

# Expérience CMS au LHC

## Participation du LAPP

**Expérimentateurs** : Y. Baek, G. Drobychev, J-P. Guillaud, J-P. Mendiburu, S. Murray, P. Nédélec, **J-P. Peigneux**, M. Schneegans, D. Sillou, A. Sobol

**Equipe technique** : D. Boget, P-Y. David, J. Ditta, M. Maire

**Stagiaires** : D. Bailleux, J. Monnet, S. Gabourin

## Collaboration

Collaboration internationale regroupant 151 instituts dont 5 laboratoires français : LAPP Annecy, IPN Lyon, Ecole Polytechnique Palaiseau, CEA-DAPNIA Saclay, CRN Strasbourg

## Dates Clés

1990 : Présentation du détecteur au workshop de Aachen

1992 : Lettre d'intention déposée au CERN

1994 : Choix des cristaux au tungstate de plomb pour le calorimètre électromagnétique

1995 : Acceptation de l'expérience CMS par les Comités du CERN. Le groupe du LAPP rejoint la collaboration CMS

## Abstract

*At LHC the CMS (Compact Muon Solenoid) detector will be built inside a 4 Tesla superconducting solenoid. The main characteristics of the detector are a good measurement of muons and a performant crystal based electromagnetic calorimetry for gamma and electron detection. The choice by the CMS collaboration of lead tungstate crystals for its electromagnetic calorimeter, in the development of which LAPP was already deeply involved from the beginning, has motivated a group from LAPP to join the CMS collaboration in 1995. The LAPP group was initially involved in crystal characterization and in the improvement of crystal qualities (suppression of slow light component, increase of the radiation hardness...). The group has developed a bench (ACCOS) for the automatic control of the crystals quality now in operation since end 1998. Several developments concerning the very front end electronics (photodetectors, preamplifier, compressor) have been made as well as an electronic charge calibration system for the Calorimeter. This last work was completed by the beginning of year 2000. This electronic calibration system is nevertheless in use in the GIF (General Irradiation Facility) of CMS-ECAL set up at CERN. This facility was conceived, designed and built by the LAPP group in order to allow the CMS collaboration to perform tests of detectors under irradiation.*

Les expériences auprès du LHC du CERN abordent un nouveau domaine d'énergie sur des sujets de physique très précis : recherche du boson de Higgs, tests de la validité des théories supersymétriques. Ces recherches imposent au détecteur CMS des performances très élevées, orientées vers la mesure de certaines topologies particulières, avec une bonne qualité de détection pour l'ensemble des réactions possibles. Le détecteur CMS est situé dans un solénoïde supraconducteur de 4 Tesla de 13 mètres de long et de 2.95 mètres de rayon, il met l'accent sur la mesure des muons et des particules électromagnétiques (électrons, gammas). L'énergie de ces particules devrait être mesurée avec une précision de  $2\%/\sqrt{E} \oplus 0.5\% \oplus 200\text{MeV}/E$  par le calorimètre (ECAL) à cristaux de tungstate de plomb ( $\text{PbWO}_4$ ). Ces cristaux, de courte longueur de radiation (9 mm), qui supportent des doses de radiations élevées, permettent de réaliser un calorimètre électromagnétique extrêmement compact.

Depuis 1996, le groupe a apporté une contribution reconnue sur ce détecteur, tant pour la technologie initiale de fabrication des cristaux que pour la création d'outils de contrôle performants. Par ailleurs, le service informatique du LAPP a participé jusqu'en 1999 à la première phase d'un programme innovant dans le domaine des techniques de programmation avancées orientées objet.

L'activité du groupe s'est développée suivant trois axes principaux : développement des méthodes de fabrication des cristaux et de leur contrôle, développements relatifs à l'électronique associée aux cristaux et enfin développements des logiciels concernant les simulations et l'analyse des données.

## Activités liées aux Cristaux du ECAL

### a) Caractérisation des cristaux

Un effort important a été fait dans le domaine de la caractérisation des cristaux, en étudiant les corrélations entre leurs propriétés et les processus de fabrication. Pour mener à bien ces études, le groupe a développé plusieurs dispositifs expérimentaux :

- La source COCASE équipée par le groupe du CEA (Saclay) a permis d'effectuer (jusqu'en 1998) toute une série de mesures concernant la tenue aux radiations des cristaux. Ces mesures ont permis de mettre au point les conditions industrielles de tirage des cristaux.
- La source GIF, au CERN, avec le banc automatique mis en place par le groupe CMS-LAPP (Figure 1), permet l'irradiation et le contrôle en ligne des dégâts induits par irradiation. Ce dispositif utilisé intensivement en 1998-1999, a permis

la mise au point de la technique du double dopage et l'ajustement des conditions de préproduction des cristaux. Il a été complété en 2000 et 2001 par l'installation d'un laser UV pour l'excitation de la scintillation des cristaux en remplacement du faisceau d'électron.

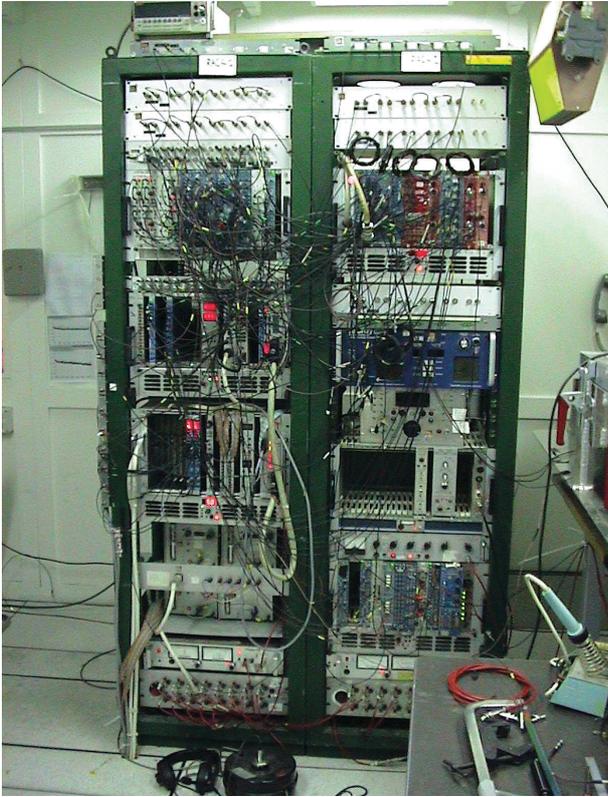


Figure 1 : Electronique d'acquisition du système GIF pour CMS ECAL

### b) Tests et développements des cristaux

Le groupe a activement participé aux mesures effectuées dans le faisceau H4 du CERN qui ont permis de valider un certain nombre de choix (concernant notamment la collection de lumière et l'électronique de lecture) et d'évaluer la résolution en énergie obtenue avec des matrices de cristaux prototypes. L'obtention d'une excellente résolution en énergie dépend en particulier du terme constant (estimé à 0.5%) qui intervient dans la résolution. L'obtention d'un terme constant aussi bas suppose un excellent contrôle des 80.000 canaux du détecteur ainsi qu'une très grande stabilité.

### c) Le Programme A.C.C.O.S. au LAPP (CMS/ECAL)

Projeté dès 1995, le banc ACCOS permet de réaliser un contrôle automatique de qualité des 80.000 cristaux de tungstate de plomb destinés au calorimètre de CMS. Les principales caractéristiques de ces cristaux, mesurées par ACCOS (dimensions précises, transparence, ainsi que la quantité, la rapidité et l'uniformité des lumières scintillantes émises et collectées le long du cristal) sont enregistrées dans une base de données. Les cristaux produits en Russie (BTCP) et en Chine (SIC) sont contrôlés dans deux centres régionaux à Rome (ENEA) et à Genève (CERN). Les deux centres producteurs et les deux centres régionaux sont ou seront équipés de bancs automatiques similaires à ACCOS. Pour plus d'information,

le lecteur pourra se reporter au rapport d'activité 1998-1999 du LAPP.

La machine ACCOS1 installée durant l'été 1998 au CERN a été intégrée à la machine 3D et l'ensemble était opérationnel dès novembre 1998. Après 2 mois de tests de stabilité et de performances, par comparaison systématique avec les bancs classiques, plus de 2.000 cristaux de préproduction ont été mesurés en mode entièrement automatique au rythme de 40 cristaux par jour, de mars à octobre 1999. Un cristal de référence mesuré deux fois chaque jour a montré le niveau de fiabilité de ces mesures. En août 1999, une réplique modifiée, capable de charger 30 cristaux sans manipulation, a été installée au BTCP en Russie. Une machine identique est en construction au CERN pour doter ce centre régional d'une deuxième machine à la fin de 2001.

### d) Collection de lumière et électronique de contrôle des signaux des cristaux

Le LAPP a participé à l'optimisation du signal lumineux et à sa détection dans les conditions imposées par le LHC, et notamment à l'évaluation de la meilleure interface optique cristal-photodétecteur. En parallèle il participe, dans le cadre de son programme de R&D, à l'effort général entrepris pour le développement des photodiodes à avalanche, pour les applications en physique des hautes énergies, notamment à

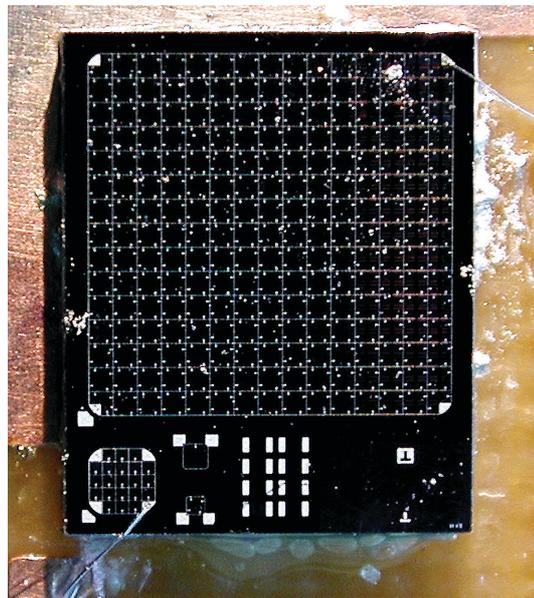


Figure 2 : diodes à avalanche à couche métallique résistive

travers un programme de recherche avec des instituts de Minsk (Biélorussie) sur les diodes à avalanche à couche métallique résistive (Figure 2) qui présentent des surfaces de détection intéressantes. Ce projet est financé à 75% par l'ISTC (International Scientific Technical Center) en partenariat avec l'IN2P3.

### Electronique : une calibration électronique pour le ECAL

Le calorimètre électromagnétique de CMS devra mesurer l'énergie des particules électromagnétiques dans une gamme très étendue (entre 50 MeV et 1 TeV), pour détecter un Higgs

de basse masse, il devra permettre une résolution ( $6.10^{-3}$  à 100 GeV) jamais atteinte auparavant, même dans des dispositifs plus modestes. L'électronique «front-end» est constituée de 80.000 canaux et est située immédiatement derrière les cristaux. Elle amplifie et numérise le signal, puis l'information est transmise à la salle de contrôle par un ensemble de 120.000 fibres optiques travaillant à 1 GHz.



Figure 3 : Carte électronique avec injecteur pour le contrôle de la dérive des caractéristiques sous irradiation.

L'électronique de lecture doit fonctionner pendant environ 10 ans sans maintenance, et il est clair qu'un tel système de mesure nécessite un système redondant de calibration en ligne permettant le suivi des dérives liées aux variations de température, aux dommages par irradiation entre autres. Depuis 1997, le LAPP a proposé un système de calibration que la collaboration CMS-ECAL l'a chargé de réaliser.

La calibration s'effectue par injection d'une charge connue, sur l'entrée de la chaîne de lecture, de forme identique à celle produite par les photodiodes à avalanche qui lisent les cristaux. La dynamique du signal de calibration est identique à celle exigée du détecteur et sa linéarité sur toute cette dynamique est meilleure que 0.5%. Pour ce système, une série de 4 circuits intégrés dédiés ont été étudiés au LAPP sur simulateur, puis fondus en technologie DMILL 0.8  $\mu\text{m}$  pour résister à l'irradiation ambiante dans laquelle le système devra fonctionner.



Figure 4 : Informatique de contrôle

Une chaîne de mesure a été montée au LAPP pour vérifier automatiquement les écarts de linéarité entre les amplitudes demandées et mesurées. Nous avons également vérifié la tenue aux irradiations des circuits principaux de ce système jusqu'à  $10^{14}$  neutrons/cm<sup>2</sup> au CERI (Orléans) et à PSI (Villigen, Suisse).

La version finale de ce système de calibration électronique devait intégrer toutes les fonctionnalités dans un seul circuit envoyé en fonderie fin 1999. Ce circuit devait alimenter 5 canaux du calorimètre et comporte quatre parties :

1. La partie contrôle réception des informations globalement destinées à la commande de l'électronique frontale, désérialisation et distribution, ajustement des coupures pour le passage dans l'ampli multi-gains, mesure des températures, calibration etc.
2. Une partie logique sélectionne les ordres de calibration, différencie l'ordre d'amplitude qu'elle envoie au DAC et l'ordre de déclenchement qu'elle envoie à la partie injecteur.
3. Un DAC de 10 bits, et d'une précision de 0.1%. Ce DAC est le premier DAC de 10 bits à être fondu en technologie DMILL.
4. Une partie qui crée 5 impulsions pour les canaux d'une même carte front-end. Cette partie a particulièrement été étudiée en termes de bruit (elle ne doit rien ajouter au canal sur lequel elle est branchée), de précision et de robustesse (elle ne doit pas dériver sous irradiation).



Figure 5 : Dispositif laser Ultra-violet pour l'excitation de la scintillation des cristaux de PbWO<sub>4</sub>

Début 2000 les premiers éléments en retour de fonderie ont montré que pour l'injecteur les objectifs avaient été remplis. La décision de la Collaboration CMS-ECAL de s'orienter vers une calibration de type optique a arrêté la mise au point encore nécessaire pour les autres éléments décrits ci-dessus.

Malgré cette décision, le travail réalisé sur les injecteurs, associés à un DAC du commerce, s'est révélé très utile pour la nouvelle électronique (Figure 3) mise au point pour le dispositif de contrôle de GIF-ECAL.

## Simulation et programmation

Un important travail d'optimisation du calorimètre a été réalisé avec des techniques de simulation. L'arrangement de cristaux retenu actuellement pour le tonneau est une proposition du LAPP.

L'équipe du LAPP participe également à la remise à niveau des outils logiciels généraux pour le LHC tel que la version de GEANT4 en programmation orientée objet et à la mise au point d'un outil convivial pour l'exploitation du logiciel de simulation Pythia. Enfin dans le prolongement d'études antérieures, une simulation des potentialités, pour la physique en collision centrale, du détecteur électromagnétique associé au dispositif de l'expérience TOTEM a été menée.

L'expérience CMS pense apporter des perspectives de physique stimulantes, basées sur des défis technologiques nouveaux dans de nombreux domaines. Le groupe CMS du LAPP a pris toute sa part dans cette aventure en fournissant en temps utile des solutions innovantes pour les éléments de base du détecteur électromagnétique et leurs contrôles, pour lesquels il continue à apporter son expertise. Il contribue également à préparer l'exploitation du détecteur, dans la mesure de ses effectifs, en s'associant aux développements pour l'exploitation de software généraux tels que GEANT4 ou PYTHIA, ainsi qu'à l'évaluation d'une exploitation de la physique en collision centrale.