



Premiers tests de l'expérience CELESTE

D. Dumora, B. Giebels, J. Procureur, J. Québert, K. Ragan¹, D. A. Smith (CENBG)
 Collaboration CELESTE

The initial test phase of the CELESTE experiment operated from October 1996 to February 1997. Two groups of three heliostats were used to reflect Cherenkov photons onto two secondary mirrors in the central tower. Fast photomultipliers in the focal plane of these secondary mirrors each "see" only a single heliostat, allowing six-fold coincidences. We have studied coincidence rates as a function of the heliostat pointing altitude and as a function of the phototube (i.e. heliostat) threshold in photoelectrons.

Introduction

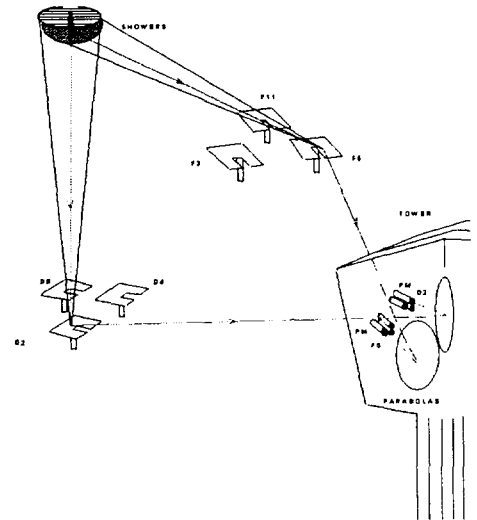
Le but de l'expérience CELESTE est de mesurer le spectre gamma de sources galactiques et extragalactiques dans le domaine d'énergies de 20-200 GeV en utilisant la grande surface de miroirs fournie par la centrale solaire Thémis, dans les Pyrénées. Nous présentons ici les résultats des premiers tests (pour des gerbes hadroniques) dans lesquels nous avons utilisé deux groupes de trois miroirs (héliostats) distants de 160 mètres en moyenne.

Montage utilisé

La figure 1 montre le principe de la détection des photons Tcherenkov où l'on pointe de manière asymétrique une zone dans l'espace. Cette dernière caractéristique fait que les temps d'arrivée des photons sur chaque groupe peuvent être comparés. Les héliostats D2, D4, D9 et F3, F5, F11, sont orientés de telle manière qu'ils pointent à la fois une même zone dans l'espace et qu'ils réfléchissent les photons au sommet de la tour sur les photomultiplicateurs (PM) qui leur sont dédiés. Avant d'être focalisés sur les PM placés sur chaque image d'héliostat les photons sont "repris" au sommet de la tour de 100 m par deux miroirs paraboliques. Il faut deux miroirs en effet pour couvrir optiquement les deux groupes d'héliostats très éloignés l'un de l'autre ($d \cong 160$ m). Chaque miroir secondaire a son axe optique centré sur un groupe.

Ce montage a permis de détecter des coïncidences de multiplicité 6 dues à des photons émis d'une zone bien définie dans l'espace grâce au choix du pointé. Les miroirs secondaires étant à environ 130 m des héliostats, définissent de par leurs tailles, un champ de vue géométrique (fov) $\cong 12$ mr. En fait, les distances focales courtes des paraboles induisent de fortes aberrations hors axe qui se traduisent par des pertes de coups dans les PM. L'efficacité de collection tombe ainsi à $\cong 0,4$ pour des PM de 2 pouces de diamètre et le vrai champ de vue, obtenu par simulations de trajectoires, et confirmé par des suivis et dérives d'étoiles, est $\langle fov \rangle = 7$ mr (FWHM). Le volume "source" dépend donc du nombre de télescopes mis en coïncidence mais aussi des angles d'impacts des photons sur les miroirs puisque de trop grosses aberrations sont rejetées.

Fig. 1. Principe de détection de l'expérience CELESTE (phase 0): six héliostats réfléchissent les photons vers le sommet de la tour de la centrale Thémis. Ceux-ci sont "repris" par une optique secondaire et enregistrés par des photomultiplicateurs.



Comme nous l'avons dit, le pointé s'est effectué de manière asymétrique (à la verticale de l'héliostat D2) afin de profiter de la différence de longueur de parcours des photons entre le groupe D et le groupe F où les photons doivent arriver plus tardivement (jusqu'à 12 nanosecondes d'écart). Les altitudes choisies étaient de 4, 6, 8, 10, 11, 12, 99 km.

Les données ont été prises par deux méthodes électroniques différentes. En premier lieu, nous avons utilisé des modules conventionnels de type QDC et TDC en standard Camac. En second lieu, des codeurs de type Flash ADC (FADC) ont été utilisés en standard VME sous contrôle Lynx/OS. Ces derniers codeurs ont nécessité de mettre en œuvre au CENBG des modules d'électronique spécifiques (sommateurs et distributeurs de voies) qui préfigurent ce qui sera utilisé dans l'expérience définitive (phase 1) où 40 voies seront mises en coïncidence. Le déclenchement de lecture d'un événement est le point critique de l'expérience future car il faut déclencher à des seuils très bas en énergie, c'est à dire sur un faible nombre de photoélectrons par PM. Ce "trigger", développé à Bordeaux, est basé sur la gestion des signaux et de leurs retards en fonction du suivi des sources étudiées. Il est sur le point d'être terminé et est décrit dans le cadre de l'activité du groupe d'électronique du CENBG.

Temps d'arrivée des photons

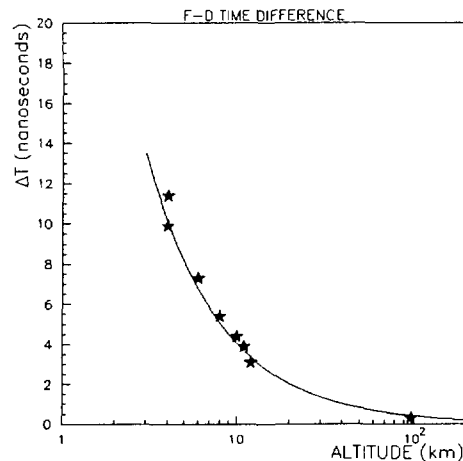
La différence de temps d'arrivée entre chaque groupe $\Delta T = \langle t_f \rangle - \langle t_D \rangle$ est portée en fonction de l'altitude H du

¹ Visiteur au CENBG ; McGill University, Montreal, Canada

pointé. Les temps sont plus élevés sur le groupe F du fait du pointé asymétrique. La différence des temps d'arrivée dépend aussi de la nature du front d'onde. Les résultats sont en parfait accord avec l'hypothèse d'impacts de fronts d'ondes sphériques centrés sur la zone source. La relation simple qui en découle, pour la distance $d \cong 160$ m entre les deux groupes d'héliostats : $c \cdot \Delta t = -H + \sqrt{H^2 + d^2}$ est tracée sur la figure. Ces résultats montrent en particulier que les coïncidences ne sont pas dues à un plan d'onde incliné qui aborderait d'abord le groupe D puis le groupe F (les temps attendus dans cette hypothèse sont plus élevés).

La largeur à mi-hauteur du spectre temps est de l'ordre de 6 à 8 nanosecondes et fournit une information physique complémentaire. Cette largeur ne peut être entièrement attribuée à un effet de dispersion géométrique du point source dans le volume actif ($\Delta t \cong 3$ ns). On explique la largeur totale, comme on peut le voir figure 3, en introduisant une dispersion des points d'émission des photons sur 1 mètre d'épaisseur du front d'onde sphérique. Le volume "source" qui découle de ces calculs est aussi montré. Ce dernier résulte de l'intersection complexe de 6 angles solides dus aux champs de vue des héliostats. Le spectre temps expérimental obtenu pour l'altitude de 8 km est aussi comparé à celui prévu par calcul de trajectoires de photons dans la même figure.

Fig. 2. Temps relatifs entre F et D pour des points situés à différentes altitudes. Deux types de mesures sont utilisés: TDC et FADC.



Spectres en charges

La figure 4 montre le spectre moyen en charge, c'est à dire en nombre de photo-électrons recueillis sur les 6 PM lors d'une coïncidence. Les spectres individuels sont obtenus en utilisant deux FADC et en regroupant les signaux trois à trois à l'entrée de chaque FADC grâce à un circuit mélangeur développé au laboratoire. Cette utilisation réduite est rendue possible par le fait que les signaux sont décalés en temps et ne se recouvrent donc pas lors de l'analyse de forme des signaux.

Chaque module FADC permet d'échantillonner les signaux d'entrée mélangés par pas de 1 ns avec une résolution sur l'amplitude de 8 bits. La lecture de ces FADC est déclenchée par un module "multiplicité" calé à la valeur 6.

Le seuil de déclenchement sur les voies d'analyse était le même dans les deux cas de mesures (QDC ou FADC). Ce seuil est évalué à 6 photoélectrons par héliostat. Le spectre a une pente en accord avec une loi de puissance dont l'index est 2,1, plus petit que la valeur établie de 2,7. L'analyse par les codes "ISO" et "CORSIKA" montre en fait que cet écart est dû à l'effet d'acceptance de l'expérience.

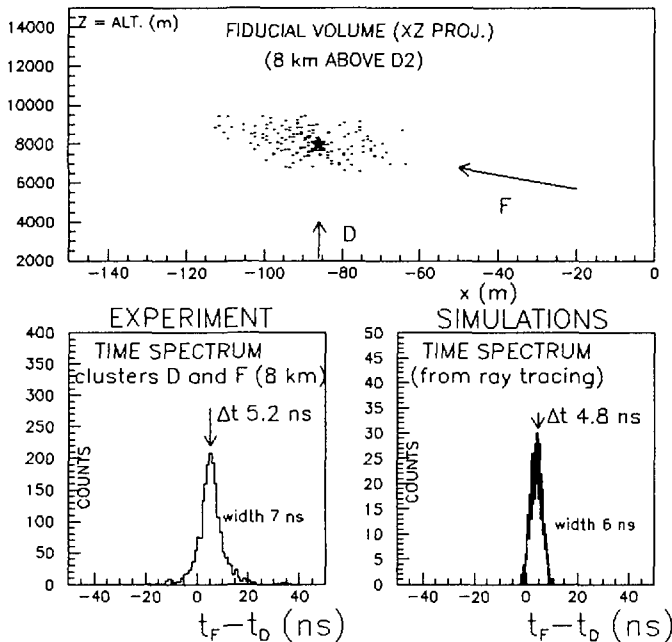


Fig. 3. Au sommet : volume source sélectionné par les coïncidences à 6 PM. En bas à gauche : spectre temps expérimental correspondant au retard F-D. En bas à droite : spectre temps attendu par des calculs de trajectoires en tenant compte de l'épaisseur de 1 mètre du front d'onde sphérique.

Dépointé

Le taux de coïncidence à 6 héliostats a été mesuré en écartant du pointé convergent commun l'un des héliostats (D9). Les résultats de cette mesure sont montrés figure 5.

La distribution angulaire de ce taux de comptage est beaucoup plus large que celle prévue par la combinaison des champs de vues (33 mr au lieu de 7 mr). On explique cette mesure par un convolution de la taille d'une gerbe hadronique par l'acceptance optique de notre montage.

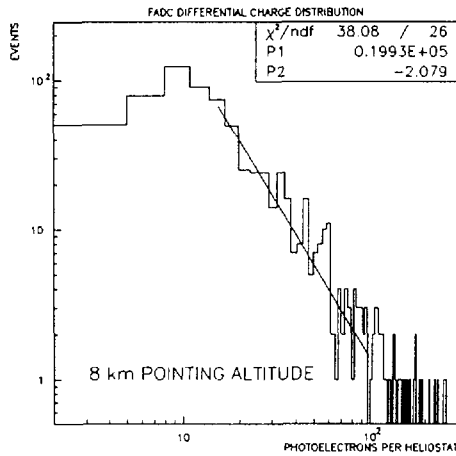


Fig. 4. Spectre total (les spectres sont identiques sur les 6 voies) obtenu avec des FADC pour l'altitude de 8 km. La pente de ce spectre suit la loi de puissance $P1 \cdot canal^{P2}_{p.e.}$ avec $P2 \cong -2,1$.

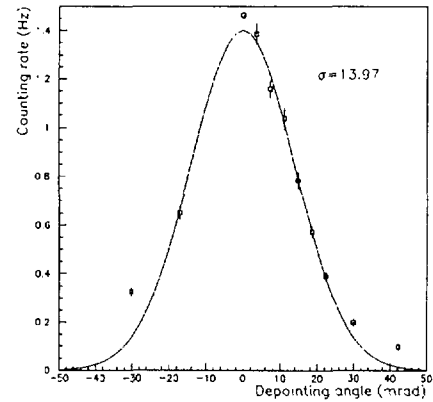
Conclusion

Ces tests montrent un excellent accord entre deux types de mesures: soit conventionnelle soit à base de nouvelles technologies. La dernière préfigure le montage électronique de l'expérience complète. Le déclenchement d'un événement et l'analyse des formes d'impulsions constitueront le point critique et l'originalité de l'expérience. Le déclenchement à bas seuil sera grandement amélioré en

additionnant les signaux élémentaires (toujours variables en temps relatifs) avant discrimination. Cette fonction fait l'objet d'une réalisation par le laboratoire d'électronique du CENBG.

Ces tests ont donc révélé leur grande utilité car ils ont eu la vertu de faire toucher du doigt les futures difficultés de l'expérience et la manière de les surmonter pour effectuer une bonne astronomie gamma avec une centrale solaire dans un environnement difficile.

Fig. 5. Taux de comptage des coïncidences à 6 PM en fonction de l'angle de dépointé de l'héliostat D9. L'altitude est de 8 km.



Références

1. J. Québert et al.; *Towards a Large Atmospheric Cherenkov Detector IV* Padova, Italy 248(1995) ed. M. Cresti
2. D. A. Smith et al.; *Experimental Apparatus for Particle Physics and Astrophysics* Nucl. Phys. B (suppl.) 54B (1997) 362
3. R. Ong et al.; *Astroparticle Physics* 5 (1996) 353. CELESTE proposal; [www \(http://www.cenbg.in2p3.fr/Astroparticules\)](http://www.cenbg.in2p3.fr/Astroparticules)
4. B. Giebels; Moriond Conference; 1997
5. K. Ragan; Moriond Conference; 1997