ont été structurées en WorkPackages (WP).

C'est le LAPP qui assure la co-responsabilité du WP « simulations » (MC) avec G. Lamanna pour les calculs sur grille et les études de simulation Monte Carlo.

La phase de début de construction prévue pour CTA est 2010 qui correspond ainsi au moment où les équipes techniques auront terminé la construction de HESS II. Le timing garantit aussi un recouvrement avec la période de fonctionnement du satellite GLAST.

### L'équipe du LAPP

*Physiciens* : G. Lamanna, R. Kossakowski, S. Rosier-Lees, J.-P. Vialle

*Equipe technique* : C. Barbier, L. Brunetti, G. Deléglise, S. Elles, N. Fouque, N. Geffroy, R. Hermel, T. Leflour, B. Lieunard, V. Riva



## AMS : Recherche dans l'espace d'antimatière primordiale, de matière noire et étude des rayons cosmiques

Observer et mesurer les rayons cosmiques avec une précision jamais atteinte pour sonder la matière dans ses formes les plus mystérieuses : matière noire, antimatière primordiale, étrangelets ... C'est le programme que se propose de remplir l'expérience AMS avec un spectromètre magnétique supraconducteur qui sera bientôt installé sur la station spatiale internationale.

### Introduction

**A**MS est une expérience de physique fondamentale qui a pour ambition de s'attaquer aux plus grandes énigmes posées par notre Univers :

L'Univers est-il constitué exclusivement de matière, ou bien existe-t-il des étoiles d'antimatière comme le suggère la théorie du Big-Bang ? Quelle est la nature de la matière noire, invisible, qui constitue 90 % de la masse de l'Univers ?

Pour répondre à ces questions, l'expérience AMS mesurera les rayons cosmiques chargés de tous types simultanément dans le domaine d'énergie du GeV au TeV, avec une grande précision et une haute

statistique. Il est pour cela nécessaire de faire les observations au-delà de l'atmosphère terrestre. L'instrument (7 tonnes, 3 m x 3 m x 3 m) est un spectromètre magnétique comprenant un aimant supraconducteur de 0,86 T.m<sup>2</sup> de puissance de courbure. Il s'agira du premier spectromètre magnétique

### Points forts

Construction et tests de qualification du Calorimètre Electromagnétique (ECAL).

Analyse des performances du ECAL et calibration.

Etudes des capacités de détection de la matière noire non baryonique en utilisant tous les types de rayons cosmiques chargés.

Dans le GDR-SUSY, Sylvie Rosier-Lees est membre du Conseil de groupement, tandis que Corinne Goy est co-coordinatrice du groupe « Matière Noire et complémentarité avec les collisionneurs ».

Jean-Pierre Vialle est Chef du projet AMS France et membre du Senior Management Board de la Collaboration. Sylvie Rosier-Lees fait partie du Talk committee.



Figure 1 : Vue artistique de la station spatiale ISS avec AMS.

supraconducteur envoyé dans l'espace pour une longue durée (3 à 5 ans), et ses performances permettront de gagner des facteurs entre cent et mille en précision par rapport aux mesures existantes. AMS permettra aussi de mesurer les rayons gamma émis dans certains phénomènes cataclysmiques d'objets célestes comme les explosions de supernovae, ou les sursauts gamma qui pourraient être liés à des trous noirs géants. Afin de valider

les concepts techniques et le fonctionnement d'un tel instrument dans le vide extra-terrestre, un détecteur prototype a passé 10 jours dans l'espace en juin 1998 à bord de la navette spatiale Discovery. Cela a permis une moisson de données scientifiques ainsi que la publication de 6 articles importants sur les rayons cosmiques et les effets de trappe du champ magnétique terrestre.

L'installation du détecteur complet AMS02 sur la station spatiale internationale ISS est programmée pour septembre 2010.

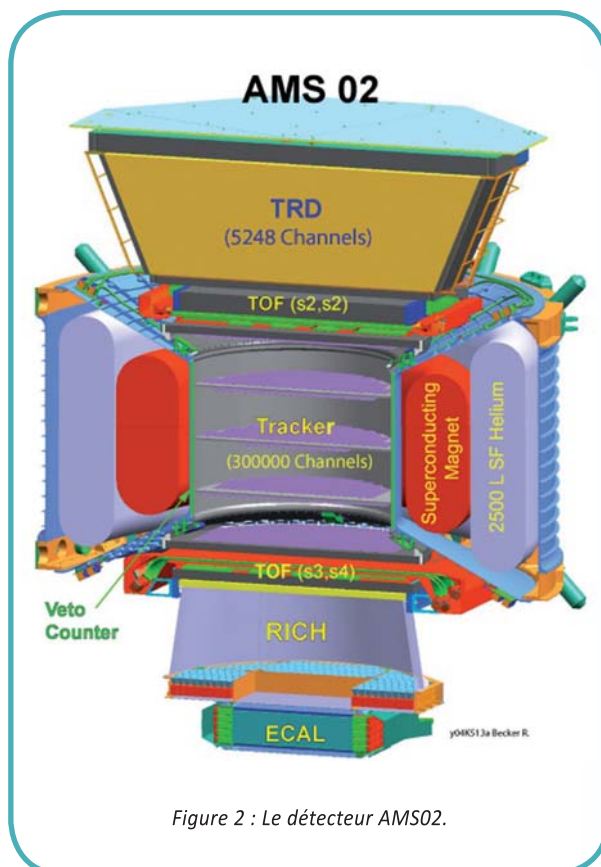


Figure 2 : Le détecteur AMS02.

### La collaboration

AMS est une collaboration internationale de 50 instituts de 16 pays. Elle est dirigée par Samuel C.C. Ting, Professeur au M.I.T., Prix Nobel de Physique. Trois laboratoires français participent : Le LAPP à Annecy, le LPSC à Grenoble, et le LPTA à Montpellier.

### Activités de recherche du groupe du LAPP

Le groupe AMS du LAPP a été le pionnier du spatial à l'IN2P3 en étant en 1996 la première équipe de recherche de l'IN2P3 à collaborer

à une expérience qui devait se dérouler dans l'espace, expérience à la fois d'astrophysique et de physique des particules, aussi bien pour la physique que pour les techniques de détection employées.

Le groupe AMS du LAPP a une participation active dans la préparation de la physique dans AMS, dans la simulation des phénomènes, et contribue aussi à des groupements de recherche comme « Phénomènes Cosmique de haute Energie » (GDR-PCHE) et « Supersymétrie » (GDR-SUSY). Le thème principal d'étude est la recherche de matière noire non-baryonique.

### Projets techniques

Le groupe a eu la responsabilité de toute l'instrumentation du Calorimètre Electromagnétique ECAL (collection de lumière, électronique Front-End, numérisation, déclenchement analogique, mécanique support) construit en collaboration avec l'INFN-Pise et le IHEP-Pékin, ainsi que de l'assemblage du calorimètre et de son intégration avec le reste de l'instrument AMS02. Avec une granularité d'un demi-rayon de Molière transversalement et de  $1 X_0$  longitudinalement (avec une profondeur totale de  $16 X_0$ ) le calorimètre donne une image en trois dimensions des gerbes électromagnétiques et hadroniques. Avec ce projet, le groupe a acquis une compétence dans la conception et la réalisation de détecteurs pour l'espace, ainsi que dans les tests pour leur qualification.

Le responsable projet mécanique du LAPP, Franck Cadoux, s'est aussi vu confier par la collaboration une responsabilité importante pour l'intégration globale des détecteurs.

### Analyse de physique et résultats

Le calorimètre a été exposé dans un faisceau de particules (protons et électrons de 6 GeV à 250 GeV) en 2007 au CERN. A partir de ces données, le groupe du LAPP a fait une étude très complète des caractéristiques et du comportement du calorimètre (AMS Note 2008-07-01) pour atteindre les performances optimales. On obtient ainsi une résolution en énergie de  $10,6 \% / \sqrt{E} + 1,25 \%$ , et en combinant les données du ECAL avec l'impulsion mesurée par le trajectographe une capacité de réjection des protons par rapport aux positons (essentielle pour l'identification des positons) voisine de  $10^4$ . Les algorithmes de reconstruction développés dans cette étude

seront employés pour la reconstruction des gerbes électromagnétiques.

Le groupe AMS au LAPP investit un effort particulier dans la préparation de la physique, spécialement dans la détection de matière noire non-baryonique qui pourrait être constituée de particules supersymétriques ou de particules de Kaluza-Klein, comme semblent le suggérer les modèles théoriques actuels.

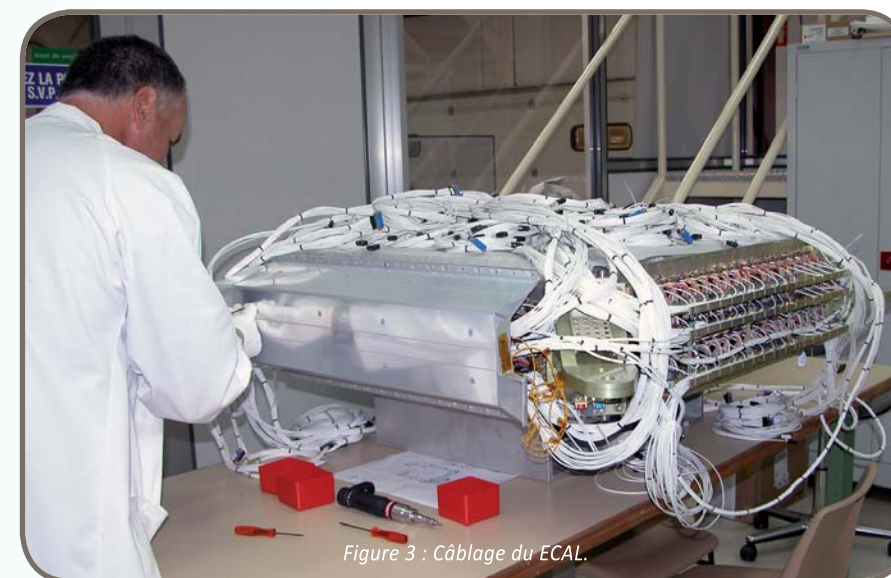


Figure 3 : Câblage du ECAL.

### Plan pour 2010-2014

AMS02 doit être installé sur la station spatiale internationale à l'automne 2010. D'ici là, le groupe sera pleinement impliqué dans les tests de l'instrument (tests vide-thermique et de compatibilité électromagnétique à l'Agence Spatiale Européenne fin 2009) et dans la préparation au vol au centre spatial Kennedy en Floride (environ 5 mois) en 2010. Pour valoriser pleinement le travail fait depuis des années, il est indispensable que le groupe soit renforcé par une entrée CNRS et/ou un post-doc dès l'automne 2009 pour apporter une contribution importante à toute l'analyse des données qui seront récoltées pendant au minimum 3 ans.

#### Dates clés

Novembre 2009 : test global de qualification spatial à l'ESTEC (Agence spatiale Européenne).  
Février 2010 et suite : arrivée au KSC (Floride) suivi des tests préparatoires au lancement.  
Septembre 2010 : installation sur la station spatiale internationale.

### Responsabilités du groupe

**Responsabilité opérationnelle :**  
Assemblage et intégration du calorimètre électromagnétique.

**Responsabilité institutionnelle :**  
J.-P. Vialle est chef du projet AMS France.

### Publications et présentations à des conférences et séminaires

Durant les quatre dernières années, les membres du groupe ont fait dix présentations orales et deux présentations sous forme de poster dans des conférences internationales, deux séminaires en France et deux cours dans des écoles prédoctorales. De plus, ils ont contribué à deux publications relatifs à la matière noire :

"Indirect dark matter search with diffuse gamma rays from the galactic center with the Alpha Magnetic Spectrometer", Physical Review D74 (2006) 023518. Jacholkowska A. et al., AMS Collaboration.

"Cosmic-ray positron fraction measurement from 1 to 30 GeV with AMS-01", Physics Letters B646 (2007) 145-154. Aguilar M. et al., AMS-01 Collaboration.

### L'équipe du LAPP

**Physiciens :** G. Coignet, C. Goy, R. Kossakowski, S. Rosier-Lees, J.-P. Vialle, Li Zuhao et Li Xinqiao (visiteurs scientifiques de IHEP/ Beijing)

**Doctorants :** P. Brun, J. Pochon

**Equipe Technique :** F. Cadoux, J.-M. Dubois, N. Fouque, R. Hermel, J. Jacquemier, L. Journet, V. Riva, J. Tassan

**Stagiaires :** Le groupe a accueilli 2 stagiaires pendant la période 2006-2008.