

LHCb

L'expérience LHCb est dédiée à l'exploration du secteur du B au LHC grâce à des mesures de précision des désintégrations des mésons et hadrons beaux. Des indications de Nouvelle Physique seront observables à partir de mesures de l'angle β_s , de l'angle γ du Triangle d'Unitarité et de l'étude de désintégrations rares des mésons B_u et B_s . En pourparlers avec l'expérience depuis 1998, le LAPP a officiellement rejoint LHCb en 2001. Depuis, sa contribution a concerné des réalisations en mécanique et en électronique. L'existence au laboratoire d'un nœud de la grille de calcul européenne (EGEE) permet également de participer à l'effort de calcul de la collaboration.

Introduction

L'expérience LHCb a été conçue pour poursuivre, après les expériences sur les usines à B (collisionneurs du KEK/Japon et SLAC/USA) et au TeVatron (collisionneur du FNAL/USA), la détermination des éléments de la matrice V_{CKM} et les désintégrations rares des mésons B. Les caractéristiques exceptionnelles du LHC (énergie, luminosité) devraient permettre, par des mesures très précises, de tester les limites du Modèle Standard et ainsi d'observer des indications de Nouvelle Physique. Une mesure précise de l'angle γ du Triangle d'Unitarité, difficilement accessible aux usines à B, permettrait par exemple de tester la cohérence du triangle. Des déviations aux mesures attendues dans la violation de CP ou dans les désintégrations rares des mésons B indiqueraient également la présence de Nouvelle Physique.

Le détecteur LHCb (Figure 1) est un spectromètre couvrant la région angulaire de ± 300 mrad dans le plan horizontal (plan de courbure de l'aimant) et ± 250 mrad dans le plan vertical autour des faisceaux de protons. Plus de 30 % des paires $b\bar{b}$ produites par fusion de gluons dans les interactions proton-proton au LHC sont dans cette région angulaire. Pour chaque femtobarn enregistré, 5×10^{11} paires $b\bar{b}$ seront produites

Points forts

L'équipe du LAPP a été impliquée dans la calorimétrie aux côtés de groupes français (LAL et LPC), du groupe de Barcelone et des groupes russes travaillant sur la calorimétrie.

Chronologiquement sa participation s'est concentrée sur des réalisations techniques :

- l'étude, la réalisation et la mise en œuvre des structures mécaniques de la calorimétrie définies aux normes antisismiques,
- la collection de données des calorimètres et le déclenchement de premier niveau à travers plusieurs réalisations de l'équipe électronique.

La préparation à l'analyse des données a été abordée dans deux études :

- calibration des jets de b produits dans les interactions,
- calibration du calorimètre électromagnétique avec des π^0 .

Ces études ont fait partie des travaux des thèses suivants :

- sensibilité de LHCb à la production associée de Higgs (thèse de V. Coco, 2008),
- sensibilité de LHCb à la mesure de $\sin 2\beta$ dans le canal $J/\psi \pi^0$ et de $\sin 2\beta_s$ dans le canal $J/\psi \eta$ (thèse de G. Rospabé, 2008).

dans l'acceptance.

Une luminosité intégrée de 200 pb^{-1} , attendue quelques mois après le démarrage du LHC, pourra déjà fournir de précieuses indications.

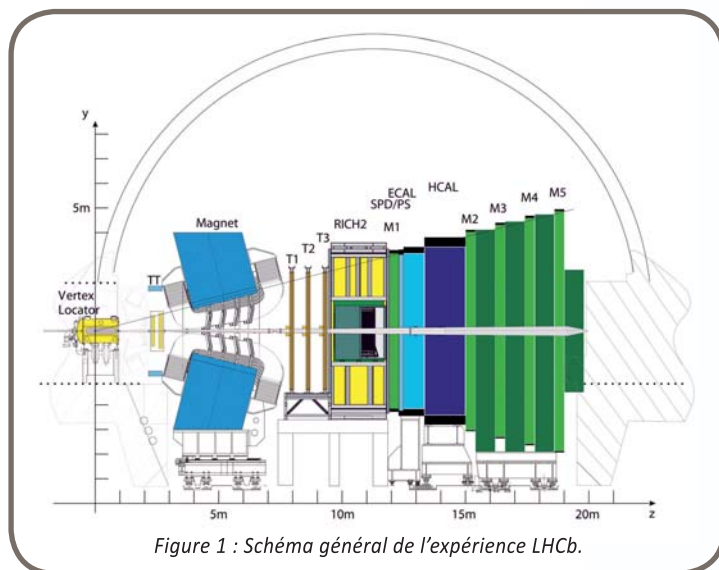


Figure 1 : Schéma général de l'expérience LHCb.

Depuis fin 2007, la mise en route de l'ensemble de l'expérience, incluant le contrôle centralisé des différents détecteurs, a été l'activité principale dans la zone expérimentale. Des prises de données régulières d'événements cosmiques ont permis d'aligner en temps l'ensemble des détecteurs et de tester l'ensemble des contrôles.

Les données enregistrées lors de la circulation des premiers faisceaux dans l'accélérateur en septembre 2008 ont permis de vérifier la synchronisation en temps des détecteurs et leur alignement dans l'espace (Figure 3).

La collaboration

La collaboration LHCb rassemble environ 700 chercheurs, provenant de 52 laboratoires de 15 pays. Les principales phases de l'expérience ont été les suivantes : conception et R&D (1995-2000), approbation par les comités du CERN (2000), construction et installation (2000-2008). L'année 2009 devrait marquer le début de la phase de prise de données...

Activités de recherche du groupe du LAPP

LHCb de 2006 à 2008

De 2005 à 2008, les différents détecteurs ont été installés dans la cavité LHCb ; le détecteur était complet pour l'été 2008 (Figure 2).

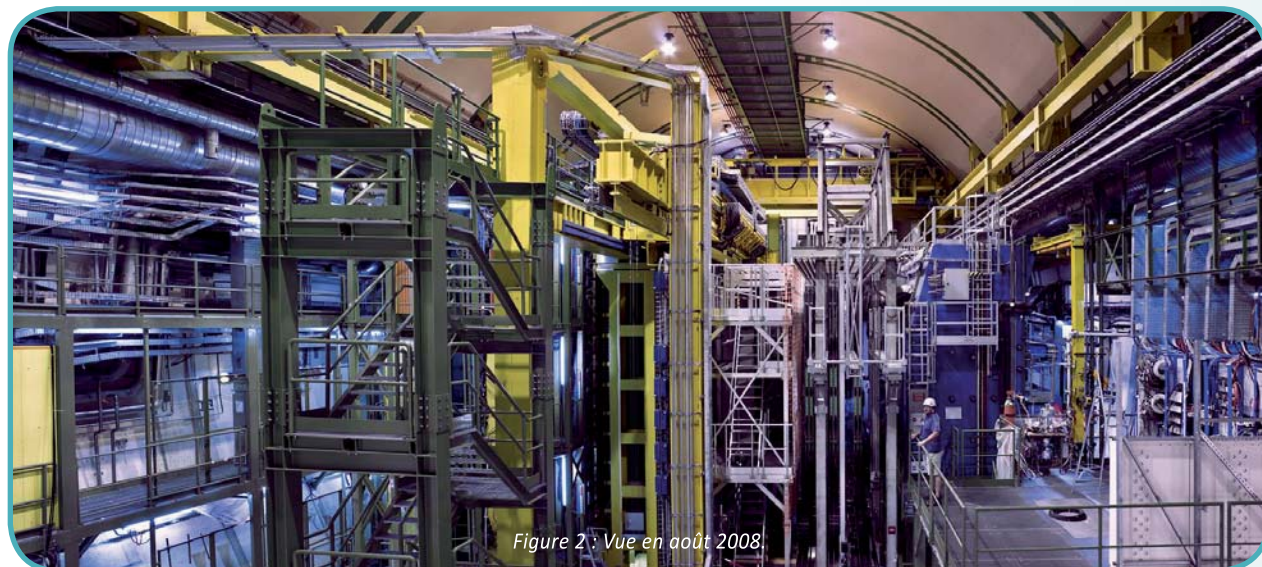


Figure 2 : Vue en août 2008.

Contributions techniques

Les contributions techniques qui ont couvert toutes les phases des projets (conception, réalisation, installation et suivi), se sont appuyées sur des équipes d'ingénieurs et de techniciens du LAPP.

Projet mécanique

Le défi était de concevoir et de réaliser les structures de support des cinq éléments de la calorimétrie (détecteur de traces, plomb, pied de gerbes, calorimètres électromagnétique et hadronique) avec comme contraintes :

- un support indépendant pour chaque élément,
- un support mobile (sur 4 m, perpendiculairement à la ligne de faisceau),
- la prise en compte du mouvement des câbles de signaux et de contrôles : solidaires de chaque élément, ces câbles sont acheminés à 12 m de hauteur sur la même plateforme électronique.

Le projet comportait donc les phases suivantes :

- conception et réalisation de l'ensemble de l'infrastructure support des 5 éléments suivant des normes antisismiques,
- conception et réalisation des plateformes d'accueil des baies d'électronique pour l'ensemble des éléments,
- réalisation des systèmes de support, des chaînes de câbles et gestion de l'ouverture de calorimètres,
- conception et réalisation de la motorisation de l'ensemble,
- gestion de l'ensemble des sécurités d'ouverture et de déplacement des 5 éléments de la calorimétrie.

La conception des supports et leur installation a eu lieu en 2006. En 2007, les chaînes de câbles, les supports et guidage du détecteur de traces, du plomb et du pied de gerbes ont été mis en place. En 2008, l'ensemble du système d'automatisation des mouvements a été installé (Figure 4). A ce jour, l'ensemble des calorimètres a parcouru 700 m dans les divers déplacements qui ont été nécessaires pour leur mise au point et leur maintenance.

Projets électroniques

Le groupe du LAPP a pris en charge deux projets :

- la compression des données des calorimètres et leur acquisition (carte TELL1),
- la carte validation du trigger (TVB) qui collecte les informations des quatre calorimètres et propose des candidats hadrons, électrons, photons ou multi-photons.

Compression des données et cartes TELL1 pour les calorimètres : l'acquisition des données des différents détecteurs est faite par une carte développée par Lausanne (carte TELL1 Figure 5) et contrôlée par un progiciel (firmware) de base. Pour chaque détecteur, il est alors nécessaire d'intégrer son traitement spécifique (ex : compression de données...) au "firmware" de base.

Pour les calorimètres, cela implique :

- la réalisation du firmware de compression et l'intégration dans le firmware de base des algorithmes spécifiques de compression de données pour les calorimètres,

10.9.2008 10:39:14 Ons

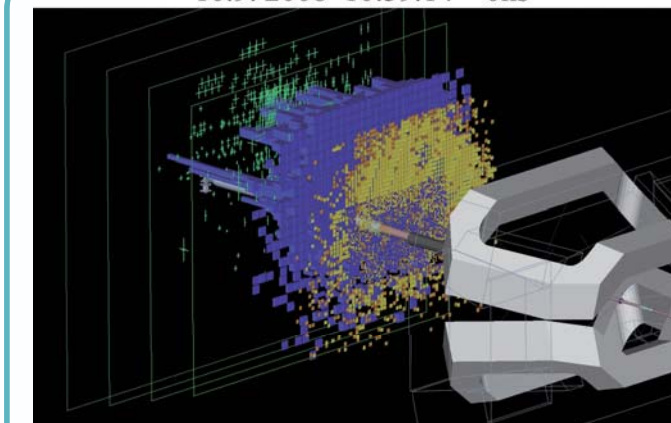


Figure 3 : Visualisation d'un « événement » observé dans plusieurs sous-détecteurs le jour du démarrage du LHC (10 septembre 2008) ; à droite, la structure caractéristique de l'aimant.

- le développement d'outils de tests,
- l'installation et la mise en œuvre des cartes TELL1 pour l'ensemble de la calorimétrie,
- l'intégration dans la structure de contrôle de "runs" et de "slow control" (PVSS) de l'expérience.

La partie spécifique à la calorimétrie a été développée par les ingénieurs et physiciens du laboratoire :

- conception et développement du code (2006 et 2007),
- mise au point, amélioration des outils d'intégration et tests avec l'ensemble des éléments (2008).

L'ensemble fonctionne de manière très satisfaisante : des données de tests ou de "runs" cosmiques sont enregistrées régulièrement, sans incident.

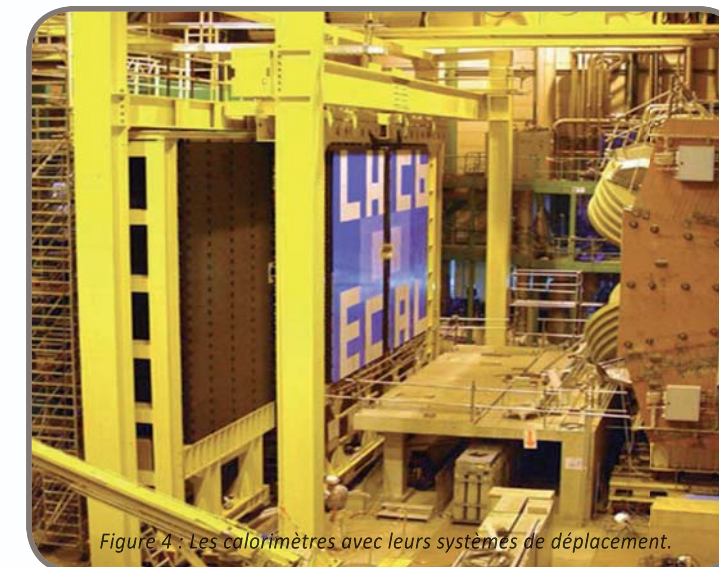


Figure 4 : Les calorimètres avec leurs systèmes de déplacement.

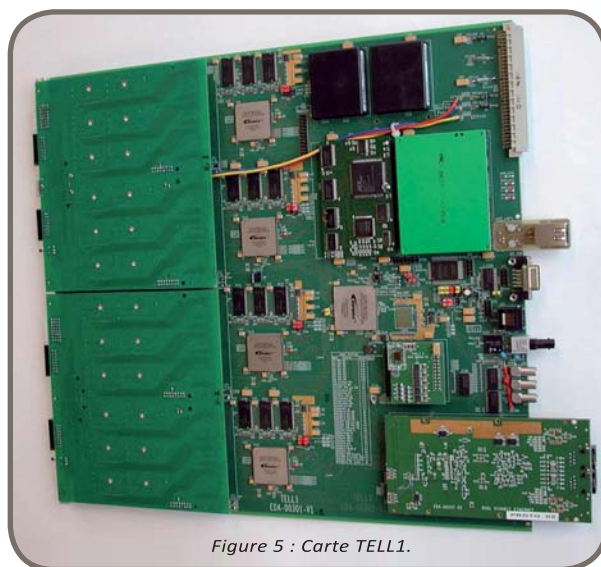


Figure 5 : Carte TELL1.

Conception et réalisation de la carte de validation des déclenchements : les calorimètres et le détecteur de muons sont utilisés dans le déclenchement "hardware" (L0) de LHCb. La carte de validation (Figure 6) est le cerveau du système de déclenchement lié à la calorimétrie. Cette carte permet, à partir des données réduites des différents éléments de la calorimétrie, de fournir des candidats hadron, électron et photon aux cartes de sélection qui les transmettent à la carte de décision. C'est une carte complexe à 16 couches qui a été développée par les ingénieurs du LAPP pour remplir ces fonctions.

De 2006 à 2008 les étapes suivantes ont été franchies :

- conception, réalisation et mise en œuvre des 28 cartes validation et des 7 cartes complémentaires (2006-2007),
- tests des communications entre les différents sous-détecteurs, synchronisation des signaux (2007-2008),
- utilisation des 28 cartes de contrôle pour acquérir des données cosmiques (2008).

L'utilisation de FPGA reprogrammables a permis, par la flexibilité qu'ils offrent, de s'adapter aux contraintes globales de l'expérience pour gérer le temps alloué au traitement d'un événement ou pour améliorer les fonctionnalités de la carte.

Contribution à la mise en œuvre du détecteur
Le système de contrôle de l'expérience est basé sur un produit commercial adapté aux besoins de LHCb : PVSS (ProzessVisualisierungSoftware).

La mise en œuvre de ces contrôles pour la carte de compression de données et la carte de validation des déclenchements calorimétriques a, dans un premier temps, été assurée par des physiciens du groupe. Ces éléments sont maintenant en partie pris en charge par un ingénieur informaticien, dont la contribution s'élargit à la gestion d'autres projets liés au calorimètre concernant le contrôle des hautes tensions et la gestion des incidents liés à la calorimétrie en cours de prise de données.

Support informatique

La disponibilité et la compétence des ingénieurs informatiques du LAPP ont permis :

- l'installation des logiciels de l'expérience sur le nœud local afin que ce nœud puisse être utilisé, dans le cadre de la grille, par l'ensemble des collaborateurs de LHCb,
- l'aide à l'utilisation générale du nœud de grille (en local ou par la grille) ; cette aide a particulièrement été utile aux doctorants,
- le support pour résoudre des problèmes analytiques ou statistiques et construire de nouveaux algorithmes comme dans le cas de l'élaboration d'une méthode de calibration à partir de π^0 .

Contribution à la mise en œuvre du détecteur et préparation de l'analyse

En liaison avec les activités auprès des calorimètres et les analyses de physique développées localement, le groupe contribue :

- à la mise au point d'une méthode de calibration du calorimètre électromagnétique en utilisant les paires de photons issues de π^0 . Une méthode itérative a été développée qui permet d'atteindre une calibration au pourcent avec une centaine de millions d'événements (quelques jours de prise de données),
- au développement d'algorithmes permettant la signature de candidats photon à partir des seules informations de la calorimétrie,
- au développement d'algorithmes de calibration en énergie de jets issus des b produits.

Ces algorithmes ont été développés dans le cadre des analyses présentées dans les thèses citées ci-dessus et sont maintenant utilisables par toute la collaboration.

Contribution aux études de physique

Plusieurs sujets de physique ont été abordés dans le groupe et sont suivis :

- recherche du boson de Higgs se désintégrant en $b\bar{b}$. Dans le cas d'un Higgs de basse masse ($< 130 \text{ GeV}/c^2$), les deux b de désintégration sont dans l'acceptance de LHCb. A ce travail est donc relié un algorithme de reconstruction des jets de b (Thèse de V. Coco),
- violation de CP dans des canaux avec des photons énergiques : ($B \rightarrow J/\psi \pi^0$) (Thèse de G. Rospabé),
- mesure de la phase du mélange β_s avec le canal $B_s \rightarrow J/\psi \eta$. La prédiction du Modèle Standard pour cette phase est bien plus précise que dans le cas du méson B_d , et, du fait de la petitesse de cette phase, toute déviation significative est un signe de Nouvelle Physique (doctorant).

Plan pour 2010-2014

Les plans pour les années à venir seront rythmés par la prise de données auprès du LHC : un démarrage en 2009-2010 avec quelques centaines de pb^{-1} de luminosité intégrée, puis dans les prises de données suivantes 2 fb^{-1} par an pour atteindre les 10 fb^{-1} en 5 ans nécessaires pour s'assurer de l'absence ou la présence de Nouvelle Physique dans la majorité des canaux. Le groupe s'étoffant de physiciens venant de l'expérience BaBar et rompus à la physique du B, la gamme des sujets abordés sera étendue

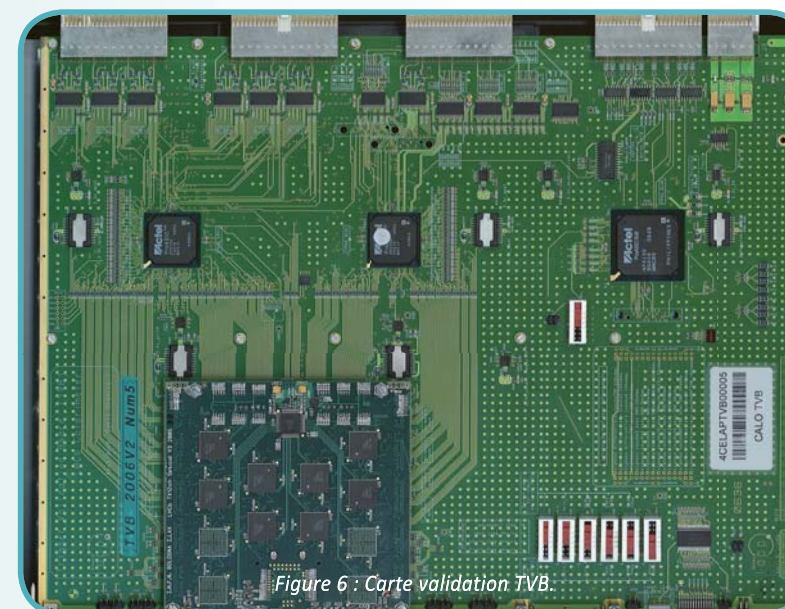


Figure 6 : Carte validation TVB.

en corrélation avec le développement d'outils nécessaires à la physique du B.

Contribution aux outils d'analyse

Les sujets suivants resteront abordés dans le groupe :

- calibration du calorimètre électromagnétique de LHCb,
- étude des performances de reconstruction et d'identification des électrons grâce au canal $J/\psi (e^+e^-)$,
- calibration et signature des jets de b (b-tagging),
- contribution à la mesure de la luminosité.

Contribution aux analyses de physique

- Contribution à la mesure de la production de paires de muon et de J/ψ en paires de leptons à basse luminosité,
- contribution à la mesure de l'angle β_s dans le canal B_s en $J/\psi \eta$,
- contribution à l'étude de l'angle γ .

Evidemment ce cadre peut évoluer en fonction des découvertes qui pourront émerger au démarrage du LHC.

Contribution à l'amélioration du détecteur

Dès maintenant, l'avantage de pouvoir atteindre une luminosité intégrée pour certains canaux comme $B_s \rightarrow \phi\phi$ de 100 fb^{-1} est incontestable. Un programme d'amélioration du détecteur est en cours d'étude et le groupe désire y participer.

Le but à atteindre par LHCb est la capacité de prendre des données avec une luminosité instantanée d'un facteur 10 à 20 plus élevée et de sélectionner ces données à partir d'un flux de 40 MHz.

Un tel programme implique la modification de plusieurs détecteurs, en particulier pour la partie calorimètre, l'électronique de lecture doit être repensée tout comme la collection des données. Le premier pas consiste à soumettre une lettre d'intention aux comités LHCC pour la fin de l'année 2009.

Présentation dans des conférences

2006

B. Pietrzyk, "LHCb detector status and commissioning", Hadron Collider Physics Symposium (HCP06) Duke University Durham, North Carolina (USA).

2008

S. T'Jampens, "Searching new physics hidden in beauty and charm", The 8th International Conference on Hyperons, Charm and Beauty Hadrons (BEACH08) University of South Carolina, Columbia (USA), Nucl. Phys. Proc. Suppl. 187:167-174, 2009.

V. Coco, "b-Jets at LHCb, HERA and the LHC - A workshop on the implications of HERA for LHC physics", CERN (Switzerland).

V. Coco, "b-Jets at LHCb", Proc. de Rencontres de Moriond, QCD and High Energy Interactions, La Thuile (France), THE GIOI Publishers p.245-248.

B. Pietrzyk, "b physics at LHC", Cracow Epiphany Conference on LHC Physics, Cracow (Poland). Acta Phys.Polon.B39:1695-1704, 2008.

Publications importantes

LHCb Collaboration (A. Augusto Alves et al.) JINST 3, S08005, 2008.

L'équipe du LAPP

Physiciens : D. Décamp, I. De Bonis, P. Ghez, M.-N. Minard, **B. Pietrzyk**, S. T'Jampens

Doctorant : V. Coco, P. Hopchev, G. Rospabe

Equipe Technique : J. Ballansat, Y. Bastian, Y. Beeldens, D. Boget, M. Cailles, F. Chollet, P.-Y. David, P. Delebecque, C. Drancourt, N. Dumont-Dayot, S. Elles, L. Giacobone, C. Girard, L. Journet, B. Lieunard, J.-L. Panazol, T. Rambure

Stagiaires et visiteurs : P. Bordet, A. Czarnecki, V. Egorichev, P. Hopchev, A. Konopliankov, L. Locatelli, M. Martemyanov, J. Masson, A. Olszewski, V. Shevchenko, T. Skwarnicki, S. Valat, Z. Was

Responsabilités du groupe

Les membres de l'équipe du LAPP assurent des responsabilités tant au niveau de la collaboration, qu'au niveau du fonctionnement de l'expérience.

Au niveau de la collaboration :

Bolek Pietrzyk est responsable des actions de communication ; Sur ces sujets il travaille en relation directe avec le management de l'expérience et avec le service de communication du CERN.

Marie-Noëlle Minard est depuis février 2008 responsable du projet calorimètre ; elle est secondée dans cette tâche par Pascal Perret du LPC (Clermont). A ce titre elle coordonne les activités liées aux quatre éléments de la calorimétrie : détecteur de traces, pied de gerbe, calorimètres électromagnétique et hadronique.

Au niveau du fonctionnement de l'expérience :

Stéphane T'Jampens est en charge de la collection des données des calorimètres ; ce point crucial de l'expérience lui demande d'être facilement joignable pendant les périodes de prises de données.

Le groupe d'électronique du LAPP et les physiciens impliqués assurent la responsabilité du fonctionnement des cartes électroniques qui délivrent le déclenchement des calorimètres (TVB).

Les mécaniciens et spécialistes automatisme assureront le bon fonctionnement du système de déplacement de l'ensemble des calorimètres.