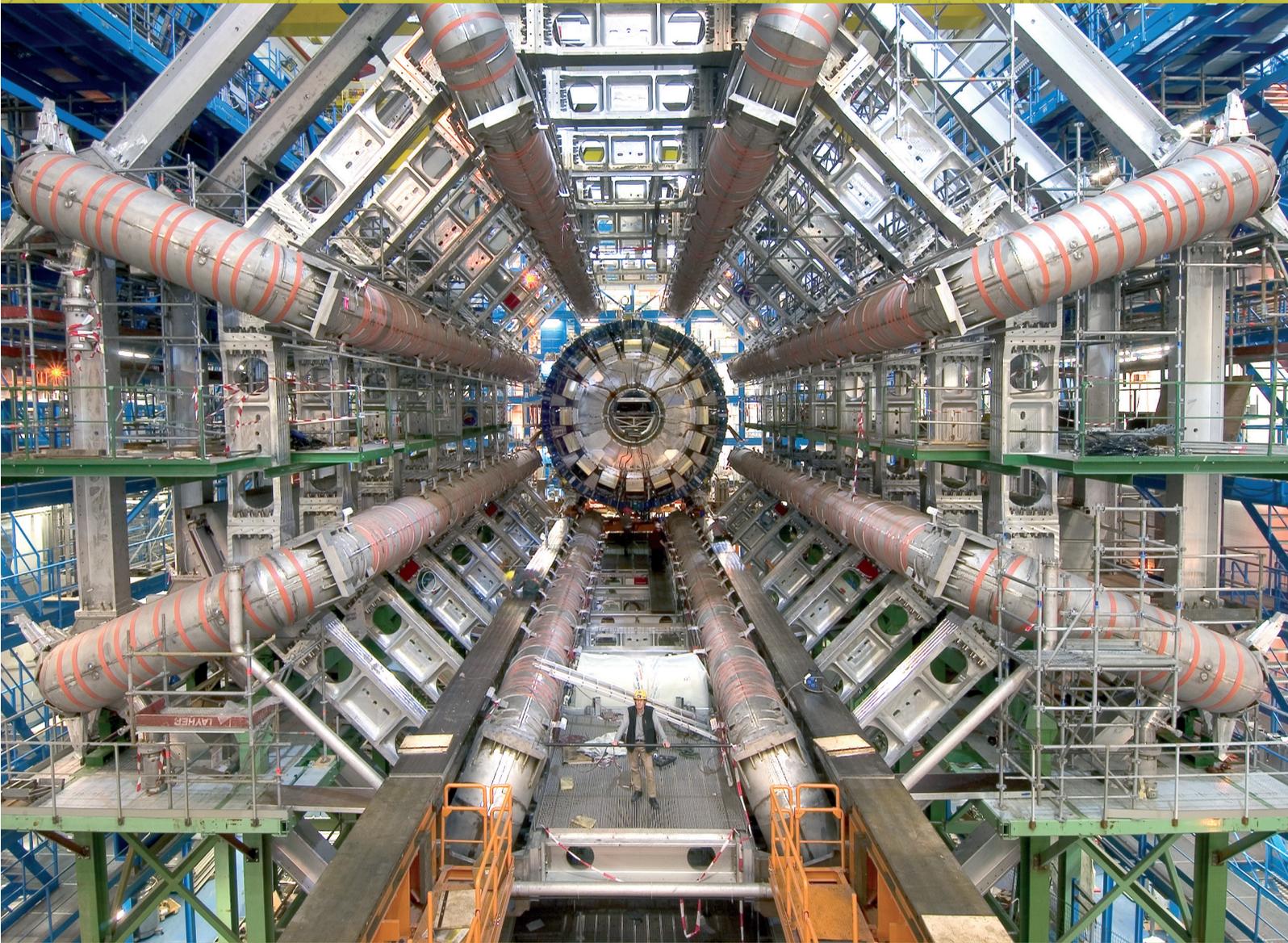
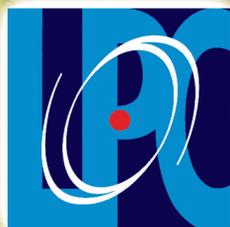


RAPPORT D'ACTIVITÉ



JUIN 2003 - DÉCEMBRE 2005



Laboratoire de Physique Corpusculaire
de Clermont-Ferrand

A detailed technical drawing of a particle detector, likely the LHCb experiment, showing a complex arrangement of components, including a central detector and surrounding structures, rendered in a perspective view.

Rapport d'activité
Juin 2003 - Décembre 2005

Laboratoire de
Physique Corpusculaire
de Clermont-Ferrand

SOMMAIRE

Avant-propos	4
Physique théorique	7
Physique des particules	15
Matière hadronique	31
Recherches interdisciplinaires	45
Les services techniques et administratif	59
L'organisation et les moyens du laboratoire	71
Le LPC et l'Enseignement Supérieur	79
La communication	85
La politique régionale et la valorisation	89
La production scientifique	93



Le LPC est une Unité Mixte de Recherche du CNRS (UMR 6533) et de l'université Blaise Pascal appartenant à l'Institut de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3). Cet Institut du CNRS organise depuis plus de trente ans cette thématique autour de très grands équipements (TGE) et de projets dans le cadre de collaborations internationales, notamment en Europe, et plus particulièrement au CERN.

Parmi les laboratoires composant l'IN2P3, le LPC est un laboratoire de taille moyenne. Il comprend une centaine de permanents dont environ soixante du CNRS (chercheurs et ITA). Les enseignants chercheurs et les ITARF sont essentiellement affectés à l'Université Blaise Pascal, mais également à l'Université d'Auvergne et à l'IUFM. Le LPC dispose de quatre services techniques et d'un service administratif qui contribuent fortement aux expériences et à la gestion du laboratoire.

L'activité de recherche fondamentale regroupant les thématiques « Physique des particules » et « Matière hadronique » constitue les trois quarts de l'activité du laboratoire. Une équipe de théoriciens travaille, depuis quelques années, sur les thématiques liées au programme expérimental du laboratoire et explore les activités en émergence. Ces activités de recherche se déroulent au sein de très grandes collaborations internationales avec d'autres laboratoires de l'IN2P3. Le LPC est notamment impliqué dans trois grandes expériences sur le futur collisionneur LHC du CERN.

L'autre volet des activités du LPC porte sur des thèmes pluridisciplinaires liés à des applications de la physique nucléaire. On peut citer la datation par thermoluminescence et la mesure de faibles radioactivités, les mécanismes de réparation cellulaire sous irradiation par neutrons aux faibles doses, des recherches sur les biomatériaux ainsi que des études dans le domaine de l'imagerie médicale et le traitement par informatique dans le cadre de la grille de calcul. Ces activités pluridisciplinaires, essentiellement tournées vers les applications liées à la biologie, avec un souci constant pour la valorisation, favorisent des collaborations avec d'autres laboratoires de l'Université d'Auvergne et de l'Université Blaise Pascal. Elles se font également dans le cadre de projets européens ou de projets financés par l'ANR.

Grâce à l'ensemble de ses activités, le LPC a une très forte visibilité aussi bien au niveau international que national et régional. De par sa taille et ses compétences, il constitue un maillon essentiel dans l'activité de recherche en Auvergne.

Ce rapport d'activité porte essentiellement sur les deux premières années 2004-2005 du quadriennal qui correspondent à un changement de direction du laboratoire. Depuis plusieurs années, un très gros effort a été réalisé pour la préparation des expériences au LHC. Les enjeux de physique sont en effet capitaux pour la discipline toute entière et méritent de donner une priorité à ces programmes. Les trois expériences dans lesquelles le LPC est impliqué abordent les questions fondamentales comme l'origine de la masse avec la recherche du boson de Higgs, les théories au-delà du modèle standard et la matière noire, l'étude de l'origine de la violation de CP et la dissymétrie matière antimatière, l'étude de l'interaction forte, et le déconfinement des quarks. Cette priorité s'est traduite au laboratoire par une implication importante des services techniques, mais aussi par un soutien sur le plan financier et un renfort en personnel. Cet effort devra être maintenu pendant les années de mise au point finale et d'exploitation des détecteurs.

L'équipe ATLAS a terminé l'installation et la certification des tiroirs du calorimètre hadronique et finalise actuellement la calibration laser et le pilotage des hautes tensions. Le groupe ALICE, renforcé par la participation croissante des autres expériences ions lourds en voie d'achèvement au laboratoire (FOPI, NA60, PHENIX), a terminé la production

et les tests de l'électronique du déclencheur et va installer l'ensemble sur site au cours de l'année 2006. Pour LHCb les prototypes pour l'électronique frontale du détecteur de pied de gerbe et la carte du déclencheur sont validés, les torons de fibre optique sont également produits et installés au CERN. La production et l'installation de l'électronique se feront dans un planning relativement difficile, d'ici 2007. Un recrutement au CNRS est cette année la priorité du laboratoire pour cette équipe qui a bénéficié d'un soutien financier important du Conseil Régional.

Les équipes impliquées au LHC ont jusqu'à présent réalisé une performance pour la conception et la réalisation des détecteurs, mais elles ont également porté leur effort sur la préparation des analyses et de la physique. Ceci va bien sûr constituer une priorité après le démarrage du LHC et au cours du prochain quadriennal.

Dans la thématique « Matière hadronique », les activités se sont prolongées dans le domaine des ions lourds : à basse énergie avec, dans l'expérience FOPI au GSI, l'étude de la production de particules étranges ; dans le domaine des ions lourds ultra relativistes avec à Phénix l'étude de la production du J/Psi et à NA60 des compléments apportés à NA50 dans les domaines des basses masses, des masses intermédiaires et de la production de charmonium. Les physiciens impliqués dans ces expériences vont rejoindre le groupe ALICE lors du démarrage du LHC qui va être la priorité de la thématique des ions lourds. L'étude de la structure interne du nucléon se poursuit avec des expériences à Mayence et une implication à J. Lab avec les expériences de diffusion Compton profondément virtuelles. Le maintien de cette activité au laboratoire nécessitera un renfort et doit s'envisager au niveau national. La création prévue d'un GDR doit aller dans ce sens.

Pour la physique des particules, la participation à D0 s'est confirmée et le groupe a pris des responsabilités dans le système de déclenchement, notamment avec les leptons tau. Ce même groupe est maintenant fortement impliqué dans ILC avec un programme ambitieux de R&D au niveau du calorimètre électromagnétique et du détecteur de vertex. Ce programme fait largement intervenir les compétences des services d'électronique et de microélectronique du laboratoire.

L'équipe de physique théorique a développé son activité suivant un axe lié à la structure des hadrons et un axe au-delà du modèle standard et cosmologie, avec l'animation d'un GDR.

Cette période a vu également une croissance des projets européens et une implication importante du laboratoire dans les projets locaux notamment autour des aspects pluridisciplinaires. Le projet de grille régionale de calcul, dont le LPC est l'un des acteurs principaux, s'est concrétisé à la fois par des partenariats locaux mais aussi par une implication importante dans le projet international de calcul intensif pour le LHC, aboutissant ainsi à la création d'un Tier2 et l'habilitation du laboratoire comme centre de ressources. La Grille de calcul a également bénéficié de l'apport des projets européens comme EGEE, Embrace, Bioinfogrid dans lesquels une équipe du laboratoire est impliquée via la bioinformatique et les applications liées aux simulations dans le domaine de la radiothérapie, curiethérapie et dans recherche de nouveaux médicaments. Ce projet Auvergrid bénéficie du soutien de la Région et du CNRS, et il a été inscrit au prochain CPER.

L'activité dans le domaine des biomatériaux s'est poursuivie et fait l'objet de collaborations locales et nationales à travers un partenariat dans le projet MASCIF sur les matériaux innovants déposé à la Région et un projet nanomatériaux accepté en 2005 par l'ANR.

Les activités sur l'imagerie médicale et l'hadronthérapie se sont développées et ont été renforcées par la création d'un poste de MCF à l'Université. Elles se structurent au niveau national à travers le projet INNOTEP et la création d'un GDR piloté par un chercheur du LPC. Au niveau local, ce sont des collaborations avec l'Université d'Auvergne, le Centre Jean Perrin et une participation au canceropôle Lyon, Auvergne, Rhône Alpes (CLARA) et ETOILE. Un projet de plate forme sur l'application de l'interaction rayonnement matière a été déposé à la Région.

L'activité sur la datation par thermoluminescence et la mesure de faibles radioactivités a donné lieu, au plan local, à une collaboration avec le Laboratoire Magma et Volcans et au grand projet PREVOIR sur l'environnement.

Sur le plan local, les enseignants chercheurs, très fortement investis au département de physique, ont largement contribué à la mise en place du LMD. La plateforme de microélectronique sous la responsabilité d'un ingénieur du laboratoire a été créée et, grâce au renfort d'un poste de maître de conférence, elle pourra permettre au laboratoire de pérenniser ses compétences dans ce domaine, aussi bien en formation initiale que continue.

La cellule de communication du laboratoire a été très active et notamment vers les étudiants et lycéens à l'occasion de l'Année Mondiale de la Physique. Une visite du CERN pour les personnalités locales a été organisée.

Pendant cette période, le conseil scientifique du laboratoire a été réuni trois fois et a ainsi pu examiner l'ensemble des activités du LPC. Un contrat d'objectif a été signé avec les tutelles et un entretien objectif moyens a été réalisé en 2005. Des journées de perspectives ont été organisées, une première sur le calcul au LHC et une seconde sur les perspectives des services techniques après le démarrage du LHC.

Des évolutions sont intervenues au cours de ces deux dernières années dans le fonctionnement et l'organisation du laboratoire. On peut citer notamment la mise en place de réunions de direction hebdomadaires, des réunions mensuelles en alternance de conseils de laboratoire ou de responsables d'équipes. La création de groupes de travail transversaux destinés à favoriser le dialogue sur des sujets communs aux groupes de recherche. La création d'une cellule de gestion de projet au sein du laboratoire (CESPI) qui devrait jouer un rôle fondamental, notamment dans la coordination des services techniques pour le montage des expériences du LHC ou la préparation des expériences futures. Suite au mode de fonctionnement par projets et à l'occasion de changements de personnels, le service administratif du laboratoire a également été profondément remanié pour obtenir un fonctionnement mieux adapté.

En ce qui concerne les bâtiments, dont l'Université assure l'entretien, le projet d'extension du LPC a été engagé et les crédits sont disponibles. Malheureusement à l'heure actuelle le projet est bloqué pour des raisons administratives que le maître d'ouvrage devra résoudre très rapidement car le manque de place devient un point critique pour le laboratoire.

Le maintien des moyens financiers et humains du laboratoire est fondamental pour la poursuite des activités. Dans une période où le flux d'étudiants en sciences est critique, avec de plus de nombreux départs de personnels, le maintien dans la section des postes d'enseignants chercheurs a pu être réalisé. Cela devra, à l'avenir, mobiliser toute notre attention et faire l'objet d'un contrat d'objectifs entre les tutelles et la Direction pour le prochain quadriennal 2008-2011.

Pour terminer cette introduction, je voudrais remercier l'ensemble des membres du laboratoire qui contribuent à son succès et à son rayonnement. Merci à tous ceux qui ont participé à la production de ce rapport et notamment le groupe de la communication qui en a assuré l'édition.



Physique théorique



Physique Théorique

- ▶ **Mathiot J.-F.**, responsable équipe **Théorie**
- ▶ **Dugne J.-J.**, *Théorie*
- ▶ **Karmanov V.**, visiteur (Russie), *Théorie*
- ▶ **Labonne B.**, doctorant, *Théorie*
- ▶ **Mely H.**, doctorant salarié, *Théorie*
- ▶ **Morenas V.**, *Théorie*
- ▶ **Orloff J.**, *Théorie*
- ▶ **Smirnov A.**, visiteur (Russie), *Théorie*



L'équipe joue, au sein du Laboratoire de Physique Corpusculaire un double rôle: *i*) tout d'abord mener une recherche propre en physique théorique nucléaire et des particules, en collaboration avec d'autres équipes théoriques en France et dans le monde, en profitant au mieux de l'environnement scientifique du laboratoire, *ii*) offrir aux équipes expérimentales du laboratoire un soutien en physique théorique, soutien qui peut aboutir à des travaux en commun. Plusieurs thématiques sont développées au sein de l'équipe théorie: structure relativiste des hadrons, physique au delà du modèle standard et cosmologie, et études pluridisciplinaires. Ces domaines de recherche recoupent très largement ceux des équipes expérimentales du laboratoire.

1) Structure relativiste des hadrons

► 1.1 - Modèles de quarks constituants

• Désintégrations non leptoniques du B

Du point de vue théorique, il est crucial de maîtriser les désintégrations non leptoniques des mésons B car la connaissance de ces processus donne accès, entre autres, aux éléments de la matrice CKM ainsi qu'aux paramètres décrivant la violation de CP dans le cadre du modèle standard.

Traditionnellement, la modélisation de ces désintégrations repose sur l'hypothèse de factorisation, c'est-à-dire que l'on suppose que l'élément de matrice à quatre fermions qui décrit la réaction peut s'écrire comme le produit d'un élément de matrice semi-leptonique et d'un élément de matrice non-leptonique (les objets dans l'état final ne se parlent pas). Cette factorisation "naïve" a récemment été améliorée pour inclure des corrections de la théorie des interactions fortes, la ChromoDynamique Quantique (QCD) lorsque certaines conditions sont réalisées (modèle QCDF).

D'un point de vue expérimental, ces réactions sont énormément étudiées (BaBar, Belle, CLEO,...) avec une précision de plus en plus grande, et nous avons

à notre disposition ainsi de beaucoup de mesures permettant de contraindre et de tester les modèles. C'est pourquoi nous avons réalisé une analyse systématique des désintégrations non leptoniques $B \rightarrow PV$ (ou P et V représentent respectivement des mésons pseudovectoriels et vectoriels) afin de confronter QCDF avec les données expérimentales. Nous avons montré que cette hypothèse de factorisation améliorée ne permet pas de rendre compte correctement des mesures disponibles : d'une part les canaux étranges sont sous-estimés par QCDF et les asymétries CP directes dans les canaux non-étranges le sont aussi. Nous avons tenté de remédier à ce deuxième défaut en modifiant QCDF (modèle du pingouin charmé) : les prédictions théoriques sont alors améliorées mais cependant pas de manière convaincante.

• Fonction d'onde phénoménologique des mésons et facteurs de forme de transition

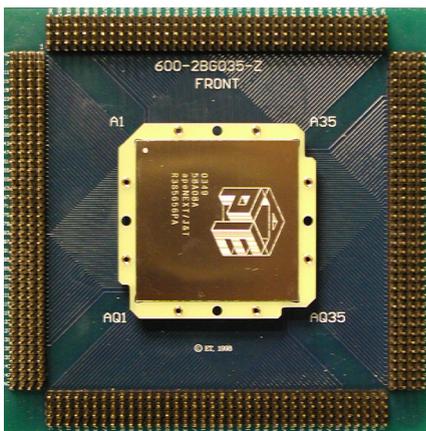
Dans de nombreux processus de violation de CP, il est nécessaire de contrôler d'un point de vue quantitatif les facteurs de forme de transition entre différents états hadroniques (mésons lourds et mésons légers). Ces processus font, de plus, souvent intervenir des transferts d'énergie et de moment importants. Il est donc indispensable d'avoir un formalisme relativiste simple pour décrire de manière cohérente non seulement leur structure (fonction d'onde) mais aussi leurs transitions. C'est précisément le cas de la formulation covariante sur le front de lumière. La structure des mésons $B, D, \pi, K, \rho, \omega$, ainsi que les facteurs de forme de transition a ainsi été étudiée, en s'appuyant sur toutes les données expérimentales disponibles. Dans ce formalisme relativiste, la fonction d'onde des mésons est décrite par plus qu'une composante : deux pour un méson pseudo-scalaire, et six pour un méson vecteur. Tous ces résultats sont ensuite intégrés dans l'analyse des transitions violant CP étudiées notamment au sein du laboratoire dans la collaboration LHCb.

► 1.2 - Théorie des Champs sur Réseau

• **Projet apeNEXT**

Le système apeNEXT constitue la dernière génération d'ordinateurs à architecture parallèle conçue par la collaboration APE (Allemagne, Italie, France). Il s'agit d'un système dédié et optimisé principalement pour les calculs de QCD sur réseau. D'autres domaines de recherche, comme la physique statistique, la mécanique des fluides, la dynamique stellaire, utilisent également avec succès ces machines parallèles. Cette collaboration marque l'état actuel des forces engagées dans le projet dont la motivation originelle (machines APE à la fin des années 1980) fut la conception et le développement par des physiciens italiens de l'outil dont ils allaient avoir besoin pour leur recherche.

En début d'année 2004, les premiers prototypes de processeurs apeNEXT ont été fabriqués et la première machine fut par la suite assemblée. Depuis, des tests extensifs (auxquels le Laboratoire de Physique Corpusculaire participe) sont réalisés aussi bien sur le hardware que sur le software.



▲ **Figure 1** : Processeur ApeNext

Enfin, notons que la partie française de la collaboration devrait pouvoir acquérir une tour apeNEXT (cela représente une puissance soutenue de calcul d'environ 300 Gflops, ce qui correspond à peu près à 45% de la puissance nominale maximale) en 2005 grâce à une ANR.

• **Application à la désintégration semi-leptonique des mésons B**

Deux facteurs de forme : $\tau_{1/2}$ et $\tau_{3/2}$ sont nécessaires pour décrire les désintégrations semileptoniques des mésons B en mésons charmés orbitalement excités D^{**} , dans la limite où les quarks b et c ont une masse infinie. Ces facteurs de forme ne sont pas indépendants et il a été montré (par des règles de

somme de QCD ou par des calculs phénoménologiques comme ceux issus de la formulation covariante d'amplitudes de transition façon Bakamjian-Thomas) que, théoriquement, le facteur $\tau_{3/2}$ est plus élevé que $\tau_{1/2}$ et cela de façon significative. Malheureusement toutes les mesures expérimentales contredisent cette prédiction théorique.

Pour tenter de résoudre ce paradoxe, il nous faut calculer directement ces facteurs de forme et nous avons proposé une méthode pour réaliser ces déterminations de façon non perturbative par des calculs de QCD sur réseau. Concrètement, nous avons montré que nous pouvions obtenir $\tau_{1/2}$ et $\tau_{2/3}$ à partir du réseau (bien que la gestion du bruit soit délicate pour les états 2^+) et des calculs préliminaires ont confirmé les prédictions théoriques des méthodes perturbatives précédemment citées. Tous ces travaux sont effectués en collaboration avec le Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay.

► 1.3 - Théorie des champs sur le front de lumière

Le domaine théorique de la physique hadronique et des particules élémentaires connu sous le nom de "Dynamique relativiste sur le front de lumière" est une formulation hamiltonienne de la théorie quantique relativiste qui utilise un choix différent des variables d'espace-temps et de champs. Cette approche est très prometteuse, essentiellement en raison de ses propriétés simplifiées pour le vide et pour les transformations relativistes de boost, très utiles pour la description des hadrons à partir de la QCD. De nombreuses idées, et des premiers calculs à la fois phénoménologiques et plus formels, ont été fait ces dernières années pour hisser cette approche au stade d'une théorie cohérente comparable à la théorie des champs sur réseau.

Ces travaux reposent tous sur la formulation covariante du front de lumière qui permet de maîtriser parfaitement toutes les contraintes liées à la brisure de l'invariance par rotation. Cette approche a montré toute sa richesse dans le domaine de la dynamique relativiste des systèmes à petit nombre de corps.

La formulation explicitement covariante de la dynamique sur le front de lumière est indispensable pour contrôler à chaque étape la brisure de la symétrie par rotation induite par un choix privilégié de front de lumière. Elle permet en particulier de pouvoir calculer toutes les observables physiques de manière unique et non-ambigüe, sans aucune pollution de contributions violant cette symétrie.

• **Solution non-perturbative pour un système scalaire**

La compréhension des propriétés des hadrons dans le cadre de la QCD nécessite l'utilisation de méthodes non-perturbatives. En théorie des champs, cela implique de traiter aussi le problème de la renormalisation. Après avoir étudié la renormalisation perturbative standard de l'électrodynamique quantique nous avons ensuite étudié un modèle simple de deux champs scalaires couplés. En restreignant dans un premier temps l'espace de Fock aux configurations à trois particules au plus, nous avons calculé la contribution non-perturbative à la self-énergie. La formulation covariante sur le front de lumière apporte, ici aussi, une simplification évidente dans l'expression des différentes contributions.

• **Application aux systèmes de fermions**

Nous venons de mettre au point une stratégie systématique pour calculer les systèmes liés relativistes. Cette stratégie permet de calculer les contretermes nécessaires à la renormalisation non-perturbative des équations du mouvement. C'est un résultat unique particulièrement non-trivial dans la mesure où la troncature du développement en composantes de Fock induit des divergences qui ne sont plus annulées si les contretermes ne sont pas définis correctement.

2) Au delà du modèle standard et cosmologie

Si la mise en évidence d'une théorie au-delà du Modèle Standard exigera des signaux observables dans l'infiniment petit, c'est surtout dans l'infiniment grand et par des arguments de cohérence que les besoins pour une telle théorie se font actuellement sentir.

► **2.1 - Matière noire**

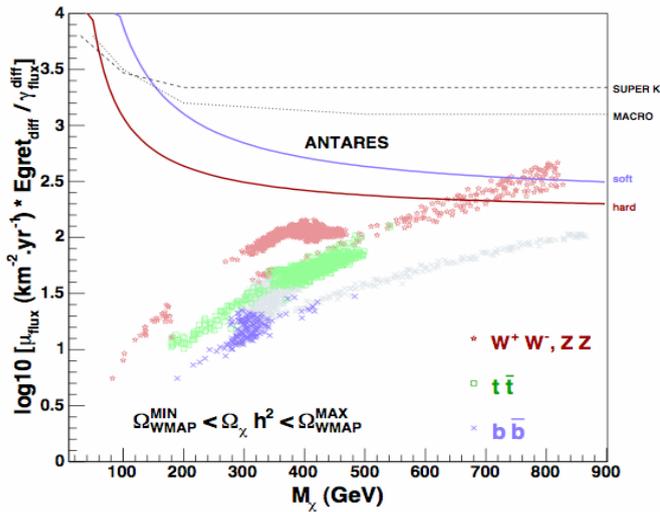
Pour commencer, la dynamique de rotation des galaxies et de leurs amas, mais aussi la formation des structures jusqu'aux plus grandes échelles récemment observées (catalogues SDSS et 2dFGRS, satellite WMAP), semblent nécessiter l'existence de matière massive non standard ne trahissant pas sa présence par un rayonnement lumineux: c'est la fameuse matière noire de l'univers, devant peser environ 6 fois plus que la matière ordinaire. Un des candidats les mieux définis et les plus naturels pour remplir ce rôle

crucial est la particule supersymétrique la plus légère (LSP, généralement neutralino).

Indépendamment du candidat, la validation de cette hypothèse d'existence de matière noire passe par la détection directe de collisions élastiques de particules de matière noire sur de la matière ordinaire, par la détection indirecte des produits de l'annihilation de matière noire dans des régions où elle est suffisamment concentrée (comme le centre du soleil ou le centre galactique), ou mieux encore par les deux à la fois. La prédiction du niveau de ces signaux varie sur plusieurs ordres de grandeur selon la nature du candidat et la valeur des paramètres le caractérisant.

Des incertitudes macroscopiques encore plus grandes liées à la distribution inconnue de matière noire s'ajoutent à ces incertitudes au niveau microscopique, en particulier pour la détection indirecte en provenance du centre galactique. L'ensemble de ces incertitudes rend l'interprétation d'une absence de signal délicate. Nous avons montré que l'on peut très largement réduire ces incertitudes en comparant les flux de neutrinos et de photons provenant d'annihilations au centre galactique. La mesure d'un flux de photons par EGRET, ou plus récemment HESS, permet de mettre une borne supérieure sur le flux de neutrinos provenant d'annihilation de LSP, qui pour une masse de neutralino donnée varie de moins d'un ordre de grandeur selon les modèles.

Par ailleurs, le spectre en énergie de neutrinos, venant par exemple du centre du soleil, est essentiel pour permettre d'estimer la masse de la particule de matière noire, et ainsi corroborer un éventuel signal de photons d'annihilation dans le halo galactique ou de détection directe. Nous avons commencé à réévaluer ce spectre pour les canaux d'annihilation fournissant les spectres les plus durs, plus faciles à extraire du bruit de fond. L'un de ces canaux, l'annihilation de neutralinos en un boson Z et un scalaire, est en fait extrêmement supprimé pour des raisons de symétrie et d'hélicité. Ces mêmes raisons rendent les spectres de neutrinos provenant des canaux ZZ et WW plus durs qu'admis jusqu'à présent. Enfin, parmi les signaux possibles de l'existence de matière noire, il y a la raie à 511 keV traduisant une production abondante de positrons dans le centre galactique. Si ceux-ci proviennent d'annihilation de matière noire légère, une raie monochromatique permettrait de signer sa masse. Nous avons montré avec P. Salati (Annecy) et C. Boehm (CERN) que malheureusement la détection de cette raie était hors de portée des expériences envisageables.



▲ **Figure 2** : Flux de muons induits par des neutrinos provenant d'annihilation de particules de matière noire supersymétrique dans le centre galactique, en fonction de leur masse. Pour chaque modèle satisfaisant aux contraintes imposées par le satellite WMAP à la densité de matière noire au niveau cosmologique, on ajuste cette densité inconnue dans le centre galactique de façon à saturer le flux de photons de 1 GeV détectés dans cette direction par le satellite EGRET. Ceci fournit une borne supérieure sur le flux de neutrinos pour ce même modèle. Les différentes couleurs correspondent aux principaux canaux par lesquels l'annihilation peut passer avant de donner des neutrinos.

► 2.2 - Physique des neutrinos

Une autre observation que le modèle standard ne peut expliquer est l'asymétrie quasi totale entre matière et anti-matière sur des échelles de distance cosmologiques. Pour rendre compte de cette asymétrie, l'extension minimale au modèle standard consiste à introduire des neutrinos droits lourds, qui ont de plus le mérite d'expliquer la petitesse de la masse des neutrinos rendue nécessaire par l'observation de leurs oscillations.

► 2.3 - Supersymétrie

Si la supersymétrie semble être le dénominateur commun à toutes les extensions ambitieuses du modèle standard allant jusqu'à l'échelle de Planck ou de grande unification, elle doit être accompagnée d'un mécanisme de brisure qui conditionne la phénoménologie de ces extensions. C'est pourquoi il nous a semblé important de passer en revue les différents mécanismes existant, dans le cadre de la thèse de B. Labonne co-dirigée avec R. Grimm (Marseille). Nous avons commencé en particulier à étudier un mécanisme de brisure basé sur les propriétés d'un multiplet de 3-forme, peu connu et

pourtant nécessaire à la description correcte du condensat de juginos souvent invoqué pour réaliser une brisure dynamique.

► 2.4 - Groupement de Recherche Susy

Les travaux au-delà du modèle standard s'inscrivent naturellement dans le cadre du Groupement de Recherche 2305 "Recherche théorique et expérimentale de la supersymétrie et des dimensions supplémentaires" dont la direction est assumée par le Laboratoire de Physique Corpusculaire.

La mission de ce groupement est de rassembler les diverses communautés cherchant à mettre en évidence la supersymétrie, l'existence de dimensions supplémentaires ou d'autres extensions fortement motivées au-delà du modèle standard des particules élémentaires. Que ce soit par une approche théorique, phénoménologique, expérimentale (sur accélérateurs ou hors accélérateurs), ou mieux encore, par la combinaison de toutes ces approches que permet précisément leur rassemblement, le GDR Supersymétrie entend exploiter au mieux l'analyse des nouvelles données attendues dans la période 2005-2008: données fondamentales provenant du Tevatron bien sûr, mais aussi premières données du LHC, progrès importants dans la sensibilité des recherches directes et indirectes de matière noire, mesures de précision des paramètres cosmologiques.

3) Etudes interdisciplinaires

► 3.1 - Modèles de percolation et implants de biomatériaux

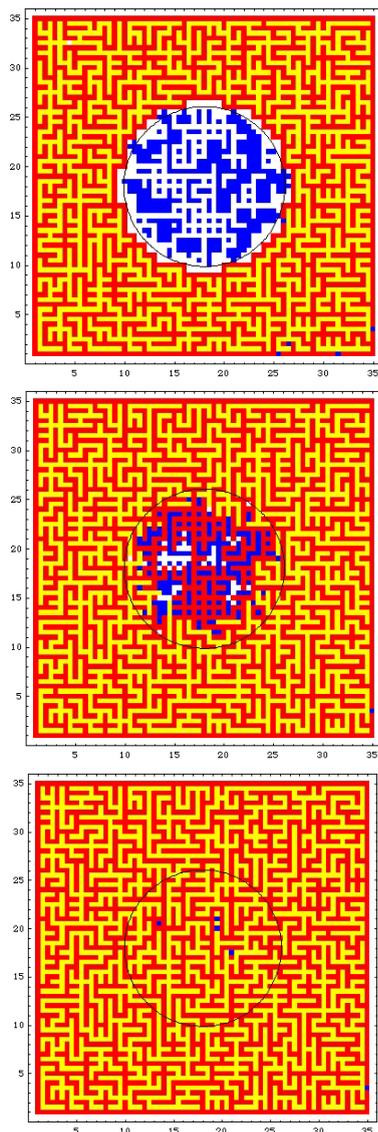
L'équipe de physique appliquée du Laboratoire de Physique Corpusculaire s'intéresse depuis longtemps à la mise en évidence, par des méthodes de physique nucléaire, des transferts d'éléments (Mg, K, C, P, ...) entre biomatériaux et os lors d'implants de ces biomatériaux comme prothèse. Afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles ces transferts s'effectuent, et pouvoir anticiper sur les caractéristiques de nouveaux biomatériaux, il est nécessaire de les modéliser. Les résultats expérimentaux ont montré que les processus de résorption de l'implant et d'ossification peuvent se décomposer en deux phases successives :

- Une phase latente où la composition minérale et la structure cristalline du biomatériaux sont conservées. Cette phase correspond à l'invasion des cellules sanguines et à la vascularisation de l'implant.
- Une phase où le biomatériaux est résorbé, en même temps que l'os se forme.

Ces caractéristiques sont typiques d'un phénomène de percolation site-lien. Les sites sont associés à

l'absence de matière, c'est-à-dire à des pores, alors que les liens entre ces sites sont associés, lorsqu'il sont activés, à la présence de circulation sanguine entre deux pores.

Une dernière caractéristique physique importante de l'implant est sa tenue mécanique. Cette propriété est, elle aussi, typique d'un phénomène de percolation : le matériau casse ou ne casse pas ! Nous étudions donc un modèle original de double percolation, le premier au niveau de la vascularisation de l'implant, comme nous venons de le détailler, le second au niveau de l'organisation de la matière elle-même. La connexion entre les deux réseaux se fait de façon dynamique par brisure/création de liens entre les deux réseaux.



▲ **Figure 3** : Coupe transversale d'un implant cylindrique de corail, à trois stades de son évolution (début, milieu, fin). Les carrés rouges représentent les pores vascularisés, les blancs les pores vides, les bleus le corail et les jaunes l'os.

Nous avons pu montrer que, à deux dimensions, seul un processus dynamique continu (qui est d'ailleurs à l'œuvre dans la nature par création/destruction continue de cellules osseuses) permet d'avoir une coexistence des deux réseaux de percolation.

Plusieurs observables sont aussi étudiées dans ce modèle, comme la fragilité du système et son évolution dans le temps.

► 3.2 - *Interprétation de la mécanique quantique*

Nous travaillons depuis maintenant une dizaine d'années sur les interrogations que soulève la mécanique quantique. Nous avons ainsi été amenés à étudier les théories de D.Bohm et B.J.Hiley recherchant son interprétation ontologique et les problèmes sous-jacents de non localité et d'univers indivisible ainsi qu'à celle de la notion essentielle d'onde de matière introduite par L. de Broglie.

Une explication causale de l'onde de matière a été avancée, assez récemment, par A.Kirilyuk. Cette théorie repose sur le concept universel de complexité basé sur une dynamique aléatoire des particules avec un grand nombre de solutions possibles contrairement à la dynamique standard qui génère une solution unique. Ce modèle, comportant la notion d'impermanence des particules, semble très prometteur car il permet enfin de revenir à des notions causales et plus intuitives de la physique en restant dans un espace physique à 3 dimensions et en respectant la flèche du temps.

Dans l'esprit de ce modèle nous avons calculé le propagateur d'une particule de spin zéro dans un espace à 3 dimensions se déplaçant toujours à la vitesse de la lumière en effectuant une marche aléatoire. Nous avons pu retrouver le propagateur de N.N.Bogoliubov et nous avons montré que les changements de direction de la particule s'effectuaient en moyenne à chaque longueur d'onde Compton de la particule.



Physique des particules



Physique des particules

- ▶ **Vazeille F.**, responsable équipe **ATLAS**
- ▶ **Billet D.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Binet S.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Boumediene D.**, ATER, *ATLAS*
- ▶ **Calvet D.**, *ATLAS*
- ▶ **Cognéras E.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Defay P.-O.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Dumas P.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Garde V.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Giangiobbe V.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Grenier P.**, *ATLAS*
- ▶ **Guicheney C.**, *ATLAS*
- ▶ **Lefèvre R.**, doctorant, *ATLAS*
- ▶ **Llorens A.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Mahi R.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Malioukov S.**, visiteur (Russie), *ATLAS*
- ▶ **Montarou G.**, *ATLAS*, *AVIRM*
- ▶ **Ouchrif M.**, Post-doc CNRS, *ATLAS*
- ▶ **Pallin D.**, *ATLAS*, (*ALEPH*)
- ▶ **Podlyski F.**, *ATLAS*
- ▶ **Santoni C.**, *ATLAS*
- ▶ **Says L.-P.**, *ATLAS*
- ▶ **Tayalati Y.**, Post-doc CNRS, *ATLAS*
- ▶ **Tisseron F.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Tisseron C.**, CDD, *ATLAS*
- ▶ **Tsulaia V.**, visiteur (Russie), *ATLAS*

- ▶ **Gay P.**, responsable équipe **D0, ILC, (ALEPH)**
- ▶ **Badaud F.**, *D0, ILC, (ALEPH)*
- ▶ **Gris P.**, *D0, ILC, ATLAS*
- ▶ **Lacroix F.**, doctorant, *D0*
- ▶ **Lesne V.**, doctorant, *D0*
- ▶ **Tissandier F.**, doctorant, *D0*

- ▶ **Perret P.**, responsable équipe **LHCb, (ALEPH)**

- ▶ **Ajaltouni Z.**, *LHCb*
- ▶ **Allezard A.**, CDD, *LHCb*
- ▶ **Attome E.**, CDD, *LHCb*
- ▶ **Borras D.**, doctorant, *LHCb*
- ▶ **Carloganu C.**, *LHCb*
- ▶ **Chassagny V.**, CDD, *LHCb*
- ▶ **Conte E.**, doctorant, *LHCb*
- ▶ **Deschamps O.**, *LHCb*
- ▶ **Henrard P.**, *LHCb, (ALEPH)*
- ▶ **Lacan C.**, CDD, *LHCb*
- ▶ **Lefèvre R.**, ATER, *LHCb*
- ▶ **Monteil S.**, *LHCb, ILC (ALEPH)*
- ▶ **Rimbault C.**, doctorante, *LHCb*
- ▶ **Robert A.**, doctorant, puis ATER, *LHCb*
- ▶ **Suchorski K.**, CDD, *LHCb*
- ▶ **Sudre N.**, CDD, *LHCb*

- ▶ **Jousset J.**, *ALEPH*
- ▶ **Montret J.-C.**, *ALEPH*

Introduction

Le modèle standard des interactions électrofaibles et fortes représente actuellement le cadre théorique de référence dans le domaine des quarks et leptons. Il décrit la matière sous forme de particules élémentaires, composées de 6 quarks et de 6 leptons réunis en trois familles, interagissant par l'intermédiaire de bosons de jauge $-\gamma, W, Z, g$ associés à trois des quatre forces fondamentales : électromagnétique, faible et forte. Les masses des particules sont engendrées via le mécanisme de brisure électrofaible qui prédit l'existence du boson de Higgs. De nombreuses mesures ont confirmé de façon éclatante, avec une précision de l'ordre du pour mille, les prédictions de ce modèle. De toutes les particules qu'il renferme, seul le boson de Higgs n'a pas été mis en évidence expérimentalement.

Néanmoins de nombreux indices suggèrent que le Modèle Standard n'est pas la théorie ultime, mais bien l'expression à basse énergie d'un cadre plus général : outre le fait qu'il reste muet sur la quatrième interaction fondamentale, la gravitation, il souffre d'insuffisances théoriques. Pour y pallier il est possible par exemple d'étendre les symétries sur lesquelles il repose. La supersymétrie participe de ce principe en associant à chaque élément du Modèle Standard un super partenaire, agrandissant ainsi la famille des particules. Sa confirmation expérimentale dépendra de la mise en évidence de ces nouveaux venus.

Le laboratoire de Physique Corpusculaire, par ses activités dans le domaine des quarks et leptons, se trouve au cœur des activités de recherche liées au Modèle Standard et à ses extensions. Au Tevatron, il participe à l'élaboration des systèmes de déclenchement de niveau 3, ainsi qu'à la recherche de processus supersymétriques. Au LHC, il est impliqué dans les collaborations ATLAS et LHCb par des activités instrumentales et des perspectives d'analyse. L'équipe ATLAS, après avoir participé à la construction du calorimètre hadronique, est partie prenante dans l'installation et la certification de l'électronique du calorimètre hadronique. Elle contribue également à l'analyse de données faisceau, à la simulation de processus physiques liés à la physique du quark top et à la mise au point de software d'analyse et à son intégration dans le code d'ATLAS. L'équipe LHCb travaille à la réalisation de l'électronique rapide du détecteur de pied de gerbe, ainsi qu'à la conception et la réalisation de l'unité de décision du système de déclenchement de premier niveau. Elle contribue également à la mécanique du détecteur de pied de gerbe par la confection de torons de fibres optiques. Plusieurs études de

prospectives de physique concernent les modes de désintégration des hadrons beaux avec un pion neutre, terrain privilégié de la calorimétrie. Le laboratoire est également engagé dans ILC par des études de calorimétrie de haute granularité, tant sur des aspects d'algorithmes de reconstruction que dans la conception du premier étage d'électronique du calorimètre SiW. Des études de canaux physiques plus particulièrement sur le boson de Higgs sont effectuées.

Expérience D0-FNAL

Le groupe du LPC a rejoint la collaboration internationale D0 qui est en charge de l'exploitation des données collectées auprès du Tevatron dans les collisions proton antiproton à une énergie dans le centre de masse proche de 2 TeV. Situé au Fermi National Laboratoire (FNAL) aux Etats-Unis, le Tevatron se présente comme la seule machine actuellement capable de mettre en évidence des phénomènes au delà de ceux prédits par le Modèle Standard.

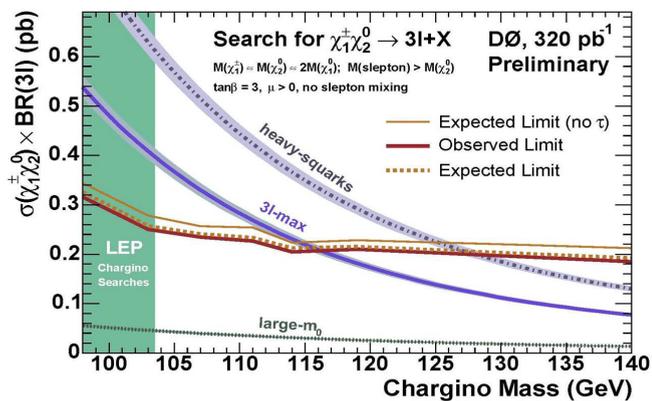
Nos thématiques de prédilection s'inscrivent dans le cadre des prises de données sur le site de FNAL, dans la participation à l'élaboration du système de déclenchement au niveau 3 et dans la recherche de processus supersymétriques.

L'investissement auprès du détecteur constitue une part importante de la formation des doctorants dont l'expertise sera exploitée dans les expériences futures. Notre participation sur le site de FNAL consiste d'une part à faire le contrôle supervisé du détecteur avec un examen des différents niveaux du système de déclenchement, la surveillance de la reconstruction des événements et la qualité des données. D'autre part nous participons aux prises de données auprès du calorimètre et du système de chambres à muons.

Nous sommes investis dans le système de déclenchement, qui est une pièce essentielle à l'analyse des données qui suivra. Notre activité se situe au niveau 3 du déclenchement où les objets sont déjà sophistiqués. Le but du travail est d'une part de vérifier et éventuellement de corriger les sources d'erreurs, et d'autre part, de proposer et de mettre en oeuvre des méthodes permettant d'améliorer les performances du système de déclenchement. Le champ d'activité couvre les leptons : électrons, muons et taus. Pour les électrons la coordination a été confiée à un membre du groupe du LPC (Ph. Gris). Une part importante du travail a consisté à mettre en oeuvre dans les algorithmes l'information issue du détecteur de pied de gerbe de la partie centrale dans la reconstruction des électrons. En ce qui concerne les muons la

coïncidence entre les parties internes et externes du système de détecteur à muons a été revisitée et les critères d'isolation réévalués. En particulier, le temps nécessaire à l'exécution des tâches a été particulièrement réduit, améliorant ainsi la bande passante. Pour le travail à propos des leptons taus, la proposition de nouveaux filtres pour faire face à l'augmentation de luminosité délivrée par le Tevatron a été réalisée. Ces développements du système de déclenchement sont intimement liés aux analyses de Physique réalisées au sein du groupe.

Dans le cadre du modèle mSUGRA, les particules supersymétriques accessibles cinématiquement au Tevatron sont majoritairement les neutralinos et charginos. La production associée du premier chargino et du second neutralino conduisant à l'état final avec trois leptons et de l'énergie transverse manquante (canal trilepton) est considéré comme le canal privilégié pour la recherche de la supersymétrie au Tevatron. La Figure 1 indique les gammes de masses exclues par la collaboration D0 pour diverses hypothèses de modèle théorique.



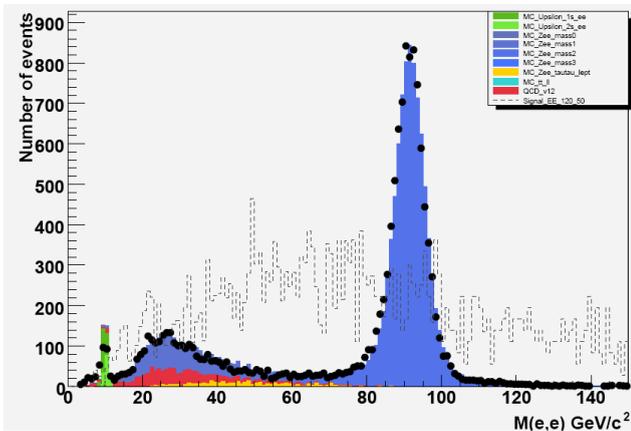
▲ **Figure 1** : Limite sur le produit de la section efficace de production par le rapport d'embranchement en fonction de la masse du chargino pour différentes configurations théoriques (squarks très lourds, large valeur de m_0) et un choix des paramètres de mSUGRA qui rend maximale la production de tri leptons.

En effet, la section efficace de production est importante comparativement aux autres processus supersymétriques. De plus, cet état final est net et présente peu de bruit de fond issu du modèle standard. La difficulté pour l'étude de ce canal est la faible impulsion transverse des leptons de l'état final. Pour certaines zones de l'espace des paramètres du modèle mSUGRA où le slepton est quelques GeV plus léger que le neutralino 2, un des leptons de l'état final présente une impulsion trop basse pour être utilisé dans les sélections. Dans ce cas, les sélections basées sur la présence de trois leptons sont inefficaces. Une sélection n'utilisant que la paire de leptons de même signe permet d'étudier cet espace des paramètres tout en conservant un faible

bruit de fond. Le principal bruit de fond pour l'analyse dans le canal dimuon de même signe provient de muons issus de jets (fond QCD). Ce fond QCD est estimé à partir de données. Les autres bruits de fond considérés sont la production de paires de di-boson WZ et ZZ pour leur similitude avec le signal ainsi que la production d'un boson de jauge en association avec un ou plusieurs jets. Le fond QCD est maîtrisé en appliquant des critères d'isolation et d'impulsion transverse sur les muons. Une sélection sur les masses invariantes des paires dimuon reconstruites permet de rejeter le bruit de fond avec un boson Z. Les sélections sont optimisées de manière à optimiser la limite sur la section efficace du processus considéré. L'optimisation est conduite en utilisant comme référence pour le signal un point mSUGRA pour lequel les autres sélections trilepton sont inefficaces. L'étude d'un échantillon représentant une luminosité intégrée de 330 pb^{-1} conduit à l'observation d'un événement dans les données. Ceci est compatible avec la prédiction de 0.73 ± 0.27 événement de fond attendu. Une limite sur la section efficace de la production de paire chargino1/neutralino2 multipliée par le rapport d'embranchement en trois leptons est calculée pour différents types de points mSUGRA. La limite obtenue dans le seul canal dimuon de même signe ne permet pas d'améliorer la limite établie par les expériences LEP sur la masse du chargino. La combinaison avec d'autres canaux d'analyse actuellement en cours de développement devrait améliorer ce résultat. Le potentiel de découverte de la supersymétrie dans le canal trilepton au Tevatron dépend de la luminosité acquise. A la fin du run II, une luminosité intégrée de 8 fb^{-1} est attendue pour chaque expérience, CDF et D0. Les projections à cette luminosité finale permettent d'espérer une découverte ou une exclusion de chargino de masse plus légère que 250 GeV. Ce travail sur le dimuon de même signe donnera lieu à la soutenance de thèse de Vincent Lesné en 2006.

Un autre thème de recherche concerne la production de stop dans le cadre de MSSM. L'état final recherché se caractérise par deux jets de b, de l'énergie manquante et deux leptons. Pour ces deux leptons toutes les combinaisons sont possibles. Les états finals mettant en jeu deux muons, un muon et un électron sont couverts par la collaboration D0, bénéficiant de la grande efficacité du système de déclenchement sur les candidats muons. Par contre, nous nous sommes intéressés au canal délicat avec deux électrons dans l'état final avec la volonté de mettre en œuvre les travaux réalisés par ailleurs sur le système de déclenchement. Ce travail est en cours d'élaboration. Les principaux bruits de fond attendus

sont la production de quark top qui présentent une topologie similaire au signal, ainsi que l'ensemble des processus de QCD produits lors des collisions entre protons. L'étape capitale de la compréhension du détecteur et sa modélisation dans les simulations informatiques ont été franchis, en particulier il a fallu faire un long travail pour modéliser les efficacités du système de déclenchement des électrons. Cette compréhension du détecteur est visualisée sur la Figure 2.



▲ **Figure 2** : distribution de la masse invariante du système des deux électrons de la sélection de la recherche du stop. Les points représentent les données réelles tandis que les histogrammes sont l'estimation des diverses sources de bruits de fond.

Les données en cours d'analyse correspondent à une luminosité intégrée de 300 pb^{-1} . Ce thème est le sujet de thèse de Fabrice Tissandier qui soutiendra ses travaux en 2007 sur un échantillon de données correspondant à une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} .

Le troisième thème de recherche est celui de la recherche du boson de Higgs. En synergie avec les développements de reconstruction des leptons taus et du système de déclenchement, nous envisageons la recherche d'un boson de Higgs chargé qui a la vertu de pouvoir se désintégrer essentiellement en un lepton tau accompagné d'un neutrino. Ce travail est dans sa phase initiale, il sera l'objet de la thèse de Florent Lacroix qui vient d'intégrer le groupe du LPC.

Expérience ATLAS

1) Objectifs scientifiques

L'expérience ATLAS, auprès du LHC, est une expérience généraliste qui va bénéficier :

- de la très grande énergie disponible dans les collisions proton-proton,
- de la plus haute luminosité,
- du fonctionnement du collisionneur tout au long de l'année.

Tout cela favorise, à la fois, l'étude et/ou la recherche de processus physiques extrêmement rares (qui ne peuvent pas être observés dans les collisionneurs actuellement en activité), et les mesures de précision qui demandent une très grande statistique et, bien entendu, une très grande maîtrise des détecteurs.

Elle fonctionnera également lorsqu'il y aura des collisions d'ions lourds, grâce aux performances particulièrement élevées de certains de ses éléments, tels que ceux qui mesurent les jets, ce qui la rendra complémentaire de l'expérience ALICE dédiée aux ions lourds.

Les objectifs scientifiques en p-p relèvent de 5 grandes catégories :

- les mesures de précision dans le cadre du Modèle Standard (secteurs du quark Top et du boson W) ;
- l'origine de la masse (Boson (s) de Higgs dans un très grand domaine de masse) ;
- la violation de CP en complément de l'expérience LHCb ;
- l'origine de la matière noire de l'Univers (qui pourrait être constituée de particules "supersymétriques") ;
- la découverte de processus nouveaux et de particules inconnues, mise en évidence de dimensions supplémentaires de l'espace-temps ou encore de trous noirs miniatures.

Les objectifs scientifiques en ions lourds couvrent la recherche du plasma de Quarks et de Gluons, en particulier via l'atténuation des jets dans le milieu déconfiné, ainsi que d'autres canaux de physique qui peuvent bénéficier des performances du détecteur.

La collaboration ATLAS qui regroupe 151 Instituts, issus de 34 pays, a la lourde charge de construire un détecteur géant capable d'explorer et d'exploiter tout ce potentiel de physique.

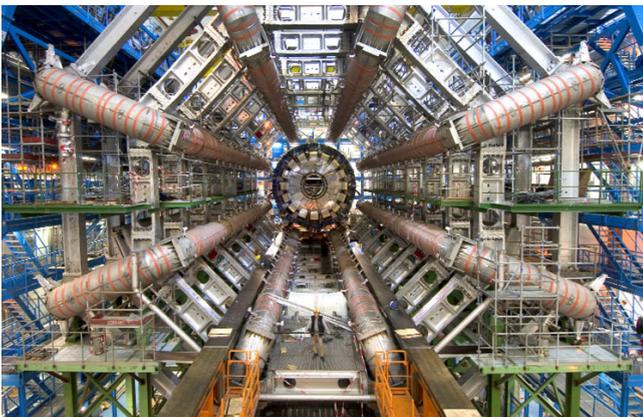
2) Le détecteur ATLAS et les contributions du LPC

Le détecteur ATLAS est le détecteur le plus grand et l'un des plus complexes jamais construits. Il associe deux systèmes d'aimants indépendants : un Solénoïde (associé à des détecteurs internes de traces) pour la mesure des particules chargées proches du point d'interaction et un ensemble d'aimants Toroïdaux pour les muons de plus haute énergie (mesurés par différents types de détecteurs). Des calorimètres électromagnétiques et hadroniques complètent ces mesures avec une très bonne herméticité.

Dès le début des années 90, le LPC a joué un rôle majeur dans la conception et l'optimisation du Calorimètre Hadronique à Tuiles Scintillantes (Le

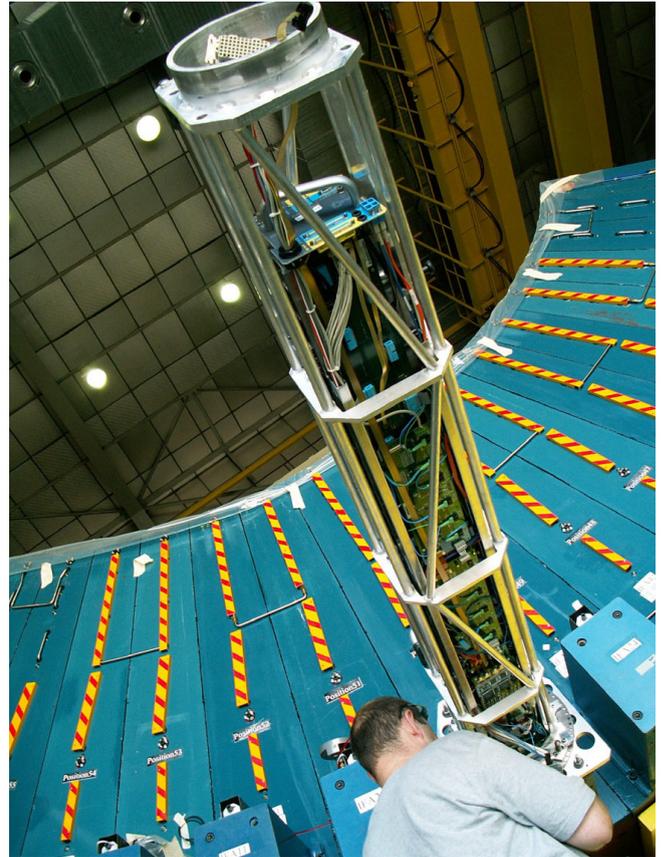
Tilecal). Il participe maintenant activement à son assemblage dans la caverne. Il s'agit d'un calorimètre à échantillonnage dans lequel la matrice en fer (l'absorbeur) accueille des plaques de scintillateurs (les tuiles) qui détectent 2,5% de l'énergie incidente des hadrons (Jets de quarks ou de gluons) et des muons.

L'ensemble du Tilecal est constitué de 3 tonneaux, un tonneau central et deux extensions, les tonneaux étendus. Chaque tonneau est formé de 64 Modules de forme trapézoïdale disposés en azimuth et d'un diamètre de 9 mètres environ. Sa longueur totale est de 13 mètres et sa masse voisine de 2500 tonnes. La Figure 3 montre le tonneau central et le cryostat du Calorimètre électromagnétique à Argon liquide (placé à l'intérieur) prêts à être insérés entre les 8 bobines du toroïde central, en novembre 2005. L'insertion définitive a été réalisée en décembre 2005.



▲ **Figure 3** : tonneau central des Calorimètres Hadronique à Tuiles et Electromagnétique à Argon liquide en novembre 2005, avant insertion dans l'aimant toroïdal tonneau.

Le LPC est impliqué plus particulièrement dans l'électronique frontale de détection des impulsions lumineuses issues du passage des particules (hadrons et jets) dans les tuiles, collectées par des fibres scintillantes à décalage de longueur d'onde. Cette électronique embarquée est logée dans des "tiroirs" amovibles insérés dans la partie externe de chaque module (Figure 4).



▲ **Figure 4** : Insertion d'un super-tiroir dans un module de tonneau étendu.

Chaque tiroir, constitué d'une matrice en aluminium longue de 1,4 mètre, renferme :

- des blocs PMT (placés en regard de chaque toron de fibres et définissant chaque cellule élémentaire $\Delta\eta \times \Delta\Phi$) contenant des Photomultiplicateurs (PMT) qui convertissent les signaux optiques en impulsions électroniques et une électronique de mise en forme ;
- un système de régulation individuelle des hautes tensions appliquées aux PMTs ;
- une électronique de lecture qui numérise in-situ les informations concernant les énergies déposées et qui construit les signaux analogiques de déclenchement ("Triggers") pour les informations hadrons ou muons.

Les tiroirs sont appariés en super-tiroirs : partant de 2 super-tiroirs par module du tonneau central et d'un super-tiroir par module de tonneau étendu, l'électronique frontale requiert donc 256 super-tiroirs (ou encore 512 tiroirs). Il y a, au total, près de 10000 voies de lecture.

Le LPC est associé à une quinzaine d'Instituts (Europe, Etats-Unis, Brésil, Russie) pour produire des éléments de ces tiroirs. Il a en charge leur assemblage et certification, puis leur insertion dans les modules au CERN et leur certification finale avant mise en route ("Commissioning").

Fin 2002, tous les composants dont le LPC avait la charge étaient produits : mécanique de 540 tiroirs

et de la mise en torons des fibres, test d'un tiers de la production des PMTs (Plus de 3000), production et tests des ponts diviseurs associés aux PMTs (11000 ponts), cartes hautes tensions (1620 cartes de différents types). Le LPC a conçu et monté une quinzaine de bancs tests, dont la reproduction en 6 exemplaires d'un banc test original destiné à la qualification des PMTs, bancs délivrés aux autres Instituts (américains, européens et russe) ayant également en charge les PMTs.

De juillet 2003 à fin décembre 2005, le LPC a assemblé et certifié la quasi-totalité des tiroirs au laboratoire, les a transportés au CERN puis insérés dans les modules, à l'exception de quelques tiroirs spéciaux exigés par l'intégration d'autres détecteurs d'ATLAS. La Figure 4 montre l'insertion d'un super-tiroir dans un module de la partie basse d'un tonneau étendu, à l'aide de paniers fabriqués spécialement au LPC.

Après insertion, les super-tiroirs sont de nouveau certifiés (et éventuellement réparés, si besoin est) à l'aide d'un banc test portable dénommé MobiDICK ("Mobile Drawer Integrity Checking", Figure 5) qui reprend, et améliore même, toutes les fonctionnalités du banc test fixe utilisé au LPC lors de la production (Voir le précédent rapport d'activité).



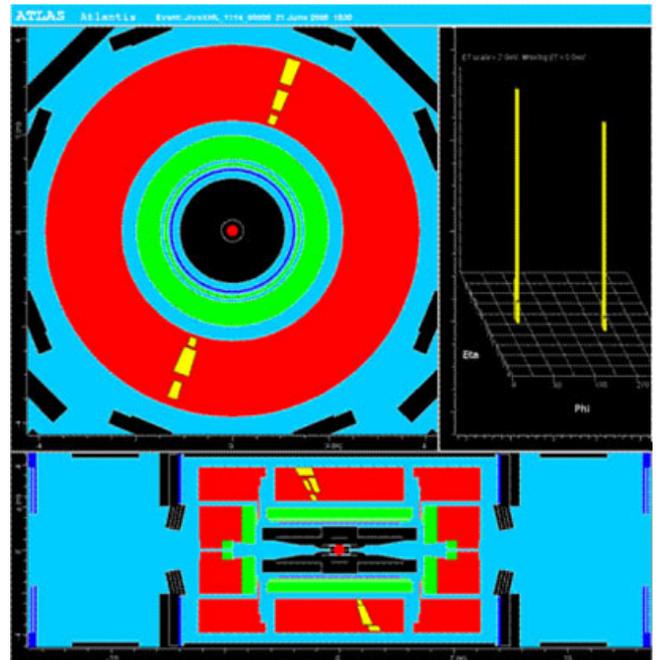
▲ **Figure 5** : Banc test portable MobiDICK des super-tiroirs.

Lors de la dernière certification, moins de 0,6% des voies étaient plus ou moins défectueuses et ont donc été réparées. En 2004 et 2005, près d'une trentaine de personnes du LPC se sont déplacées au CERN, soit l'équivalent de 3 FTE (Full Time Equivalent). Des personnels temporaires ont eu une part très active, non seulement dans l'assemblage des tiroirs et des tests divers au LPC, mais aussi au CERN.

Deux autres activités instrumentales ont fortement progressé : le contrôle lent (ou DCS, "Detector Control System") du système des hautes tensions (et des châssis d'alimentation du CANbus conçus au LPC) et le système laser de suivi de toute

l'électronique. Le DCS fonctionne et est implanté dans ATLAS, grâce à des post-docs CNRS. Le système laser a pris quelque retard, car il a souffert des priorités mises sur l'activité tiroir.

Globalement, la Collaboration ATLAS sera prête à prendre des données dès le démarrage du LHC, à l'été 2007. La Figure 6 montre les premiers muons cosmiques enregistrés dans la caverne d'une expérience LHC, en l'occurrence ici grâce au tonneau central du calorimètre à tuiles, avant son insertion dans le toroïde.



▲ **Figure 6** : Premiers muons cosmiques enregistrés par le Tilecal dans la caverne ATLAS.

3) Analyses de données faisceau et de physique

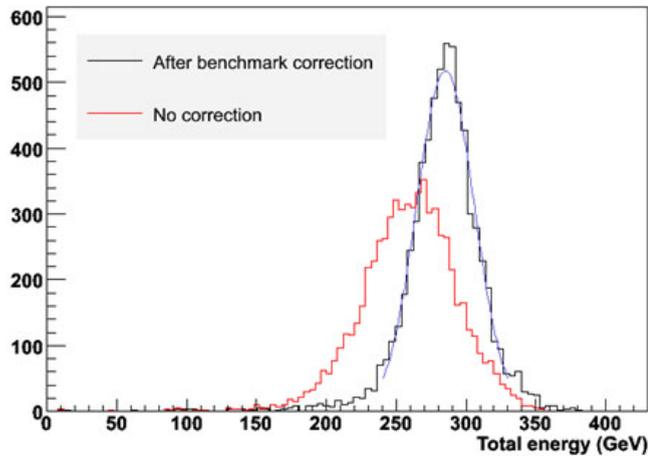
Le LPC a participé, durant cette période, à toutes les étapes qui mènent aux analyses de physique :

- L'analyse de données issues de tests en faisceau au SPS, et en particulier le test combiné de 2004 d'une tranche complète du détecteur ATLAS.
- Les analyses de données laser enregistrées durant les tests en faisceau. (thèse de Vincent Garde, en octobre 2003).
- La mise au point d'étalonnages in-situ de l'énergie des jets de quarks légers et des jets de quarks b.
- La mise au point de "software" d'analyse et son intégration dans le code d'ATLAS, ainsi que les scripts de lancement des programmes sur la grille de calcul implantée au LPC (thèse de Sébastien Binet, en janvier 2006).
- La simulation de processus physiques liés principalement, durant cette période, à la physique du quark Top.

Seules quelques analyses sont illustrées ici.

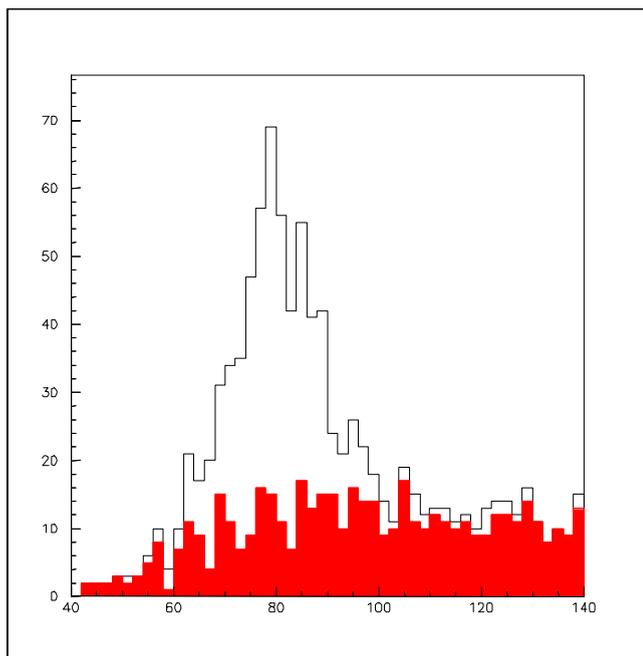
La Figure 7 montre une analyse des données du test

combiné, où l'énergie de pions de 350 GeV est reconstruite à partir des calorimètres électromagnétique et hadronique, en appliquant ici la méthode la plus simple qui implique seulement une pondération des réponses des 2 types de calorimètre.



▲ **Figure 7** : Reconstruction de l'énergie de pions de 350 GeV dans le Faisceau Test Combiné

Il apparaît sur la Figure 8 qu'il est possible d'obtenir un échantillon très propre de W (issus de la désintégration d'un quark top) reconstruits à partir de 2 jets légers, avec une luminosité intégrée très faible de 300 pb^{-1} qui correspondra aux premiers mois de prises de données. Partant de la masse du W, il est possible d'étalonner en énergie à 2 ou 3% près les jets légers au-dessus de 40 GeV. Par la suite, avec une luminosité plus forte, la précision doit atteindre le pourcent.



▲ **Figure 8** : Reconstruction de W à partir de 2 jets

Une mesure précise de la masse du Top et plus généralement la Physique du Top sont d'un grand intérêt, car elles imposent des contraintes sur la masse du Higgs et sur des recherches hors Modèle Standard. Nos analyses montrent qu'une année à basse luminosité doit permettre d'avoir la masse du Top à 1 GeV près, en appliquant les méthodes de calibration in situ que nous avons développées.

Nos activités d'analyse vont se poursuivre autour des activités liées aux étalonnages (laser, reconstruction de l'échelle d'énergie, calibrations in-situ) et à la physique du quark Top. D'autres analyses, sur la recherche de phénomènes nouveaux, en liaison ou non avec le Top, devraient s'ajouter aux travaux présentés dans ce rapport. Rappelons, cependant, que de nombreux autres sujets ont été abordés précédemment (compositivité des quarks, supersymétrie, ions lourds, ...).

4) Responsabilités du groupe et communication

Des physiciens du groupe assurent des tâches globales de coordination dans ATLAS : électronique Tilecal, partie Tilecal du test combiné, physique du quark Top. D'autres ont la responsabilité d'éléments fournis par le LPC : les tiroirs, MobiDICK, les outils de manutention des tiroirs, le système des hautes tensions, les alimentations CANbus, le système laser, les DCS HT et laser, ...

Nous avons participé à plusieurs "workshops" et conférences dédiés à la Physique d'ATLAS ou au quark Top, et présenté l'état de la contribution française dans l'expérience ATLAS lors du Conseil Scientifique de l'IN2P3 de décembre 2004.

Deux thèses ont été soutenues durant la période couverte par ce rapport, ce qui porte à 10 le nombre de thèses dans notre équipe.

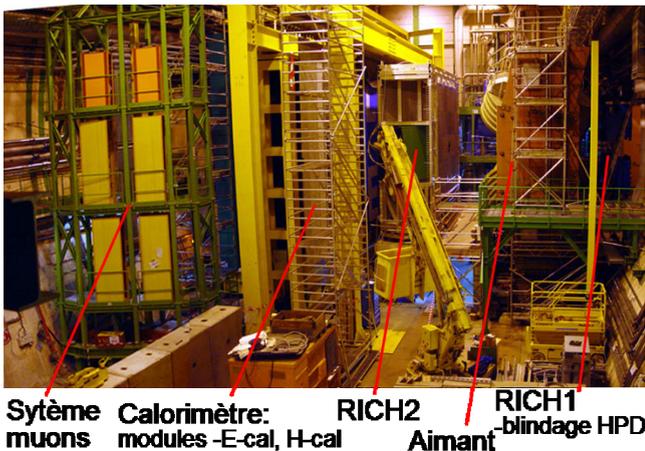
En juillet 2004, nous avons organisé un déplacement en bus, au CERN, d'une cinquantaine de personnes du LPC (Direction, personnels techniques et administratifs, stagiaires), pour visiter l'expérience ATLAS en surface et dans sa caverne. Il est utile de montrer concrètement l'évolution de nos travaux, d'autant plus qu'une certaine lassitude se manifeste après 15 années d'activité sur un tel projet.

Expérience LHCb

L'étude de la violation de la symétrie CP est un des enjeux majeurs de la physique des particules de ce début de siècle. Elle participe à la compréhension du fait que l'univers que nous observons aujourd'hui n'est composé que de matière, l'anti-matière ayant été annihilée dès les premiers instants après le big-bang. De nombreux résultats dans ce domaine

viennent d'être apportés par les « usines à B » récemment mises en service avec les expériences BaBar à SLAC (Etats-Unis) et Belle à KeK (Japon). Les mesures actuelles sont en parfait accord avec les prédictions théoriques, confortant le modèle standard. Pourtant ce dernier comporte des insuffisances et ne saurait être le modèle ultime de compréhension de la physique des particules. Aussi il est indispensable de raffiner les mesures précédentes et de les enrichir de nouvelles, afin de mettre expérimentalement en évidence les limites de la théorie actuelle et la découverte de nouvelle physique. Ce sera la mission de l'expérience LHCb, dite de seconde génération, dans le cadre de l'étude complète de la violation de la symétrie CP. Approuvée en 1998 par le CERN, elle est aujourd'hui en cours d'installation auprès du futur collisionneur hadronique LHC du CERN à Genève qui entrera en fonctionnement en 2007. Elle bénéficiera ainsi d'une source intense du spectre complet de hadrons beaux (B_d , B_u , B_s , B_c , Λ_b , ...) produits avec un taux d'environ $10^{12} b\bar{b}$ par année de fonctionnement à la luminosité moyenne de $2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Après une longue phase de recherche et développement afin de concevoir un détecteur optimal répondant aux besoins de l'étude dédiée de la violation de CP au LHC, la plupart des éléments qui constituent LHCb sont en construction. Certains détecteurs sont déjà en cours d'installation dans la cavité abritant l'expérience comme on peut le voir sur la Figure 9.



▲ **Figure 9** : LHCb en cours d'installation.

L'équipe clermontoise est fortement impliquée dans le système de déclenchement de l'expérience qui a un rôle très important. Il doit allier rapidité et efficacité afin de sélectionner les événements intéressants parmi la multitude d'interactions produites et les réduire à un taux acceptable afin de pouvoir les enregistrer. Pour y parvenir, il est divisé en deux niveaux. Un premier très rapide, totalement

synchrone et embarqué directement sur des cartes électroniques dédiées. Alors que le taux de croisement de faisceaux dans la machine LHC est de 40 MHz (il y a une collision tous les 25 milliardièmes de seconde), ce premier niveau doit réduire le taux d'événements acceptés à 1 MHz. Il est suivi d'un second niveau entièrement logiciel et basé sur environ 2000 CPU qui permettra la sauvegarde de 2000 événements par seconde, dont 200 constitueront le cœur du programme de physique. C'est sur le premier niveau que travaille l'équipe à travers la réalisation de l'électronique rapide de deux sous détecteurs : le détecteur de pied de gerbe et l'unité de décision du système de déclenchement de premier niveau. Elle contribue aussi à la mécanique du détecteur de pied de gerbe par la confection de torons de fibres optiques et la conception de boîtes permettant d'accueillir et de refroidir une partie de l'électronique. Les photomultiplicateurs multianodes sont également sous sa responsabilité. A côté du développement des logiciels spécifiques liés aux charges précédentes, l'équipe travaille à la reconstruction des hadrons neutres π^0 et à leur utilisation aussi bien dès le premier niveau du système de déclenchement que pour des analyses de physiques. L'étude de plusieurs canaux de physique a également été entreprise afin d'étudier les performances du détecteur et se préparer aux analyses dès les premières données enregistrées. Celle-ci est complétée par l'étude phénoménologique de la dynamique de désintégration de certains modes, en collaboration avec des théoriciens, et leur intégration dans le générateur de physique de LHCb pour les analyser.

1) Le détecteur de pied de gerbe

Le détecteur de pied de gerbe fait partie du système calorimétrique de LHCb. Il est parfaitement projectif avec le calorimètre électromagnétique qui le suit et le détecteur de traces chargées à damiers de scintillateurs (SPD) qui le précède. Il est utilisé dès le premier niveau du système de déclenchement pour identifier les particules électromagnétiques. La recherche de ces particules s'effectue par l'association de signaux corrélés avec le calorimètre électromagnétique. L'information additionnelle du détecteur de traces chargées permet de discriminer électrons et photons. Le détecteur de pied de gerbe mesure également l'énergie déposée et complète l'énergie mesurée par le calorimètre électromagnétique. Il est formé d'une couche de 15 mm de plomb, suivie de 6016 cellules de scintillateur de 15 mm d'épaisseur.

Le SPD, placé devant le plomb, est conçu à l'identique. Ils couvrent chacun une surface rectangulaire d'environ 47 m^2 divisée en 3 zones. Chaque cellule de détection

est constituée d'une tuile de scintillateur de $4 \times 4 \text{ cm}^2$ pour la zone interne, de $6 \times 6 \text{ cm}^2$ pour la zone intermédiaire et de $12 \times 12 \text{ cm}^2$ pour la zone externe. La lumière est recueillie au moyen d'une fibre fluorescente bobinée en spirale au cœur de la tuile et décalant la longueur d'onde dans le vert. Les cellules sont disposées dans des modules de $48 \times 48 \text{ cm}^2$, qui vont contenir 16, 64 ou 144 cellules suivant leur taille. 2x13 modules sont assemblés sur un support pour former un super module. Ainsi le détecteur de pied de gerbe est constitué de 8 super modules de 1 m de large et 7,7 m de haut suspendus à un rail. 16 paires de fibres issues de 4×4 cellules sont regroupées à l'extérieur d'un module par un connecteur. Un toron de fibres optiques claires va se brancher à une extrémité à 4 connecteurs de 16 paires de fibres, à décalage de longueur d'onde, issues des cellules de détection et à l'autre extrémité à un photomultiplicateur à 64 anodes. Ces photomultiplicateurs multianodes (MAPMT) vont permettre la lecture de la lumière et sa transformation en courant. Ils sont disposés dans des boîtes fixées en haut et en bas de chaque super module.

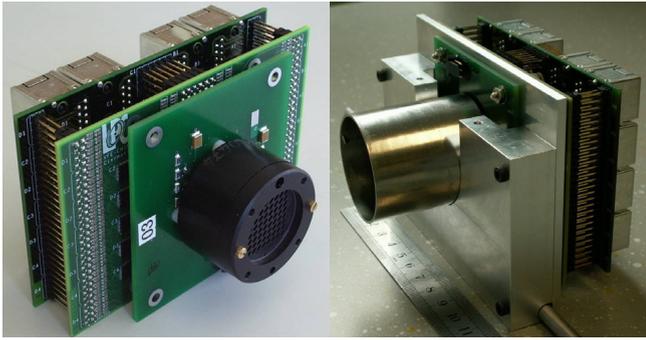
Notre responsabilité va de l'arrivée des signaux sur le photomultiplicateur jusqu'à leur envoi, après traitement, vers les systèmes de déclenchement et d'acquisition de l'expérience. En 2005, plus de 140 km de fibres optiques ont été traitées afin de confectionner les torons de fibres optiques pour le détecteur de pied de gerbe et pour le SPD. Dans un premier temps les fibres optiques ont été coupées selon 7 catégories et collées par groupes de 32 sur un connecteur, constituant ainsi un sous-toron, par nos collègues russes du laboratoire INR de Moscou. L'équipe du LPC avait à sa charge la réception des sous-torons et leur contrôle qualité puis l'assemblage de 4 sous-torons en un toron en collant les fibres suivant un agencement bien déterminé dans un masque. Ce masque, conçu au laboratoire, permet de positionner les 64 paires de fibres optiques en face de chacun des 64 pixels du photomultiplicateur. Une fois les torons collés, ceux-ci sont gainés puis usinés. Une finition à l'aide d'un outil diamant permet d'assurer le polissage. Enfin, une dernière série de contrôles est effectuée pour vérifier le bon agencement des fibres et mesurer la qualité des signaux transmis. Ainsi, plus de 1400 sous-torons ont été produits et testés, ce qui a permis de confectionner plus de 250 torons qui ont été installés au CERN par l'équipe sur les super modules des détecteurs de pied de gerbe et SPD (Figure 10).



▲ **Figure 10** : Photo d'un super module après installation des torons de fibres optiques et d'une partie des boîtes.

120 photomultiplicateurs multianodes (MAPMT) ont été achetés par le laboratoire et qualifiés pour leur utilisation dans le détecteur. Un banc de mesure dédié a été conçu et a permis de valider leurs principales caractéristiques : gain, linéarité, stabilité, uniformité, diaphonie. Des prototypes des cartes électroniques conçues au laboratoire dans le cadre de cette expérience ont été utilisés pour effectuer la lecture des signaux et se rapprocher ainsi des conditions finales d'utilisation. Avant test, les MAPMT ont été ajustés dans une pièce de liaison qui permet d'assurer la jonction avec un toron de fibres optiques et le bon positionnement des paires de fibres sur la photocathode.

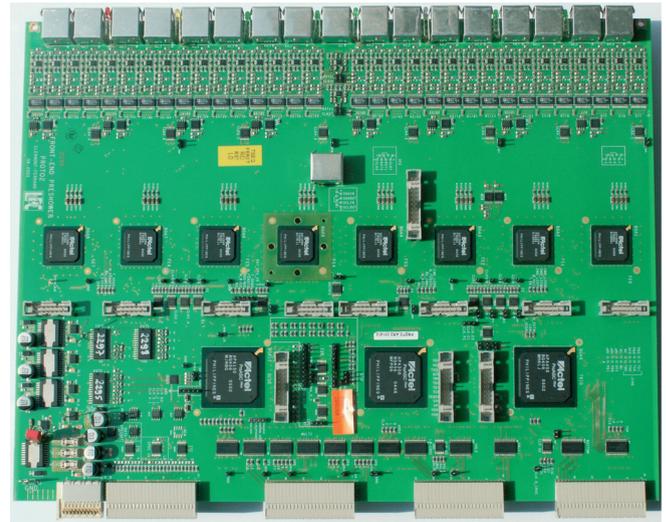
L'électronique conçue pour permettre la meilleure lecture des signaux est séparée en deux parties. Elle doit être entièrement synchrone et fonctionner à 40 MHz. Une partie analogique sera située au plus près des photomultiplicateurs. Une carte comprenant 64 voies (Figure 11) contiendra un photomultiplicateur, son système de répartition de tension sur chacun de ses étages d'amplification, des circuits intégrés spécifiques (ASIC) et la connectique pour l'envoi des signaux vers l'autre partie. Les ASIC ont été entièrement conçus au laboratoire. Ils comportent chacun 4 voies de mesure et réalisent l'intégration du signal. Ils ont été fabriqués fin 2004. Environ 4000 circuits ont par la suite été testés sur un banc de contrôle conçu au laboratoire afin de mesurer leurs principaux paramètres et de rejeter ceux ne correspondant pas aux critères. Les cartes ont été fabriquées. Les ASIC vont être soudés sur ces cartes. Ces dernières seront contrôlées une dernière fois avant installation sur le détecteur. Ces ensembles MAPMT et cartes seront installés dans des boîtes en acier conçues au laboratoire. Fixées en haut et en bas de chaque super module (Figure 10), ces boîtes apportent également un blindage supplémentaire au champ magnétique pour immuniser les MAPMT déjà entourés d'un cylindre de μ métal.



▲ **Figure 11** : Carte électronique placée près du photomultiplicateur ; droite : enserrée dans un radiateur pour son refroidissement.

Les boîtes sont en cours d'installation au CERN. Elles abritent également un circuit d'eau nécessaire au bon refroidissement des circuits intégrés. En effet une carte contient 16 ASIC, soit une consommation d'environ 10W par carte. Jusqu'à 11 cartes peuvent être placées dans une boîte ; aussi un système de refroidissement par eau a dû être conçu. Il est composé de radiateurs en aluminium enserrant les cartes et au contact d'un tuyau d'eau (Figure 11 droite).

D'une carte proche des MAPMT, les signaux sont envoyés par des câbles de 27 m de long à une autre carte située au dessus du détecteur. Cette grande carte au format 9U (Figure 12) contient 64 voies numériques incluant la conversion 10bits, la calibration, une partie dédiée au système de déclenchement de premier niveau dont le calcul du seuil, le traitement des 64 données numériques provenant du détecteur de traces chargées, les mémoires, ... Elle reçoit également des informations corrélées d'autres cartes pour le déclenchement. Après plusieurs itérations, le prototype final de cette carte est en cours d'évaluation. Pour une bonne résistance aux radiations, il comprend 8 PGA non reprogrammables de type ACTEL à 1 millions de portes qui assurent le traitement des données, et 3 PGA d'un nouveau type qui peuvent être reprogrammés sous certaines conditions : un pour élaborer l'information liée au déclenchement qui sera transmise, un pour assurer l'envoi des données vers le système d'acquisition et un troisième pour le contrôle de la carte. Tests de parité et vote triple permettent d'accroître la résistance aux radiations des paramètres chargés dans les PGA. La fabrication de ces cartes doit bientôt être lancée.



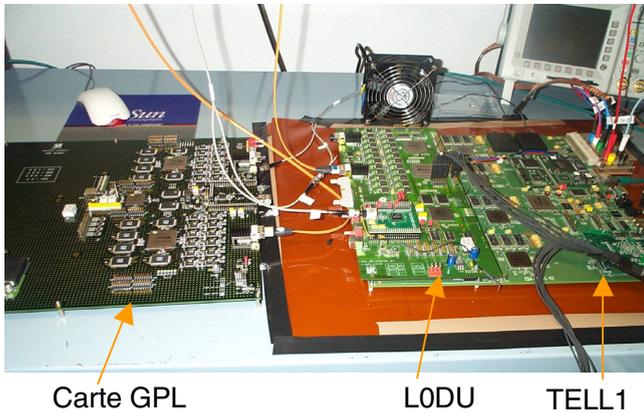
▲ **Figure 12** : Prototype de la carte de l'électronique frontale du détecteur de pied de gerbe.

De nombreuses avancées ont été obtenues. De retour de production, il restera à tester les cartes puis l'ensemble devra être installé sur le détecteur. La phase de mise en route du détecteur pourra alors commencer afin d'être prête pour les premières données qui devraient être enregistrées en 2007.

2) L'unité de décision

L'unité de décision de premier niveau va recevoir, à la fréquence de 40 MHz, les informations en provenance des trois sous-détecteurs prenant part au système de déclenchement de premier niveau : détecteur d'empilement, ensemble calorimétrique, détecteur de muon et préparés par les sous-systèmes de déclenchement correspondants. Ainsi à 40 MHz, 24 mots de 32 bits vont pouvoir être reçus par l'unité à l'aide de 2 rubans de 12 fibres optiques. En fait la transmission des signaux est effectuée à 1,6 Gb/s et ce sont donc des mots de 16 bits à 80 MHz qui sont échangés. L'unité doit aligner en temps les informations en provenance des différents sous-systèmes puis à l'aide d'un algorithme simple calculer la décision de conserver ou rejeter l'événement. Le flux doit être réduit à 1 MHz. Le temps total alloué à l'ensemble du système de déclenchement de premier niveau à partir de la collision est de 4 microsecondes dont une bonne partie est utilisée pour transporter l'information des cartes électroniques situées à proximité des détecteurs à celles traitant l'information pour l'envoyer à l'unité et logées à l'abri des radiations dans les baraquas. L'unité doit communiquer sa décision, toutes les 25ns, au superviseur du déclenchement et, comme tous les autres détecteurs, avec le niveau de déclenchement supérieur, le système d'acquisition et le système de contrôle de l'expérience. Une carte générique (TELL1) a été réalisée dans LHCb pour effectuer ces dernières fonctionnalités. Alors qu'habituellement une carte

TELL1 est équipée de deux mezzanines lui permettant de recevoir les informations des détecteurs, l'unité de décision a été conçue comme étant elle-même une mezzanine d'une carte TELL1 (Figure 13) ce qui évite de les relier entre elles par des fibres optiques.



▲ **Figure 13** : Prototype de l'unité de décision du système de déclenchement de premier niveau (LODU), mezzanine d'une carte TELL1 et connecté à sa carte test (GPL).

Le prototype final de l'unité, entièrement développé au laboratoire, est en cours d'évaluation. Une carte complexe à 16 couches a été élaborée. 24 désérialiseurs permettent de recevoir les données en provenance des fibres optiques, puis deux PGA ayant plus de 1000 billes sont utilisés pour effectuer le traitement et permettre une certaine flexibilité dans l'élaboration de l'algorithme qui permettra de calculer la décision. L'unité doit être particulièrement fiable et un banc de test tout aussi complexe a été conçu pour qualifier l'unité. Il est essentiellement basé sur une carte qui va permettre d'injecter des stimuli bien déterminés. Cette carte (GPL), de 16 couches également, reprend la structure de l'unité, 24 sérialiseurs sont cette fois utilisés pour permettre l'émission des signaux sur les fibres optiques.

Après passage devant sa revue de fabrication, trois exemplaires de l'unité de décision seront produits. Elle sera installée auprès du détecteur dès septembre 2006 pour permettre les premiers tests in situ et la mise en route du détecteur. En parallèle l'élaboration des logiciels de pilotage et de contrôle de l'unité sont en cours de réalisation au laboratoire.

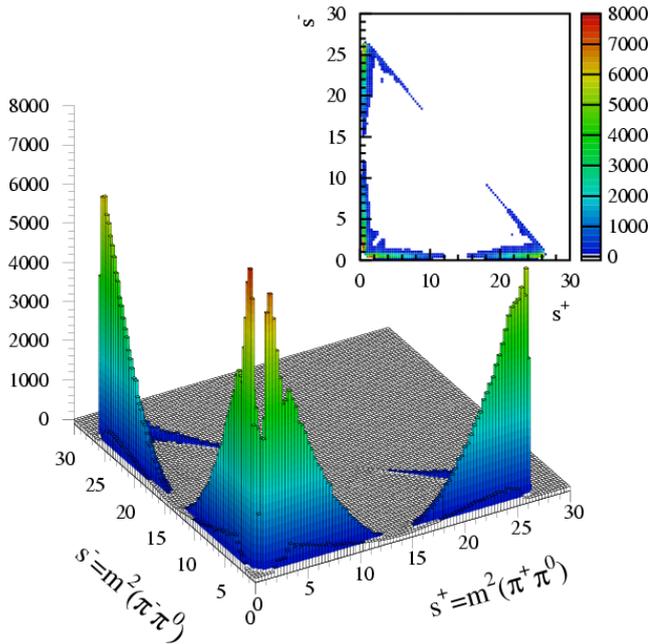
3) Préparations des analyses de physique

L'équipe s'est montrée très active dans la préparation des études de physique pouvant être réalisées avec le détecteur LHCb ; deux thèses ont été soutenues et deux autres sont en préparation. Les principales avancées sont données dans la suite.

L'étude des désintégrations des mésons B en mésons vecteurs s'est achevée par une publication et la soutenance de la thèse de Cécile Rimbault. L'originalité de ces études a consisté en partie en la

prise en compte du mélange $\rho^0-\omega$ décrivant le système des pions chargés et en la détermination complète des coefficients de la matrice densité. Les calculs prédisant des valeurs élevées des polarisations longitudinales des mésons vecteurs ($\rho_{00} \geq 90\%$) ont été confirmés expérimentalement par les expériences BaBar et Belle validant ainsi le modèle des calculs développé pour ces types de canaux. La reconstruction avec LHCb de plusieurs canaux du type $B \rightarrow \pi^+ \pi^- V$ où V désigne un méson vectoriel K^0 , K^{\pm} , ρ^{\pm} a également été entreprise. En particulier, le canal $B^{\pm} \rightarrow \rho^{\pm} \rho^0(\omega)$ pour lequel est prédite l'amplification de la violation directe de CP par le mélange $\rho^0-\omega$ dont l'asymétrie atteindrait 22% semble prometteur. Cette asymétrie devrait pouvoir être observée dans LHCb et conduire à une observation de l'angle α du triangle d'unitarité de CKM.

La mesure avec LHCb de ce même paramètre α a été extensivement étudiée dans les désintégrations $B_0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$ faisant intervenir une résonance intermédiaire ρ^+ , ρ^0 ou ρ^- . Grâce aux interférences entre les diagrammes au premier ordre (dits « à l'arbre ») et ceux aux ordres supérieurs (dits « pingouins ») intervenant dans ces transitions, il est possible de mesurer simultanément l'angle α avec les amplitudes et les autres phases présentes. L'analyse détaillée en fonction du temps du diagramme de Dalitz de ces désintégrations étiquetées suivant la charge du quark b initial (Figure 14) fournit toutes les informations nécessaires. Ce travail a montré que 14000 événements/an seraient reconstruits et qu'ainsi l'angle α pouvait être mesuré avec une précision meilleure que 10° au bout d'un an de prise de données (2fb^{-1}). Ceci a conduit à la soutenance de thèse de Arnaud Robert. Ce travail a également été étendu à l'analyse des désintégrations $B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$ et $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$ ce qui devrait permettre une amélioration de la mesure de l'angle α .



▲ **Figure 14** : Diagramme de Dalitz pour les candidats B^0 dans le mode $\pi\pi^0\pi^+$.

L'étude de la violation de CP a également démarré dans d'autres systèmes que celui des désintégrations des mésons B_U et B_D . Ainsi, bénéficiant de l'expertise précédente, l'étude du mode de désintégration du $B_s \rightarrow J/\psi \eta$, $\eta \rightarrow \pi\pi^0\pi^+$ a été menée et s'avère être un complément important au mode $\eta \rightarrow \gamma\gamma$.

L'étude prospective de la mesure de la différence de largeur de désintégrations des composantes CP paire et CP impaire du méson B_s est en cours. Elle repose sur l'analyse du B_s se désintégrant en une paire (D_s^+ , D_s^-), état propre de CP, qui constitue le travail de thèse de David Borrás. Chaque D_s est cherché dans un état final à 3 particules $KK\pi$. Plus de 4000 événements devraient être reconstruits par an et conduire à une mesure directe du temps de vie du B_s court avec une précision de 2%. Toujours avec le B_s , une étude a démarré pour mesurer sa fréquence d'oscillations à l'aide du mode de désintégration $D_s\rho$, $\rho \rightarrow \pi\pi^0$. Bien que son rapport d'embranchement soit 2,5 fois plus grand que celui du mode usuel $B_s \rightarrow D_s\pi$, la présence de 5 particules dans l'état final, dont un pion neutre, rend sa reconstruction délicate. Notre expérience précédemment acquise dans la reconstruction des π^0 est mise à profit et il pourrait s'avérer que ce mode soit très intéressant comme complément du mode $B_s \rightarrow D_s\pi$ afin de mesurer rapidement avec les premières données la valeur très attendue de la fréquence d'oscillations dans le mélange des mésons B_s .

Un nouveau thème original de recherche a été développé depuis le début de l'année 2004. Il s'agit de celui de la violation du renversement du temps dans les désintégrations des baryons beaux du type $\Lambda_b \rightarrow \Lambda x^+x^-$ ($x=l, h$) et surtout $\Lambda_b \rightarrow \Lambda V$ ($V=J/\psi, \rho^0, \omega$).

Des calculs effectués en collaboration avec le théoricien O. Leitner, et basés à la fois sur le formalisme d'hélicité et la théorie HQET ont permis de mettre en évidence de nouvelles variables impaires par renversement du temps dont l'asymétrie dépasserait 5% moyennant la détermination de la matrice densité de polarisation du baryon Λ_b produit dans les collisions p-p. Dans le même temps la reconstruction dans LHCb de ces désintégrations est en cours d'étude. Cette activité constitue le sujet de thèse d'Eric Conte et a déjà conduit à publications.

International Linear Collider (ILC)

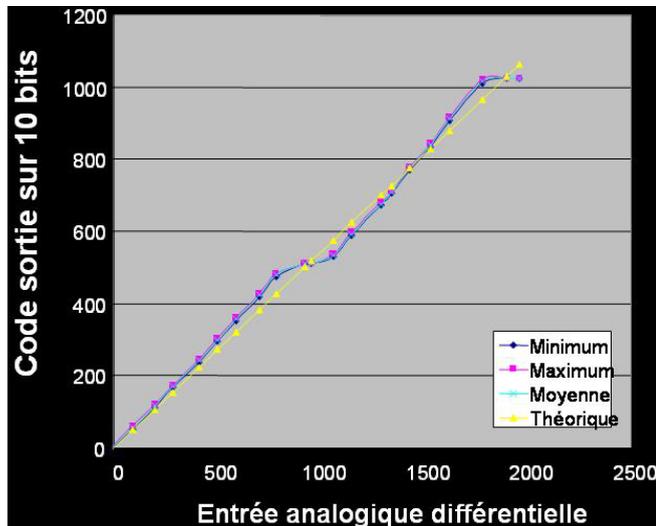
La brisure spontanée de la symétrie comme source de l'origine de la masse des particules est une des questions centrales du modèle standard de la physique des particules. Pour répondre à cette question, après la machine LEP, nous devons nous tourner vers les collisionneurs hadroniques, le Tevatron à FNAL qui entame sa phase II et ensuite le LHC au CERN à partir de 2007.

Cependant, l'étude complète des paramètres des particules qui pourraient être observées au LHC, tant pour un boson de Higgs léger, que pour les partenaires supersymétriques des particules de matière standard, ne pourra être réalisé que grâce à des collisionneurs leptoniques pour lesquels la maîtrise de l'état initial autorise les mesures de précision nécessaires.

Le groupe ILC du laboratoire travaille sur cette thématique du collisionneur linéaire à électrons opérant à des énergies dans le centre de masse de 90 GeV à 1 TeV. Le groupe contribue à définir la faisabilité du potentiel de physique accessible avec une telle machine et il aborde désormais la phase d'une modélisation complète du détecteur pour mettre en œuvre et tester les algorithmes de reconstruction. Des développements de logiciels génériques sont mis en œuvre grâce à une collaboration avec le service d'informatique du Laboratoire. Le groupe poursuit également des travaux de recherche et développement en électronique analogique en collaboration avec le service de microélectronique et plus récemment d'électronique (R. Bonnefoy et M. Crouau). Les puces élaborées sont destinées à résoudre les défis ambitieux du premier étage d'électronique du calorimètre SiW de la collaboration CALICE. Plus récemment, une participation au dessin d'un flash ADC pour le VDET a été engagée.

Ce calorimètre consiste en un ensemble très compact de sandwiches tungstène/silicium. La haute granularité conduit à approximativement 30

millions de capteurs. Ce projet prend partie dans la collaboration internationale (trois régions Europe, Amérique du nord et Asie) nommée CALICE. Elle aborde la problématique de la calorimétrie électromagnétique et hadronique. Le premier niveau d'électronique présente donc un défi technologique puisqu'il s'agit de faire face à la fois à la multiplicité proche de celle rencontrée avec les systèmes de trajectographie et une gamme dynamique bien plus étendue. Il faut aussi résoudre l'équation qui réalise le compromis entre intégration et consommation. Une approche du problème a été réalisée avec le service de micro-électronique du LPC en collaboration avec celui du LAL-Orsay qui conduit désormais à l'élaboration d'un circuit commun. Un convertisseur analogique numérique complet, en technologie 0.35 micron a été développé et deux versions prototypes ont été testées avec des résultats prometteurs. Les performances de l'ADC dessiné en 2004 sont représentées sur la Figure 15.



▲ **Figure 15** : Linéarité entre l'entrée analogique et la sortie codée sur 10 bits pour l'ADC dessiné en 2004. La linéarité de 5% a été réduite ensuite à 1% avec un nouveau dessin en 2005.

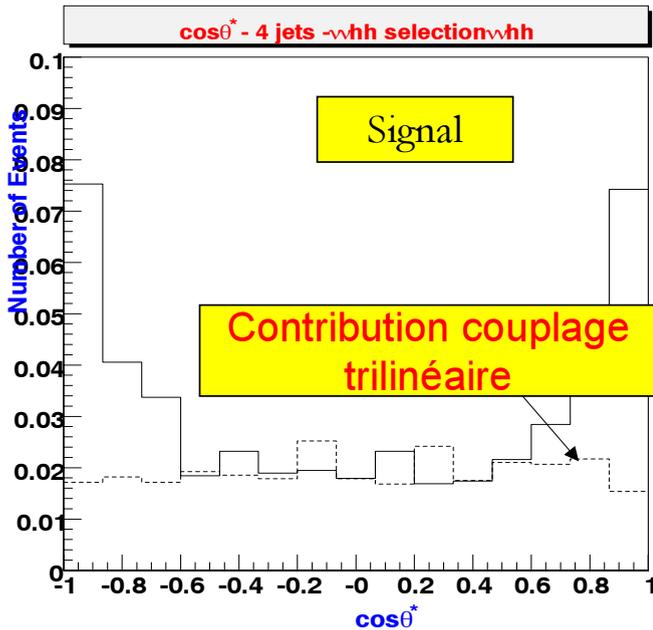
L'ensemble des travaux dans ce cadre fait l'objet des travaux de recherche de la thèse de S. Manen. Le futur proche consiste à continuer l'effort pour parvenir à la réalisation d'une première version capable de permettre une prise de données en faisceau test dès 2007.

D'autre part, le groupe s'est engagé dans une collaboration avec l'IreS de Strasbourg, pour participer à un programme de R&D sur le système de lecture du détecteur de traces à pixels MIMOSA. Il s'agit d'établir la faisabilité d'implémenter un millier de petit flash ADC sur chaque circuit MIMOSA, afin de pouvoir convertir les données en parallèle. Le défi est d'atteindre une très faible consommation et avec une très faible surface disponible sur la puce.

La majorité des processus aux énergies envisagées

conduisent pour l'essentiel à des états finals multi-jets. Le détecteur devra donc être conçu non seulement sur la base de performances intrinsèques des sous détecteurs, mais aussi et surtout au travers de sa capacité à reconstruire les jets. Il s'avère que la solution passe par un trajectographe à haute résolution, typiquement un ordre de grandeur meilleur que ceux des expériences LEP, en association avec des calorimètres électromagnétique et hadronique à haute granularité. Le groupe a donc fait porter son intérêt et ses efforts sur les aspects intimement liés que sont la mesure de l'énergie-flow et la calorimétrie électromagnétique.

Pour le premier, la haute granularité permet de mettre en œuvre des algorithmes innovants basés sur la reconstruction d'images 3D. Une activité transversale à l'ensemble des sous détecteurs a été mise en place au sein de l'ECFA dans un groupe de travail nommé *Overall detector performance Working* auquel nous participons, en particulier pour les analyses de physique basées sur des simulations plus complètes que les simulations rapides actuelles. Dans le cadre de la mise en œuvre d'algorithmes de reconstruction au sein d'une géométrie complexe, la visualisation 3D prend toute son importance et nous avons développé un logiciel adapté. Pour ce qui concerne les études prospectives de physique, le groupe initialement s'était intéressé à la reconstruction du potentiel de Higgs en mesurant le couplage trilineaire au travers de la réaction de double Higgsstrahlung $ee \rightarrow hhZ$. Cette étude a été étendue à la réaction de fusion de WW : $ee \rightarrow \nu\nu hh$. Ces réactions conduisent à des états finals à 4 et 6 jets pour une hypothèse de boson de Higgs léger. Elles sont donc des prototypes à l'évaluation des performances du détecteur et des algorithmes de reconstruction des événements. C'est pourquoi désormais nous faisons porter notre effort sur le développement de simulation complète du détecteur. La Figure 16 représente une variable discriminante de la mesure du couplage trilineaire élaborée ici dans le cadre d'une simulation complète du détecteur.



▲ **Figure 16** : Distribution de l'angle reconstruit entre les deux bosons de Higgs dans le processus $ee \rightarrow \nu\nu hh$ à 800 GeV. La simulation complète du détecteur LDC a été utilisée.

Cela sera le terrain idéal pour optimiser le détecteur et mettre en œuvre de nouveaux algorithmes de reconstruction. Les travaux ont été présentés aux ateliers de l'ECFA à Vienne et lors de la conférence internationale LCWS à Bangalore.

Perspectives

Le domaine des quarks et leptons a été, est et sera un pôle de recherche d'importance au Laboratoire de Physique Corpusculaire. Le groupe D0 se consacre à l'analyse des données recueillies auprès du Tevatron, et à l'élaboration de systèmes de déclenchement au niveau 3 qui sont nécessaires avec l'augmentation de la luminosité à venir dans les prochaines années. Pour ce qui concerne les expériences au LHC, après avoir été impliqué dans la conception et la construction, le laboratoire participe fortement à l'installation et la certification de détecteurs sur le site. L'équipe ATLAS installe les tiroirs d'électronique dans le calorimètre hadronique. L'équipe LHCb réalise l'électronique rapide du détecteur de pied de gerbe et de l'unité de décision de premier niveau. Ces deux équipes n'oublient cependant pas les activités liées à l'analyse : étalonnage in-situ des jets et physique du top pour ATLAS, reconstruction des hadrons neutres et étude des désintégrations des mésons B pour LHCb. Les deux prochaines années verront se cristalliser les effets et investissements considérables consentis par le laboratoire dans les différents projets du LHC. Le prochain rapport d'activité rendra compte, espérons-le, de la réussite de la machine et des détecteurs de

physique. Il convient également de préparer le long terme. A ce titre, le laboratoire est impliqué dans le collisionneur linéaire à électrons qui opérera à des énergies dans le centre de masse de 90 GeV à 1 TeV. Il a apporté sa contribution dans le domaine des algorithmes de reconstruction, dans la phase de modélisation complète de détecteur et sur le premier niveau d'électronique, tout en effectuant des perspectives sur les études physiques.



Matière Hadronique



Matière hadronique

- ▶ **Dupieux P.**, responsable équipe **ALICE (FOPI)**
- ▶ **Baldit A.**, ALICE (NA50/60)
- ▶ **Barret V.**, ALICE (FOPI)
- ▶ **Crochet P.**, ALICE (FOPI)
- ▶ **Defay P.O.**, DEA en 2005, ALICE
- ▶ **Eustache J.**, CDD, ALICE
- ▶ **Grigoryan S.**, physicien, ALICE
- ▶ **Guerin F.**, doctorant, ALICE
- ▶ **Guernane R.**, ALICE
- ▶ **Kockan M.**, vacataire, ALICE
- ▶ **Manso F.**, ALICE (NA50/60)
- ▶ **Saturnini P.**, ALICE (NA50/60)
- ▶ **Stoicea G.**, visiteur, ALICE
- ▶ **Yermia F.**, doctorant, ALICE

- ▶ **Rosnet P.**, responsable équipe **PHENIX, (ALICE)**
- ▶ **Forestier B.**, ATER 2004, PHENIX
- ▶ **Gadrat S.**, doctorant, PHENIX
- ▶ **Roche G.**, PHENIX

- ▶ **Force P.**, responsable équipe **NA50/60, (ALICE)**
- ▶ **Castor J.B.**, NA50/60 (ALICE)
- ▶ **Chapsal L.**, doctorant, NA50/60 (stage master I et II, FOPI)
- ▶ **Devaux A.**, NA50/60, (ALICE)

- ▶ **Bastid N.**, responsable équipe **FOPI, (ALICE)**
- ▶ **Lopez X.**, doctorant jusqu'à fin 2004, FOPI
- ▶ **Merschmeyer M.**, visiteur, FOPI
- ▶ **Zhilin A.**, visiteur, FOPI

- ▶ **Michel B.**, responsable équipe, **Sonde électromagnétique**
- ▶ **Bensafa I.**, doctorant, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Bertin P.**, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Camsonne A.**, post-doc, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Ferdi C.**, maître de conférence en délégation, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Fonvieille H.**, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Hyde-Wright C.**, visiteur, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Laveissière G.**, ATER, *Sonde électromagnétique*
- ▶ **Smirnov G.**, visiteur, *Sonde électromagnétique*



Introduction

Cette partie regroupe les activités de 16 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents du LPC. La plupart de ces physiciens participent simultanément à deux expériences. Les activités décrites peuvent être regroupées en trois thèmes : la physique hadronique qui étudie la structure du nucléon à l'aide de la sonde électromagnétique (DVCS, VCS), l'étude de la matière nucléaire dense et modérément chaude créée lors de collisions d'ions lourds à des énergies de l'ordre du GeV (FOPI) et la physique du plasma de quarks et de gluons ou QGP qui recherche et étudie un état de déconfinement des quarks et gluons créé lors de collisions d'ions lourds de haute énergie (NA50/60, PHENIX, ALICE).

L'équipe sonde électromagnétique a comme thème principal de recherche la diffusion Compton Virtuelle sur le proton, en tant qu'outil d'investigation de la structure du nucléon. La physique étudiée est celle des Distributions de Partons Généralisées (GPDs) à haute énergie (expériences DVCS à JLab) et celle des Polarisabilités Généralisées à plus basse énergie (VCS à MAMI). Ce travail se fait en collaboration avec d'autres équipes françaises et internationales. L'équipe du LPC fait partie du réseau européen I3HP de Physique Hadronique. La collaboration entre les laboratoires de l'IN2P3 (Clermont, Orsay et Grenoble) fait l'objet d'un Programme International de Coopération Scientifique du CNRS (PICS) avec Jefferson Lab et Old Dominion University. Le LPC a en charge l'électronique associée aux détecteurs de photon et de proton dans l'expérience DVCS.

FOPI est l'une des principales expériences dédiées à l'étude des collisions d'ions relativistes auprès du SIS du GSI-Darmstadt. La collaboration internationale FOPI regroupe environ 60 membres de 15 instituts répartis dans 10 pays. L'équipe du LPC Clermont-Fd a une contribution importante à l'analyse des données et participe aux principaux thèmes de physique de la collaboration, production d'étrangeté et comportement collectif de la matière nucléaire. Elle est en particulier fortement impliquée dans

l'analyse des données de l'expérience à haute statistique Ni + Ni à 1,93 AGeV. Au niveau expérimental, le groupe a la complète responsabilité du " Mur Interne ", un des cinq sous-détecteurs de l'expérience : maintenance, préparation avant les prises de données, monitoring pendant les expériences, calibrations et "software". En parallèle, le groupe contribue fortement au projet ALICE.

Un groupe de chercheurs du LPC a participé à la série d'expériences de collisions d'ions lourds : NA38, NA51 et NA50 au SPS du CERN, à des énergies autour de 20 GeV/nucléon dans le centre de masse. Ces expériences ont conduit à la mise en évidence de la "suppression anormale" du J/ψ , signature possible du déconfinement des quarks et de la formation du QGP. Dans la continuité de ces travaux, l'expérience NA60 a permis de confirmer les résultats de NA50 dans les collisions $^{114}\text{In}-^{114}\text{In}$. La présence de dimuons thermiques est également étudiée, leur existence montrerait que l'état partonique a existé suffisamment longtemps pour atteindre un équilibre thermique. L'équipe de Clermont-Fd a eu une forte contribution dans la réalisation des expériences en étant responsable du " Set-up " général des expériences NA50 et NA60, de la maintenance et de l'optimisation du spectromètre, de la mise en place d'un nouveau système de gaz, du contrôle en ligne du spectromètre dimuons et du suivi du fonctionnement du " Beam Tracker ". Les expériences NA50 et NA60 sont maintenant terminées. Les dernières prises de données ont eu lieu respectivement à l'automne 2000 et à l'automne 2004. A partir des résultats de l'expérience NA50 quatre publications sont parues et trois sont en préparation. Une publication de NA60 est à paraître.

L'expérience PHENIX est l'une des quatre expériences fonctionnant auprès du collisionneur RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) depuis l'année 2000 au Brookhaven National Laboratory (BNL). Les collisions engendrées à RHIC ont pour principal objectif l'étude de la matière nucléaire dense et chaude, comme le plasma de quarks et de gluons (QGP), prédit par la QCD (Quantum Chromo-

Dynamics), théorie de l'interaction forte. Le domaine d'énergie étudié permet de faire la transition entre les expériences NA50/60 et l'expérience ALICE au LHC. Deux chercheurs du LPC sont impliqués dans ce programme. Le groupe de Clermont-Fd a établi les cartes de champ magnétique des spectromètres à muons du détecteur, et est chargé de leur maintenance. Au niveau de la physique, le groupe s'est investi dans l'étude du continuum dimuon pour les collisions p-p à une énergie de 200 GeV dans le centre de masse.

Le LHC (Large Hadron Collider), dont les premiers faisceaux sont programmés pour l'été 2007, offrira la possibilité de faire collisionner des protons et des ions lourds à des énergies de plusieurs TeV dans le centre de masse, avec une luminosité très importante. La densité d'énergie atteinte en collisions d'ions lourds est si importante que, selon les prédictions de la théorie QCD des interactions fortes, la matière nucléaire passera par la phase de QGP, dans laquelle le système se décline en terme de quarks et gluons déconfinés dans un grand volume. Etudier les propriétés du QGP et son hadronisation, notamment avec le détecteur ALICE, est l'ambition de la physique des ions lourds au LHC. Dans ce but, l'étude des saveurs lourdes ouvertes et des résonances de quarks lourds semble très prometteuse. Le groupe se propose de mener cette étude principalement au moyen du spectromètre à muons de ALICE.

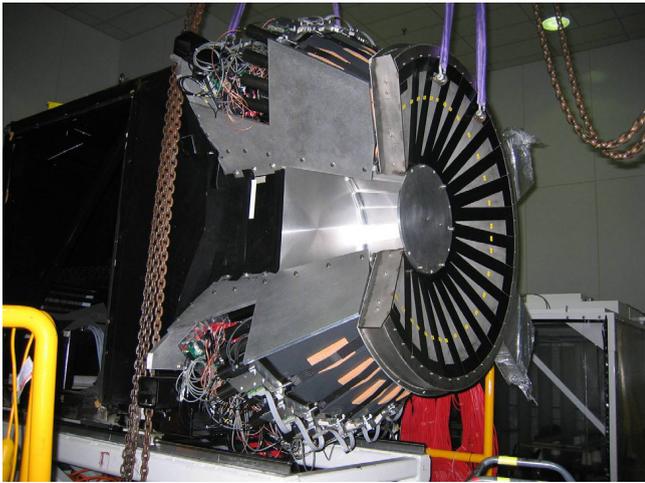
L'équipe clermontoise est fortement impliquée dans la construction du déclencheur du spectromètre à muons. Elle a pris en charge la conception et la construction de l'électronique Front-End des détecteurs, du premier niveau de l'électronique de décision du déclencheur et de la liaison par câble entre ces deux électroniques. Sur ce projet, elle collabore avec le laboratoire SUBATECH-Nantes et des groupes italiens. Le rapport d'activité précédent, sur la période 2001-2003, coïncidait de manière générale avec la fin de la phase de R&D. La période mi-2003-2005 a été essentiellement consacrée à la production et à la validation des réalisations à la charge de notre groupe. Cette phase est maintenant terminée et l'installation sur le site est prévue d'avril 2006 à avril 2007.

Sonde Electromagnétique

1) Le DVCS et les Distributions de Partons Généralisées

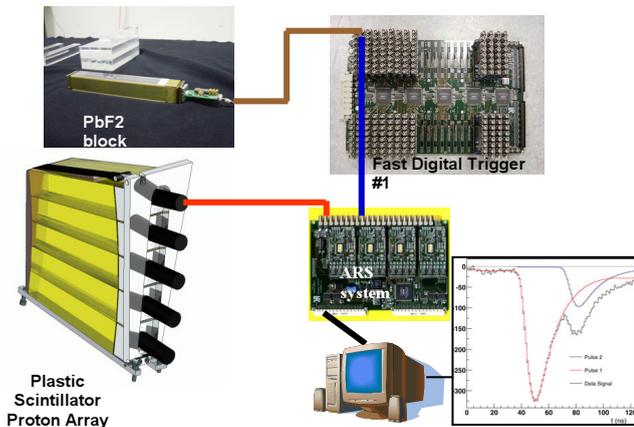
Depuis quelques années s'est imposée une nouvelle représentation, de nature dynamique, du nucléon. Elle consiste en la description du proton et du neutron par quatre distributions de partons généralisées (GPDs). Ces grandeurs physiques dépendent à la fois de la fraction x de l'impulsion du nucléon portée par les partons, et du transfert de quadri-impulsion t au nucléon sondé par un photon. Les distributions de partons "ordinaires" $q(x)$ sont les limites des GPDs pour $t=0$, alors que les facteurs de forme élastiques $F(t)$ sont les intégrales sur x des GPDs. Le processus de Diffusion Compton Profondément Virtuelle (DVCS), $eN \rightarrow eN\gamma$, permet d'accéder à ces observables qui constituent une description en trois dimensions du nucléon.

C'est ainsi qu'un programme ambitieux est développé au Jefferson Laboratory. L'étude des sections efficaces DVCS bénéficie en effet des performances de l'accélérateur d'électrons CEBAF (intensité, cycle utile, polarisation des faisceaux). Le groupe Clermontois joue un rôle majeur dans ce programme, avec les autres groupes français de Saclay, Orsay et Grenoble. Un physicien Clermontois est le co-porte parole de l'expérience E00-110 réalisée à l'automne 2004 dans le Hall A de Jefferson Lab. Le groupe Clermontois a participé à la conception et à la réalisation des détecteurs de photon et de proton: respectivement un calorimètre constitué de cristaux de fluorure de plomb, et un ensemble de scintillateurs. Le LPC a eu plus particulièrement en charge l'électronique associée à ces deux détecteurs. Les services techniques ont développé un système original d'échantillonnage à 1 GHz des signaux afin de lever l'ambiguïté lors de l'empilement de signaux parasites sur des événements réels. De plus un système de déclenchement rapide du calorimètre, en coïncidence avec le spectromètre de haute résolution destiné à détecter les électrons, permet de sélectionner les événements en moins de 350 ns. Les Figures 1 et 2 représentent l'ensemble des détecteurs et de l'électronique associée.



▲ **Figure 1** : Les détecteurs de proton et de photon de l'expérience JLAB-E00-110.

Fast-digitizing electronics and smart calorimeter trigger



▲ **Figure 2** : Electronique associée au détecteur de photon (en haut) et proton (en bas).

L'analyse des données de l'expérience est en cours. Une méthode originale de reconnaissance de forme, basée sur l'échantillonnage des signaux du calorimètre et du détecteur de proton, permet d'isoler les signaux réels, d'identifier le photon et le proton, et d'obtenir l'énergie du photon. L'ensemble expérimental, ainsi que les méthodes d'analyse, sont décrites dans la thèse de A. Camsonne soutenue en novembre 2005. Elle comporte également un résultat préliminaire sur la section efficace d'électroproduction de π^0 , dont les événements sont enregistrés en même temps que les événements DVCS. Des prises de données dédiées à l'étude de la réaction DVCS ont également été effectuées dans le Hall B avec le détecteur CLAS. Des physiciens Clermontois ont participé à cette campagne de mesure au printemps 2005. La grande acceptance du détecteur compense la forte luminosité enregistrée dans le Hall A ($\sim 10^{37} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) et l'excellente résolution du spectromètre ($\sim 10^{-4}$ sur la mesure de l'impulsion de l'électron).

Que ce soit dans le Hall A ou le Hall B, ces expériences revêtent une nature exploratoire et doivent être poursuivies dans l'avenir. Il convient de noter que l'étude des GPDs grâce aux expériences DVCS est l'un des arguments forts pour l'augmentation en énergie de CEBAF de 6 à 12 GeV.

2) Le VCS à basse énergie et les Polarizabilités Généralisées

Les Polarizabilités Généralisées décrivent la façon dont un nucléon se polarise sous l'effet d'un champ électromagnétique extérieur. L'aspect nouveau est la capacité de décrire le phénomène en fonction de l'échelle de distance sondée, par le choix du quadrimoment de transfert Q^2 . Ces expériences d'électroproduction exclusive d'un photon $ep \rightarrow e\gamma p$ sont réalisées à basse énergie dans le centre de masse (γp), et à différents Q^2 .

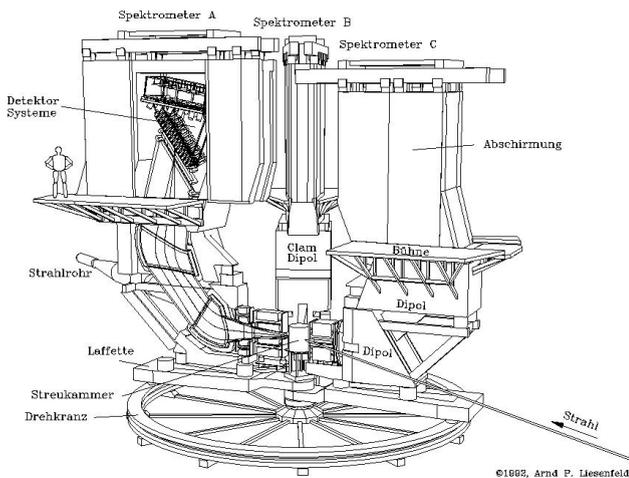
► Le VCS à JLab

Les résultats de l'expérience VCS-E93050 réalisée dans le Hall A de Jefferson Lab ont été publiés en 2004. Les polarizabilités électrique et magnétique du proton ont été déterminées à $Q^2=0.9$ et 1.8 GeV^2 en utilisant plusieurs approches théoriques différentes. Le résultat met en évidence la forte décroissance des polarizabilités en fonction du quadrimoment de transfert, similairement aux facteurs de forme électromagnétiques du proton. Une publication sur l'étude du processus VCS dans la région des résonances nucléoniques, issu de la même expérience, est en cours de rédaction.

► Le VCS à Mayence

Ces expériences sont réalisées auprès de l'accélérateur d'électrons MAMI, à une énergie de faisceau de 800 MeV, et donc à plus bas Q^2 (0.3 GeV^2), par la collaboration VCS du Hall A1.

Une première expérience (Figure 3) utilisant le faisceau polarisé s'est déroulée de 2002 à 2004, et son analyse a été prise en charge par l'équipe du LPC. La détermination de l'asymétrie de spin de faisceau dans la réaction $\vec{e}p \rightarrow e\gamma p$, qui constitue un test de la partie imaginaire du processus VCS, sera décrite dans la thèse de I.Bensafa (en préparation). Une autre analyse des mêmes données en terme des polarizabilités généralisées électrique et magnétique est prévue dans le futur. Une deuxième expérience, actuellement en cours de prises de données, étudie la diffusion Compton virtuelle doublement polarisée, avec utilisation d'un polarimètre pour le proton de recul. Le but est une détermination complète des six polarizabilités généralisées d'ordre le plus bas. C'est une expérience pionnière, dont l'analyse devrait s'étendre jusqu'en 2008.



▲ **Figure 3** : Les spectromètres à haute résolution du Hall A1 de Mayence. Dans l'expérience $\vec{e}p \rightarrow e\gamma$ le spectromètre B est incliné hors plan de 10° .

La montée en énergie prochaine de MAMI (1.5 GeV en 2007) ouvre de nouvelles possibilités, entre autres pour de futures expériences VCS, pour lesquelles un travail de prospective a été initié.

Expérience FOPI

1) Programme de l'expérience FOPI

Afin de poursuivre l'étude de l'étrangeté au SIS, dont les premiers résultats ont montré la nécessité de la prise en compte d'un potentiel K^+ -nucléon faiblement répulsif pour reproduire la mesure du taux de production et du "flow" des kaons, le détecteur FOPI a subi d'importantes modifications et améliorations (voir précédent rapport d'activité). Les prises de données ont repris en 2003 avec notamment une expérience à haute statistique dédiée à une étude systématique de l'étrangeté dans les collisions Ni + Ni à 1,93 AGeV (Expérience S261).

Les prises de données relatives à l'étude de la production d'étrangeté et à la mise en évidence d'effets de milieu à densité nucléaire normale via la réaction élémentaire $\pi N \rightarrow K^0 \Lambda$ ont eu lieu en 2004 (Expérience S271). Les données ont été collectées pour les systèmes $\pi + A$ (Pb, Sn, Cu, Al, C) à 1,15 GeV/c. Les premiers résultats indiquent que la section efficace inclusive de production des K^0 dans le milieu $\sigma_{incl}(K^0)$, de $1,25 \pm 0,24$ mb est dominée par les effets de surface. Cette première mesure expérimentale de $\sigma_{incl}(K^0)$ permet de contraindre les valeurs des sections efficaces dans les modèles. Deux séries de prises de données ont eu lieu en 2005 :

i) Expérience S279 dédiée à l'étude de la production de baryons étranges et à la mise en évidence de "clusters" kaoniques, états liés K-baryons, dans les

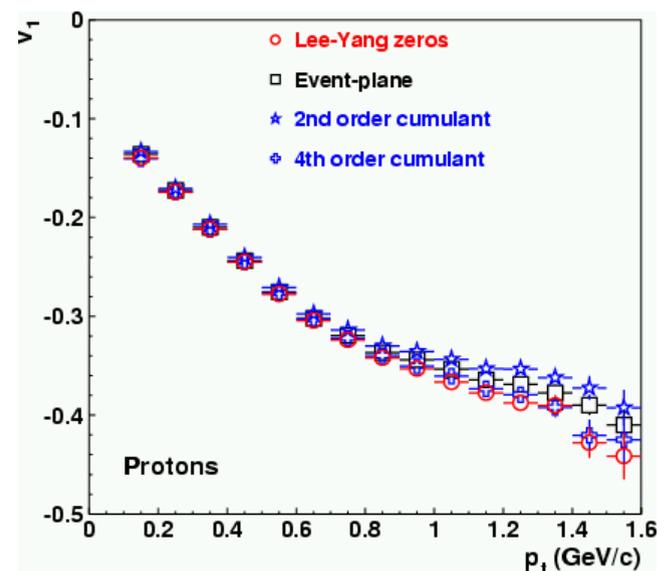
collisions d'ions lourds. Ces derniers, récemment prédits par les modèles, résulteraient d'un potentiel K-nucléon fortement attractif. Le domaine en énergie du SIS qui se situe près ou sous le seuil de création des particules étranges offre une opportunité unique pour la mise en évidence de ces structures. Les canaux de désintégration accessibles à FOPI et en cours d'étude sont : $ppK \rightarrow \Delta p$ et $ppnK \rightarrow \Delta d$. Dans cette optique, nous avons enregistré des données pour le système Al + Al à 1,9 AGeV (~400 millions d'événements centraux) ;

ii) Expérience S297 dédiée à la mise en évidence de "clusters" kaoniques dans les réactions élémentaires $p + d$ à 3,5 GeV.

Une calibration est disponible pour les différents sous-détecteurs. L'exploitation des données est en cours.

2) "Flow" de la matière nucléaire

L'étude des différentes composantes de "flow" est d'un grand intérêt car il en ressort des sensibilités aussi bien à la dynamique des collisions qu'à l'équation d'état de la matière nucléaire.



▲ **Figure 4** : "Flow" latéral différentiel des protons émis dans les collisions semi-centrales Ru + Ru à 1,69 AGeV et pour la tranche en rapidité suivante : $-0,9 < y^0 < -0,7$.

Afin d'obtenir des mesures plus précises, une nouvelle technique d'analyse consistant à extraire directement les différentes composantes de "flow" à partir de corrélations entre un grand nombre de particules a été proposée par les théoriciens. Cette procédure, méthode des "Lee-Yang zeros", présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'analyse classiques qui supposent que les corrélations entre particules résultent toutes de l'existence du plan de réaction. Elle permet en

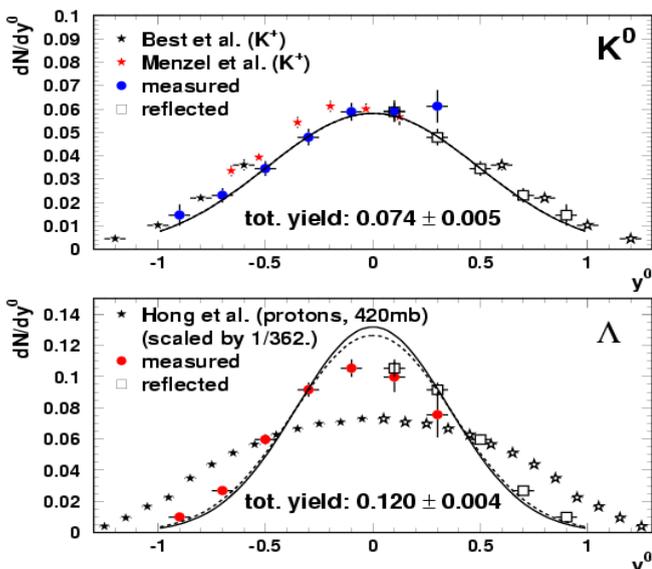
particulier de soustraire automatiquement les effets "non-flow" comme les corrélations dues à la conservation en impulsion, à la désintégration de résonances. FOPI est la première expérience ayant utilisé cette technique pour les analyses de "flow". A titre d'exemple, sur la Figure 4, le "flow" latéral différentiel des protons obtenu avec les "Lee-Yang zeros" est comparé à celui déterminé avec des méthodes d'analyse plus conventionnelles, c'est-à-dire une méthode reposant sur la reconstruction du plan de réaction et des cumulants. Les différences entre méthodes, essentiellement à grand P_T , s'interprètent par des effets de conservation en impulsion.

Ce type d'analyse a été appliqué aux pions, mesurés avec une grande statistique dans l'expérience Ni + Ni à 1,93 AGeV. Les résultats ont montré l'importance d'utiliser cette nouvelle technique d'analyse puisque les effets "non-flow", essentiellement dus à la désintégration des résonances Λ , sont comparables au signal (rapport de stage Master II de L. Chapsal en 2005).

3) Production d'étrangeté

Les résultats concernant la production et la propagation des K^+ dans le milieu nucléaire aux énergies SIS sont en faveur d'effets de milieu (voir précédents rapports d'activité). Afin de compléter l'étude de la production d'étrangeté au voisinage du seuil, les analyses ont été étendues aux particules étranges K_S^0 et Λ . La statistique importante collectée pour le système Ni+Ni à 1,93 AGeV (110 millions d'événements) a en particulier permis, pour la première fois, une étude de la dépendance en centralité de leur taux de production.

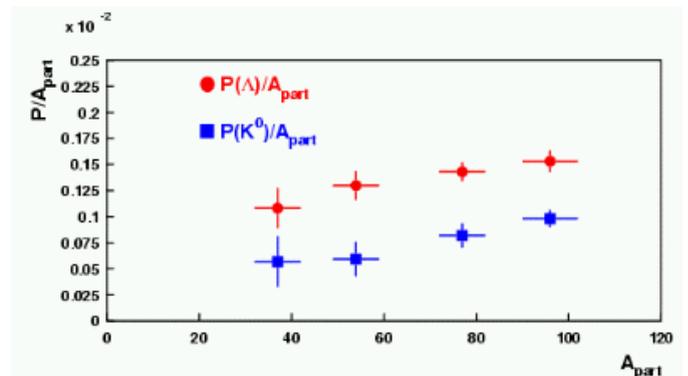
Les distributions en rapidité des K^0 et Λ produits dans les collisions centrales ($b_{geo} < 3,3$ fm) sont présentées sur la Figure 5 (rapport GSI 2005 de X. Lopez et al.).



▲ Figure 5 : Distributions en rapidité des K^0 (haut) et Λ (bas) dans les collisions centrales Ni + Ni à 1,93 AGeV.

Ces distributions sont comparées à de précédents résultats obtenus pour les K^+ et les protons. Les distributions en rapidité des K^+ et K^0 sont similaires alors que celles des protons et Λ présentent des différences qui peuvent être attribuées au fait que, contrairement aux protons, les Λ sont produits dans la boule de feu et interagissent avec le milieu environnant. Les taux de production des résonances K^0 et Λ par collision centrale ($b_{geo} < 3,3$ fm) Ni + Ni à 1,93 AGeV, extrapolés à 4π , sont respectivement de $0,074 \pm 0,005$ et $0,120 \pm 0,004$.

Les taux de production des K^0 et Λ normalisés au nombre de nucléons participants évoluent de manière identique en fonction du nombre de nucléons participants (Figure 6, extrait de X. Lopez, thèse, Université Clermont-Fd 2004). Nous observons une augmentation significative avec la centralité de la réaction. Cela constitue une première évidence expérimentale de leur co-production.



▲ Figure 6 : Taux de production de K^0 et Λ par nucléons participants en fonction du nombre de nucléons participants.

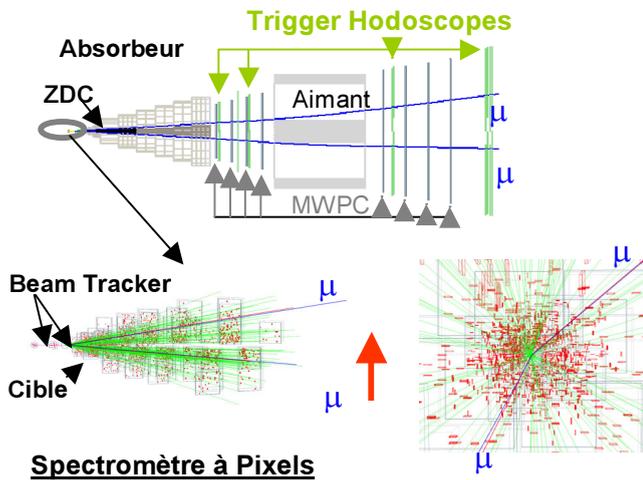
L'ensemble de ces résultats a permis de compléter notre compréhension de la production d'étrangeté dans un milieu purement hadronique. Ces données expérimentales devraient apporter des contraintes supplémentaires aux paramètres des modèles.

Les expériences NA50/60

1) Le détecteur de NA60

L'originalité du dispositif réside dans l'association d'un spectromètre dimuon de grande taille situé derrière un absorbeur et d'un télescope à "pixels" proche du point cible. Les "pixels" en silicium de dimensions $425 \mu\text{m}$ à $50 \mu\text{m}$ sont placées dans un champ magnétique de 2.7 Tesla (Figure 7). Ce dispositif permet à la fois de connaître avec précision les angles d'émission des muons (Télescope à "pixels") et de mesurer la quantité de mouvement dans le spectromètre à muons. La reconstruction des

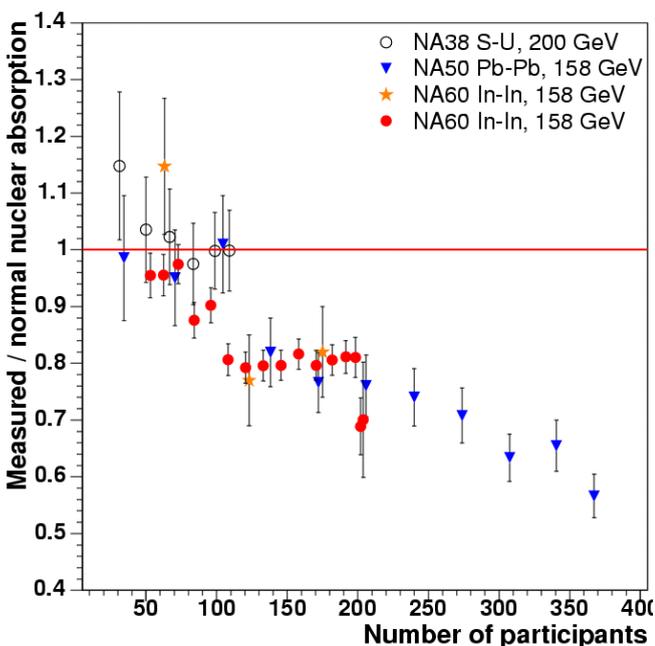
trajectoires proches de la région cible rend possible la séparation entre les dimuons directs et ceux issus de désintégrations de types : $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm$ et $D\bar{D} \rightarrow \mu^+ \mu^- + X$.



▲ **Figure 7** : Reconstruction des événements dans le détecteur NA60.

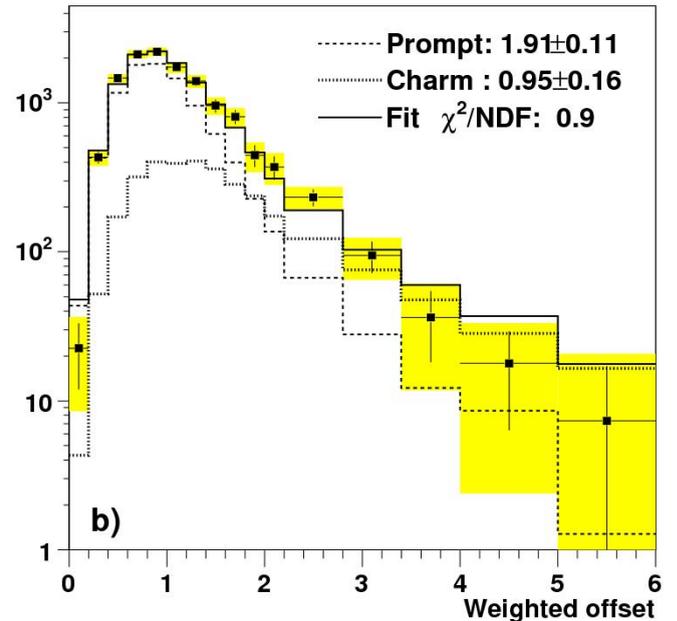
2) Résultats de l'expérience NA60

L'étude du J/ψ dans les expériences Indium-Indium confirme les résultats obtenus par NA50 : Au delà des interactions périphériques, le J/ψ ne suit plus la loi d'absorption normale dans la matière nucléaire, il est alors plus fortement supprimé (Figure 8). Ceci est une indication forte en faveur de la création d'un nouvel état de la matière : le Plasma de Quarks et de Gluons (QGP). L'excès observé en ions lourds, relativement aux interactions p-A dans le domaine de masse 1.2-2.4 GeV a été attribué dans l'expérience NA50 à une production anormale de charme ouvert $D\bar{D}$.



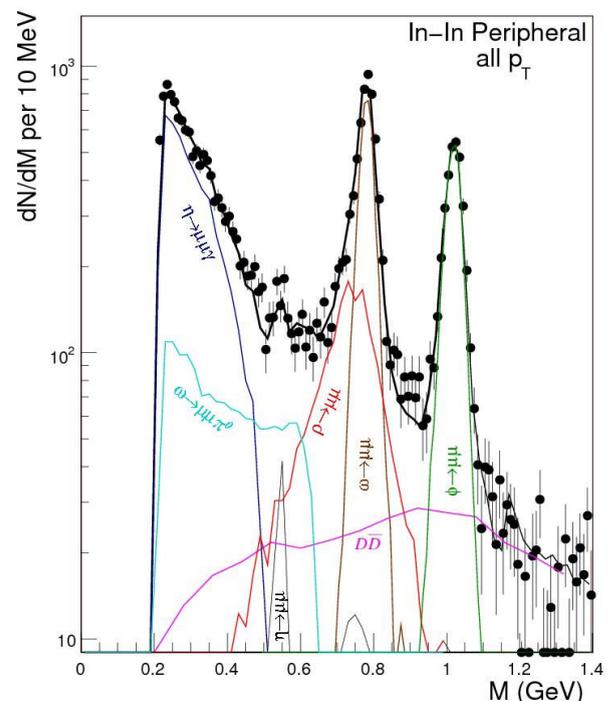
▲ **Figure 8** : Suppression anormale du J/ψ pour trois systèmes.

L'expérience NA60 à l'aide du détecteur à pixels mesure la distance entre le vertex de production des muons et le point d'interaction dans la cible ("offset"). L'analyse des données a permis de montrer que seule la production d'un excès de dimuons directs était compatible avec le spectre "offset" mesuré. La figure 9 montre qu'un bon ajustement des données requiert deux fois plus de dimuons directs que ceux dus au Drell-Yan ($\chi^2/\text{NDF}=0.9$). S'agit-il de la production de dimuons thermiques ?



▲ **Figure 9** : Spectre de "l'offset" dans la région des masses intermédiaires.

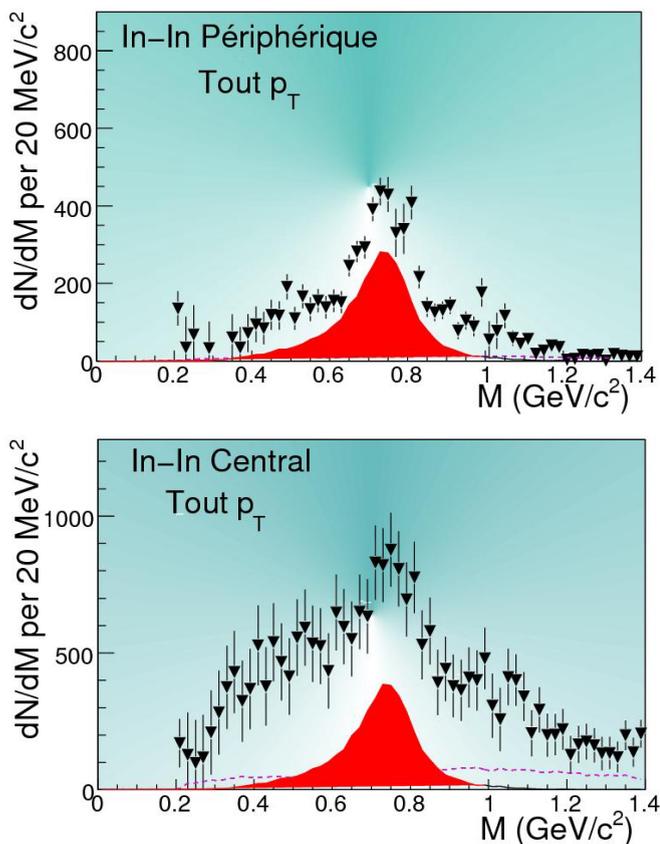
Dans la région des basses masses, la très bonne résolution du détecteur permet de séparer les résonances ρ , φ et ω (Figure 10).



▲ **Figure 10** : Spectre basses masses (In-In).

Dans ce domaine, après soustraction des phénomènes physiques autres que le ρ , le spectre de masse de celui-ci s'élargit fortement lorsque la centralité de la réaction croît (Figure 11). L'excès observé de ce méson, par rapport à la production attendue, augmente avec la multiplicité des particules chargées, jusqu'à atteindre un facteur trois pour les collisions centrales (Figure 11). Aucun déplacement en masse du ρ n'est observé.

La faible durée de vie du ρ , inférieure à celle du milieu dense créé, fait que ce méson est sensible aux effets de milieu et en particulier à la restauration de la symétrie chirale.



▲ Figure 11 : Production du méson ρ en fonction de la centralité (In-In).

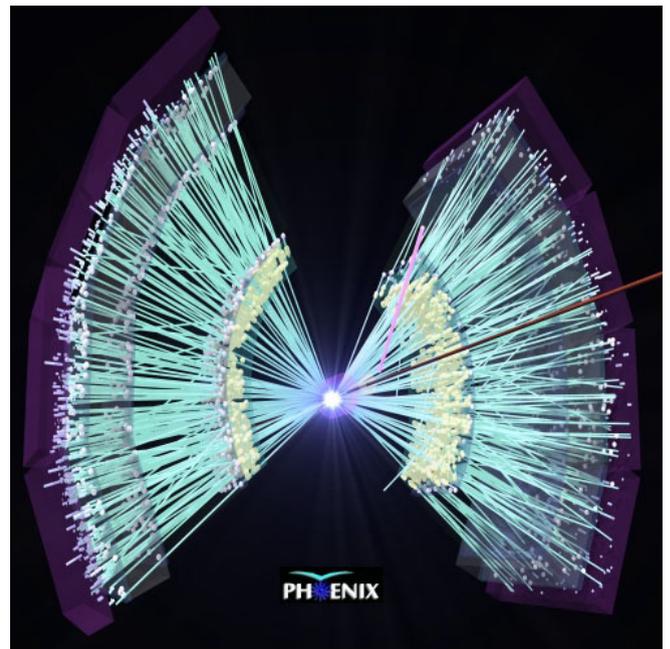
L'expérience PHENIX

1) Programme de l'expérience PHENIX

Les conditions thermodynamiques nécessaires à la formation du QGP sont en principes atteintes dans les collisions Au-Au les plus centrales (Figure 12) à une énergie de 200 GeV par paire de nucléons. L'interprétation des résultats obtenus à RHIC jusqu'à présent en mode Au-Au, voir même d-Au, montrent qu'il est indispensable d'avoir une bonne référence. Celle-ci est donnée par les collisions p-p qui caractérisent les effets de QCD dans le "vide". Pour sa part, PHENIX intègre également un

programme de recherche dans le domaine de l'étude de la structure en spin du nucléon grâce aux collisions de protons polarisés.

La collaboration PHENIX, constituée de près de 500 physiciens et ingénieurs provenant de plus de 50 instituts (12 pays), a mis en place le détecteur le plus complet opérant à RHIC. Ce détecteur est constitué de deux spectromètres centraux (appelés est et ouest) pour la reconstruction et l'identification des hadrons, des électrons et des photons, ainsi que de deux spectromètres avant et arrière (appelés nord et sud) permettant l'identification et la reconstruction des muons. De plus des détecteurs globaux permettent le déclenchement au minimum de biais et la caractérisation des collisions d'ions lourds.



▲ Figure 12 : Reconstitution des particules enregistrées par les spectromètres centraux de PHENIX dans une collision Au-Au centrale.

2) Projet scientifique

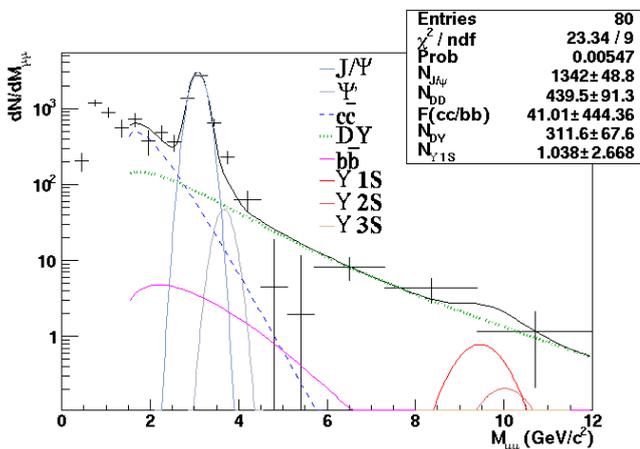
Le travail du groupe du LPC s'inscrit dans le cadre de la collaboration PHENIX-France qui s'est orientée essentiellement sur la physique des muons. Ainsi, après avoir établi les cartes de champ magnétique des spectromètres à muons, le groupe s'occupe de leur maintenance. Naturellement, les clermontois participent aux prises de données.

Au niveau de la physique, le groupe s'est orienté dans l'étude du continuum physique du spectre en masse des dimuons ($\mu^+\mu^-$). Les mesures effectuées jusqu'à présent dans PHENIX en dimuons se sont concentrées essentiellement sur l'étude du J/ψ (états liés $c\bar{c}$) sans se soucier de la nature du continuum associé.

Le groupe a alors étudié les différentes sources

physiques de dimuons pouvant contribuer au continuum en mode p-p : Drell-Yan, charme ouvert et beauté ouverte. Un premier travail de simulation de chacune des contributions à travers toute la chaîne de réponse et de reconstruction de PHENIX a permis d'obtenir leur forme, ainsi que la fonction de réponse différentielle (en fonction de la masse $\mu+\mu^-$) du détecteur convoluée avec le logiciel de reconstruction.

Dans le cadre de sa thèse, soutenue en septembre 2005, S. Gadrat a analysé les données p-p des Runs 3 et 4. Comme illustré sur la Figure 13, il s'est avéré que la contribution de la beauté ouverte était négligeable devant celles du Drell-Yan et du charme ouvert. Tout en retrouvant les résultats publiés pour le J/ψ , cette analyse a permis une première estimation de la section efficace de production de charme dans le canal dimuon, en accord avec les mesures à mi-rapacité et avec les prédictions de QCD, ainsi que la première estimation de la section efficace du processus Drell-Yan à RHIC.



▲ Figure 13 : Reconstitution des particules enregistrées par les spectromètres centraux de PHENIX dans une collision Au-Au centrale.

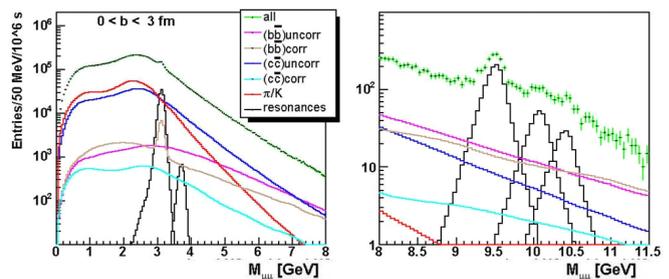
L'expérience ALICE au LHC

1) Objectifs de physique

Le thème principal d'étude choisi par notre groupe s'articule autour de la mesure de la beauté ouverte et des bottomonia (états liés bb), dans leur voie de désintégration (semi-) muonique. Les saveurs lourdes ouvertes sont produites en abondance dans des processus durs au LHC, aux tous premiers instants des collisions ($\sim 1/m_Q \sim 0.1$ fm/c, à comparer à la durée de vie du QGP, $\tau_{QGP} \sim 10$ fm/c), puis traversent le milieu. L'étude de leur production permettra ainsi de tester la théorie QCD (perturbative), de donner des informations sur les fonctions de distribution de partons à petit x-Bjorken,

de sonder le milieu traversé via l'étude de leur perte d'énergie (quenching) et de normaliser la production de quarkonia. Les quarkonia sont sensibles à l'effet d'écrantage de couleur : opportunité unique, la densité d'énergie atteinte en collision Pb-Pb au LHC serait suffisante pour dissocier la résonance Υ (1S). L'interprétation des résultats impose que ces études soient menées pour des collisions p-p (référence), p-A (milieu nucléaire " froid ") et d'ions lourds (QGP), en fonction de la centralité des collisions, afin de scanner une large plage en densité d'énergie.

Des études préparatoires ont été faites par notre groupe (Figure 14) et sont consignées dans le volume II du PPR (Physics Performance Report) de ALICE paru fin 2005, dans différentes thèses de doctorat et notes de collaboration. Elles montrent que les statistiques attendues et les performances du spectromètre à muons sont satisfaisantes pour ce choix d'analyses. Notons que ce programme de recherche a reçu le soutien du programme HP (Hadron Physics) du 6^{ème} PCRD de l'Union Européenne.



▲ Figure 14 : Spectres de masse dimuons de signes opposés pour des collisions centrales Pb-Pb à $\sqrt{s}=5.5$ TeV.

2) R&D sur détecteur type RPC

Le déclencheur du spectromètre à muons utilise des détecteurs de type RPC (Resistive Plate Chambers) simple gap, en mode streamer, contrairement aux autres expériences LHC qui fonctionnent en mode avalanche en raison d'un bruit de fond plus important.

Les détecteurs sont à la charge de nos collaborateurs italiens mais notre groupe a toujours participé très activement au programme de R&D. L'électronique Front-End (FE), que nous avons conçue et développée entièrement, permet d'optimiser les performances de ce détecteur en mode streamer.

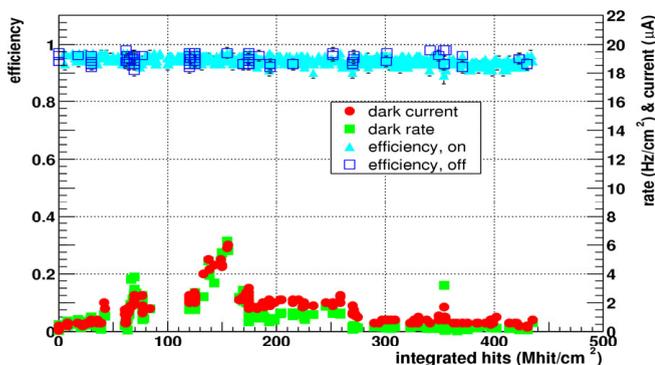
Un long programme de R&D a été consacré à l'étude des performances et du vieillissement de RPCs de petite taille (50 X 50 cm²) en mode streamer, associées à leur électronique FE. La plupart des expériences sont réalisées dans la zone GIF (Gamma Irradiation Facility) au CERN. Sur la période correspondant à ce rapport d'activité, plusieurs tests

ont été menés à bien. Un détecteur RPC de grande taille (250 X 70 cm², Figure 15), identique à ceux de l'ensemble de détection final, équipé complètement de son électronique FE, a donné entière satisfaction en terme d'homogénéité de réponse sur toute sa surface. Des tests de fonctionnement dans un mode avalanche " saturée ", utilisant un mélange gazeux différent de celui du mode streamer, ont été effectués. Il a été montré qu'un tel fonctionnement permet d'augmenter la durée de vie des RPCs sans altérer de manière trop sensible les autres performances. Ce mode avalanche " saturée " pourrait être utilisé en collisions p-p, pour lesquelles le bruit de fond intégré est important. D'autre part, il est compatible avec notre électronique FE après diminution des seuils de discrimination. La Figure 16 présente l'évolution de l'efficacité et du courant noir d'une RPC de petite taille qui intègre 500 millions de coups par cm² (la mesure s'est effectuée sur huit mois en zone d'irradiation GIF) en mode avalanche saturée.

L'ensemble de la production des RPCs, soit une centaine de détecteurs de grande taille, a été réceptionné et validé en 2005 sur banc de test cosmique, par nos collègues italiens. Nous avons fourni l'électronique FE nécessaire, soit 286 cartes, en Juin 2004.



▲ **Figure 15** : Test d'une grande RPC en zone GIF.

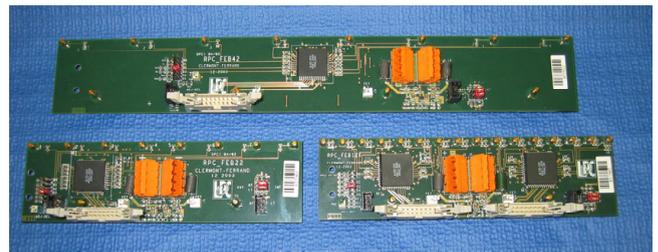


▲ **Figure 16** : Efficacité (en bleue) et courant noir (en rouge) en fonction du comptage intégré, d'une RPC en mode avalanche saturée.

3) L'électronique Front-End

Les cartes d'électronique FE (ou FEB, pour Front-End Boards) intègrent un ASIC développé par le service de micro-électronique du laboratoire. Un programme complet de R&D, incluant tenue aux radiations et tests de pré-série, avait abouti à la revue de production, fin 2002.

L'ensemble de la production des FEB, soit 2384 cartes (et 122 cartes de rechange), nécessaires pour équiper les 20992 voies de lecture du déclencheur du spectromètre à muons, a été validé en 2004-2005 sur un banc de test automatisé développé par notre groupe. Les caractéristiques de chacune des cartes FEB sont ainsi mesurées et stockées dans une base de données. Une photographie de cartes finales au pas de 1 cm, 2 cm et 4 cm est présentée sur la Figure 17.



▲ **Figure 17** : Cartes d'électronique de Front-End.

La réalisation d'outils pour les tests en cavene durant la phase d'installation est en cours.

• Le système de test de l'électronique Front-End

Un système de test en ligne de l'électronique FE (ou FET pour Front-End Test) a été développé. Un signal synchronisé à mieux que 10 ns sera délivré à chacune des cartes FEB. Cela permettra d'une part de tester leur réponse et d'autre part de vérifier le timing de l'ensemble. Le système FET comprend une carte génératrice principale, des cartes de répartition et la distribution par câbles.

• Le système de basses tensions et son contrôle

Le système d'alimentation basse tension des FEB a été entièrement étudié par notre groupe. La plupart des éléments sont produits, comme les colonnes de distribution, les câbles reliant ces colonnes aux FEB et les pontages entre FEB. Les alimentations elles-mêmes et les câbles entre alimentations et colonnes de distribution sont en attente de livraison. Le contrôle à distance (ou DCS) est basé sur le logiciel PVSS et des programmes de pilotage préliminaires ont été écrits.

4) Le trigger local

L'électronique trigger local est le premier étage de décision de déclenchement, juste après le Front-End. L'algorithme de trigger local, permettant une reconnaissance de traces, est effectué par ces cartes à une fréquence de 40 MHz, au moyen de circuits programmables. Ensuite, une coupure sur l'impulsion transverse des traces est faite via des Look-up-Tables implantées sur les cartes. Les informations en provenance du Front-End sont stockées temporairement, en attente d'une lecture éventuelle par le système d'acquisition de l'expérience. Notons aussi la possibilité de masquer chacune des entrées qui peuvent être potentiellement bruyantes. Le temps de décision de l'électronique de trigger local est de 250 ns. Un total de 242 cartes est nécessaire pour l'ensemble de l'expérience. La revue de production de ces cartes a été passée en Juillet 2003 après un programme complet de tests.

Une pré-production de 20 cartes a été validée fin 2004. En parallèle, le banc de test de la production a été finalisé, tant du côté matériel que logiciel. Ce banc de test inclut des générateurs de bit patterns et des cartes d'acquisition qui ont été conçus et réalisés au Laboratoire.

Le reste de la production, soit 240 cartes, rechanges incluses, nous a été livré en mars 2005. De nombreux problèmes de fabrication, sur un tiers des cartes, nécessitant une phase longue de localisation de panne et des allers-retours avec la société de câblage, ont ralenti la phase de validation. Une vingtaine de cartes n'ayant pu être réparées, la production de cartes supplémentaires (qui correspondront aux cartes de rechange) a été lancée. Ceci entraîne bien entendu des surcoûts conséquents.

• Le trigger global

La carte trigger global est le dernier étage de logique du système (un étage intermédiaire, le Trigger Régional, est à la charge du Laboratoire Subatech Nantes). Un prototype a été réalisé par notre groupe et est en cours de test.

5) Liaison par câbles entre électroniques FE et trigger local

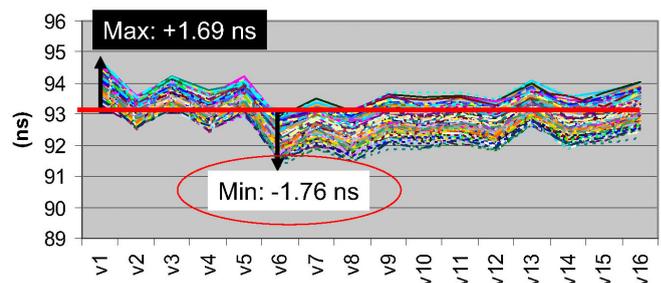
Les deux électroniques sont reliées par 1432 câbles de 16 paires torsadées, pour une longueur totale de l'ordre de 25 km. Un cahier des charges très complet a été écrit par notre groupe. La réalisation des câbles a ensuite été faite au CERN. Nous avons réalisé et fourni le banc de test qui permet de mesurer le temps de propagation de chacune des paires de câble. La

tolérance est de $\pm 2,5$ ns sur l'ensemble de la production. Actuellement, tous ces câbles sont produits et validés. La Figure 18 montre la dispersion mesurée pour les câbles de longueur 18,5 m, en fonction du numéro des paires.

L'étude du cheminement de ces câbles a été réalisée par le service mécanique du Laboratoire.

Une maquette échelle 1 a permis de valider le cheminement au niveau des détecteurs et la connexion à l'électronique FE.

Ensuite, les câbles rejoignent des colonnes de service verticales de 6 m de longueur puis passent sur des chariots porte-câble et forment des " guirlandes ", permettant l'ouverture du détecteur. Finalement, ils sont connectés à l'électronique de trigger local.



▲ **Figure 18** : Dispersion temporelle en ns, pour les câbles de 18,5 m, en fonction du numéro des paires.

Un prototype de la colonne de service (y compris la colonne basse tension) et des chariots porte-câble a été monté au Laboratoire (Figure 19). Tous les éléments nécessaires à l'ensemble de détection final sont maintenant livrés.



▲ **Figure 19** : Maquette échelle 1 des chariots porte-câble et de la colonne de service.

6) Activités offline et online

Les activités offline du groupe ont consisté à implémenter et maintenir la partie relative au déclencheur du spectromètre à muons dans AliRoot, le logiciel principal de la collaboration ALICE. Ceci comprend la description du détecteur ainsi que les algorithmes de trigger local à global.

Dans le cadre d'une thèse, les performances du déclencheur du spectromètre à muons ont été complètement re-évaluées. Ces résultats, très importants pour définir des stratégies d'acquisition de données pour la Physique, feront l'objet d'une note de collaboration.

Un autre volet a consisté à implémenter le logiciel AliEn de calcul distribué de la collaboration sur le cluster de grille de calcul de Clermont-Ferrand. Ceci a été possible grâce à un CDD de un an financé par la région Auvergne.

Un groupe de travail sur les activités online a été constitué. Un premier travail a consisté à recenser les besoins et à définir la structure des programmes et leur intégration dans le contexte du online de ALICE. Un monitoring simple sera basé sur le logiciel MOOD. Un monitoring plus spécialisé et des utilitaires de recherche de disfonctionnement seront basés sur AliRoot. Une interface va être développée afin de transmettre les paramètres de run (chargement des Look-Up-Tables, Masques, etc) à l'électronique.

Perspectives

En ce qui concerne la Physique hadronique, pour le court terme, la poursuite de l'activité à Mayence est envisagée, ainsi que celle à Jlab 6 GeV, avec la construction pour 2007 d'un polarimètre Compton pour le hall A. A plus long terme, une réflexion doit s'engager car cette communauté sera en forte diminution suite à des départs en retraite et la stratégie doit s'envisager au niveau national entre les groupes de l'IN2P3 et du CEA. Pour l'IN2P3 les possibilités seront PANDA au GSI et/ou Jlab 12 GeV.

Pour une étude complète de l'étrangeté au SIS et notamment des K^- dont certaines propriétés restent inexpliquées, le programme FOPI sera poursuivi par la collaboration pour collecter des données plus précises dans une plus grande acceptance et avec une meilleure statistique. La mesure de la composante de "flow" latéral des K^- semble être l'observable la plus prometteuse pour l'étude du potentiel K^- -nucléon.

Pour mener à bien ces mesures, le dispositif va prochainement être équipé d'un nouveau système de temps de vol à haute granularité et à haute résolution temporelle ($\sigma_t < 100$ ps) de type "Multi-Gap Resistive Plate Chambers" qui remplacera l'actuel tonneau de

scintillateurs. Les prises de données devraient démarrer en 2007.

Les prises de données de l'expérience NA60 sont terminées. Une période, qui peut être estimée à 3 ans, doit permettre de terminer l'exploitation et les publications des résultats. Le doctorant qui est encadré dans l'équipe devrait également soutenir sa thèse à la fin de l'année 2008.

Pour le groupe Phénix le travail sur les données des Runs 3 et 4 continue avec la rédaction d'une note d'analyse interne à la collaboration PHENIX. De plus, un dépouillement des données acquises lors du Run 5 en mode p-p est en cours. Celles-ci offrent une statistique 6 fois supérieure à celles des Runs 3 et 4 réunis, ce qui permettra peut être de voir une contribution non négligeable de la beauté, et pourquoi pas les premiers Υ (état lié $b\bar{b}$).

Pour ALICE l'installation du détecteur et de son électronique en caverne est planifiée de avril 2006 à mars 2007. Elle sera suivie de la phase de mise au point avant les premiers faisceaux de protons, prévus en fin d'été 2007.

Parallèlement à ce travail le groupe souhaite accentuer son investissement dans la préparation et la mise au point de programmes d'analyse physique et d'évaluation des effets d'appareillage pour être prêts à exploiter les premières prises de données. Un sujet de thèse est proposé en ce sens. Des membres du groupe ont pris par ailleurs des responsabilités nationales dans les coordinations ALICE-France et ALICE-France-Physique.



***Recherches
Interdisciplinaires***



Recherches interdisciplinaires

- ▶ **Miallier D.**, responsable équipe *Thermoluminescence (TL)*
- ▶ **Bassinot C.**, doctorante, *TL*
- ▶ **Courtine F.**, doctorant, *TL*
- ▶ **Pilleyre T.**, *TL*
- ▶ **Sanzelle S.**, *TL*

- ▶ **Jallot E.**, responsable équipe *Physique Nucléaire Appliquée aux Biomatériaux (PNAB)*
- ▶ **Chassot E.**, *PNAB*
- ▶ **Guibert G.**, doctorant, (thèse : juin 2004), *PNAB*
- ▶ **Irigaray J.-L.**, éméritat, *PNAB*
- ▶ **Lao J.**, doctorant, *PNAB*

- ▶ **Arnold J.**, responsable du *Générateur de neutrons*

- ▶ **Montarou G.**, responsable équipe *Applications et Valorisation de l'Interaction Rayonnement-Matière (AVIRM)*
- ▶ **Berthot J.**, *AVIRM*
- ▶ **Chambon T.**, *AVIRM*
- ▶ **Méritet L.**, *AVIRM*
- ▶ **Francis Z.**, doctorant, *AVIRM*

- ▶ **Breton V.**, responsable équipe *Plateforme de Calculs pour les Sciences du Vivant (PCSV)*
- ▶ **Aoun J.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **El Bitar Z.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Fessy A.**, CDD, Université Blaise Pascal, *PCSV*
- ▶ **Jacq F.**, CDD, CNRS, *PCSV*
- ▶ **Jacq N.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Lazaro D.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Le Mahec G.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Legré Y.**, CDD, CNRS, *PCSV*
- ▶ **Llorens A.**, stage CNAM, *PCSV*
- ▶ **Maigne L.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Reichstadt M.**, Stage Master Pro, *PCSV*
- ▶ **Salzemann J.**, CDD, CNRS, *PCSV*
- ▶ **Thiam C.**, doctorant, *PCSV*
- ▶ **Verheaghe N.**, CDD, CNRS, *PCSV*



Introduction

Au cours de cette période, les activités dans le domaine pluridisciplinaire se sont développées et structurées. Quatre équipes travaillent dans ce domaine au sein de collaborations locales, nationales et de grands projets européens.

L'équipe AVIRM a participé à l'étude des effets des neutrons à faible dose et faible débit de dose sur des cellules cancéreuses, et développe des simulations à l'échelle de la cellule et de l'ADN. Dans le domaine de l'imagerie médicale des développements utilisant des concepts innovants, issus des études effectuées pour les détecteurs du LHC, sont en cours pour améliorer la sensibilité des TEP. L'équipe a également étudié et proposé à la Région un projet de plateforme sur l'application des rayonnements ionisants dans les domaines de la biologie et des matériaux. Ces travaux s'effectuent à la fois dans le cadre de collaborations locales avec la médecine et la biologie, régionales avec le cancérpôle CLARA et le projet ETOILE, et nationale avec le projet INNOTEP.

L'équipe PCSV explore les domaines d'application de Geant4 et des grilles informatiques pour les sciences du vivant et la médecine. Elle se positionne à l'interface entre les groupes qui développent les outils informatiques (Geant4, infrastructures de grille) et les utilisateurs biologistes et médecins. L'équipe exporte non seulement les outils informatiques de la physique corpusculaire, mais aussi les méthodes de travail à travers la création de collaborations internationales telles que GATE ou WISDOM, ou la promotion de démarches collaboratives comme Healthgrid. L'équipe PCSV est également très impliquée dans les grands projets européens de grille de calcul et, sur le plan local, le responsable du groupe est porteur du projet régional AUVERGRID.

L'équipe PNAB développe des biomatériaux actifs pouvant servir de substitut osseux ou revêtement prothétique. Ces matériaux (bioverres, biocéramiques) sont caractérisés par diverses méthodes, en particulier par micro-faisceau d'ions en collaboration avec le CENBG. Ces études très pointues sont à l'interface entre la physique, la

chimie et la biologie. Elles ont fait l'objet de dépôt de projets à l'ANR, à l'INSERM et un dépôt de brevet a été réalisé. Le responsable de l'équipe est porteur du projet BIOVERRES accepté par l'ANR.

L'équipe TL utilise la thermoluminescence pour la datation des volcans et la mesure de faibles radioactivités. Pour cette seconde activité, l'équipe a reçu un agrément au titre du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement et fait partie du groupe ATMO mesurant la radioactivité atmosphérique. Dans la datation des volcans, un programme est en cours pour la datation des trois sites de la Chaîne des Puys et une collaboration avec le BRGM d'Orléans est envisagée.

Applications et Valorisation de l'Interaction Rayonnement-Matière

1) Etude des effets des rayonnements ionisants à très faible dose et débit de dose

Nous avons poursuivi, dans le cadre de la collaboration avec l'EA 3846 de l'Université d'Auvergne, l'étude des effets d'irradiation en neutrons rapides (14 MeV) à très faible dose et débit de dose sur les tissus vivants ou les cellules isolées. Par faible dose, nous entendons des doses de l'ordre de quelques cGy, très inférieures à celles utilisées lors d'une séance de radiothérapie conventionnelle (≈ 2 Gy/séance). D'autre part, l'influence du débit de dose a été clairement mise en évidence en particulier lors d'irradiation de cultures cellulaires par des rayons X ou des neutrons.

L'irradiation de cellules de mélanome humain par des neutrons de 14 MeV a montré une forte décroissance de la courbe de survie cellulaire entre 0 et 5 cGy, suivie par un plateau entre 5 et 30 cGy. Ce phénomène peut suggérer un mécanisme de radorésistance induite ou de réparation cellulaire. Ceci est d'autant plus surprenant que cette structure particulière de la courbe de survie n'apparaît que dans le cas de très faibles débits de dose (ordre de 5 cGy.h⁻¹).

Ces résultats sont d'un grand intérêt dans le domaine de la radioprotection du fait de l'exposition du personnel aux très faibles doses notamment en radiothérapie où les accélérateurs sont une source de production de faibles flux de neutrons, ou bien auprès des centrales nucléaires. Mais également dans le domaine de l'aéronautique et l'astronautique où les astronautes sont soumis à des rayonnements cosmiques qui en interagissant avec le vaisseau spatial, peuvent produire des flux de neutrons dont l'énergie peut varier depuis les énergies thermiques jusqu'à plusieurs dizaines de MeV lors de vols spatiaux de longue durée.

En parallèle à ces études, un effort particulier a été porté dans la modélisation des irradiations et notamment du dépôt de dose dans les cellules irradiées au moyen de codes Monte Carlo (MCNPX et Geant4). Les doses calculées au moyen de ces codes sont en accord avec des observables obtenues expérimentalement. Les résultats de ces simulations sont utilisés pour affiner la compréhension des mécanismes d'endommagement des cellules : mort cellulaire, radiosensibilité de lignées cellulaires.

2) Simulation des interactions des radiations avec les systèmes biologiques à l'échelle de la cellule et de l'ADN : le projet Geant4 ADN

La modélisation des irradiations de colonies cellulaires par les codes usuels Monte Carlo a montré rapidement les déficiences de ces codes dans leur version standard : seuils en énergie trop élevés pour suivre les traces des particules secondaires, notamment des électrons secondaires jusqu'à leur arrêt, absence de phénomènes d'interaction à basse énergie.

Geant4 a été choisi comme cadre de développement idéal en simulation Monte Carlo à cause de son architecture orienté objet autorisant extensions et évolutions futures ainsi que pour ses puissants modèles

physiques électromagnétiques à basse énergie déjà disponibles à l'heure actuelle. Ce projet Geant4 DNA a été mis en place dans le cadre de la collaboration Geant4 et est soutenu par l'Agence Spatiale Européenne et regroupe à ce jour physiciens, biologistes et informaticiens (INFN, ESA, IN2P3, Université de Lund).

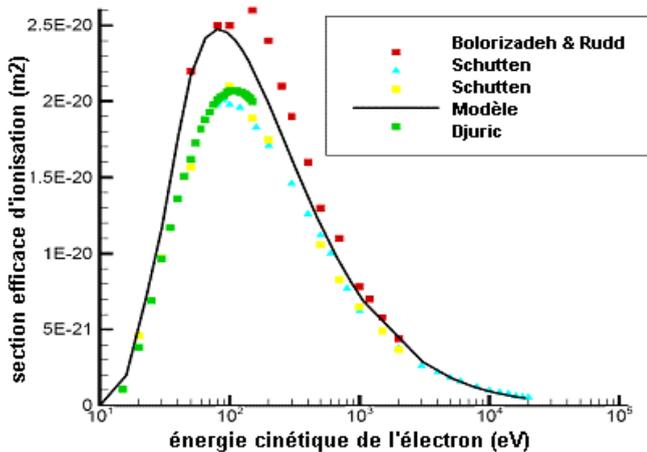
Geant4 DNA vise plus précisément à étendre les capacités de simulation de l'outil Monte Carlo Geant4 sur trois échelles différentes :

- à l'échelle de la molécule d'ADN, pour simuler les effets physiques (interactions physiques élémentaires fondamentales telles la diffusion élastique, l'excitation, l'ionisation et le transfert de charge), chimiques (production et suivi des espèces radicalaires générées, effets directs versus effets indirects) et biologiques (quantification de dommages à l'ADN : cassures simple- et double-brin, fragments d'ADN) à partir d'une géométrie d'ADN sophistiquée,
- à l'échelle de la cellule individuelle, implémentation de modèles phénoménologiques de survie cellulaire à partir d'une estimation de la dose absorbée dans les lignées cellulaires irradiées,
- à l'échelle macroscopique, calcul de la dose absorbée lors de l'exposition à l'échelle de l'organe humain, avec des applications évidentes dans le domaine de l'hadronthérapie et notamment du projet ETOILE.

Au niveau Français, les deux laboratoires de l'IN2P3 impliqués dans ce projet sont le Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand et le Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan. Les développements Geant4 DNA effectués en collaboration entre ces deux laboratoires portent sur l'ajout de modèles d'interactions élastiques et inélastiques (excitation, ionisation, transfert de charge) dans l'eau liquide pour les protons, alphas

et leurs électrons secondaires, jusqu'à une limite inférieure en énergie de 7,5 eV (Figure 1).

Les modèles d'interaction physiques implémentés dans Geant4 DNA seront utiles pour des études en micro- et nano-dosimétrie dans différents domaines d'applications, comme l'étude des dommages causés par les radiations ionisantes et subis par les astronautes (futurs voyages habités) et les personnels navigants aériens, ceci dans le contexte des programmes de l'Agence Spatiale Européenne nécessitant une présence humaine dans l'espace.



▲ **Figure 1** : section efficace d'ionisation de l'eau par des électrons, modèle incorporé dans la version Geant4 DNA (trait continu) et comparée avec des mesures expérimentales.

3) Utilisation de concepts innovants en imagerie biomédicale TEP : collaboration INNOTEPE

Dans le domaine de l'imagerie médicale, la tomographie par émission de positons (TEP) permet de mesurer in vivo la distribution d'un produit pharmaceutique marqué avec un isotope radioactif émetteur de positons, et donc de réaliser des explorations fonctionnelles du vivant à l'échelle du mm³.

Les caméras TEP conventionnelles sont utilisées pour des problèmes liés à la thérapie et à l'imagerie diagnostique, dans le domaine des pathologies particulières comme le cancer. Le développement de détecteurs à haute résolution spatiale rend déjà possible l'imagerie in vivo par TEP du petit animal ; technique devenue indispensable pour la recherche sur le cancer et la génomique. D'autre part, l'amélioration de la sensibilité des détecteurs confère au TEP un potentiel unique pour étudier de nouveaux produits radio-pharmaceutiques administrés sous forme de traceurs.

A court terme, le développement des systèmes

d'imagerie multimodale (PET /CT), c'est-à-dire anatomique et fonctionnelle du petit animal, permettront la fusion de données en s'affranchissant des problèmes de recalage dus aux mouvements de l'animal.

Enfin, l'utilisation des principes de l'imagerie TEP est le seul moyen envisageable pour le contrôle des plans de traitements dans le cadre des centres de thérapie des tumeurs cancéreuses avec des faisceaux d'ions hydrogène ou carbone (Hadronthérapie avec le réseau Européen ENLIGHT et les centres français ETOILE, CPO et Nice). Il s'agit du contrôle en ligne et en temps réel de la dose administrée aux patients. Cette utilisation requiert de pouvoir acquérir avec une très grande efficacité et sans temps mort les événements en corrélation avec les signaux issus de l'accélérateur. Ici, les émetteurs de positons sont créés par les réactions nucléaires dans la cible mais ne donnant cependant lieu qu'à une activité trois ordres de grandeurs inférieure à celle normalement administrée en imagerie TEP classique (ex. pour un individu adulte : 300 MBq).

Dans toutes ses utilisations actuelles, il s'avère que l'imagerie TEP souffre d'une sensibilité très insuffisante. Cela résulte de la faible couverture en angle solide, du temps mort d'acquisition élevé, de la résolution insuffisante de la coïncidence temporelle des photons et de la résolution insuffisante en énergie pour permettre l'exploitation des événements diffusés.

Le développement d'une nouvelle génération d'instruments associée à l'utilisation de concepts technologiques innovants, doit permettre, d'optimiser les performances des PET.

Par ailleurs, la nécessité de pixellisation importante des détecteurs et surtout le nombre de canaux de lecture ($\sim 10^5$) implique une augmentation considérable des données à traiter pour reconstruire les images. Il existe potentiellement un réservoir d'améliorations permettant de pallier à ces problèmes, en reprenant les concepts de base, développés pour les expériences de Physique des Particules du LHC (Large Hadron Collider au CERN) ou dans l'avenir pour ILC (International Linear Collider), notamment le développement d'électronique d'acquisition rapide à échantillonnage, du déclenchement de l'acquisition à plusieurs niveaux et de l'architecture du système de traitement des données acquises.

La collaboration INNOTEPE regroupant le LPC, le CPPM, l'IPN Lyon et le DapNIA du CEA s'est mise en place autour d'un programme de développement commun sur l'optimisation, le développement et la validation d'un concept innovant d'architecture électronique (sans temps mort) pour la TEP de haute sensibilité.

Dans un premier temps, les partenaires impliqués dans la collaboration INNOTEP ont établi un programme de développements techniques génériques qui consiste en la mise en œuvre des circuits intégrés incluant les premières fonctions de l'électronique (Préampli-shaper à bas bruit, conversion analogique-digitale). L'objectif suivant est de réaliser un démonstrateur d'une architecture d'acquisition de données extensible (c'est à dire qui puisse être répliquée trivialement quel que soit le nombre de canaux de lecture).

Plate-forme de Calculs pour les Sciences du Vivant

Créée en 2001, l'équipe PCSV explore les domaines d'application de Geant4 et des grilles informatiques pour les sciences du vivant et la médecine. Elle se positionne à l'interface entre les groupes qui développent les outils informatiques (Geant4, infrastructures de grille) au sein de la communauté de Physique des Hautes Energies et les utilisateurs biologistes et médecins. L'objectif est de développer une nouvelle façon de penser la recherche en sciences du vivant grâce à l'utilisation à grande échelle de la modélisation et des ressources de la grille. L'équipe exporte non seulement les outils informatiques de la physique corpusculaire mais aussi les méthodes de travail à travers la création de collaborations internationales telles que GATE ou WISDOM ou la promotion de démarches collaboratives comme HealthGrid.

1) Introduction

L'équipe PCSV a été fondée en février 2001 sur la conviction que la physique corpusculaire pouvait apporter autant aux sciences du vivant par ses outils et ses stratégies informatiques qu'elle le fait en imagerie médicale par l'instrumentation. En effet, la physique corpusculaire génère une innovation technique dans le domaine de l'instrumentation mais aussi en simulation, en modélisation et dans la gestion et l'analyse des données. Ces avancées technologiques peuvent ensuite être utilisées dans le domaine de l'imagerie médicale, de la médecine et des sciences du vivant.

L'objectif de l'équipe est de mettre en œuvre des projets pluridisciplinaires qui s'appuient sur des ressources et des compétences informatiques issues de la physique corpusculaire. Notre équipe concentre son activité sur deux axes de recherche : les applications biomédicales des grilles de calcul et l'utilisation du code de simulation GEANT4 pour l'imagerie nucléaire SPECT et la radiothérapie/curiethérapie.

Cette démarche a continué de porter ses fruits pendant la période couverte par ce rapport d'activité avec plus de 10 publications dans des revues à comité de lecture (Physics of Medecine and Biology, Parallel Computing, Parallel Processing Letters, Methods of Information in Medecine, ...) et plus de 15 contributions à des comptes-rendus de conférences à comité de lecture. La publication « Grid as a bioinformatic tool » (Parallel Computing 445, Vol 30/9-10 (2004) 1093-1107) fait partie des 25 publications les plus téléchargées du journal Parallel Computing tandis que la publication "GATE: a simulation toolkit for PET and SPECT", *Phys. Med. Biol.*, 49 (2004) 4543-4561. a fait partie des articles les plus cités du journal « Physics of Medecine and Biology » en 2005.

Cette thématique scientifique attire aussi les étudiants : l'équipe accueille aujourd'hui 5 thésards dont 4 en co-encadrement. Le domaine des grilles bénéficiant d'un soutien fort de la Commission Européenne, l'équipe a pu élargir à des financements européens dans le cadre de plusieurs projets du 5^{ème} et 6^{ème} programme cadre, ce qui permet le recrutement d'ingénieurs informaticiens sur contrat à durée déterminée. L'équipe regroupe aujourd'hui environ 13 personnes : 6 thésards, 5 ingénieurs, un chercheur CNRS et une physicienne médicale à temps partiel du Centre Anticancéreux Jean Perrin. Sa capacité d'encadrement va être renforcée par l'arrivée d'un maître de conférences en 2006.

Le développement de l'activité de l'équipe génère des retombées pour l'ensemble du laboratoire. Ainsi, le projet régional de grille Auvergrid a permis au LPC de s'équiper d'un très gros cluster. Grâce à ce cluster, le LPC a pu se positionner dans la grille de calculs du LHC comme le premier tier 2 français. Une autre retombée est le démarrage d'un projet d'entreprise en cours d'incubation qui s'appuie sur le savoir-faire acquis dans l'équipe.

2) Application de GEANT4 à la physique médicale

La modélisation Monte Carlo joue un rôle majeur en imagerie médicale par tomographie d'émission, pour la mise au point et l'optimisation des dispositifs ou des protocoles d'acquisition et de traitement des données. En 2001 et 2002, des surcouches de Geant4 ont été développées pour rendre le logiciel plus facile d'utilisation et pour offrir des fonctionnalités spécifiques aux besoins propres à l'imagerie médicale nucléaire : rotation des imageurs, décroissance radioactive des isotopes, géométries prédéfinies. Les utilisateurs de ces surcouches se sont rassemblés dans le cadre de la collaboration GATE. GATE est ainsi devenue la

plateforme de simulation actuellement la plus flexible et sans doute la plus précise. Elle offre des fonctionnalités inédites (e.g., modélisation de processus évoluant au cours du temps), et est accessible au plus grand nombre grâce à un système de scripts permettant de configurer des simulations sans coder en langage C++. Aujourd'hui, GATE est utilisé par près de 400 chercheurs dans le monde.

L'équipe PCSV fait partie des fondateurs de la collaboration GATE avec l'Université de Lausanne et l'Université de Gand. Les activités de l'équipe se sont concentrées depuis 2001 sur la validation expérimentale de la plate-forme pour la tomographie monophotonique et la dosimétrie, sur le développement de nouvelles stratégies de reconstruction utilisant l'information Monte-Carlo dans le cadre de la thèse de Delphine Lazaro soutenue en Octobre 2003.

Dans le cadre des thèses de Ziad El Bitar et de Joe Aoun, l'équipe étudie des stratégies de reconstruction d'images médicales nucléaires de tomographie mono-photonique exploitant les informations Monte-Carlo avec les équipes de recherche de Irène Buvat (INSERM U494 La Pitié-Salpêtrière) et de Laurent Desbat (ID-IMAG, Université J. Fourier, Grenoble), en collaboration avec David Hill, professeur d'informatique au Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes (LIMOS, UMR STIC-Université Blaise Pascal).

Dans le cadre des thèses de Lydia Maigne et de Cheick Thiam, l'équipe étudie l'utilisation de GATE pour les calculs de planning de traitement en radiothérapie et curiethérapie avec Denise Donnarieix, physicienne médicale au Centre Anticancéreux Jean Perrin et membre de l'équipe PCSV. Les travaux de Lydia Maigne ont permis de mettre en évidence en 2005 une différence significative dans le traitement de la diffusion multiple des électrons entre GEANT4 et d'autres codes Monte-Carlo. Le problème n'est pas encore résolu et montre l'importance d'une validation approfondie des bibliothèques de GEANT4 pour le traitement des processus électromagnétiques à basse énergie avant son utilisation pour la dosimétrie.

3) Développement et déploiement d'applications biomédicales des grilles

Avec les formidables progrès de la génomique, de la bioinformatique et de l'informatique médicale, les centres hospitaliers et les laboratoires de recherche se retrouvent confrontés à la nécessité d'archiver, de gérer et d'analyser des volumes de données considérables. Développement récent des sciences et technologies de l'information et de la

communication, les grilles informatiques permettent aujourd'hui la création de véritables infrastructures pour le calcul et le stockage de données hétérogènes à l'échelle régionale, nationale et internationale. Elles constituent des environnements privilégiés pour stocker, analyser et gérer l'ensemble des informations biologiques et médicales nécessaires à une médecine de plus en plus personnalisée. De nombreuses initiatives voient le jour en Europe pour améliorer la recherche en biologie moléculaire et en médecine grâce aux grilles.

L'équipe s'est positionnée dès 2001 dans le cadre du projet DataGrid sur les projets européens de grille pilotés par le CERN. Elle a ainsi joué un rôle pionnier dans le développement et le déploiement d'applications biomédicales sur ces infrastructures. Dans le cadre du projet DataGrid puis du projet EGEE, l'équipe a développé des applications médicales des grilles. Dans le cadre des thèses de Lydia Maigne et de Cheick Thiam, le déploiement des calculs Monte-Carlo avec la plate-forme GATE a permis d'atteindre des gains très significatifs de temps de calcul, jusqu'à un facteur 30.

Cependant, le fait marquant de la période couverte par ce rapport d'activité a été le déploiement du premier « data challenge » biomédical, c'est-à-dire le premier déploiement à très grande échelle d'une application biomédicale.

a) Recherche de nouveaux médicaments in silico : la collaboration WISDOM

Dans le cadre de la thèse de Nicolas Jacq, l'équipe étudie l'utilisation des grilles informatiques comme environnement de recherche et développement entre établissements publics et privés pour les maladies dites négligées. Ces maladies ne bénéficient pas d'une recherche aussi active que les maladies qui affectent principalement les pays en voie de développement. De façon générale, l'utilisation des grilles afin d'accélérer la découverte de médicaments est une voie très prometteuse pour l'avenir. Par cette approche in silico, le nombre de molécules ainsi que la vitesse de test peuvent être grandement augmentés induisant un coût moindre de développement de médicaments. Du 11 Juillet au 31 Août 2005, l'expérience WISDOM (Wide In Silico Docking On Malaria) a permis de tester un million de ligands (médicaments potentiels) pour le traitement du paludisme: 1700 ordinateurs à travers le monde ont ainsi été associés à cette démarche permettant de réaliser en un mois ce qui aurait nécessité 80 ans sur un ordinateur classique. L'analyse des résultats fait apparaître des molécules prometteuses.

b) Applications médicales

L'équipe a poursuivi le développement de plusieurs applications de gestion de données médicales dans un environnement de grille dans le domaine de l'imagerie médicale et de la télémédecine. Ces activités s'inscrivent dans le cadre du projet EGEE, du projet de grille régionale Auvergrid et du projet AGIR soutenu par le ministère de la recherche (ACI masse de données). Le déploiement de ces applications souffre du retard dans le déploiement de services de gestion des données sur la grille EGEE.

Sur un plan plus positif, le déploiement d'un portail web pour la soumission de calculs Monte-Carlo avec la plate-forme GATE a pu être accompli sur la grille EGEE. Ce portail est le premier service de grille pour la recherche en physique médicale. Il est opérationnel dans l'unité de physique médicale du centre Jean Perrin.

c) Bioinformatique

Dans le cadre du projet Rugby soutenu aussi par le ministère de la recherche (Réseau Gen'homme), nous étudions le déploiement de services pour la bioinformatique dans un environnement de grille. L'année 2005 a été marquée par le déploiement d'un service de réplication automatique de bases de données génomiques utilisant la technologie des web services.

Elle a aussi été marquée par le démarrage de la thèse de Gaël Le Mahec dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire d'Informatique du parallélisme de l'ENS de Lyon sur la gestion des données de biologie moléculaire dans un environnement de grille.

4) Projet d'entreprise en incubation

Dans le domaine de la valorisation, l'année 2005 a vu le lancement d'un projet d'entreprise qui s'appuie sur le savoir faire acquis dans l'équipe. L'entreprise se propose d'offrir des prestations de services à des clients publics ou privés pour les aider à utiliser des grilles. Les prestations envisagées incluent la formation, le soutien au développement et au déploiement d'applications et l'offre d'accès à des ressources distribuées.

Le projet est porté par Florence Jacq, ingénieur de l'équipe ayant plusieurs années d'expérience dans une société de services en informatique. Il a été présenté à la direction du laboratoire, aux services de valorisation de l'université Blaise Pascal et de l'IN2P3 et au comité d'agrément de l'incubateur

régional BUSI. Il a rencontré partout un accueil très favorable et est entré officiellement dans une phase d'incubation. Une étude de positionnement va démarrer pour identifier les offres les plus intéressantes pour le marché actuel.

5) Collaborations scientifiques

L'équipe PCSV a continué de développer des collaborations dans le cadre de projets nationaux et européens. Impliquée dans 3 projets européens (DataGrid, EGEE, Embrace) et 3 projets du ministère de la Recherche (ACI GRID GLOP, ACI Masse de Données AGIR et Réseau Gen'Homme Rugby), l'équipe a tissé des liens avec des laboratoires informatiques (LIMOS à l'Université Blaise Pascal, LIP à l'ENS Lyon), de mathématiques appliquées (ID-IMAG à l'Université Joseph Fourier), d'imagerie médicale (Unité INSERM à l'Hôpital La Pitié Salpêtrière, I3S à Sophia-Antipolis) de bioinformatique (European Bioinformatics Institute, SCAI Fraunhofer) ou des structures de santé (Centre Anticancéreux Jean Perrin, CHU Gabriel Montpied).

Physique Nucléaire

Appliquée aux Biomatériaux

Les travaux de notre équipe sont à l'interface entre la physique, la chimie et la biologie :

- participer, en collaboration avec des industriels, des chimistes, des biologistes et des chirurgiens au développement de biomatériaux bioactifs utilisés comme substituts osseux ou en tant que revêtements prothétiques ;
- étudier l'influence de la texture et de la composition de ces matériaux sur les propriétés d'intégration, de bioactivité et de dissolution ;
- caractériser à l'échelle micrométrique et nanométrique, par faisceau d'ions et d'électrons, les interfaces entre ces matériaux et les tissus vivants ;
- optimiser ces méthodes pour effectuer des mesures quantitatives et pour l'analyse des ions diffusibles.

1) Etude de l'hydroxyapatite dopée en ions métalliques ou en protéines.

- Collaboration avec le Laboratoire des Matériaux Inorganiques (UMR 6002, Clermont-ferrand)
- Collaboration avec le laboratoire de microscopie électronique (INSERM ERM 0203, Reims)

L'hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) qui est une biocéramique phosphocalcique, est couramment utilisée comme substitut osseux grâce à ses

propriétés physicochimiques proches de celles de l'os. Néanmoins, un meilleur contrôle de sa bioactivité permettrait d'améliorer les qualités de ce biomatériau. Il apparaît que la maîtrise de la structure de la biocéramique à l'échelle nanométrique est la voie la plus prometteuse. En collaboration avec des chimistes, nous élaborons et caractérisons des hydroxyapatites nanostructurées qui permettront un contrôle fin de la bioactivité. L'élaboration par chimie douce de type sol-gel permet le contrôle de la nanostructure des hydroxyapatites ainsi que l'ajout de dopants. Le dopage en ions (Zn, Sr, Mg) naturellement présents dans l'os peut améliorer les qualités de cette biocéramique. Nous avons réussi à élaborer des hydroxyapatites dopées en zinc avec différents pourcentages. Les propriétés physico-chimiques des hydroxyapatites sont étudiées à l'échelle micrométrique et nanométrique par faisceau d'ions (PIXE-RBS) et par faisceau d'électrons (STEM-EDXS) lors des interactions hydroxyapatite dopée / fluides biologiques / monocytes humains. La caractérisation biologique, in-vitro de ces biocéramiques fait partie intégrante de ce travail afin de permettre une valorisation des améliorations apportées aux hydroxyapatites dopées.

Concernant l'hydroxyapatite dopée avec 5% de zinc, il a été mis en évidence un processus de bioactivité à la périphérie du matériau avec la formation d'une couche riche en Ca-P-Mg lors des interactions avec des fluides biologiques ainsi que des propriétés anti-inflammatoires concernant ce matériau ce qui a donné lieu à un dépôt de brevet financé par l'INSERM : "A Zn-substituted hydroxyapatite with reduced inflammatory properties and uses thereof".

Ces travaux se poursuivent actuellement sur deux autres types d'hydroxyapatite que nous élaborons : des hydroxyapatites dopées en Sr où nous caractérisons les interactions hydroxyapatites dopées / fluides biologiques / monocytes humains, et des hydroxyapatites nanostructurées à porosité hiérarchisée où des protéines spécifiques (Transforming Growth Factor, Vascular Endothelial Growth Factor) seront intégrées. Cette dernière partie est réalisée dans le cadre d'un projet "PRO A" reconnu et financé par l'INSERM dans le cadre du Programme National de Recherche sur les maladies ostéo-articulaires (2005-2009) : "Calcium phosphate nanoporous ceramics for orthopaedic applications: a new injectable controlled-release drug delivery system".

Ce projet regroupe 6 partenaires chimistes-biologistes-physiciens:

- Institut de Chimie des Surfaces et Interfaces CNRS UPR9069 (Mulhouse) : coordinateur K. Anselme
- Laboratoire des Matériaux Inorganiques – CNRS UMR 6002 (Clermont-Fd).

- Laboratoire de Chimie Organique et Bioorganique CNRS UMR7015 (Mulhouse).

- Unité Interaction biomatériaux/tissus hôtes, INSERM ERM 0203 (Reims).

- Unité Biomateriaux et Réparation tissulaire INSERM U577 (Bordeaux).

- Laboratoire de Physique Corpusculaire – CNRS/IN2P3 UMR 6533 (Clermont-Fd) : responsable de la partie physique.

Dans ce cadre, des études *in vitro* et *in vivo* seront réalisées comprenant l'analyse des différentes propriétés biologiques et l'étude des réactions physico-chimiques (dissolution, relargage d'ions et/ou de protéines, formation de couches, minéralisation) à l'interface matériau/tissus vivants par nano-faisceau d'ion (PIXE-RBS-STIM) dont nous aurons la charge.

2) Etude par micro-faisceau d'ions des réactions physico-chimiques et des échanges ioniques au sein de verres bioactifs nanostructurés (thèse de J. LAO)

- Collaboration avec le Centre d'Etudes Nucléaire de Bordeaux Gradignan (UMR 5797, Bordeaux)

- Collaboration avec le Laboratoire des Matériaux Inorganiques (UMR 6002, Clermont-ferrand)

- Collaboration avec le Laboratoire de Biologie Orofaciale et Pathologie – INSERM U 714 (Paris VII).

La bioactivité d'un biomatériau se définit par la propriété d'établir une liaison chimique directe entre la surface du matériau et les tissus osseux. Cette propriété implique une série de réactions physico-chimiques et d'échanges ioniques à l'origine de la formation d'une couche riche en silicium et d'une couche d'apatite à la périphérie du matériau. L'adsorption de certains constituants du tissu osseux à la surface du matériau, modifiée par la croissance de cristaux d'apatite carbonatée, constitue la base de ce type de liaison bioactive. Cependant, le rôle de la texture, de certains éléments (Si, P, Sr, Ca, Mg...) et les différentes étapes dans le processus de dissolution et les réactions physico-chimiques conduisant à la bioactivité restent encore mal comprises.

Un de nos objectifs porte sur l'élaboration par la méthode sol-gel de verres à dissolution et bioactivité contrôlées. Les cinétiques et les amplitudes de ces processus peuvent être modulées par la maîtrise de la texture des matériaux (porosité ...), par la présence et la concentration de certains éléments. Nous étudions, d'une part, l'influence des concentrations en phosphore et en strontium sur les processus de précipitation et de croissance de l'apatite et, d'autre part, leur rôle lors de la dissolution du matériau.

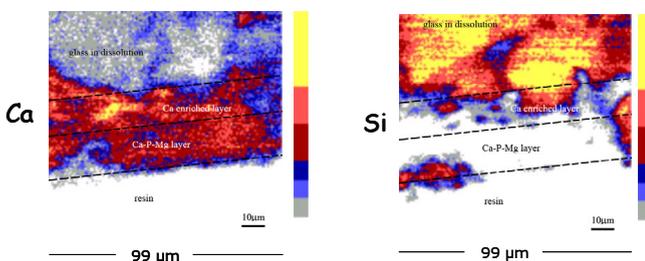
L'étude de l'influence de la taille des pores (nanopores) sur les réactions physico-chimiques est également envisagée. La méthode sol-gel permet de réaliser aisément des dopages en éléments traces, de préparer des matériaux avec un contrôle strict à l'échelle nanométrique de la texture (porosité et organisation). Les verres élaborés sont dans un système binaire (SiO_2 - CaO) et ternaire (SiO_2 - CaO - P_2O_5) (Tableau 1). Cette étude permettra d'évaluer le rôle du silicium lors de la dissolution du matériau et le rôle du calcium, du phosphore lors de la formation d'une couche d'apatite à la périphérie du matériau.

	SiO₂	CaO	P₂O₅
B75	75%	25%	-
B72,5	72.5%	25%	2.5%
B70	70%	25%	5%
B67,5	67.5%	25%	7.5%

▲ **Tableau 1** : Composition massique des bioverres nanostructurés étudiés.

L'étude des propriétés de dissolution et des réactions physico-chimiques des bioverres est réalisée *in vitro* lors des interactions bioverres/fluides biologiques (milieu de culture sans cellules). Afin de mieux comprendre les réactions physico-chimiques conduisant à l'intégration d'un matériau bioactif des cartographies chimiques de l'interface matériau / fluides biologiques / cellules osseuses sont réalisées par micro-PIXE associée à la spectroscopie RBS.

Nous avons pu mettre en évidence une interface dynamique durant les interactions verre/fluides biologiques (Figure 2) avec la formation d'une couche riche en calcium et d'une seconde couche riche en calcium, en phosphore et en magnésium (Ca-P-Mg) par incorporation des ions issus du matériau et du milieu. La présence de magnésium à l'état de trace joue un rôle sur la cristallinité de cette couche et pourra également influencer le comportement des cellules au contact du matériau.



▲ **Figure 2** : Cartographie du silicium et du calcium à la périphérie du bioverre B75 après 10 jours d'immersion dans un milieu biologique.

Cette étude se poursuit avec le projet 'BIOVERRES' financé dans le cadre du programme National en Nanosciences et Nanotechnologies de l'ANR (2005-2009) : 'Elaboration par voie sol gel de verres bioactifs à composition et texture contrôlées, synthèse structuralement dirigée. Caractérisation de l'interface et interactions matériaux / cellules osseuses.'

Ce projet regroupe 3 partenaires :

- Coordinateur : E. JALLOT - Laboratoire de Physique Corpusculaire – CNRS/IN2P3 UMR 6533 (Clermont-Fd).
- Laboratoire de Biologie Orofaciale et Pathologie – INSERM U 714 (Paris VII).
- Laboratoire des Matériaux Inorganiques – CNRS UMR 6002 (Clermont-Fd).

Ce projet sera réalisé notamment grâce à notre collaboration avec le CENBG de Bordeaux et à la mise en place d'un accélérateur de particules de nouvelle génération (Programme AIFIRA : Application Interdisciplinaire des Faisceaux d'Ions en Région Aquitaine) avec une meilleure stabilité en énergie ($\Delta E/E \approx 2,5 \cdot 10^{-5}$) permettant ainsi d'obtenir une meilleure résolution spatiale (≈ 100 nm). L'analyse par nano-faisceau d'ions (protons) permettra, pour la première fois, de réaliser des cartographies chimiques des interfaces bioverres/cellules et l'étude de la distribution des éléments traces (ppm) à l'échelle nanométrique.

a) Influence de la concentration en P et du dopage en Sr sur les réactions physico-chimiques à la périphérie des verres.

De la même manière que pour le phosphore, l'étude du rôle du strontium lors des réactions physico-chimiques et sur la formation des différentes couches périphériques est réalisée pour différents dopages (Tableau 2).

	SiO₂	CaO	P₂O₅	CaO
B75Sr1	75%	24%	-	1%
B75Sr5	75%	20%	-	5%
B67,5Sr1	67.5%	24%	7,5%	1%
B67,5Sr5	67.5%	20%	7.5%	5%

▲ **Tableau 2** : Composition massique des bioverres de phosphates dopés en strontium élaborés par voie sol-gel.

b) Etude des réactions physico-chimiques à la périphérie des bioverres sous forme de poudre.

Prochainement, nous envisageons de développer un protocole spécifique de préparation des échantillons et des cibles afin d'étudier les réactions physico-chimiques à la périphérie des grains de bioverre. Ce développement sera dans une première étape réalisé lors des interactions matériau/liquide biologique et sur des échantillons inclus en résine. Ainsi, grâce à la nano-PIXE nous réaliserons des cartographies chimiques des grains et nous pourrons appréhender les réactions physico-chimiques sur les bioverres. Dans une seconde étape, nous appliquerons notre protocole aux interactions verres/cellules osseuses (ostéoblastes), permettant ainsi de réaliser les premières cartographies chimiques en éléments majeurs et en éléments traces à l'interface verres/cellules. Il sera également possible d'effectuer des images de densité, par perte d'énergie des ions dans la matière (STIM), de cette interface pour compléter notre étude.

c) Etude des ions diffusibles intra-cellulaires lors des interactions bioverres/ostéoblastes.

De plus, nous étudierons l'influence de la composition et de la texture des bioverres sur le comportement cellulaire. Une étude biologique approfondie des cellules osseuses au contact des verres apportera des informations sur les phénomènes de différenciation osseuse et de minéralisation. Ainsi, nous développerons une technique pour effectuer des mesures de concentrations ioniques intracellulaires lors des interactions bioverres / ostéoblastes. Ce développement méthodologique, basé sur les cryométhodes associées à l'analyse par nano-faisceau de protons, donnera les premières mesures des concentrations en P, K, Na, Cl, S, Mg et Ca dans des cellules adhérentes (ostéoblastes) proches de l'état physiologique. Les mesures de concentrations seront réalisées à l'échelle des organites cellulaires par nano-PIXE et l'imagerie des cellules sera effectuée en STIM. Il est important de noter que l'excellente sensibilité de la méthode PIXE (1000 fois meilleure que celle de l'EDXS) permettra la détection du calcium intracellulaire et apportera pour la première fois des informations sur les phénomènes de minéralisation intracellulaire lors du processus de bioactivité.

3) Modèles de percolation

En collaboration avec l'équipe de physique théorique du LPC nous modélisons, par la théorie de la percolation, la résorption et l'ossification des phosphates de calcium (hydroxyapatite) et des bioverres. Ce travail permet de mettre en évidence l'influence de leurs caractéristiques sur leur intégration en milieu vivant et certaines caractéristiques telles que la porosité, la cristallinité, la bioactivité peuvent jouer un rôle important sur la durée nécessaire à résorber l'implant et à engendrer un processus d'ossification au sein du matériau.

La théorie de la percolation présente l'avantage de pouvoir s'affranchir d'une connaissance exacte des processus biologiques simulés grâce à un traitement probabiliste. Des modèles bi-dimensionnels et tri-dimensionnels ont été développés et ils permettent la prise en compte de deux régimes successifs (avant et après vascularisation) dans la résorption des implants.

Datations de volcans et mesures de faibles radioactivités

1) Datations de volcans par thermoluminescence (TL)

Un programme de datations de volcans d'âge proche de celui de «l'excursion géomagnétique de Laschamp», vers 40 000 ans, est poursuivi dans le cadre de la thèse de C. Bassinet qui bénéficie d'une bourse CEA-Région Auvergne. Le laboratoire d'accueil CEA est le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL, Laboratoire CEA-CNRS-UVSQ), à Gif-sur-Yvette. Au LSCE sont effectuées des datations par TL, par luminescence optiquement stimulée (OSL) et radiocarbone. La collaboration autour de ce thème comprend aussi le laboratoire Géomagnétisme et Paléomagnétisme de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), le laboratoire Magmas et Volcans (UMR 6524) de l'Université Blaise Pascal et le Laboratoire Orsay-Terre de l'Université Paris-Sud XI (datation TL et K-Ar).

Dans ce cadre, des tests systématiques de mesure de doses d'irradiation par différentes méthodes de luminescence ont été effectués. L'objectif est de comparer et valider (ou non) les protocoles expérimentaux et les techniques numériques d'exploitation des données. Ces tests portent sur le quartz. Ils comprennent, d'une part, des évaluations en aveugle de doses d'irradiation données en laboratoire et, d'autre part, des datations de quartz chauffés dans le passé, pour lesquels on dispose

d'informations chronologiques indépendantes.

Les tests en aveugle comprennent des mesures par une méthode basée sur la reconstruction expérimentale de courbes de croissance de la TL en fonction de la dose (méthode additive, multi-aliquote LISA), pratiquée au LPC de Clermont dans les domaines spectraux rouge et bleu. Ils comprennent également une méthode mono-aliquote avec corrections de sensibilisation, basée sur la calibration individuelle de prises de mesure (méthode SAR, variante SARA) en TL ou en luminescence optiquement stimulée (OSL). Ces mesures sont faites au LSCE. Les comparaisons de résultats mettent en évidence des désaccords (dans les limites de 10 à 15 %) dont l'origine n'est pas encore établie.

Les tests en situation réelle de datation portent sur trois sites volcaniques récents de la Chaîne des Puys : la coulée de Saint Saturnin, bien calée vers 8500 ans (^{14}C), la coulée de Neschers dont l'âge réel est encore incertain (vers 15 000 ans ?) et une retombée d'origine inconnue située à l'ouest du Puy de Dôme (Figure 3, site de Terrenoire, commune de Ceyssat). La téphra de Terrenoire est bien calée chronologiquement entre deux repères : une nouvelle datation radiocarbone par accélérateur (AMS) sur micro-restes végétaux prélevés dans le sédiment sous-jacent (préparation chimique et cibles au LSCE à Gif sur Yvette et mesure à Canberra, Australie, par le Professeur K. Fifield) a donné : ANUA 31428 / Gif 50024 : 12070 ± 220 BP. La calibration de ce résultat donne une courbe de probabilité à deux pics, l'un centré sur $\sim 15\ 000$ ans (30 %) et l'autre sur $\sim 14\ 000$ ans (65%) ; une téphra recouvrant celle qui est datée par TL est attribuée au Cratère Kilian ou au puy Vasset, tous deux datés (^{14}C) à $\sim 9\ 300$ ans.

La méthode additive « TL rouge » donne des résultats en accord avec les autres données : $\sim 9\ 000$ ans à Saint Saturnin et $\sim 14\ 200$ ans à Terrenoire. On obtient $\sim 15\ 000$ ans à Neschers. Les autres méthodes – y compris la « TL bleue » additive ne sont pas toujours concordantes. Il n'y a pas d'effet systématique dans un sens ou dans un autre. Différents tests complémentaires sont en cours afin de comprendre les problèmes mis en évidence par ces deux séries de comparaisons. On montre que des méthodes appliquées en routine par plusieurs laboratoires (méthode SAR) semblent exposées à certains biais de principe.

Par ailleurs, une contribution significative à l'établissement de la téphrostratigraphie des volcans de la Chaîne des Puys a été apportée de différentes façons : prospection, caractérisation, datation de différents niveaux de produits volcaniques. Ce travail a permis de préciser et d'enrichir le schéma

chronologique éruptif récent. Il a, en partie, débouché sur la réécriture du chapitre « chronologie » de la 4^e édition de la Carte Volcanologique de la Chaîne des Puys (2004, Parc des Volcans Ed.). En 2005, un résultat intéressant de ce programme a été la découverte et la datation par TL d'une téphra récente d'origine inconnue : des produits de déferlante phréatomagmatique, âgés de $9\ 200 \pm 600$ ans (réf. C407-b) recouvrent très localement ceux du Kilian ($9\ 410 \pm 130$ ans) qui étaient jusqu'à présent les produits volcaniques bien identifiés les plus récents du centre de la Chaîne des Puys.

Une collaboration s'engage avec une équipe du BRGM d'Orléans sur la datation TL de volcans holocènes au Cameroun. L'objectif des géologues se situe dans le contexte des risques volcaniques ; pour l'équipe TL du LPC, certains échantillons présentent l'intérêt de permettre de tester la méthode sur des minéraux volcaniques non utilisés actuellement en datation et cependant assez communs (olivine).



▲ **Figure 3** : Site de Terrenoire (Ceyssat). Cendres volcaniques au dessus d'un sédiment. Datation radiocarbone : 14-15 ka. Datation TL : 14,2 ka.

2) Mesures des faibles radioactivités

a) Recherche et développement

Un détecteur germanium est utilisé pour évaluer l'activité de radioéléments émetteurs gamma (détecteur puits de type GCW3523 de Canberra). Dans de nombreux cas, l'évaluation des coefficients d'étalonnage n'est pas entièrement basée sur des mesures expérimentales effectuées avec des échantillons de référence. Ce peut être parce que la géométrie de l'échantillon à mesurer est particulière, ou bien parce que sa composition est éloignée de celle des milieux de référence. Il est donc utile de disposer d'un outil de modélisation permettant de prévoir la réponse du détecteur dans différentes

configurations et à différentes énergies. C'est à cette fin que des approches reposant sur des méthodes de Monte Carlo sont développées.

A cet effet, le code GEANT4 est testé et mis en œuvre dans l'objectif d'obtenir une modélisation complète de l'ensemble de détection et des sources à mesurer (Thèse F. Courtine). Plusieurs aspects sont à considérer : justesse et précision de la description dimensionnelle et physique du détecteur, effets quantitatifs de la prise en compte – ou non – de tous les processus physiques mis en jeu.

Il a été mis en évidence que, surtout dans le domaine des basses énergies (< 200 keV), un modèle reposant sur le schéma commercial du détecteur ne suffit pas à obtenir un étalonnage précis par calcul : des écarts supérieurs à 17% entre la mesure et le calcul peuvent être observés. La cause principale en est une méconnaissance de la géométrie et des propriétés des zones de contact (« zones mortes »). De plus, les plans disponibles pour le détecteur n'en permettent pas une description au niveau du détail. L'exploration expérimentale de la réponse du détecteur, à l'aide d'une source ponctuelle étalonnée est donc un complément indispensable au modèle. Une procédure de calibration est proposée et intégrée dans un programme construit autour de GEANT 4.

En ce qui concerne les processus d'interaction rayonnement/matière, il n'y a pas d'effets significatifs induits par la négligence d'un phénomène particulier dans le domaine d'énergie étudié (30-1500 keV). Toutefois, si le code GEANT4 peut simuler des nucléides réels, il apparaît avec le ^{60}Co que la non-prise-en-compte de la corrélation angulaire entre les émissions gamma dans la cascade (1173 keV – 1332 keV) a pour résultat des petites différences entre les mesures expérimentales et les prédictions des calculs (de l'ordre de 8% sur le pic-somme). Une quantification en a été entreprise.

Parallèlement, on a montré théoriquement et expérimentalement qu'il existe une corrélation presque linéaire entre le facteur de transmission d'un gamma mono-énergétique à travers un échantillon en tube (puits) et le coefficient d'auto-atténuation dans cet échantillon. On en a déduit une technique d'évaluation de l'activité en ^{210}Pb dans les roches (une publication). Cette technique a été appliquée dans le cadre des « essais interlaboratoires » organisés par l'IRSN (mesures en aveugle) et les résultats (rapport IRSN échantillon 77SR300, octobre 2005) ont pleinement validé cette méthode.

b) Mise en œuvre

Les mesures de radioactivité naturelle dans le cadre de la datation par TL ont bénéficié de l'amélioration de la mesure du ^{210}Pb (descendant du ^{222}Rn). Ces mesures mettent en évidence un très fréquent déséquilibre entre le ^{226}Ra et le ^{210}Pb dans les sédiments sous coulée volcanique, ce qui traduit une perte de radon (^{222}Rn) chronique dans le sédiment. Celle-ci est évaluée et prise en compte dans les calculs d'âge. D'autres déséquilibres sont aussi observés ($^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ principalement), liés généralement à des circulations d'eau.

Dans le cadre de l'application de l'expertise de l'équipe TL en mesures de faibles radioactivités, une étape importante a été franchie pour obtenir un agrément au titre du « réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement » (arrêté du 17 octobre 2003) : la participation avec succès à la campagne 2005 d'inter-comparisons, organisées par l'IRSN, portant sur la mesure de radioéléments émetteurs gamma naturels (sédiment de lac N° 77 SR 300) ou artificiels (eau rechargée N° 76 EE 300). Les mesures de radioactivité atmosphérique (collaboration ATMO Auvergne) se poursuivent en routine. Depuis quelques années, le ^{137}Cs n'est plus détectable (seuil de détection : $5\mu\text{Bq}/\text{m}^3$), ce qui est davantage lié à sa percolation et à sa fixation dans les sols qu'à sa décroissance naturelle (période : 30 ans).

Perspectives

Les activités pluridisciplinaires ont une possibilité importante de développement, notamment grâce aux financements ANR, régionaux ou européens, mais il est cependant important que les financements récurrents du CNRS soient maintenus.

Dans le cadre du CPER, le projet Auvergrid et la plateforme sur l'application des rayonnements ont pu être intégrés. Les biomatériaux apparaissent également dans l'axe STI du prochain CPER, ainsi que dans le projet régional sur les matériaux innovants. L'équipe TL fait elle partie du projet régional sur l'environnement.

Ces activités peuvent également être très porteuses dans le domaine de la valorisation et de la communication et elles permettent au laboratoire de bien s'intégrer dans le tissu local.



***Les services techniques
et administratif***



Les services techniques et administratif

- ▶ **Lambert D.**, responsable du service **Electronique** (à partir du 01/03/05)
- ▶ **Brossard M.**, responsable du service **Electronique** (jusqu'au 28/02/05)
- ▶ **Blanchard G.**, *Electronique*
- ▶ **Bonnefoy R.**, *Electronique*
- ▶ **Chadelas R.**, *Electronique*
- ▶ **Crouau M.**, *Electronique*
- ▶ **Fayard C.**, *Electronique*
- ▶ **Jouve F.**, *Electronique*
- ▶ **Magne M.**, *Electronique*
- ▶ **Mercier M.-L.**, *Electronique*
- ▶ **Ronfet B.**, *Electronique*
- ▶ **Sahuc E.**, *Electronique*

- ▶ **Lecoq J.**, responsable du service **Micro-électronique**
- ▶ **Bohner G.**, *Micro-électronique*
- ▶ **Cornat R.**, *Micro-électronique*
- ▶ **Gaglione R.**, doctorant, *Micro-électronique, AVIRM*
- ▶ **Laubser J.**, doctorant, *Micro-électronique, LHCb*
- ▶ **Manen S.**, doctorant puis ATER, *Micro-électronique*
- ▶ **Royer L.**, *Micro-électronique*
- ▶ **Vert P.E.**, doctorant, *Micro-électronique, AVIRM*

- ▶ **Reichstadt P.**, responsable du service **Informatique**
- ▶ **Bonnet D.**, *Informatique*
- ▶ **Brun N.**, *Informatique*
- ▶ **Chandez F.**, *Informatique*
- ▶ **Chassagny P.**, *Informatique*
- ▶ **Chevaleyre J.-C.**, *Informatique*
- ▶ **Delage E.**, *Informatique*
- ▶ **Dhur S.**, *Informatique*
- ▶ **Mallet T.**, *Informatique*
- ▶ **Medernach E.**, CDD, *Informatique*
- ▶ **Monte G.**, *Informatique*
- ▶ **Reichstadt M.**, CDD, *Informatique*
- ▶ **Vassent M.**, *Informatique*

- ▶ **Daudon F.**, responsable du service **Mécanique**
- ▶ **Crozatier C.**, *Mécanique*
- ▶ **Insa C.**, *Mécanique*
- ▶ **Jacquet P.**, *Mécanique*
- ▶ **Nivoix M.**, CDD, *Mécanique*
- ▶ **Pirard R.**, *Mécanique*
- ▶ **Reinmuth G.**, *Mécanique*
- ▶ **Savinel G.**, *Mécanique*
- ▶ **Verdier P.**, *Mécanique*

- ▶ **Galpier C.**, responsable **administratif** à partir du 01/09/05
- ▶ **Vitrant J.-R.**, responsable **administratif** jusqu'au 31/08/05
- ▶ **Blisson C.**, *Administration* jusqu'au 31/08/05
- ▶ **Chadelas M.**, *Bibliothèque*
- ▶ **Fournier M.**, *Administration*
- ▶ **François C.**, *Administration* à partir du 31/08/05
- ▶ **Lannusse J.-M.**, *Administration*
- ▶ **Pellet J.**, *Bibliothèque*
- ▶ **Pinty C.**, *Administration*
- ▶ **Scovronec C.**, *Service général*
- ▶ **Viala A.**, *Administration*



Les services techniques

Au cours de cette période la production et les tests pour les expériences au LHC ont mobilisé une grande partie des forces du laboratoire. Le montage sur site du calorimètre à tuile d'Atlas a également nécessité de gros efforts et il est maintenant achevé. Des développements de R&D aussi bien pour le futur collisionneur que pour le pluridisciplinaire ont également été réalisés. En ce qui concerne l'informatique la grille est maintenant opérationnelle et le laboratoire a les moyens d'être Tier2 pour LCG. L'ensemble de ces activités a été mené à bien grâce à un effort soutenu du personnel technique. Des réalisations, qui ont permis au LPC d'être présent pour l'année mondiale de la Physique, ont également été effectuées. Au cours des deux années à venir le montage et la mise en route des trois expériences au LHC vont constituer un nouveau challenge

Le service d'électronique

Le service électronique participe à trois expériences sur le Large Hadron Collider (LHC) au CERN : ALICE - ATLAS - LHCb.

Il participe également dans deux expériences à Jefferson Lab. et aussi au projet d'imagerie médicale de l'équipe AVIRM.

LHC - ALICE

Engagé dans la conception du trigger dimuon de niveau 0, le service électronique a mené à son terme la production de 280 cartes de "Local Trigger" (LTB). Cela a impliqué la mise en place d'un banc de test spécifique qui a validé toute la production. Il a fallu développer une carte VME : Générateur FET (Figure 1) qui permet de simuler les signaux électroniques provenant du détecteur, afin de tester ces cartes.

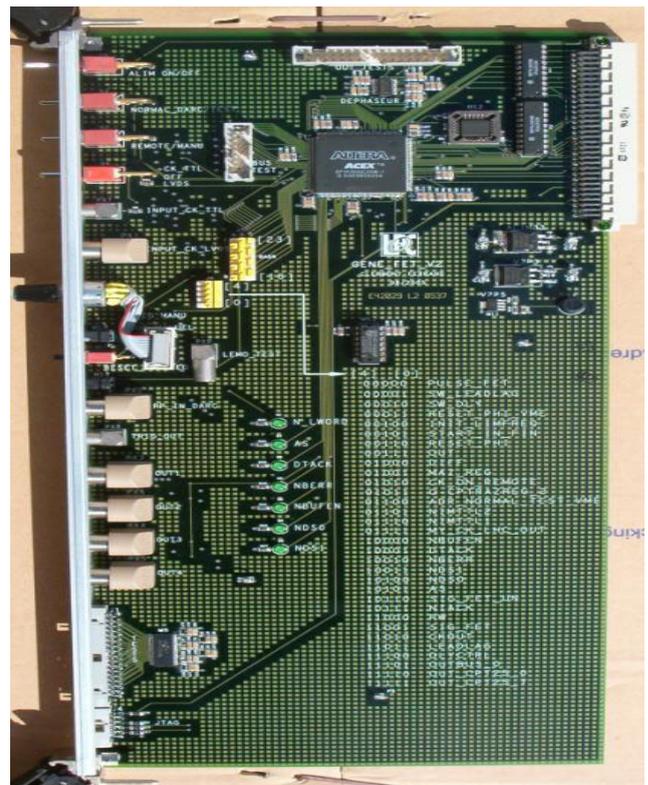
De plus la carte de trigger appelée "Global Trigger", concentrant les informations provenant des LTB a été conçue. Elle est actuellement en cours de test.

D'autre part, les électroniciens ont en charge la gestion et le contrôle de la production des basses tensions pour le "front-end" du trigger dimuon".

Ils assurent également le suivi de la production des câbles signaux et de la base de données

correspondante (gestion de 250 000 mesures issues du banc de test développé au laboratoire).

Les Ingénieurs électroniciens participent à l'évolution du "slow control" pour le détecteur Alice trigger dimuon.



▲ Figure 1 : Carte Générateur FET.

LHC - ATLAS

Le LPC est responsable de l'intégration du système Laser de calibration du calorimètre hadronique (TILECAL) dans l'acquisition générale de l'expérience. Cette calibration est assurée par laser pulsé de forte puissance (3W), commandé et modulable en amplitude. Ce dispositif simule la lumière émise par le détecteur lors du passage d'une particule. Les informations analysées par le système laser doivent être associées, événement par événement, aux données fournies par les 10000 photomultiplicateurs du calorimètre.

Le service a conçu une carte électronique (Figure 2)

qui étiquette et formate les données du laser selon un standard commun à ATLAS, puis les envoie à l'acquisition centrale. Ces opérations sont réalisées par un module VME qui est architecturé autour de plusieurs circuits programmables type FPGA d'ALTERA. Leur programmation est effectuée en VERILOG, un langage spécifique de description du matériel. Cette approche permet une large intégration de l'électronique, une grande flexibilité de mise au point et aussi, une possibilité d'évolution ultérieure.



▲ **Figure 2** : Carte LASTROD.

Ce système Laser doit être opérationnel courant de l'année 2006. Après son intégration dans le TILECAL, il servira à la réception de toute l'électronique frontale du calorimètre, y compris le système de hautes tensions développé par les ingénieurs du service. Le projet ayant été présenté à la collaboration, il a été étendu pour prendre en charge des informations issues d'un autre système de calibration du calorimètre par injection de charge. Le laboratoire a aussi la responsabilité de l'assemblage et de la certification des tiroirs du calorimètre à tuiles scintillantes. Un banc de test fixe a été développé afin de tester ces tiroirs.

LHC - LHCb

Le laboratoire est impliqué dans le " Preshower " du détecteur LHCb.

Le service électronique a conçu les bases actives des photomultiplicateurs multi-anodes (64 anodes) et a développé un banc de test qui permet de les tester. Pour cela il a fallu réaliser des cartes spécifiques :

- Générateur d'impulsions ;
- Dispositif de déplacement de masque (mesure d'uniformité et de diaphonie).

Le service a étudié et réalisé des bancs de tests pour contrôler les torons de fibres acheminant la lumière aux photomultiplicateurs. Ces torons sont composés de 4 connecteurs de 16 paires de fibres qui sont ensuite assemblés sous forme de 64 paires.

Le service électronique a la charge des cartes "Front End". Cette carte numérise les 64 voies d'un photomultiplicateur. Elle applique des corrections sur chaque voie et elle synthétise ses propres données ainsi que des données provenant d'une autre partie du détecteur. Cette carte au format VME 9U, comporte 11 circuits programmables de type BGA à plus de 400 pattes. Elle effectue également des transmissions de données entre différentes cartes à 280Mbit/s par paire différentielle.

Il a fallu associer à la carte "Front End " un banc de test afin de valider le prototype et la production de ces cartes. L'ensemble a été réalisé avec un PC sous LABVIEW et un châssis VME.

En parallèle, le service d'électronique, en collaboration avec des ingénieurs de micro-électronique, développe la carte d'unité de décision (LODU, Figure 3).



▲ **Figure 3** : Carte LODU.

TJNAF - DVCS

Les derniers développements et l'installation de l'expérience DVCS sur le site se sont terminés au cours de l'année 2004. L'expérience s'est déroulée pendant le dernier trimestre de cette même année.

TJNAF - Polarimètre Compton

Nous avons réalisé en 1997-1999 le système de détection des électrons du polarimètre Compton du Hall A. TJNAF a décidé d'effectuer un upgrade de ce polarimètre et le laboratoire est chargé de la réalisation du nouveau détecteur d'électrons.

Le dispositif est constitué de 4 détecteurs à micro pistes, soit 4 fois 192 pistes, au pas de 0,325 mm. L'électronique associée est constituée essentiellement :

- de cartes situées près des détecteurs comprenant pour chaque voie, une intégration, une mise en forme, un discriminateur et une sortie différentielle ;
- d'un module VME " Trigger " permettant de sélectionner les électrons Compton ;
- d'un ensemble de modules de contrôle des détecteurs et de l'électronique.

AVIRM

Dans le cadre de la collaboration INNOTEP, le groupe AVIRM teste la possibilité d'améliorer la résolution temporelle sur la détection des deux gammas issus de l'annihilation de positons. La solution envisagée, comme dans les expériences au LHC, est d'utiliser un filtre digital optimum sur les signaux échantillonnés des photo-capteurs.

Dans un premier temps, une configuration simple est utilisée, comprenant deux photomultiplicateurs couplés chacun à un cristal de LSO, en vis-à-vis par rapport à une source de Na22 (sources de positons donnant deux Y de 511 keV). Les signaux de chacun des PMT sont mis en forme au moyen d'ASIC OPERA-ROC montés sur deux cartes électroniques connectées à la sortie des PMT. La lecture des signaux est effectuée, soit par un dispositif basé sur l'utilisation d'une carte VME ARS16 développée pour l'expérience DVCS, soit sur un oscilloscope numérique. Les données sont ensuite analysées pour tester la méthode de reconstruction de l'amplitude et de la phase des signaux au moyen d'algorithme de filtrage digital.

Le service de microélectronique

Le groupe comprend actuellement sept personnes : quatre ingénieurs de recherche et trois doctorants en microélectronique, dont l'un est devenu ATER après sa soutenance de thèse.

L'action de cette équipe complète celle du service électronique en assurant l'étude et la réalisation des circuits intégrés spécifiques " full custom " pour les expériences, tant dans le domaine de l'électronique analogique que dans celui de l'électronique numérique et mixte. Cette façon de faire devient de plus en plus nécessaire, tant pour des raisons de performances (bruit, vitesse, dynamique) que pour des raisons de consommation sur les futures expériences à plusieurs centaines de milliers de canaux.

L'équipe est actuellement engagée dans deux réalisations pour l'expérience LHCb, une réalisation pour l'expérience LHC ALICE, deux projets de recherche et développement pour le futur collisionneur linéaire ILC et un projet dans le domaine médical (INNOTEP).

Electronique front-end pour le preshower de LHCb

Le détecteur fournit sur 6000 voies de mesure, des signaux qui sont utilisés pour mesurer l'énergie et pour participer au déclenchement. Les caractéristiques principales de ces signaux sont :

- une forme très variable à faible amplitude, ce qui implique une intégration aussi parfaite que possible ;
- une dynamique de 1000 ;
- une durée supérieure à la période de croisement des faisceaux (25 ns) ;
- une probabilité d'empilement non négligeable qui limite à 25 ns la durée d'intégration.

Nous avons donc été amenés à développer un système à integrateurs switchés entrelacés remis à zéro au bout de 25 ns, avant la fin du signal d'entrée. Le reliquat, perturbateur de la mesure suivante est mémorisé puis éliminé par une soustraction pondérée.

Un premier circuit intégré " full custom " correspondant à huit voies a été réalisé en technologie 0,8 μm BICMOS et testé. La présérie a donné satisfaction. Un problème de durée de vie des photomultiplicateurs a été mis en évidence, contraignant l'équipe à un nouveau développement. Dans cette nouvelle optique, un gain supplémentaire d'un ordre de grandeur a dû être implémenté, ce qui a demandé une nouvelle conception, et occasionné d'importantes difficultés, notamment au niveau des offsets.

Cette nouvelle conception a donné lieu à deux prototypes, l'un mono gain et l'autre bi gain, puis à la fonderie de toute la production (environ 4000 circuits). Tous les circuits ont été produits et testés, les cartes correspondantes dessinées. Le montage sur le site de l'expérience LHCb est prévu à l'automne 2006.



▲ **Figure 4** : l'ensemble very front end pour la lecture du préshower de LHC.

LHCb : unité de décision du déclenchement de niveau zéro

Cette unité a pour but de fournir le déclenchement final de niveau zéro en fonction des résultats des unités de déclenchement des sous détecteurs, des critères de sélection fournis par les physiciens et des paramètres affectés à la prise de données.

Les informations en provenance des sous détecteurs parviennent à l'unité de décision de façon synchrone sous forme d'une information détaillée toutes les 25 ns. Sept cent soixante huit bits résument ainsi chaque événement.

Cette unité transmet ses résultats au superviseur de déclenchement. Elle doit également communiquer avec le niveau de déclenchement supérieur, être paramétrée et contrôlée via le système d'acquisition. Le temps maximum disponible est de l'ordre de 500 ns.

L'unité se présente sous la forme d'une machine de type pipe-line à pas de 25 ns. Les différentes opérations sont effectuées en parallèle dans la mesure du possible. L'ensemble est décrit en langage VHDL, puis synthétisé sur circuit programmable.

Le projet est en bonne voie, le prototype donne toute satisfaction, et la version définitive est prévue pour être opérationnelle fin 2006.

LHC expérience ALICE

Initiée en 1999, l'étude d'un circuit intégré spécifique analogique pour l'expérience ALICE s'est poursuivie.

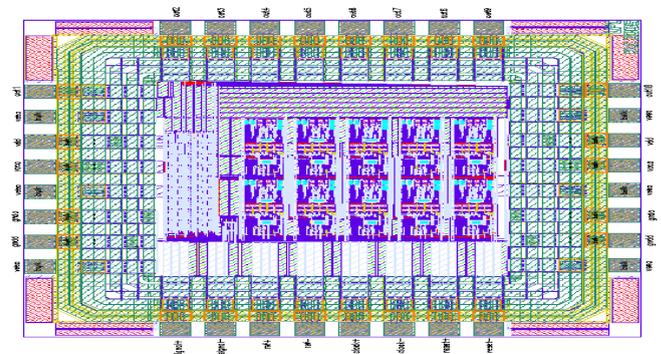
Ce circuit réalise la mise en forme des signaux délivrés par les chambres de type RPC afin de transmettre une information logique à l'électronique de déclenchement. Il met en œuvre une technique de discrimination à double seuil nommée ADULT garantissant une résolution temporelle suffisante. Son temps de réponse est réglable de l'extérieur, et une fonction de non déclenchement sur une durée de 100ns a aussi été implantée. Le signal de sortie est de type LVDS.

Le circuit prototype à 8 voies réalisé en technologie AMS BiCMOS 0,8 μm a été testé avec succès sur banc de test et sous faisceau au CERN, puis approuvé par la Collaboration du Bras dimuon d'ALICE. Le circuit a été produit à 4000 exemplaires, tous testés, en phase d'installation sur le site.

Le projet R&D pour ILC

L'équipe s'intéresse à l'électronique du calorimètre électromagnétique du futur collisionneur linéaire. En collaboration avec le laboratoire de l'accélérateur linéaire d'ORSAY, un projet de recherche et développement de cette électronique de 50 millions de voies a été mis en place. Plusieurs circuits prototypes ont été réalisés, dans le but d'intégrer un système de mesure complet, pour un grand nombre de voies, sur un seul chip.

Des éléments tels qu'amplificateur, intégrateur, comparateurs, ont été réalisés et testés avec succès. Un convertisseur analogique numérique complet, en technologie 0,35 μm a été développé et deux versions prototypes ont été testées avec des résultats prometteurs. Ce projet a fait l'objet de la thèse de doctorat de Samuel Manen, soutenue en octobre 2004. Une forte montée en puissance de ce projet est prévue à partir de l'année 2006, en collaboration étroite avec le laboratoire de l'accélérateur linéaire d'Orsay, pour parvenir à la réalisation d'une première version capable de permettre une prise de données en faisceau test.



▲ **Figure 5** : Layout d'un prototype ADC pour ILC.

Parallèlement le groupe s'est engagé dans une nouvelle collaboration avec l'IRES, cette fois, pour participer à un programme de R&D sur le système de lecture du détecteur de traces à pixels MIMOSA.

Il s'agit d'établir la faisabilité d'implémenter un millier de petits flashs ADC sur chaque circuit MIMOSA, afin de pouvoir convertir les données en parallèle.

Le défi technique est ici la nécessité d'une très faible consommation assortie d'une très faible surface disponible sur la puce. Deux versions prototypes ont été envoyées en fonderie et seront testées en 2006.

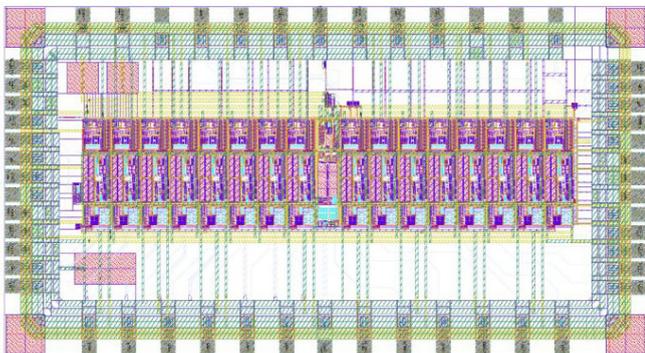
Valorisation dans le domaine médical

Le groupe veut mettre à profit l'expérience acquise au sein des laboratoires de l'IN2P3 sur les photo-détecteurs et leur électronique de lecture, grâce aux travaux réalisés pour les expériences ATLAS, CMS et LHCb.

Cette électronique peut être adaptée à la lecture des signaux fournis par une gamma camera, ou en tomographie par émission de positrons (TEP).

En partenariat avec l'entreprise Hamamatsu, fournisseur de photomultiplicateurs multi anodes, un programme de recherche appliquée a été mis en place, qui consiste à concevoir, à réaliser et à miniaturiser l'ensemble du système de lecture. Ce projet a fait l'objet de la thèse de doctorat de Renaud Gaglione, soutenue en novembre 2005.

Ce travail se poursuit actuellement avec le projet IN2P3 INNOTEPE, et la thèse de doctorat de Pierre Etienne Vert, sur l'électronique de lecture de TEP de nouvelle génération, en collaboration avec l'IPNL. Un premier circuit a été envoyé en fonderie, et un premier prototype d'une voie complète devrait voir le jour avant la fin de l'année 2006.



▲ **Figure 6** : Chip very front end pour lecture photo-détecteur.

L'équipe au sein de l'université et le projet SMMIC

Dans le cadre du projet de structuration en pôles de la microélectronique de l'IN2P3, le laboratoire serait

animateur du pôle " centre ". L'équipe participe également au comité de pilotage du club 035, qui est une association des micro électroniciens de l'IN2P3 mettant en commun leur développement sur la technologie CMOS et BICMOS 0,35 μm du fondeur AustriaMicroSystem.

Le groupe participe à des actions d'enseignement, notamment au MASTER de microélectronique, et le fait que Samuel Manen et Renaud Gaglione, tous deux titulaires de ce MASTER aient soutenu leur thèse au laboratoire, est une satisfaction pour l'équipe.

Pour aller plus loin et être plus efficace, un service commun pour l'université est indispensable : c'est le projet SMMIC "Service des Moyens de Microélectronique Inter composantes de Clermont-Ferrand". Ce projet vise à doter les différents organismes d'enseignement et de recherche intéressés par la microélectronique d'un service commun, unique et performant.

Tous les partenaires du projet ont été d'accord sur le principe de fonctionnement de ce centre, à savoir la mise en commun des matériels, des logiciels, des bibliothèques, des compétences, et surtout du personnel spécialisé.

Pratiquement, ce service doit permettre à tous les utilisateurs de disposer des mêmes outils, du même serveur de licences, et de profiter des expériences de tous et de l'assistance d'un personnel spécialisé et indépendant de toute composante.

La structure détaillée du service a été définie et adoptée, et des locaux spécifiques lui ont été alloués au Département de Physique. Un budget a été obtenu pour 4 ans et le service a démarré effectivement en 2005. Les demandes de personnel indispensable à la vie du service à long terme qui conditionnent le démarrage effectif du service, sont en cours.

Le service de mécanique

Présentation générale

Le service de mécanique est chargé de la conception et de la réalisation de détecteurs de particules et des appareillages associés pour les diverses équipes de recherche du laboratoire. Il procède aussi à l'installation et à la mise au point des détecteurs réalisés. Il dispose pour ces études d'outils I.A.O., C.A.O., F.A.O. et d'un atelier pour la réalisation de prototypes et la mise au point.

En dehors des travaux de réalisation courants et de maintenance pour la plupart des équipes du laboratoire, le service a travaillé ces dernières années essentiellement pour des expériences installées sur la future machine LHC au CERN.

Ces activités s'inscrivent dans le cadre de collaborations internationales réunissant de nombreux laboratoires. La réalisation de ces vastes projets requiert un échange fréquent d'informations techniques, lequel est facilité par la mise en place d'outils informatiques de plus en plus performants (communication et transfert de fichiers informatiques via Internet).

Les personnels du service, tant ingénieurs que techniciens, sont amenés à se déplacer sur les sites d'expériences pour réaliser les montages et participer aux réunions de collaboration.

Sur le calorimètre à tuiles de l'expérience ATLAS, après la conception et la réalisation du système des tiroirs de lecture dont la production est aujourd'hui terminée, l'équipe a poursuivi les améliorations de plusieurs outillages de maintenance comme le système d'insertion et d'extraction des tiroirs. L'équipe a aussi participé aux opérations d'installation au CERN des ensembles.

Sur le système de déclenchement de l'expérience ALICE, le travail a concerné essentiellement la résolution des problèmes d'intégration de l'électronique frontale et des services associés : connexion, positionnement et dimensionnement des cartes électroniques sur les chambres RPC, cheminement des câbles signaux et des câbles d'alimentation basse tension depuis les chambres de détection jusqu'aux baies d'électronique.

Pour le calorimètre de l'expérience LHCb, les études et réalisations ont porté sur l'intégration du système de lecture de lumière associé aux photomultiplicateurs multivoies. La production est aujourd'hui quasi terminée et le montage est en cours.

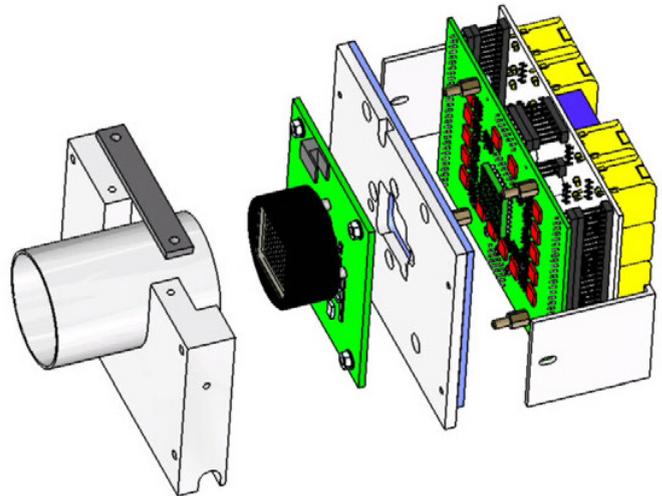
En dehors de ces activités pour les grandes expériences de physique fondamentale, le service réalise également des appareillages pour des applications en bio-médical, ou destinés à la datation par thermoluminescence.

Moyens techniques

Le service dispose de moyens de réalisation tant au niveau bureau d'étude qu'en fabrication. Le bureau d'étude est équipé du logiciel CATIA V5R13 associé au système de gestion de données Smarteam. La performance de ces outils nous permet d'optimiser la conception et de simuler les montages ou la fabrication avant réalisation.

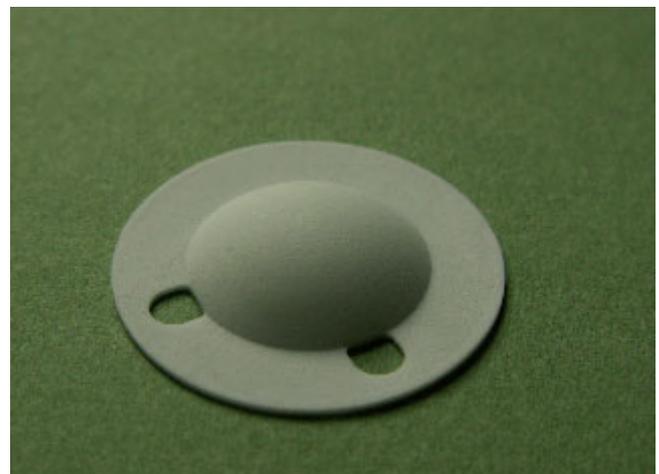
L'atelier, en plus de machines-outils traditionnelles (une fraiseuse et un tour) dispose d'un centre d'usinage CINCINNATI, avec un directeur de commande Acramatic 2100 (Siemens) pilotant jusqu'à 4 axes (3 installés aujourd'hui). L'usinage est facilité par un palpeur d'outil Renishaw TS27 et par

un palpeur de reprise Renishaw MP12. Cette machine permet la fabrication de pièces délicates en unitaires et en petites séries.

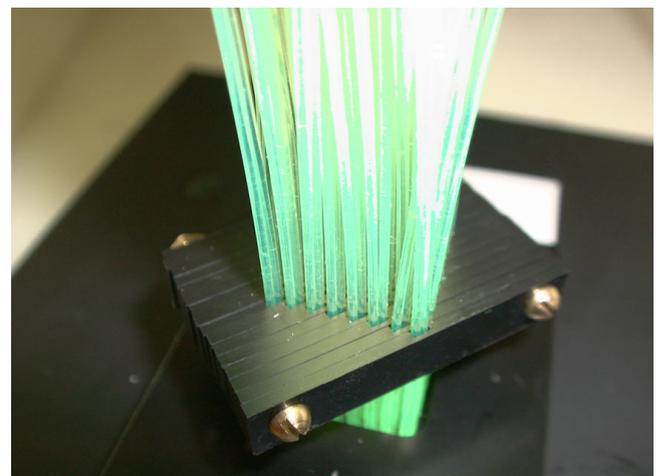


▲ **Figure 7** : éclaté du système de lecture des torons de fibres pour le Preshower LHCb (vue CATIA).

Exemples de réalisation



▲ **Figure 8** : fantôme en RMI 457 pour PCSV \varnothing ext 30 mm, épaisseur du voile 0,56 mm, usiné sur commande numérique.



▲ **Figure 9** : LHCb, tests d'assemblage en toron des fibres côté PM.



▲ **Figure 10** : LHCb, assemblage au CERN des boîtes "PMT". Torons de fibre en attente des systèmes de lecture.

Le service d'informatique

Le service comprend treize personnes : huit affectées au fonctionnement général, quatre mises à disposition d'équipes de recherche et une assurant le suivi de l'informatique des services techniques.

L'architecture informatique est en constante évolution. Les principales nouveautés concernent le développement des clusters, l'implication dans les projets DATAGRID puis EGEE et le positionnement d'un noeud de grille Tier2 de LHC, et de la grille régionale AUVERGRID.

Aide à la physique

Trois ingénieurs effectuent du développement de logiciel " off line " afin de préparer l'analyse des données des futures expériences LHC et ILC.

Un ingénieur est spécialisé dans les développements " on line " pour les équipes ayant des besoins dans ce domaine.

Les serveurs

Plusieurs équipes de recherche du laboratoire ont souhaité disposer de moyens de calculs propres leur permettant de réaliser les développements, les mises à jour, les tests et de petites productions de calcul. Pour cela, plusieurs fermes de machines sous LINUX ont été installées.

Les postes de travail

L'équipement standard évolue, passant du microordinateur de bureau soit au portable qui se connecte à une station d'accueil, soit à un client léger, ce qui rationalise les moyens, et limite les interventions (gestion, paramétrage, panne). Le système d'exploitation standard est LINUX, ce qui a conduit à mettre en place un serveur CITRIX pour accès aux outils de bureautique.

Les équipements généraux

Environ 60 serveurs, un système de stockage de 2To et un robot de sauvegarde sont installés dans une salle machine.

Une seconde salle machine a été mise en place pour accueillir le cluster de 200 biprocesseurs, les 10To de stockage et le robot de sauvegarde .Cet équipement constitue le nœud clermontois d'EGEE et Tier2 de LCG.

Il a fallu procéder à l'acquisition de 2 onduleurs 60KVA et 2 climatisations de 32KW chacune pour faire fonctionner cet ensemble dans de bonnes conditions.

Le réseau local est construit autour d'un cluster de commutateurs rapides supportant les serveurs, auxquels sont reliés par un trunk 8 Gbps 2 châssis de commutation gigabit recevant les postes de travail. Le backbone et les serveurs fonctionnent au Gigabit. La connexion à RENATER se fait à 1 Gigabit/s via une fibre directement connectée aux équipements de RENATER.

Services, valorisation et relations extérieures

Le service est fréquemment sollicité pour participer à différentes manifestations (conférences, rencontres, enseignements, salons) et il accueille régulièrement des stagiaires.

Le service informatique du LPC est chargé de la coordination, de la supervision, de la grille régionale AUVERGRID, reliée à EGEE.

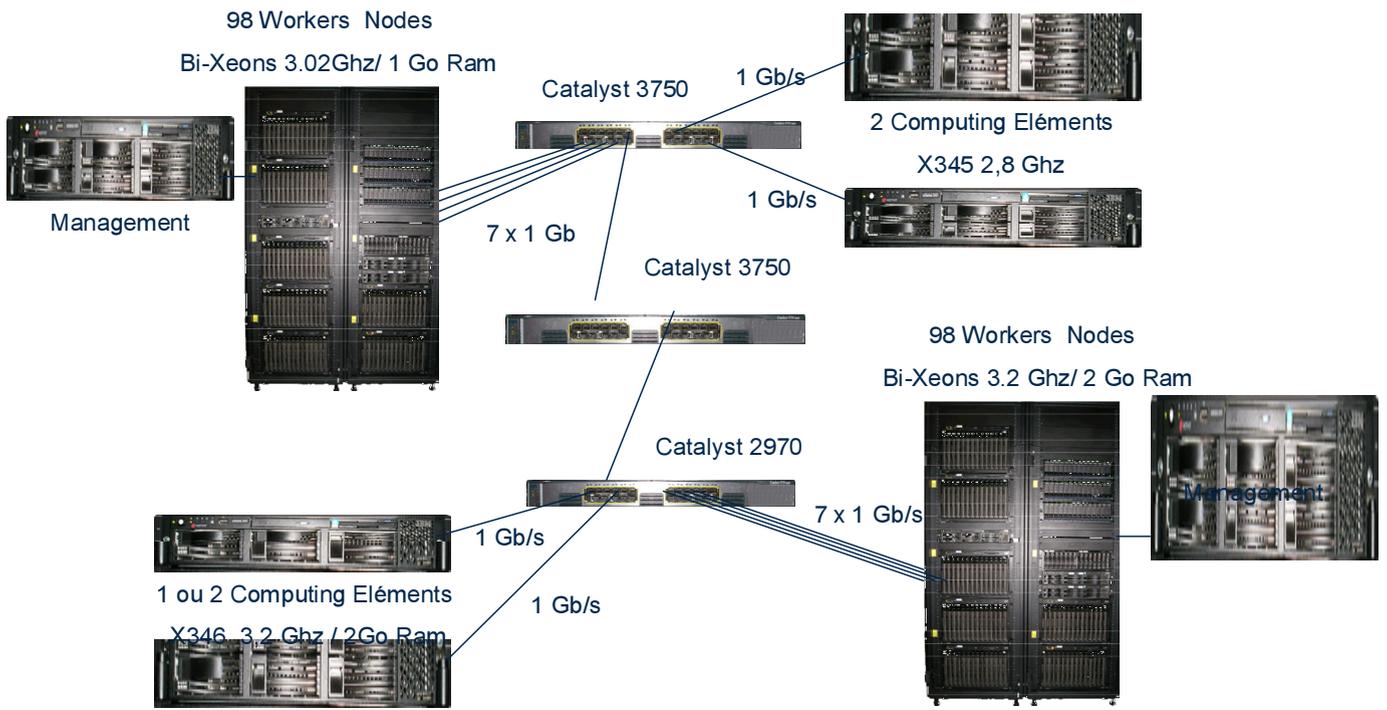
Le LPC et la grille de calcul

Le Conseil régional Auvergne a lancé en 2002 un appel à " grands projets régionaux " auquel le LPC a répondu en portant un projet de grille de calcul régionale : Auvergrid.

Le projet n'a pas été retenu en première lecture, mais le Conseil Régional a octroyé une subvention au LPC pour qu'il puisse s'équiper et se positionner sur les grilles européennes.

- Appel d'offre lancé fin 2003,
- Acquisition début 2004 de 98 biprocesseurs, de 10To de stockage et d'un robot de sauvegarde et équipement d'une salle machine,
- Installation, mise en route, paramétrage et transfert de compétences au printemps et début de l'été 2004,
- Tests pendant l'été 2004,
- Début de la production en septembre 2004 sur EGEE et LCG.

En 2005, un nouvel appel d'offre a permis l'équipement d'une nouvelle salle et l'acquisition de 98 biprocesseurs supplémentaires.



▲ Figure 11 : Nœud LPC.



Le service administratif et la documentation

Le service administratif

Le service administratif est un véritable prestataire de service aux équipes scientifiques et techniques du laboratoire. Il joue également un rôle d'interface entre le laboratoire et les différents acteurs économiques qui l'entourent, l'IN2P3, la Délégation Rhône Auvergne du CNRS, l'Université Blaise Pascal et les fournisseurs. Un service qui évolue faisant face aux nouveaux enjeux et à la modernisation de la gestion des unités de recherches, s'inscrivant dans la LOLF (loi organique relative à la loi de finances).

L'aide à la décision

Ce service permet à la direction du laboratoire d'avoir une vision stratégique tant sur le plan financier que sur le plan de la gestion du personnel, à partir de données, de statistiques retracées dans des tableaux de bords.

La gestion des ressources humaines

L'activité du laboratoire fait appel à des compétences variées qui nécessitent la présence de 135 personnes, dont 98 permanents, enseignants chercheurs, chercheurs, IATOSS, ITA, TPN, et 37 non-permanents, doctorants, ATER, CDD, visiteurs étrangers.

La gestion des ressources humaines est assurée par la secrétaire de direction. Cette gestion se concrétise d'une part par des actes administratifs, gestion des absences, congés annuels et absences maladies, constitution des dossiers de carrière et des dossiers d'avancement, demandes de moyens en personnel, et d'autre part par des actions d'information sur les statuts et les projets de carrière, ainsi que la préparation aux concours et sélections professionnelles. Les informations relatives à cette gestion sont centralisées dans le logiciel Labintel.

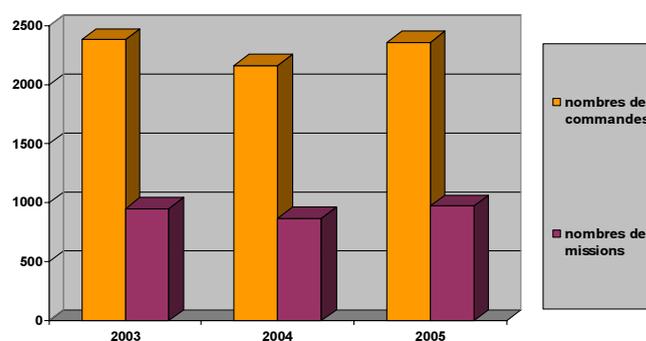
La gestion financière

Le pôle financier est composé de 5 personnes. Dans un contexte financier en perpétuelle évolution,

le service financier assure la gestion des achats, la préparation des missions des agents en France et à l'étranger, le suivi juridique et financier des contrats européens et tout récemment des Contrats de l'Agence Nationale de la Recherche. Ce service fournit également des données financières à la direction et assure un contrôle de gestion de l'activité.

La gestion est effectuée par le biais du progiciel de gestion XLAB qui permet de gérer l'ensemble des crédits perçus par le laboratoire.

Le directeur bénéficie pour exécuter le budget alloué au laboratoire d'une délégation de signature pour les actes d'achats de biens et de services, ainsi que pour les missions tant sur le territoire métropolitain qu'à l'étranger.



Les relations internationales

La recherche s'inscrit dans un contexte marqué par des enjeux scientifiques importants, la complexité et le coût des équipements de haute technologie.

Les programmes scientifiques de l'IN2P3 sont, dans leur grande majorité, conduits dans le cadre de collaborations internationales. L'accueil de chercheurs étrangers et les déplacements à l'étranger peuvent bénéficier de différentes sources de financement.

Au niveau administratif, l'activité internationale s'est traduite, au cours de l'année 2005, par la gestion de deux PICS, programmes internationaux de coopération internationale, et aussi par l'accueil au laboratoire de 3 chercheurs associés, 2 professeurs invités, 2 boursiers sur contrats européens.

L'activité internationale, c'est aussi la gestion de 3 contrats européens du 6^{ème} PCRD : EGEE, EMBRACE et DIMUON NET, soit 240 keuros.

Les services généraux

Le laboratoire est hébergé sur le site des Cézeaux par l'Université Blaise Pascal. A ce titre, il bénéficie des services généraux de l'Université en matière de fourniture de fluides et de maintenance des bâtiments.

Au niveau du laboratoire, cette activité recouvre l'affranchissement et la distribution du courrier, la gestion des fournitures administratives, la gestion des véhicules administratifs et la réalisation de travaux d'entretien courant.

La documentation

Les activités du service, assurées par deux personnes, sont multiples.

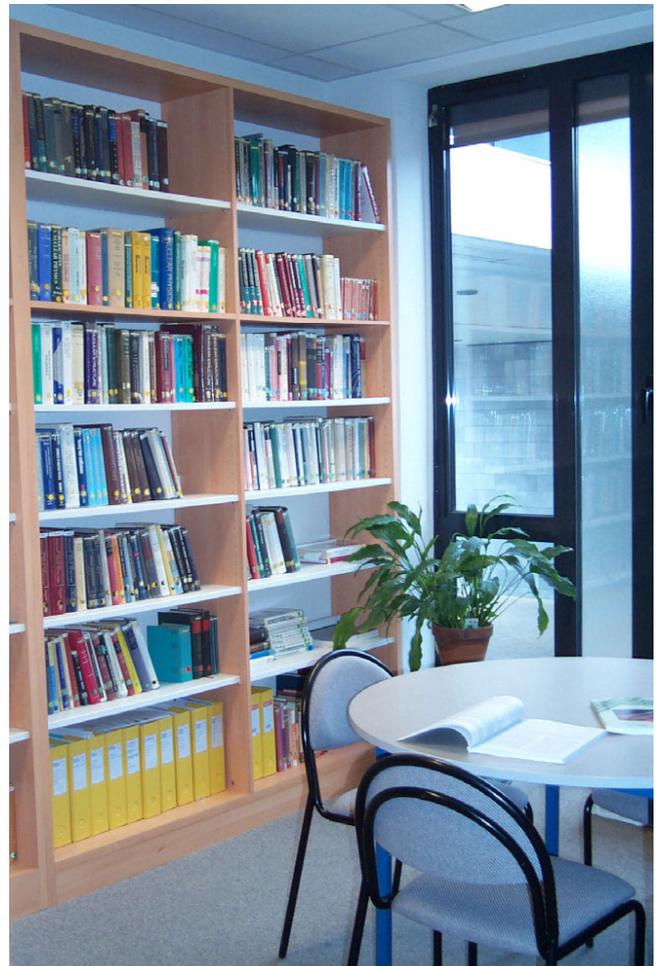
La bibliothèque

Le service documentation assure, avant tout, la gestion et la diffusion de la production scientifique des chercheurs, l'acquisition d'ouvrages (25 à 30 par an) et actes de conférences, le renouvellement des collections de périodiques (35) en version papier et maintenant électronique (Elsevier); il participe au réseau documentaire des bibliothèques de l'IN2P3 (17 bibliothèques) permettant l'interrogation de la nouvelle base de données du fonds documentaire KOHA mise en place en 2005 et de la base des publications de l'IN2P3 accessible sur le WEB, HAL-IN2P3 ; ainsi 1295 ouvrages et l'ensemble des publications des chercheurs ont été saisis pour le laboratoire. Le service de documentation se consacre aussi aux recherches bibliographiques facilitées, entre autre, par le réseau des documentalistes de l'IN2P3 et par les services de l'INIST ; de la sorte peuvent être fournis aux chercheurs, des documents et articles divers inaccessibles ou introuvables dans les bases avec lesquelles nous travaillons.

Le secrétariat scientifique, la communication et le Master 2 de Physique

Chaque année, le service contribue également à la mise en forme de thèses et de nombreux articles scientifiques : saisie, insertion de schémas, dessins, images ou photos. Pour cela, il dispose d'un scanner à plat, d'un scanner à diapositives et de logiciels spécifiques. Une activité importante est la mise à jour de la production scientifique du laboratoire pour la

production de documents comme le rapport d'activité ou le rapport pour le quadriennal. Une autre activité du service est la participation aux actions de communication organisées par le laboratoire, les réalisations étant liées à l'activité et à la valorisation du laboratoire : dessins, posters et autres illustrations à caractère scientifique. La gestion de la photothèque de l'IN2P3, base d'images des laboratoires, est également à la charge du service. Le responsable du M2 de physique, chercheur au laboratoire est assisté par une personne du service dans l'organisation de sa mission.



▲ La bibliothèque.



***L'organisation
et les moyens
du laboratoire***



L'organisation et les moyens du laboratoire

L'organisation du laboratoire

Le Directeur du laboratoire prend les décisions. Il s'appuie pour cela sur une équipe de direction, un conseil de laboratoire, un conseil scientifique et une commission du personnel.

Les équipes de physique, regroupées suivant les thématiques, sont animées par un responsable et ont chacune un correspondant informatique. Les services ont également un responsable et les personnels sont affectés au service qui les répartit sur les projets du laboratoire. Des réunions de responsables d'équipes et de service alternent mensuellement avec les conseils de laboratoire.

Des commissions transversales, animées par un responsable, permettent sur des sujets communs de faire dialoguer les équipes et harmoniser le fonctionnement. Enfin des responsabilités individuelles ont été confiées à des personnels.

Le conseil scientifique comprend des membres extérieurs et des membres du laboratoire. Il s'est réuni trois fois sur chacune des thématiques et a donc examiné toutes les activités de l'unité. La commission du personnel donne un avis sur toutes les questions concernant la carrière des personnels techniques et administratifs.

Les moyens financiers

Les crédits successifs du laboratoire sont regroupés dans le tableau 1 par origine de crédits et par nature. On peut constater que la principale source de financement est le CNRS/IN2P3 et que la Région et l'Europe ont contribué de façon non négligeable au budget du LPC. Le budget de l'UBP correspond à l'attribution du Ministère. Il a subi une légère augmentation au début du quadriennal en 2004.

L'entretien des locaux et les fluides, financés par l'UBP, ne figurent pas dans ce tableau. Le total s'élève à environ 100 k€ par an. La somme de 350 k€ pour l'extension du LPC, en provenance du CNRS, ne figure pas non plus dans les tableaux.

On peut noter que l'attribution totale a beaucoup varié en 2004. Ceci est dû aux programmes dans lesquels la construction des détecteurs est passée par un maximum. Les budgets sont donc difficilement

comparables d'autant plus que la définition du soutien de base non affecté a changé en 2005 à l'occasion du passage à la gestion par projets.

Si on se place à périmètre constant en intégrant fonctionnement, missions et équipements, le budget attribué par l'IN2P3 au LPC est sensiblement constant sur la période et de l'ordre de 600 k€.

En ce qui concerne le budget affecté aux programmes, il comprend le coût de construction des expériences et de R&D, ainsi que les missions à partir de 2005. Ces dernières constituent une partie importante des dépenses. Elles sont notamment nombreuses pour le CERN en raison du programme au LHC.

Les budgets attribués par la Région et l'Europe ont servi essentiellement à réaliser le projet de grille de calcul qui constitue pour le LPC un accroissement très important de ses infrastructures informatiques.

Les schémas 1 à 3 représentent pour l'année 2005 les différentes sources de crédits, le détail du budget de l'IN2P3 et la répartition du budget affecté aux programmes regroupés suivant les thématiques du laboratoire.

Les personnels

Les effectifs du LPC sont regroupés dans le tableau 2 pour les années 2002-2005 afin de suivre l'évolution sur une période de 4 ans. Le schéma 4 montre la répartition correspondant à la situation fin 2005.

Les effectifs en personnel permanent sont restés globalement stables ; par contre, on a un accroissement de personnel en CDD payés par le CNRS mais également sur les projets européens ou régionaux. Ceci est une nouvelle donnée qu'il faut intégrer dans la politique globale de recrutement. Pour les expériences LHC nous avons eu notamment du personnel CDD niveau T recruté pour le montage et la construction. Les services rendus par ce personnel, que je tiens à remercier, ont été très utiles et appréciés de tous. Des CDD de plus longue durée niveau ingénieur ont été recrutés. Par contre il faudra rester très vigilants et veiller à ce que leur départ ne crée pas un vide et un manque subit de compétences.

Les physiciens

Le rapport entre chercheurs et enseignants chercheurs est toujours de l'ordre de 1/3 pour 2/3. Ceci est une caractéristique du LPC parmi les laboratoires de l'IN2P3 qui ont plutôt un nombre de chercheurs plus important. Nous avons fin 2005, parmi les 53 physiciens permanents, 25 rang A (professeurs ou directeurs de recherche) et 28 rang B (maîtres de conférence ou chargés de recherche) et au total 33 sont habilités à diriger des recherches. Nous avons eu un recrutement de chercheur dans ALICE et un départ en retraite avec éméritat. Nous avons bénéficié de post doc CNRS en 2005 pour ATLAS.

En ce qui concerne les enseignants chercheurs, nous avons bénéficié d'une création de poste pour l'imagerie médicale qui sera comptabilisée en 2006. La baisse du nombre d'enseignants chercheurs, notamment au niveau PR, est due au fait des non renouvellements d'éméritat, et consécutive à des redéploiements intervenus lors du précédent quadriennal. Nous sommes dans une période où de nombreux départs à la retraite ont lieu ou vont avoir lieu. Nous avons pu en 2005, malgré la baisse des effectifs en sciences, conserver tous les postes dans la section. Quatre sont ouverts au concours en 2006 et deux ont été mis provisoirement en ATER. Une étude prospective des départs montre que 10 physiciens et 10 ITA seront à renouveler d'ici la fin du prochain quadriennal en 2011. Cela correspond à 20 % de l'effectif du LPC.

La répartition suivant les thématiques de recherche, représentée sur le schéma 5, montre que les forces sont également réparties entre les deux thématiques de physique fondamentale, le groupe théorie étant lui plus impliqué dans la physique des particules. Le pluridisciplinaire représente environ un quart du potentiel du LPC autour de quatre activités fortement liées aux applications médicales.

Les doctorants jouent un rôle essentiel dans la production scientifique et dans la vie des équipes. Malgré la baisse générale des effectifs en sciences et notamment en Physique nous avons pu, grâce à des étudiants extérieurs, revenir après la baisse de 2003 à un nombre plus caractéristique des années précédentes. Le rôle de l'Ecole Doctorale a été fondamental dans ce domaine. On a eu pendant cette période un nombre significatif de financements hors Ministère : BDI CNRS-Région et pays en voie de développement ainsi que des bourses de la Région sur le projet Auvergrid.

Les ingénieurs, techniciens et administratifs

En ce qui concerne le personnel technique, nous avons eu un recrutement au CNRS en informatique pour un départ en retraite dans le service administratif. Ce dernier sera remplacé par un recrutement en 2006. Parmi le personnel universitaire, nous avons eu un départ dans le service administratif qui a été remplacé par l'Université.

Le groupe de microélectronique va être renforcé par un poste de MCF ouvert à la 63^{ème} section, ce qui permettra son implication dans l'enseignement au Département de Physique.

Pendant cette période, nous avons recruté des personnels, payés sur CDD ou vacations, qui ont participé à la construction des détecteurs pour le LHC. Nous avons eu 58 mois en 2004 et 79 en 2005. Nous avons également pu recruter deux CDD ingénieurs en informatique sur les projets européens ou régionaux.

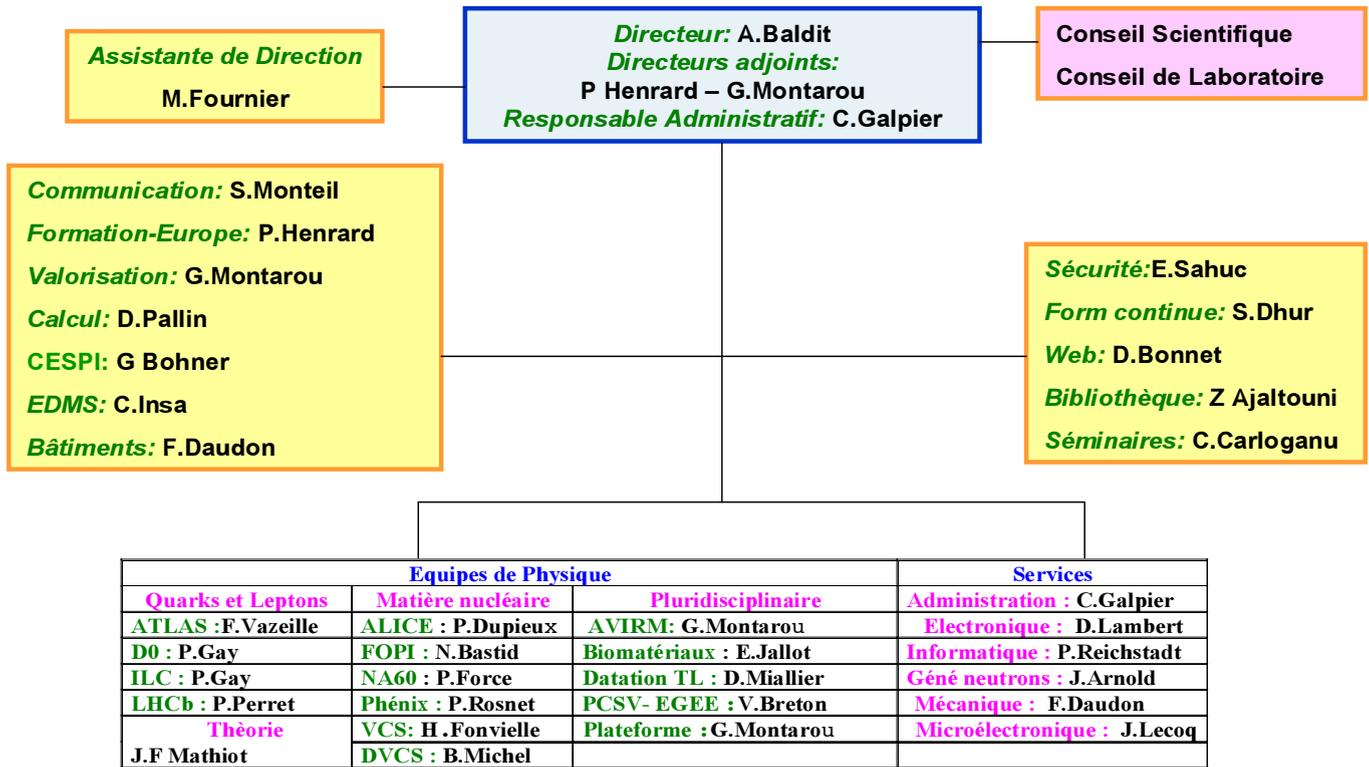
Les schémas 6 et 7 représentent la répartition des personnels techniques par métier et par corps.

Les personnels techniques sont répartis sur les projets. Une cellule locale de suivi de projet discute régulièrement la répartition suivant les demandes des responsables d'équipes et coordonne ainsi l'ensemble, notamment pour les interventions au LHC. Cela permet d'alimenter au mieux les bases de données pour l'IN2P3.

La formation permanente

Les actions de formations sont indispensables pour toutes les catégories de personnels, aussi bien pour l'acquisition de compétences techniques que pour des capacités de management. Le bilan est pour 2004 de 32 stages impliquant 43 agents et pour 2005 de 17 stages destinés à 27 agents. L'année 2004 a été particulièrement fournie dans le domaine de la formation permanente en raison de nombreux stages de C++ organisés pour les physiciens. Egalement en 2004, en raison de la préparation du document contractuel de sécurité, de nombreux stages ont été organisés. Le tableau 1 résume les actions pour les différentes catégories de personnel et le nombre de participants.

Organigramme fonctionnel du LPC



Crédits 2003

Nature crédit	CNRS	UBP	Europe	Région	Autre	Total
Soutien de base	542.8	79.9				622.7
Programmes	361.3		149.4	150		660.7
Equipements	56.4	38.2				94.6
Vacations	57.7					57.7
Sécurité	10					10
Rel Internat	28.3					28.3
GDR	4					4
Divers	19.3				15.2	19.3
Total	1079.8	118.1	149.4	150	15.2	1512.5

Crédits 2004

Nature crédit	CNRS	UBP	Europe	Région	Autre	Total
Soutien de base	570.7	75.6				646.3
Programmes	743.3		474	140		1357.3
Equipements	20	49.9				69.9
Vacations	71					71
Sécurité	11.5					11.5
Rel Internat	30					30
GDR	2.8					2.8
Divers					54.5	54.5
Total	1449.3	125.5	474	140	54.5	2243.3

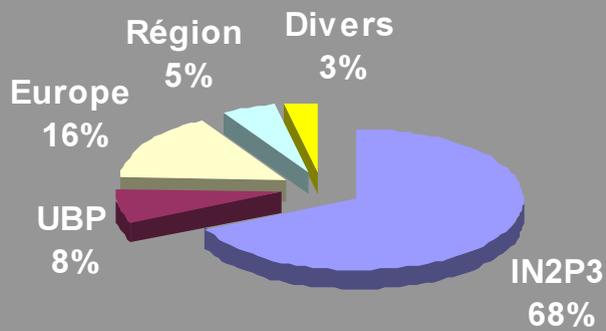
Crédits 2005

Nature crédit	CNRS	UBP	Europe	Région	Autre	Total
Soutien de base*	286	85				341
Programmes	605		250	80		935
Equipements	60.7	42			22	124.7
Vacations	53.5					53.5
Sécurité	13.2					13.2
Rel Internat	20					20
GDR	50					50
Divers					23	23
Total	1088.4	127	250	80	55	1600.4

* En 2005 les missions sont passées dans les programmes

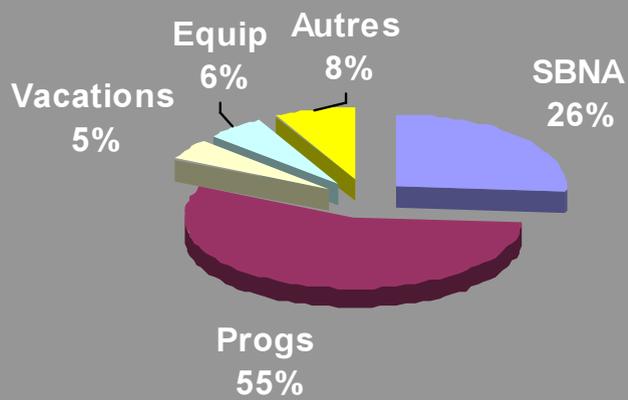
▲ **Tableau 1** : Les crédits successifs du LPC.

Budget du LPC en 2005



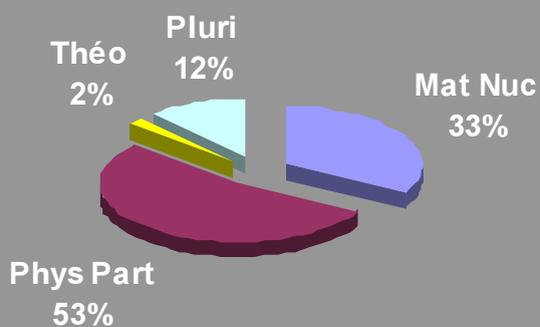
▲ Schéma 1

Répartition du budget IN2P3



▲ Schéma 2

Répartition du budget des programmes



▲ Schéma 3

Catégorie	2002	2003	2004	2005
<i>Personnel CNRS</i>				
DR	7	7	7	8
CR	10	10	11	10
Post Doc	1	-	2	1
IR	11	11	11	10
IE	5	6	6	6
AI	10	11	11	12
T	10	10	10	10
AJT	1	2	2	2
<i>Personnel Université</i>				
PR	20	20	16	17
MCF	20	20	19	18
ATER - Post doc	3	2	1	4
IR	1	1	1	1
IE	1	1	1	1
T	3	3	3	3
<i>Personnel non permanent</i>				
CDD CNRS*	1,1	2,25	4.83	6.58
CDD Autres*	-	-		0.33
Etudiants	22	17	26	24
<i>Physiciens</i>				
Physiciens	57	57	53	53
ITA – ITARF	42	45	45	45
TOTAL	97	102	98	98

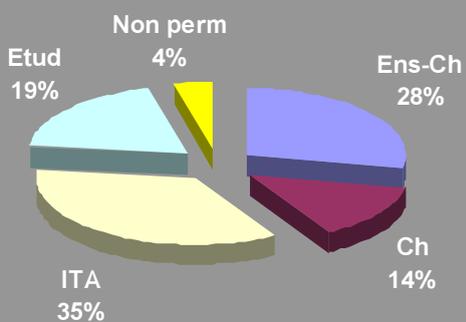
* Equivalent temps plein

▲ **Tableau 2** : Evolution du personnel du LPC.

Métiers	2004		2005	
	Nb de stages	NB d'agents	Nb de stages	Nb d'agents
Informatique	5	8	6	8
Mécanique	4	6	1	1
Electronique	5	5	2	3
Micro élec	3	2	3	6
Administration	7	6	1	3
Physiciens	8	16	4	6
TOTAL	32	43	17	27

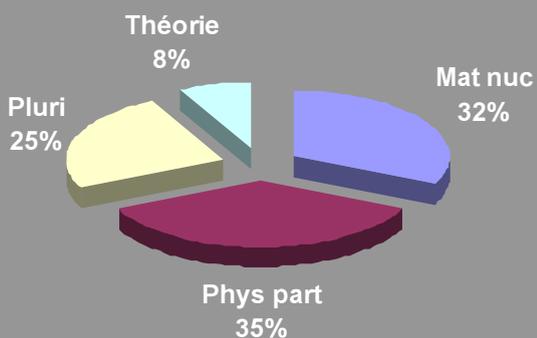
▲ **Tableau 3** : Action de formation permanente.

Effectifs du LPC en 2005



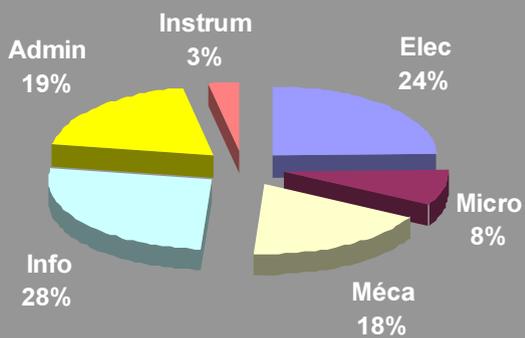
▲ Schéma 4

Répartition des physiciens



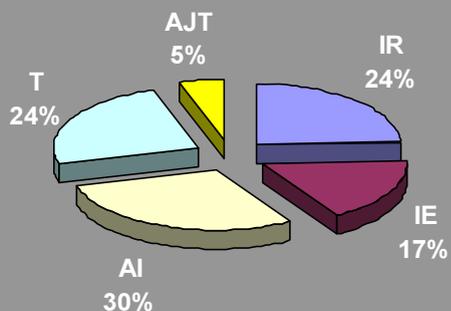
▲ Schéma 5

Répartition des ITA par métiers



▲ Schéma 6

Répartition des ITA par corps



▲ Schéma 7



**Le LPC
et l'Enseignement
Supérieur**



Le LPC se singularise au sein de l'IN2P3 par le fait qu'il présente l'une des plus fortes proportions d'enseignants chercheurs relativement au nombre de chercheurs. L'implication du laboratoire, qui est une unité mixte (Université Blaise Pascal et IN2P3) est donc très importante dans l'enseignement. Les trente six enseignants-chercheurs du LPC exercent principalement leurs activités dans les composantes de l'UBP :

- Vingt huit enseignants sont au département de physique,
- un est à l'IUT de Montluçon,
- un est au CUST (école d'ingénieur de l'UBP),
- deux sont à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM).

Quatre enseignants ont leur poste à l'Université d'Auvergne dans deux départements de l'IUT à Clermont-Ferrand.

L'enseignement à l'UBP est, depuis la rentrée 2004, structuré selon les normes européennes : Licence, Master, Doctorat (LMD). La formation est constituée par des Unités d'Enseignement (UE), qui sont les unités élémentaires d'acquisition des connaissances. Chaque unité d'enseignement a une valeur en crédits et correspond au nombre d'heures de travail que l'étudiant doit fournir pour obtenir son unité.

La licence

La licence comporte trois années, c'est à dire six semestres dont chacun est affecté de 30 crédits.

Les enseignants du laboratoire ont participé à l'élaboration des programmes des UE fondamentales et ont proposé des UE libres ouvertes à un large éventail d'étudiants. La présence d'enseignants du laboratoire en licence permet d'informer les jeunes étudiants sur le travail de recherche et lorsque le cours s'y prête, d'illustrer certains chapitres par la présentation de détecteurs construits au laboratoire.

Les masters

Selon la structure LMD, les masters sont composés de quatre semestres. La première année (M_1) est une formation générale conduisant à plusieurs parcours en Masters Recherche (MR) ou en Masters Professionnels (MP).

Masters Recherche

Le laboratoire est tout naturellement impliqué dans le Master physique et en particulier dans les deux options : physique subatomique et interaction matière et rayonnements. Ces enseignements donnent les bases essentielles pour s'intégrer dans les diverses équipes de recherche du LPC ou dans d'autres laboratoires d'accueil du master physique, à l'UBP ou sur d'autres sites de recherche.

Masters Professionnels

Des enseignants du laboratoire se sont fortement impliqués pour créer et dynamiser les Masters Professionnels, en particulier celui de « Physique et Technologies des Rayonnements » (PTR), qui est une composante de l'IUP « Génie des Systèmes Industriels » (GSI). Ce master professionnel propose, en quatre semestres (M_1 , M_2) d'acquérir des compétences pour produire, détecter, se protéger et utiliser des rayonnements ionisants.

La construction de détecteurs utilisant des technologies très pointues, en particulier pour le LHC, fait que le laboratoire a une grande expertise dans de nombreux domaines et en particulier en micro-électronique. Afin de pérenniser ce savoir faire, le LPC a contribué à la création d'un M2 professionnel de Micro-Electronique Analogique et Micro-systèmes (MEAM).

La préparation aux métiers de l'enseignement

Les enseignants du laboratoire sont très impliqués dans la préparation aux concours de l'enseignement secondaire au niveau de l'IUFM, du CAPES et de l'agrégation. Ces formations demandent un investissement important pour préparer efficacement les étudiants aux concours nationaux. Ces dernières années, les formations scientifiques de l'UBP ont obtenu un taux élevé de réussite aux concours.

Les formations en écoles d'ingénieurs et en IUT

Un enseignant chercheur du LPC est impliqué dans le département de génie mécanique de l'IUT de Montluçon. A Clermont-Ferrand, l'IUT est rattaché à l'Université d'Auvergne. Des enseignants du LPC interviennent dans les départements de «mesure physique» et de «maintenance industrielle». Finalement, un maître de conférence du LPC enseigne dans le département de «génie physique» du CUST.

La formation doctorale

Il s'agit là du dernier cycle du LMD, c'est-à-dire le doctorat d'université. Pour le laboratoire, cette formation par la recherche et pour la recherche est sa mission vitale, car c'est parmi les jeunes docteurs que se trouvent les chercheurs de demain.

L'Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales regroupe les mathématiques, la physique, la chimie et les sciences de la terre. Les doctorants sont recrutés parmi les meilleurs éléments du master recherche et également, mais plus rarement, parmi les étudiants du master professionnel PTR.

Nous regrettons que la formation par la recherche soit aussi peu reconnue dans le monde industriel car ceci nous prive d'un flux important d'étudiants ayant des diplômes d'ingénieurs. Cette reconnaissance permettrait d'avoir en thèse des étudiants ayant des formations diversifiées, ce qui serait une richesse pour la recherche. L'entreprise pourrait bénéficier d'éléments formés par la recherche se montrant novateurs dans le monde industriel.

Si le LMD tend à homogénéiser les formations en Europe, il reste encore du chemin à parcourir pour que les mentalités changent et en particulier pour que la formation par la recherche soit reconnue en France au même niveau que dans beaucoup de pays européens.

Pour la période juin 2003-juin 2005, 19 thèses ont été soutenues dont deux habilitations. Actuellement 23 doctorants préparent leur thèse au LPC. Pendant cette même période 5 Diplômes de Recherche Technologique (DRT) réalisés par des étudiants de l'IUP PTR ont été soutenus.

La découverte de la recherche en laboratoire

Le LPC accueille de nombreux stagiaires venant des IUT, des BTS ou des écoles d'ingénieurs. Souvent ces étudiants ont une formation technique et sont rapidement opérationnels pour mener à bien, jusqu'à leur réalisation, des projets pour les équipes. Le laboratoire offre à ces stagiaires des sujets attrayants,

car souvent à la pointe de la technologie et un encadrement de haut niveau.

Des étudiants en physique à l'université ou dans les écoles d'ingénieurs, à divers niveaux de leurs études, souhaitent faire des stages en laboratoire pour se faire une idée plus précise sur le travail de chercheur et pour appréhender des sujets de recherche. Pendant leur stage, ils doivent mener à bien un travail ayant rapport avec la recherche faite dans l'équipe.

Les stages Janus mis en place par l'IN2P3 sont destinés à des étudiants de L₂ et de L₃. D'une durée de deux mois, ils permettent aux étudiants d'avoir un premier contact avec les laboratoires. Ceci peut, par la suite, les encourager à orienter leurs études selon des parcours conduisant au métier de chercheur.

Globalement, à titre d'exemple, 13 stagiaires étaient présents dans le laboratoire pendant l'année 2005.

La participation des membres du laboratoire à la vie de l'université

Les chercheurs et enseignants chercheurs participent à la vie de l'UBP et assument des responsabilités à divers niveaux :

- direction de l'école doctorale,
- responsabilité du master de physique,
- responsabilité dans le master pro de l'IUP GSI de la filière PTR et des deux années M₁ et M₂,
- responsabilité du M_{2pro} MEAM,
- responsabilité de la plateforme micro-électronique (SMMIC),
- responsabilité de la préparation au CAPES de physique chimie,
- responsabilité de la préparation à l'agrégation de physique,
- présidence du département de physique,
- direction de l'IUP GSI,
- direction adjointe du CUST.

Les personnels du laboratoire ont des positions de membres élus ou nommés au sein des conseils :

- du département de physique,
- de l'UFR ST et de sa commission pédagogique,
- du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire (CEVU),
- des Conseils Scientifique (CS) et d'Administration (CA) de l'université.

Concilier l'enseignement, la recherche dans de grandes collaborations internationales en physique des hautes énergies et les responsabilités administratives demande un investissement très important de la part des membres du laboratoire. C'est pour cela qu'il serait très souhaitable d'obtenir un nombre suffisant de délégations au CNRS pour permettre aux jeunes enseignants chercheurs de

soutenir une habilitation dans des conditions et un temps acceptables. Ce point est crucial car être habilité permet d'encadrer des thèses et d'accéder au corps des professeurs.

La pyramide des âges au laboratoire laisse apparaître un nombre relativement important de départs en retraite d'ici 2012, avec une période comportant peu de départs jusqu'en 2022, et donc moins favorable pour les promotions.



PCCF T 0302

Marie-Laure NENOT

DIANE, un code de simulation de l'interaction des neutrons rapides avec la matière vivante. Applications aux faibles doses de neutrons sur des cellules tumorales humaines.

4 juillet 2003

PCCF T 0303

Olivier LEITNER

co-tutelle avec l'Université d'Adélaïde

Direct CP violation in B_s decays including ρ^0 - ω mixing and covariant Light-Front dynamics.

24 septembre 2003

PCCF T 0304

Delphine LAZARO

Validation de la plate-forme de simulation GATE en Tomographie à Emission Monophotonique et application au développement d'un algorithme de reconstruction 3D.

30 octobre 2003

PCCF T 0305

Benoît FORESTIER

Expérience ALICE pour l'étude des collisions d'ions lourds ultra-relativistes au CERN-LHC.

3 décembre 2003

PCCF T 0306

Vincent GARDE

Contrôle et étalonnage par lumière laser et par faisceaux de muons du calorimètre hadronique à tuiles scintillantes d'ATLAS.

31 octobre 2003

PCCF T 0401

Cécile RIMBAULT

Etude de la violation directe de CP dans la désintégration du Méson B en Mésons vecteurs incluant le mélange ρ^0 - ω dans le cadre de l'expérience LHCb.

13 février 2004

PCCF T 0402

Geoffroy GUIBERT

Etude par des méthodes nucléaires et physico-chimiques de la contamination des tissus situés autour de biomatériaux métalliques implantés. Mesure de la

contribution à la toxicité par la radioactivité résiduelle de plusieurs biomatériaux.

11 juin 2004

PCCF T 0403

Samuel MANEN

Electronique intégrée pour le calorimètre électromagnétique du futur accélérateur linéaire.

28 octobre 2004

PCCF T 0404

Xavier LOPEZ

Production d'étrangeté dans les collisions Ni+Ni à 1,93 AGeV.

3 décembre 2004

PCCF T 0501

Frédéric YERMIA

Etude et optimisation du système de déclenchement du spectromètre dimuons pour les opérations p-p au CERN – LHC

11 février 2005

PCCF T 0502

Sébastien GADRAT

Etude de la production de charme ouvert et du Drell-Yan dans les collisions p+p à 200 GeV avec PHENIX à RHIC.

9 septembre 2005

PCCF T 0503

Arnaud ROBERT

Etude de la mesure du paramètre α dans le cadre de la violation de la symétrie CP à l'aide du canal $B^0_D \rightarrow \pi + \pi + \pi^0$ dans l'expérience LHCb.

27 juin 2005

PCCF T 0504 (Habilitation)

Frédérique BADAUD-GARRY

Mémoire d'habilitation à diriger des recherches.

1er septembre 2005

PCCF T 0505

Renaud GAGLIONE

Electronique d'acquisition d'une gamma caméra.

3 novembre 2005

PCCF T 0506 (Habilitation)

Philippe CROCHET

Etude des collisions d'ions lourds aux énergies du SIS et du LHC.

10 novembre 2005

PCCF T 0507

Alexandre CAMSONNE

Dispositif expérimental pour la Diffusion Compton Virtuelle dans le régime profondément inélastique dans le Hall A au Jefferson Laboratory.

4 novembre 2005

PCCF T 0508

Lydia MAIGNE

Dosimétrie personnalisée par simulation Monte Carlo GATE sur grille de calcul.

Application à la curiethérapie oculaire.

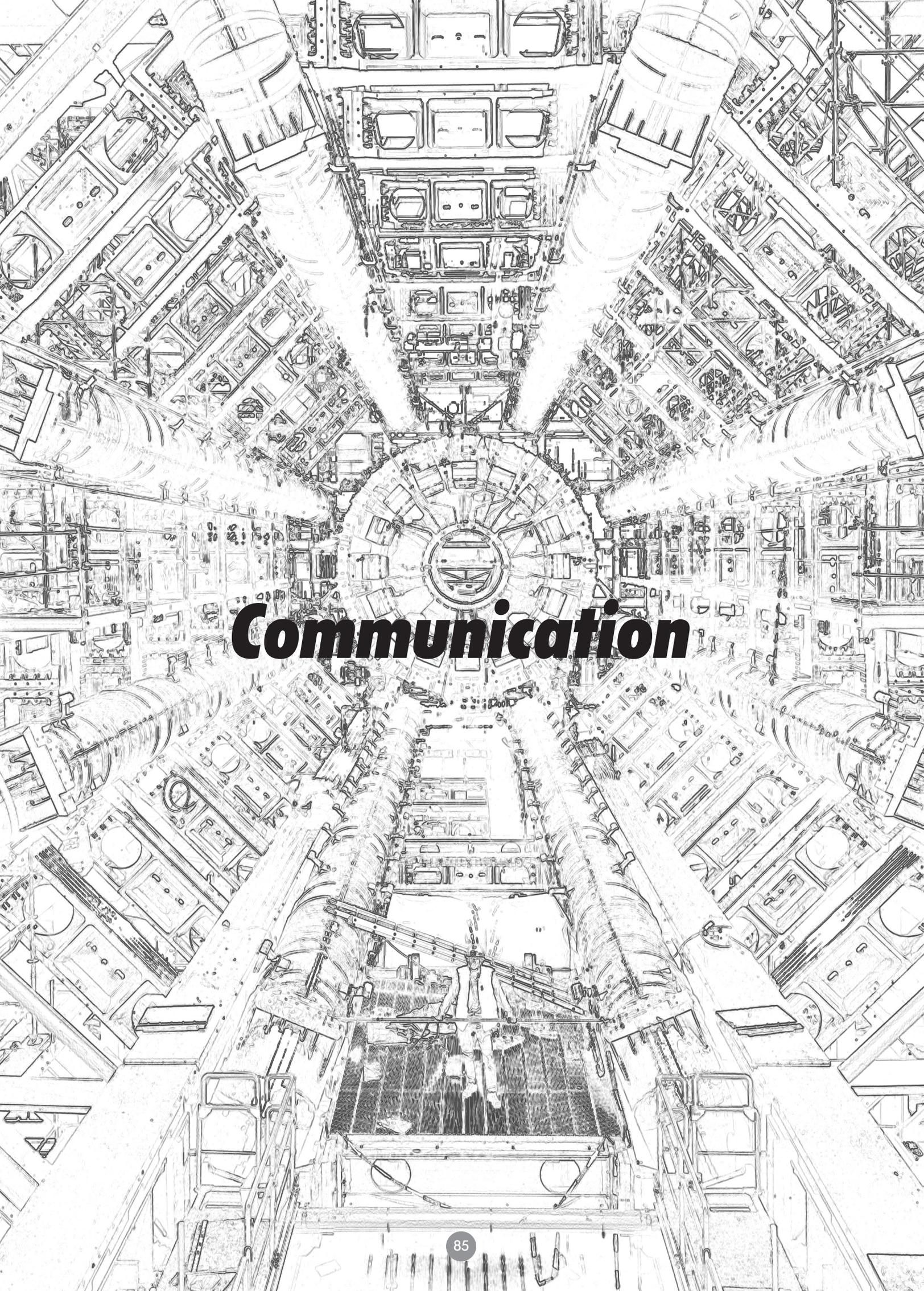
7 novembre 2005

PCCF T 0509

Gianluca GUAGLIO

Reliability of the beam loss monitor system for the large hadron collider at CERN.

16 décembre 2005



Communication



La Communication

G. Bohner, C. Insa, D. Lambert, S. Monteil, J. Pellet, C. Pinty

La mission de l'équipe communication est double ; c'est d'abord de relayer les services de communication des instituts de tutelle du laboratoire : l'IN2P3 et l'Université Blaise Pascal. Les conférences dans les lycées données par des chercheurs du laboratoire, et promues par l'IN2P3, ou encore notre participation aux Parcours scientifiques du Campus des Cézeaux, organisés par l'Université Blaise Pascal en sont des illustrations. Par ailleurs, il s'agit de faire connaître et partager directement nos activités de recherche, à la fois en physique fondamentale, en physique appliquée et pour les développements techniques connexes. Les journées Portes Ouvertes du laboratoire sont à ce titre un moment privilégié de relation avec le grand public. La nécessité de rendre compte de notre travail de recherche et la diffusion sous tous azimuts de la culture scientifique est un souci aujourd'hui partagé par tous. Les actions décrites dans ce rapport, conduites ou accompagnées par l'équipe de communication, sont les fruits du travail des membres du laboratoire, pour lequel la contribution des services techniques doit être soulignée. Ce sont bien sûr les manifestations organisées au cours de l'Année Mondiale de la Physique (AMP2005) qui formeront l'essentiel de ce compte-rendu. Il n'est pas possible de décrire la totalité des initiatives dans lesquelles des membres du laboratoire se sont investis : nous n'en présenterons qu'une sélection parmi celles que nous jugeons les plus représentatives. Il convient de souligner que la majorité de ces actions a été entreprise en partenariat avec la section locale de la Société Française de Physique.

La physique dans la ville

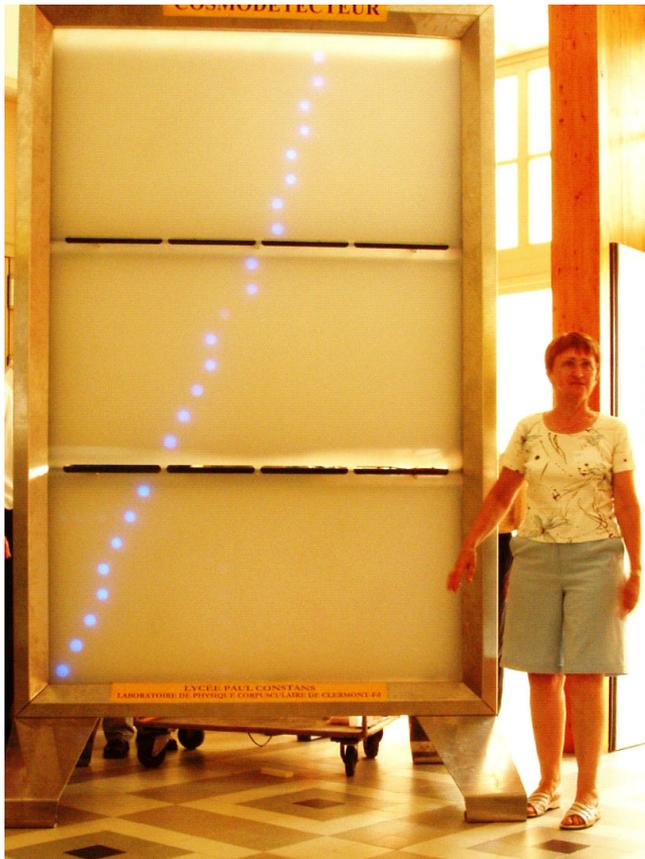
La physique a investi en 2005 le centre commercial de la ville de Clermont-Ferrand ; c'était la 3^{ème} édition de cette manifestation dans le cadre de la semaine de la science. A cette occasion et pendant 4 jours, nous avons présenté nos recherches au public d'une façon non conventionnelle et qui nous a donné satisfaction à bien des égards. Le cosmodétecteur était installé au côté d'un simulateur de tornades de nos collègues de l'Observatoire de Physique du Globe, pour former la partie

«institutionnelle» de l'exposition. La richesse de cette initiative réside dans la multiplicité des acteurs qui la font vivre et dans les échanges qu'ils entretiennent : nous accompagnions des associations de découverte de la physique (les petits débrouillards ou l'Adasta) et l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie.

Conférences dans les lycées

Nos relations avec l'enseignement secondaire se renforcent, notamment sous l'impulsion de nos collaborations avec l'Union des Physiciens; à ce titre et sous l'égide de l'IN2P3, nous avons poursuivi le programme NEPAL (Noyaux Et Particules Au Lycée). Une petite dizaine de conférences par an a ainsi été donnée par des physiciens du laboratoire. Sous l'impulsion de physiciens du laboratoire et avec le soutien du Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur, les moniteurs et doctorants de l'Université (plusieurs disciplines de physique étaient représentées) ont produit une conférence triptyque : elle traite d'abord de l'évolution des idées en physique en général, puis de l'évolution des idées dans la discipline du doctorant ; finalement la dernière partie traite de l'inscription de leur travail de thèse dans ce cadre général. Ces conférences rejoignent notre offre traditionnelle à destination des lycées.

aujourd'hui en place et la mise en fonctionnement interviendra avant la fin de l'année scolaire 2005-2006. D'ores et déjà, le prototype a été exposé une dizaine de fois ; l'événement le plus marquant pour le lycée a été la participation à la manifestation européenne Science On Stage qui s'est tenue au CERN, en novembre 2005.



▲ **Figure 2** : Le cosmodétecteur.

Organisation de colloques

Des membres de l'équipe ont participé à l'organisation logistique de congrès et colloques qui se sont tenus à Clermont-Ferrand. Ce fut le cas ces deux dernières années des événements suivants :

- GDR Supersymétrie, juillet 2004
- 6^{èmes} Journées d'Etudes Expérimentateurs-Théoriciens, en janvier 2004,
- Dimuon Net Workshop, décembre 2004.

Autres manifestations

Nous avons en 2005 organisé une journée Portes Ouvertes avec en point d'orgue l'installation d'un cosmophone, dont un des co-auteurs est membre du laboratoire. Contrairement aux précédentes éditions, l'affluence a été faible. Ouvrir nos portes au public demeure toutefois une de nos missions et nous continuerons à le faire.



▲ **Figure 3** : Journée Portes Ouvertes au laboratoire.

Comme chaque année pendant la fête de la Science, l'Université Blaise Pascal met en place des parcours scientifiques à destination des scolaires sur le campus des Cézeaux. Nous avons naturellement participé à cette manifestation en accueillant des classes dans le laboratoire. Des membres du laboratoire ont participé à l'initiative « Graine de physiciens », qui consiste à conduire un projet scientifique avec une classe d'école primaire. Le thème du projet était la poussée d'Archimède.

Nous participons également aux Bars des Sciences. Le propos original de ces manifestations consiste à motiver, à l'instar des cafés-philo, des discussions non-académiques sur des sujets généraux mais avec un éclairage scientifique. Le Bar des Sciences qui se tient à la Baie des Singes à Cournon avec une fréquence mensuelle est une réussite qui ne se dément pas. Ponctuellement, nous participons à des conférences-débats de nature scientifique.

Parmi les actions de l'AMP2005 en Auvergne, il y en a une qui mérite de s'y arrêter et pour laquelle la contribution de physiciens du laboratoire est conséquente : le journal quotidien régional « La Montagne » ouvrait une de ses colonnes chaque dimanche à un article traitant d'une question de physique. La collection de ces 52 articles fera l'objet de l'édition par le journal d'un supplément d'une centaine de pages à paraître à l'été 2006.

Enfin, l'équipe de communication a la charge de l'édition du rapport d'activité du laboratoire.



***La politique régionale
et la valorisation***



La politique régionale et la valorisation

La région Auvergne a participé de façon non négligeable aux projets du LPC, aussi bien dans le domaine de la Physique fondamentale que dans un grand projet de grille de calcul. Le Laboratoire est inscrit comme Pôle d'Excellence au titre de l'actuel CPER ce qui est bien sûr une reconnaissance de son impact sur la recherche en région.

La grille de calcul

Ce projet, dont le porteur et le responsable technique sont membres du laboratoire, regroupe des unités de l'Université Blaise Pascal, de l'Université d'Auvergne et d'autres partenaires locaux. Des industriels, dont le biopôle Clermont-Limagne, y sont rattachés.

Au cours du quadriennal le projet de grille de calcul a été poursuivi et a donné lieu à l'implantation de clusters et d'espace de stockage, notamment en grande partie au sein du LPC qui a maintenant le potentiel pour devenir Tier2 dans LCG. Ce projet, dont le coût consolidé sur 2004-2006 est de 5MEu, a été financé à hauteur de 1.5 MEu par la Région, le reste étant essentiellement constitué de fonds FEDER et COMI.

Grâce à ce projet, le LPC a pu, sur les subventions 2004-2005, s'équiper d'un cluster de 196 biprocesseurs et de 10 To de mémoire. Une extension de la capacité de stockage de To est prévue en 2006. Ce projet a également permis de financer, pour le Laboratoire, 2 ingénieurs CDD, 1 Post Doc et 1 doctorant.

Actuellement la grille fonctionne sur les différents sites Auvergnats. Comme on peut voir dans le tableau ci-dessous, une part importante de calculs a été effectuée pour les expériences LHC lors des data challenges ainsi que pour le biomédical, ce qui permet au laboratoire de conforter ses activités et ses collaborations dans ce domaine.

L'expérience LHCb

Comme il l'avait fait pour ATLAS et ALICE, le Conseil Régional a soutenu l'expérience LHCb au CERN à hauteur de 100 k€, ce qui a permis de financer l'achat de matériel et de bancs de test. Cette reconnaissance par la Région de notre spécificité dans le domaine de la recherche fondamentale est très importante pour l'image du Laboratoire.

Perspectives

Pour le prochain CPER en matière de politique régionale nous allons poursuivre le projet Auvergrid afin de pérenniser la grille et assurer notamment le renouvellement du matériel.

Une seconde demande concernant l'imagerie médicale devrait permettre de fédérer, dans le cadre du PRES, les laboratoires de médecine, biologie, physique et chimie ayant des compétences dans ce domaine.

VO	Biomed	ALICE	ATLAS	LHCb	DO	CMS	Autres
Nb Jobs	227377	7466	107134	63616	6400	18280	123750
CPU (j)	17650	676	9476	10500	205	454	560

▲ Statistiques du projet Auvergrid en 2005

La valorisation

Les activités pluridisciplinaires du LPC font le plus souvent appel à la maîtrise de techniques dans des domaines variées. L'expertise acquise par les physiciens et ingénieurs du laboratoire est susceptible de conduire à des actions de valorisations ou de transfert de technologie en direction d'entreprises ou d'organismes à l'interface entre le monde de la recherche et de la technologie et l'industrie.

Les domaines d'application de ces actions correspondent à des compétences dans 7 domaines :

- Bioinformatique et biotechnologies
- Biomatériaux
- Imagerie de contrôle et de diagnostique
- Informatique (réseaux et calcul intensif)
- Microélectronique
- Mesure de faibles radioactivités
- Neutronique

Cette politique volontariste de valorisation est soutenue par l'IN2P3 et de son chargé de mission pour la valorisation, ainsi que de la Cellule Valorisation de l'Université Blaise Pascal. Par exemple, au niveau national cette activité de valorisation s'inscrit dans le cadre d'un réseau de chargés de mission présent dans chacun des laboratoires de l'IN2P3, et susceptible de répondre de manière concertée aux attentes du monde industriel.

Un des aspects les plus courants de la valorisation reste le dépôt de brevet. L'activité dans le domaine des biomatériaux a pris un essor important au cours de ces dernières années et s'est traduit concrètement par la prise d'un brevet :

Brevet n° US 60/751,977 :

P. LAQUERRIERE, A. GRANDJEAN-LAQUERRIERE,
E. JALLOT, J-M. NEDELEC

"A Zn-substituted hydroxyapatite with reduced inflammatory properties and uses thereof".

La valorisation ne concerne pas uniquement des transferts de technologie vers des entreprises mais également l'utilisation de compétences en vue de répondre à des besoins sociétales. L'imagerie médicale en est un exemple, de même que l'application des grilles de calcul dans le domaine médical (télémédecine, recherche sur le virus de la Malaria). Une des actions remarquables menés au cours des 3 dernières années, dans le cadre du programme de valorisation du LPC a été d'effectuer pour la région du Limousin, en partenariat avec le CEMRAD de Limoges, plus d'un millier de mesures de tritium dans des eaux de consommation. Ces mesures s'inscrivent dans le cadre de la Directive

Européenne 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Cette action est caractéristique de la politique de valorisation du LPC : elle a permis d'acquérir une amélioration de compétence en terme de mesure de très faible radioactivité dans l'environnement, tout en permettant au moyen des ressources propres dégagées, d'améliorer la qualité du spectromètre utilisé et enfin d'assurer un emploi certes à durée déterminée mais formateur à une personne en recherche d'emploi.



Production Scientifique



Théorie

Renormalized non-perturbative scalar and fermions models in Covariant Light Front Dynamics
Few-Body Systems 36 (2005) 173-176
Auteur du laboratoire : Mathiot J.F.

Lattice measurement of the Isgur-Wise functions $\tau^{1/2}$ and $\tau^{3/2}$
Physics Letters B 609 (3-4) (2005) 298-308
Auteur du laboratoire : Morenas V.

The apeNEXT project
Nuclear Physics B Proceedings Supplements 140 (2005) 176-182
Auteur du laboratoire : Morenas V.

The Maximal Neutrino Flux from Neutralino Annihilation in the Galactic Center
Comptes -Rendus des 40^e Rencontres de Moriond on Very High Energy Phenomena in the Univers, La Thuile, Italie (2005)
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Seesaw Mechanism (SEESAW25)
Proceedings of the International Conference on the Seesaw Mechanism SEESAW25 (2005)
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Neutrinos from dark matter annihilations at the galactic centre
Physical Review D 70 (2004) 063503-1-063503-8
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Leptonic CP violation and the baryon asymmetry
Proceedings of the International Workshop on Exploring the Impact of New Neutrino Beams, Trento, Italie (2004)
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Theory summary
Comptes -Rendus des 39^e Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theory, La Thuile, France (2004)
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Renormalized nonperturbative fermion model in Covariant - Light Front Dynamics
Physical Review D 69 (2004) 045009-1-045009-29
Auteurs du laboratoire : Karmanov V.A., Mathiot J.-F., Smirnov A.V.

Modelling by percolation theory of the behaviour of natural coral used as bone substitute
Physics in Medicine and Biology 48 (2003) 3611-3623
Auteurs du laboratoire : Barbotteau Y., Irigaray J.L., Mathiot J.J.

CKM elements from tree-level B decays and lifetimes
The CKM matrix and the unitarity triangle (2003) 39-141
Auteur du laboratoire : Morenas V.

ApeNEXT : a multi-fflops computer for simulations in lattice gauge theory
Proceedings of the XXIII International Conference on Physics in Collision Electronic, 384-386, Zeuthen Germany (2003)
Auteur du laboratoire : Morenas V.

Phenomenological discussion of $B \rightarrow PV$ decays in QCD improved factorization approach
Proceedings of the 38th Rencontres De Moriond On Electroweak Interactions And Unified Theories, les Arcs (2003)
Auteur du laboratoire : Morenas V.

QCD factorization in charmless $B \rightarrow PV$ decays
Proceedings of the Workshop On The CKM Unitarity Triangle, Durham, R.U. (2003)
Auteur du laboratoire : Morenas V.

The apeNEXT project (Status report)
Proceedings of the Conference For Computing In High-Energy And Nuclear Physics (CHEP 03), La Jolla, USA (2003)
Auteur du laboratoire : Morenas V.

Leptogenesis : a link between the matter-antimatter asymmetry and neutrino physics
Comptes Rendus des 38^e Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theories, Les Arcs, France (2003)
Auteur du laboratoire : Orloff J.

Indirect detection of CMSSM neutralino dark matter with neutrino telescopes, The Identification of Dark Matter
The identification of Dark Matter (2003) (Word Scientific)
Auteurs du laboratoire : Orloff J., Nezri E.

ALEPH

Collaboration ALEPH
Branching ratios and spectral functions of tau decays: final ALEPH measurements and physics implications
Physics Reports 421 (2005) 191-284
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J.M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Improved measurement of the Triple-Gauge-Boson Couplings γWW and ZWW in e^+e^- collisions
Physics Letters B 614 (2005) 7-26
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., M. Pascolo J., Perret P.

Collaboration ALEPH
Bose-Einstein correlations in W -pair decays with an event-mixing technique
Physics Letters B 606 (2005) 265-275
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., M. Pascolo J., Perret P.

Collaboration ALEPH
Two-particle correlations in pp , $\bar{p}\bar{p}$ and $K_S^0\bar{K}_S^0$ pairs from hadronic Z decay
Physics Letters B 611 (2005) 66-80
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Single vector boson production in e^+e^- collisions at centre-of-mass energies from 183 to 209 GeV
Physics Letters B 605 (2005) 49-62
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Two-dimensional analysis of Bose-Einstein correlations in hadronic Z decays at LEP
European Physical Journal C 36 (2004) 147-159
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J.M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Studies of QCD at e^+e^- centre-of-mass energies between 91 and 209 GeV
European Physical Journal C 35 (2004) 457-486
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J.M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Constraints on anomalous QGC's in e^+e^- interactions from 183 to 209 GeV
Physics Letters B 602 (2004) 31-40
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J.M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Measurement of W -pair production in e^+e^- collisions at centre-of-mass energies from 183 to 209 GeV
European Physical Journal C 38 (2004) 147-160
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J.M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Absolute mass lower limit for the lightest neutralino of the MSSM from e^+e^- data at \sqrt{s} up to 209 GeV
Physics Letters B 583 (2004) 247-263
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Search for pentaquarks states in Z decays
Physics Letters B 599 (2004) 1-16
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Improved search for $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ oscillations
European Physical Journal C 29 (2003) 143-170
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Falvard A., Gay P., Henrard P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Montret J.C., Pallin D., Perret P.

Collaboration ALEPH
Search for stable hadronizing squarks and gluinos in

e^+e^- collisions up to $\sqrt{s} = 209$ GeV
European Physical Journal C 31 (2003) 327-342
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Search for anomalous weak dipole moments of the τ lepton
European Physical Journal C 30 (2003) 291-304
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Falvard A., Gay P., Henrard P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Montret J. C., Pallin D., Perret P.

Collaboration ALEPH
Search for Supersymmetric Particles with R-Parity Violating Decays in e^+e^- Collisions at \sqrt{s} up to 209 GeV
European Physical Journal C 31 (2003) 1-16
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Measurement of the hadronic photon structure function $F_2^h(x, Q^2)$ in two-photon collisions at LEP
European Physical Journal C 30 (2003) 145-158
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Exclusive production of pion and kaon meson pairs in two photon collisions at LEP
Physics Letters B 569 (2003) 140-150
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Single- and multi-photon production in e^+e^- collisions at \sqrt{s} up to 209 GeV
European Physical Journal C 28 (2003) 1-13
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
A measurement of the gluon splitting rate into $c\bar{c}$ pairs in hadronic Z decays
Physics Letters B 561 (2003) 213-224
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

Collaboration ALEPH
Measurement of the inclusive $D^{*\pm}$ production in $\gamma\gamma$ collisions at LEP
European Physical Journal C 28 (2003) 437-449
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Dessagne S., Falvard A., Fayolle D., Gay P., Jousset J., Michel B., Monteil S., Pallin D., Pascolo J. M., Perret P.

ATLAS

Investigation of top mass measurements with the ATLAS detector at LHC
European Physical Journal C 39, supplement 2 (2005) 63-90
Auteurs du laboratoire : Grenier P., Pallin D., Roy P.

Reliability Considerations on the LHC Beam Loss Monitors System
AIP Conference Proceedings (2005) 191-196
Auteurs du laboratoire : Guaglio G., Santoni C.

Trends in Cable Magnetization and Persistent Currents during the Production of the Main Dipoles of the Large Hadron Collider
IEEE Transactions on Applied Superconductivity 15 (2005) 1213-1216
Auteurs du laboratoire : Guaglio G., Santoni C.

Short circuit localization in the LHC main dipole coils by means of room temperature magnetic measurements
Proceedings of the 19th International Conference on Magnet Technology-MT19, Genova, Italie (2005)
Auteur du laboratoire : Santoni C.

Dependence of Magnetic Field Quality on Collar Supplier and Dimensions in the Main LHC Dipole
Proceedings of the 19th International Conference on Magnet Technology-MT19, Genova, Italie (2005)
Auteur du laboratoire : Santoni C.

Collaboration ATLAS
Reconstruction de quarks tops produits dans le cadre du Modèle Standard
Comptes-Rendus des Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs, Aussois, France (2005)
Auteur du laboratoire : Cogneras E.

Reliability of Beam Loss Monitors System for the Large Hadron Collider
AIP Conference Proceedings (2004) 141-149
Auteurs du laboratoire : Guaglio G., Santoni C.

Collaboration ATLAS

Test System for the production of the ATLAS tile - calorimeter front-end electronics

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 518 (2004) 509-510

Auteur du laboratoire : Calvet D.

LHCb

Collaboration LHCb

Test of Multi-anode Photomultiplier Tubes for the LHCb Scintillator Pad Detector

Nuclear Instruments and Methods A539 (2005) 646

Auteurs du laboratoire : Bohner G., Bonnefoy R., Borrás D., Cornat R., Crouau M., Deschamps O., Jacquet P., Lecoq J., Monteil S., Perret P., Reinmuth G.

Collaboration LHCb

LHCb Computing Technical Design Report (2005) VI-104

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z., Bohner G., Borrás D., Carloganu C., Conte E., Cornat R., Delage E., Deschamps O., Henrard P., Lecoq J., Magne M., Monteil S., Perret P., Reinmuth G., Rimbault C., Robert A.

Collaboration LHCb

Status and expected performance of the LHCb experiment

Nuclear Physics B Proceedings Supplements 142 (2005) 442-447

Auteur du laboratoire : Perret P.

Collaboration LHCb

Phénoménologie de la désintégration $\Lambda_b \rightarrow \Lambda +$ meson vecteur, recherche d'une violation des symétries CP et T

Comptes-Rendus des Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs, Aussois, France (2005)

Auteur du laboratoire : Conte E.

Λ_b Decays into Λ Vector

Physics Letters B 614 (3/4) (2005) 165-173

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z.J., Conte E., Leitner O.

An angular distribution analysis of Λ_b decays

Nuclear Physics A 755 (2005) 435-438

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z.J., Conte E.

Collaboration LHCb

MAPMTS and front end electronics for the LHCb preshower readout

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 518 (2004) 19-21

Auteur du laboratoire : Carloganu C.

Collaboration LHCb

LHCb calorimeter from trigger to physics

Proceedings of the 11th International Conference On Calorimetry In High-Energy Physics (Calor) Perugia, Italie (2004)

Auteur du laboratoire : Deschamps O.

Collaboration LHCb

LHCb preshower photodetector and electronics

Proceedings of the 11th International Conference On Calorimetry In High-Energy Physics (Calor) Perugia, Italie (2004)

Auteur du laboratoire : Monteil S.

Direct CP violation in B decays with $\rho^0 - \omega$ mixing

Proceedings of the 18th International Workshop on High energy Physics and Quantum Field Theory, QFTHEP004, St Petersburg, Russie (2004)

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z.J., Rimbault C., Leitner O., Perret P.

Collaboration LHCb

Mesure du B_s^0 de plus court temps de vie dans le cadre de l'expérience LHCb

Comptes-Rendus des Journées Jeunes Chercheurs, Ile de Berder, France (2004)

Auteur du laboratoire : Borrás D.

Collaboration LHCb

LHCb Reoptimized Detector – Design and Performance

Technical Design Report, CERN-LHCC-2003-030, LHCb TDR 9, (2003)

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z., Bohner G., Carloganu C., Cornat R., Deschamps O., Henrard P., Lecoq J., Lefèvre R., Monteil S., Perret P., Rimbault C., Robert A.

Collaboration LHCb

LHCb Trigger System

Technical Design Report, CERN-LHCC-2003-031, LHCb TDR 10, (2003)

Auteurs du laboratoire : Ajaltouni Z., Bohner G., Carloganu C., Cornat R., Deschamps O., Henrard P., Lecoq J., Lefèvre R., Monteil S., Perret P., Rimbault C., Robert A.

ILC

Collaboration ILC

Front end electronics dedicated to the next generation of linear collider calorimeter

Proceedings of the International Conference on Electronics for LHC and Future Experiments Boston (2004) pp 51-54

Auteurs du laboratoire : Manen S., Bohner G., Lecoq J.

Collaboration ILC
Front-end electronic for Si-W calorimeter
Proceedings of the International Conference on
Linear Collider, LCWS Paris (2004)
Auteurs du laboratoire : Manen S., Bohner G., Lecoq J.

Collaboration ILC
R&D for ECAL very front end technology prototype
Proceedings of ECFA DESY, Physics and Detectors for
a 90-800 GeV Linear Collider, Amsterdam (2003)
Auteurs du laboratoire : Manen S., Bohner G., Lecoq J.

DO

Collaboration D0
Measurement of the lifetime difference in the B_s^0
system
Physical Review Letters 95 (2005) 171801
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of semileptonic branching fractions of
B mesons to narrow D^{**} states
Physical Review Letters 95 (2005) 171803
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for Randall-Sundrum gravitons in dilepton
and diphoton final states
Physical Review Letters 95 (2005) 091801
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$
Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Kinematic
Characteristics of Lepton + Jets Events
Physics Letters B 626 (2005) 45-54
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for large extra spatial dimensions in dimuon
production with the D0 detector
Physical Review Letters 95 (2005) 161602
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$
Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV in Dilepton Final States
Physics Letters B 626 (2005) 55-64
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$
Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Lepton + Jets
Events with Lifetime b-tagging
Physics Letters B 626 (2005) 35-44

Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for single top quark production in $p\bar{p}$ bar
collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physics Letters B 622 (2005) 265-276
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for right-handed W bosons in top quark
decay
Physical Review D 72 (2005) 011104(R)
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for supersymmetry via associated production
of charginos and neutralinos in final states with three
leptons
Physical Review Letters 95 (2005) 151805
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the $p\bar{p} \rightarrow W\gamma + X$ cross section at
 $\sqrt{s} = 1.96$ TeV and $WW\gamma$ anomalous coupling limits
Physical Review D 71 (2005) 091108(R)
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Production of WZ events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$
TeV and limits on anomalous WWZ couplings
Physical Review Letters 95 (2005) 141802
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for neutral supersymmetric Higgs bosons in
multijet events at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 95 (2005) 151801
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Study of $Z\gamma$ events and limits on anomalous $ZZ\gamma$ and
 $Z\gamma\gamma$ couplings in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 95 (2005) 051802
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of inclusive differential cross sections
for $Y(1S)$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$
TeV
Physical Review Letters Volume 94, Number 23
(2005) 232001
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for first-generation scalar leptoquarks in $p\bar{p}$
collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV

Physical Review D 71 (2005) 071104-1-071104-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for anomalous heavy-flavor quark production in association with W bosons
Physical Review Letters 94 (2005) 152002-1-152002-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the ratio of inclusive cross sections $\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z + b \text{ jet})/\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z + \text{jet})$ at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 94 (2005) 161801-1-161801-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the Λ_b^0 lifetime in the decay $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \Lambda^0$ with the DO detector
Physical Review Letters 94 (2005) 102001-1-102001-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the ratio of B^+ and B^0 meson lifetimes
Physical Review Letters 94 (2005) 182001(1-7)
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Search for $Wb\bar{b}$ and WH production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 94 (2005) 091802-1-091802-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the WW production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 94 (2005) 151801.1-151801.7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
A search for the flavor-changing neutral current decay $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV with the DO detector
Physical Review Letters 94 (2005) 071802-1-7
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of the B_s^0 lifetime in the exclusive decay channel $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$
Physical Review Letters 94 (2005) 042001-1
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of dijet azimuthal decorrelations at central rapidities in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review Letters 94 (2005) 221801
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

Collaboration D0
Measurement of $\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z) \cdot \text{Br}(Z \rightarrow \tau\tau)$ at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV
Physical Review D 71 (2005) 072004
Auteurs du laboratoire : Badaud F., Gay P., Gris P.

PHENIX

Collaboration PHENIX
Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration
Nuclear Physics A 757 (2005) 184-283
Auteurs du laboratoire : Forestier B., Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Medium effects on high P_t particle production measured with the PHENIX experiment,
European Physical Journal C 43 (2005) 303-310
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Low mass dilepton production at RHIC energies
European Physical Journal C 43 (2005) 421-426
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Can ϕ mesons give an answer to the baryon puzzle at RHIC?
European Physical Journal C 43 (2005) 317-322
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Differential probes of medium-induced energy loss
European Physical Journal C 43 (2005) 271-280
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Single Electrons from Heavy Flavor Decays in p+p Collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV
Physical Review C 72 (2005) 024901
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Heavy flavor production in PHENIX
European Physical Journal C 43 (2005) 201-208
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Quarkonium production from d+Au to Au+Au collisions

European Physical Journal C 43 (2005) 173-178

Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Measurement of Transverse Single-Spin Asymmetries for Mid-rapidity Production of Neutral Pions and Charged Hadrons in Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV

Physical Review Letters 95 (2005) 202001

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

J/ ψ Production and Nuclear Effects for d+Au and p+p Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review Letters 96 (2005) 012304

Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Midrapidity direct-photon production in p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV

Physical Review D 71 (2005) 071102 (7)

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Measurement of Single Electron Event Anisotropy in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review C 72 (2005) 024901

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Centrality Dependence of Direct Photon Production $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au Collisions

Physical Review Letters 94 (2005) 232301

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Systematic Studies of the Centrality and $\sqrt{s_{NN}}$ Dependence of $dE_T/d\eta$ and $dN_{ch}/d\eta$ in Heavy Ion Collisions at Mid-rapidity

Physical Review C 71 (2005) 034908-1-034908-25

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Saturation of azimuthal anisotropy in Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 62 - 200$ GeV

Physical Review Letters 94 (2005) 232302

Auteurs du laboratoire : Forestier B., Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Centrality Dependence of Charm Production from a Measurement of Single Electrons in Au+Au

Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review Letters 94 (2005) 082301-6

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Deuteron and antideuteron production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV

Physical Review Letters 94 (2005) 122302

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Jet Structure of Baryon Excess in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review C 71 (2005) 051902(R)

Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Production of ϕ mesons at mid-rapidity in $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV Au+Au collisions at relativistic energies

Physical Review C 72 (2005) 014903

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Nuclear Modification Factors for Hadrons At Forward and Backward Rapidities in Deuteron-Gold Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review Letters 94 (2005) 082302-6

Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

J/ ψ Production in Au-Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV at the Relativistic Heavy Ion Collider

Physical Review C 69 (2004) 014901

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Identified charged particle spectra and yields in Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review C 69 (2004) 034909-1-034909-32

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

High- p_T charged hadron suppression in Au-Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

Physical Review C 69 (2004) 034910-1-034910-20

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX

Bose-Einstein correlations of charged pion pairs in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV

Physical Review Letters 93 (2004) 152302-1-

152302-6

Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
J/ψ production from proton-proton collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
Physical Review Letters 92 (2004) 051802-1-051802-6
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
J/ψ production in Au-Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
Physical Review C 69 (2004) 014901-1-014901-10
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Double Helicity Asymmetry in Inclusive Midrapidity π^0 Production for Polarized p+p Collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV
Physical Review Letters 93 (2004) 202002
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Mid-Rapidity Neutral Pion Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
Physical Review Letters 91 (2003) 241803
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Scaling properties of proton and antiproton production in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au collisions
Physical Review Letters 91 (2003) 172301-1-6
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Absence of suppression in particle production at large transverse momentum in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV d+Au collisions
Physical Review Letters 91 (2003) 072303-1-6
Auteurs du laboratoire : Gadrat S., Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Midrapidity Neutral-Pion Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV
Physical Review Letters 91 (2003) 241803-1-241803-6
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Elliptic flow of identified hadrons in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
Physical Review Letters 91 (2003) 182301-1-6
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

Collaboration PHENIX
Suppressed π^0 Production at Large Transverse Momentum in Central Au + Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} =$

200 GeV
Physical Review Letters 91 (2003) 072301-1-072301-6
Auteurs du laboratoire : Roche G., Rosnet P.

ALICE

Collaboration ALICE
Physics Perspectives with the ALICE Muon Spectrometer
Czechoslovak Journal of Physics 55 (2005) B381-B388
Auteur du laboratoire : Dupieux P.

Collaboration ALICE
Front-End Electronics for the RPCs of the ALICE Dimuon Trigger
IEEE Transactions on Nuclear Science 52 (2005) 1176
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N., Blanchard G., Crochet P., Devaux A., Dupieux P., Force P., Forestier B., Guerin F., Guernane R., Insa C., Jouve F., Manso F., Rosnet P., Royer L., Saturnini P., Yermia F.

Collaboration ALICE
(Di)lepton physics with ALICE
Proceedings of the 18th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions(2005)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
The LHC heavy flavor program
RBRC Proceedings (2005)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
(Di)lepton physics with ALICE
Electronic Proceedings of the International Workshop XXXIII on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Excitations (2005)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
(Di)leptons and heavy flavors in heavy ion collisions at the LHC
Electronic Proceedings of the International Workshop on Electromagnetic Probes of Hot and Dense Matter (2005)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
Beauty production with the ALICE detector
Comptes-Rendus des 40^e Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Hadronic Interactions (2005)
Auteur du laboratoire : Guernane R.

Collaboration ALICE
Quarkonia and heavy flavors at the LHC
European Physical Journal C 43 (2005) 437-443
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
ALICE Technical Design Report of the Computing
ALICE-TDR-012, CERN-LHCC-2005-018
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N.,
Blanchard G., Castor J., Crochet P., Daudon F.,
Devaux A., Dupieux P., Force P., Forestier B., Guerin
F., Guernane R., Insa C., Jouve F., Lecoq J., Manso F.,
Rosnet P., Royer L., Saturnini P., Savinel G., Stoicea
G., Yermia F.

Heavy Quarkonium Physics
CERN Yellow Report, CERN-2005-005 (et
hep/0412158)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Hard Probes in Heavy Ion Collisions at the LHC:
Heavy Flavor Physics
CERN Yellow Report, CERN-2004-009 (et
hep/0311048)
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
Performances of a prototype for the ALICE muon
trigger at LHC
IEEE Transactions on Nuclear Science 51 (2004)
375-382
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N.,
Blanchard G., Crochet P., Dupieux P., Forestier B.,
Genoux-Lubain A., Insa C., Jouve F., Lamoine L.,
Manso F., Rosnet P., Royer L., Saturnini P., Yermia F.

Collaboration ALICE
ALICE : Physics performance report, Volume 1
Journal of Physics G 30 (2004) 1517-1763
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N.,
Blanchard G., Castor J., Crochet P., Daudon F.,
Devaux A., Dupieux P., Force P., Forestier B., Genoux-
Lubain A., Insa C., Jouve F., Lamoine L., Lecoq J.,
Manso F., Rosnet P., Royer L., Saturnini P., Savinel G.,
Yermia F.

Collaboration ALICE
Ageing tests and chemical analysis of Resistive Plate
Chambers for the trigger of the ALICE dimuon arm
Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A 533 (2004) 112-115

Collaboration ALICE
Etude des performances du système de
déclenchement du spectromètre à muons de
l'expérience ALICE

Comptes-Rendus des Journées Jeunes Chercheurs
2004, Ile de Berder, France (2004)
Auteur du laboratoire : Guerin F.

Collaboration ALICE
ALICE Technical Design Report on Forward Detectors :
FMD, T0 and V0
ALICE-TDR-011, CERN-LHCC -2004-025
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N.,
Blanchard G., Castor J., Crochet P., Daudon F.,
Devaux A., Dupieux P., Force P., Forestier B., Guerin
F., Guernane R., Insa C., Jouve F., Lecoq J., Manso F.,
Rosnet P., Royer L., Saturnini P., Savinel G., Stoicea
G., Yermia F.

Collaboration ALICE
Performance of a prototype for ALICE muon trigger at
LHC
Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A 533 (2003) 22-26
Auteur du laboratoire : Forestier B.

Collaboration ALICE
Ageing tests on the low-resistivity RPC for the ALICE
dimuon arm
Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A 508 (2003) 106-109
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Barret V., Bastid N.,
Blanchard G., Chiavassa E., Cortese P., Crochet P.,
Dupieux P., Espagnon B., Forestier B., Genoux-Lubain
A., Insa C., Jouve F., Lamoine L., Lefevre F., Manso F.,
Royer L., Rosnet P., Saturnini P.,

Collaboration ALICE
A new front-end for better performances of RPC in
streamer mode
Nuclear Instruments and Methods in Physics
Research A 508 (2003) 185-188
Auteur du laboratoire : Dupieux P.

Charm and leptons
Nuclear Physics A 715 (2003) 359c-368c
Auteur du laboratoire : Crochet P.

Collaboration ALICE
Front-End Electronics of the ALICE dimuon trigger
TDR, ALICE-EN-2003-020, PCCF RI 0402
Auteurs du laboratoire : Jouve F., Rosnet P., Royer L.

Collaboration ALICE
The Local Trigger Electronics of the ALICE dimuon
trigger
TDR, ALICE-EN-2003-010, PCCF RI 0401
Auteurs du laboratoire : Blanchard G., Crochet P.,
Dupieux P.

Collaboration ALICE
ALICE Technical Design Report of the Trigger, Data Acquisition, High level Trigger and Control System
CERN-LHCC-2003-049

NA50 / NA60

Collaboration NA50
The J/ψ normal nuclear absorption
European Physical Journal C 43 (2005) 161-165
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
 J/ψ production and suppression at SPS energies
Journal of Physics G 31 (2005) S809-S816
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
A new measurement of J/ψ suppression in Pb-Pb collisions at 158 GeV per nucleon
European Physical Journal C 39 (2005) 335-345
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Transverse momentum dependence of charmonium suppression in Pb-Pb collisions at the CERN SPS
Nuclear Physics A 749 (2005) 243c-250c
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Charged particle multiplicity in Pb-Pb collisions from the NA50 experiment
Journal of Physics Conference Series 5 (2005) 86-96
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Fission cross sections of lead projectiles in Pb-nucleus interactions at 40 and 158 GeV/c per nucleon
Physical Review C 69 (2004) 034904-
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Charmonium production and nuclear absorption in p-A interactions at 450 GeV
European Physical Journal C 33 (2004) 31-40
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force

P., Saturnini P.
Collaboration NA50
 J/ψ and ψ' nuclear absorption in p-A and S-U collisions at the CERN/SPS
Journal of Physics G 30 (2004) S1351-S1354
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
The production of ϕ , ω and ρ mesons in p-, d-, S- and Pb-induced reactions at the CERN SPS
Journal of Physics G 30 (2004) S277-S282
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
 ψ' production in nucleus-nucleus collisions at CERN SPS
Journal of Physics G 30 (2004) S1175-S1178
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Study of deconfinement in NA50
Pramana Journal of Physics 60 (2003) 817-828
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Recent results on J/ψ suppression from the NA50 experiment
Ricerca Scientifica ed Educazione Permanente Supplemento 120 (2003) 43-51
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Recent results of J/ψ suppression from the NA50 experiment at CERN SPS
Quark confinement and the hadron spectrum V (2003) 456-458
Auteurs du laboratoire : Castanier C., Castor J., Devaux A., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
New results on J/ψ from NA50 experiment
ICHEP 2002 (2003) 68-70
Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA50
Recent results on anomalous J/ψ suppression in Pb-Pb collisions at 158 AGeV/c
2003 QCD and high energy hadronic interactions

(2003) 233-236

Auteurs du laboratoire : Baldit A., Castanier C., Castor J., Devaux A., Espagnon B., Fargeix J., Force P., Saturnini P.

Collaboration NA60

J/ψ production in Indium-Indium collisions

European Physical Journal C 43 (2005) 167-172

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

First results of the NA60 experiment at the CERN SPS
Nuclear Physics A 749 (2005) 251-256

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Study of the J/ψ production and suppression in In-In collisions at the CERN SPS

Journal of Physics G 31 (2005) S317-S323

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

First results from NA60 on low mass muon pair production in In-In collisions at 158 GeV/nucleon

Journal of Physics G 31 (2005) S903-S910

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Charged particle multiplicity measurements in NA60
Journal of Physics Conference Series 5 (2005) 55-63

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

The NA60 silicon pixel telescope

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 549 (2005) 20-26

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

J/ψ production in indium-indium collisions

Journal of Physics G 31 (2005) S1209-S1212

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

A first look at open charm production Indium-Indium collisions at SPS energies

European Physical Journal C 43 (2005) 209-213

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Low mass dimuon production in indium-indium collisions at 158 GeV

European Physical Journal C 43 (2005) 415-420

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Low mass dimuon production in proton-nucleus collisions with the NA60 apparatus

European Physical Journal C 43 (2005) 407-413

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

First results and future perspectives of the NA60 experiment

Journal of Physics G 30 (2004) S507-S512

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Pioneering instrumentation aspects of NA60

Journal of Physics G 30 (2004) S1101-S1104

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

The NA60 experiment at CERN SPS - First results and prospects

Nuclear Physics A 734 (2004) 49-52

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

Accurate measurements of dimuon production in the NA60 experiment

Journal of Physics G 30 (2004) S1027-S1030

Auteurs du laboratoire : Castor J., Devaux A., Force P., Guettet N., Manso F.

Collaboration NA60

The cryogenic silicon Beam Tracker of NA60 for heavy ion and proton beams

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 511 (2003) 200-204

Auteurs du laboratoire : Devaux A., Guettet N., Manso F.

Sonde Electromagnétique

Collaboration HALL A

Virtual Compton Scattering at Low Energy and the Generalized Polarizabilities of the Nucleon

Progress in Particle and Nuclear Physics 55 (1)

(2005) 198-214

Auteur du laboratoire : Fonvieille H.

Collaboration HALL A PHASE

Polarization Transfer in Proton Compton Scattering at High Momentum Transfer

Physical Review Letters 94 (2005) 242001(5)

Auteurs du laboratoire : Bertin P., Camsonne A., Deur A., Laveissiere G.,

Collaboration HALL A

Accurate measurement of the electron beam polarization in JLab Hall A using Compton polarimetry

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 551 (2005) 563-574

Auteurs du laboratoire : Bertin P.Y., Brossard M.

Collaboration HALL A

Recoil Polarization for Delta Excitation in Pion Electroproduction

Physical Review Letters 95 (2005) 102001(1) - 102001(6)

Auteur du laboratoire : Laveissiere G.

Collaboration HALL A PHASE

Proton elastic form factor ratios to $Q^2 = 3.5 \text{ GeV}^2$ by polarization transfer

Physical Review C 71 (2005) 055202

Auteurs du laboratoire: Berthot J., Bertin P.Y., Deur A., Jaminion S., Laveissiere G., Roblin Y.

Collaboration VCS

Etude de la structure interne de la matiere par la diffusion Compton virtuelle a basse energie

Comptes-Rendus des Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs, Aussois, France (2005)

Auteur du laboratoire : Bensafa I.K.

Collaboration HALL A & VCS

Virtual compton scattering at low energy and the generalized polarizabilities of the nucleon

Fizika B 13 (2004) 209-216

Auteur du laboratoire : Fonvieille H.

Collaboration VCS

Nucleon structure study by polarized virtual compton scattering $\gamma^*p \rightarrow \gamma p$

Proceedings of the 7th Constantine High Energy Physics School, Constantine, Algérie (2004)

Auteur du laboratoire : Bensafa I.K.

Collaboration HALL A PHASE

Basic instrumentation for Hall A at Jefferson Lab

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 522 (2004) 294-346

Auteurs du laboratoire : Berthot J., Bertin P.Y., Breton V., Deur A., DiSalvo R., Fonvieille H., Gayou O., Incerti S., Jaminion S., Laveissiere G., Quemener G., Ravel O., Roblin Y.

Collaboration E94010

Measurement of the generalized forward spin polarizabilities of the neutron

Physical Review Letters 93 (2004) 152301-1-152301-4

Auteurs du laboratoire : Berthot J., Bertin P., Deur A., DiSalvo R., Fonvieille H., Incerti S., Jutier C., Laveissiere G., Roblin

Collaboration E94010

Q^2 evolution of the neutron spin structure moments using a³ target

Physical Review Letters 92 (2004) 022301-1-022301

Auteurs du laboratoire : Berthot J., Bertin P., Deur A., DiSalvo R., Fonvieille H., Incerti S., Jutier C., Laveissiere G., Roblin

Collaboration HALL A PHASE

The dynamics of the quasielastic $^{16}\text{O} (e,e'p)$ reaction at $Q^2 \approx 0.8(\text{GeV}/c)^2$

Physical Review C 70 (2004) 034606-1-034606-30

Auteurs du laboratoire : Berthot J., Bertin P.Y., Breton V., Deur A., Fonvieille H., Jaminion S., Jutier C., Laveissiere G., Quémener G., Ravel O., Roblin Y.

Collaboration HALL A PHASE

Measurement of the generalized polarizabilities of the proton in virtual compton scattering at $Q^2 = 0.92$ and 1.76 GeV^2

Physical Review Letters 93 (2004) 122001

Auteurs du laboratoire : Laveissiere G., Jaminion S., Jutier C., Di Salvo R., Berthot J., Bertin P.Y., Breton V., Deur A., Fonvieille H., Grenier P., Incerti S., Ravel O., Roblin Y., Smirnov G.

Collaboration HALL A PHASE

Backward electroproduction of π^0 mesons on protons in the region of nucleon resonances at four momentum transfer squared $Q^2 = 1.0 \text{ GeV}^2$

Physical Review C 69 (2004) 045203-1-045203-15

Auteurs du laboratoire : Laveissiere G., Jaminion S., Jutier C., Di Salvo R., Berthot J., Bertin P.Y., Breton V., Deur A., Fonvieille H., Grenier P., Incerti S., Jardillier J., Quemener G., Ravel O., Roblin Y., Smirnov G.

Collaboration HALL A

Experimental Status DVCS $EP \rightarrow EP\gamma$ and $EN \rightarrow EN\gamma$ at Jefferson Lab-Hall A

Proceedings of the third International Symposium on the Gerasimov-Drell-Hearn Sum Rule and Its

Extensions, USA (2004)
Auteur du laboratoire : Ferdi C.

Collaboration HALL A
Virtual Compton scattering at low energy and the generalized polarizabilities of the nucleon
Proceedings of the International Workshop on Probing Nucleons and Nuclei via the (e,e'p) reaction EEPO3, Grenoble, France (2003)
Auteur du laboratoire : Fonvieille H.

Collaboration VCS
LEX results for VCS below threshold at JLab
Proceedings of Compton Scattering from Low to High Momentum Transfer, Trento, Italy (2003)
Auteur du laboratoire : Fonvieille H.

Collaboration VCS
Virtual Compton Scattering at low energy and the generalized polarizabilities of the nucleon
Proceedings of the International Workshop on Chiral Dynamics, Theory and Experiment, Bonn, Allemagne (2003)
Auteur du laboratoire : Fonvieille H.

FOPI

Collaboration FOPI
Two-proton small-angle correlations in central heavy-ion collisions: a beam-energy and system-size dependent study
European Physical Journal A 23 (2005) 271-278
Auteurs du laboratoire : Alard J.P., Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
Excitation function of elliptic flow in Au+Au collisions and the nuclear matter equation of state
Physics Letters B 612 (2005) 173-180
Auteurs du laboratoire : Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
First analysis of anisotropic flow with Lee-Yang zeroes
Physical Review C 72 (2005) 011901
Auteurs du laboratoire : Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
Charged pion production ${}^{96}_{44}\text{Ru}+{}^{96}_{44}\text{Ru}$ collisions at 400A and 1528A MeV
Physical Review C 71 (2005) 034902
Auteurs du laboratoire : Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
Shape parameters of the participant source in Ru+Ru

collisions at 400 A MeV
Nuclear Physics A 742 (2004) 29-54
Auteurs du laboratoire : Bastid N., Dupieux P., Bendarag A., Barret V., Crochet P., Lopez X., Alard J.P., Andronic A., Stoicea G.
Collaboration FOPI
Results from FOPI on λ production in Ni+Ni collisions at 1.93 A GeV
Progress in Particle and Nuclear Physics 53 (2004) 149-151
Auteurs du laboratoire : Lopez X.

Collaboration FOPI
Nuclear stopping from 0.09A to 1.93A GeV and its correlation to flow
Physical Review Letters 92 (2004) 232301
Auteurs du laboratoire : Alard J.P., Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
Droplet formation in expanding nuclear matter: a system-size dependent study
Physics Letters B 595 (2004) 118-126
Auteurs du laboratoire : Alard J.P., Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X., Stoicea G.

Collaboration FOPI
Azimuthal dependence of collective expansion for symmetric Heavy-Ion Collisions
Physical Review Letters 92 (2004) 072303
Auteurs du laboratoire : Stoicea G., Alard J.P., Barret V., Bastid N., Crochet P., Dupieux P., Lopez X.

Collaboration FOPI
Hadronic matter properties from the reaction studies at SIS
Acta Physica Polonica B 35 (2004) 1091

Collaboration FOPI
Timings RPCs in FOPI
Nuclear Instrument and Methods A 533 (2004) 65

Collaboration FOPI
Constraints on the equation of state of nuclear matter from nucleus-nucleus collisions
Nuclear Physics A 734 (2003) 565

Collaboration FOPI
Measurement of Strange Resonances with FOPI
Progress in Particle and Nuclear Physics 50 (2003) 583

Thermoluminescence

Single grains dating of volcanic quartz from pyroclastic flows using red TL

Radiation Measurements 39 (2005) 479-487
Auteurs Laboratoire : Sanzelle S., Miallier D., Pilleyre T.

Nouvelles données chronologiques pour le site de Menez-Dregan 1 (Bretagne) : l'apport de la thermoluminescence

Quaternaire, 15(3) (2004) 253-261
Auteurs Laboratoire : Miallier D., Pilleyre T., Sanzelle S.

Sépultures plurielles du néolithique final en Auvergne dans leur contexte interrégional.

Rencontres méridionales de Préhistoire récente Auvergne et Midi, (2004) 99-106
Auteurs Laboratoire : Miallier D.

Volcanologie de la Chaîne des Puys.

Parc Naturel Régional de la Chaîne des Puys Carte et fascicule, 4^e édition, (2004) 178p
Auteurs Laboratoire : Miallier D.

Volcans de la Chaîne des Puys (Massif Central, France) : point sur la chronologie Chopine-Pariou-Vasset-Kilian.

C.R.A.S. Géoscience, (2004) 1345-1353
Auteurs Laboratoire : Miallier D., Pilleyre T., Sanzelle S.

Concordant thermoluminescence and ²³⁸U-²³⁰Th ages for a trachytic dome (Grand Sarcoui) from the Chaîne des Puys (French Massif Central)

Quaternary Science Research - Quaternary Science Reviews 23 (2003) 709-715
Auteurs Laboratoire : Miallier D., Condomines M., Pilleyre T., Sanzelle S.

Nouvelles données sur le téphra de Sarliève et le téphra CF7, marqueurs chronostratigraphiques de Grande Limagne (Massif Central, France)

Comptes-Rendus d'Académie des Sciences de Paris, Geoscience 336 (2003) 1-8
Auteurs Laboratoire : Miallier D., Sanzelle S., Pilleyre T.

PNAB

STEM and EDXS characterisation of physico-chemical reactions at the periphery of sol-gel derived Zn-substituted hydroxyapatites during interactions with biological fluids

Colloids and Surfaces 42 (3-4) (2005) 205-210
Auteurs du laboratoire : Jallot E., Chassot E.

Influence des propriétés physico-chimiques d'hydroxyapatites sur le comportement cellulaire ITBM-RBM 26 (3) (2005) 200-205

Auteur du laboratoire : Jallot E.

Nanoscale physico-chemical reactions at bioceramics-bone tissues interfaces

Handbook of Nanostructured Biomaterials and their Applications in Nanobiotechnology (2005) 495-509
Auteur du laboratoire : Jallot E.

Characterisation by PIXE method of trace elements during physico-chemical reactions at the periphery of bioactive glass pastilles in contact with biological fluids

Proceedings (CD) of the 5th International Symposium on Trace Elements in human : New Perspectives (2005) 814-821

Auteur du laboratoire : Jallot E.

PIXE characterization of tissues surrounding metallic prostheses coated with biological glasses

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 215 (2004) 214-222

Auteurs du laboratoire : Barbotteau Y., Irigaray J.L.

Contamination by metallic elements released from joint prostheses

Medical Engineering and Physics 26 issue 3 (2004) 193-199

Auteurs du laboratoire : Chassot E., Irigaray J.L.

Atomic transfers between implanted bioceramics and tissues in orthopaedics surgery

Materials for Tissues Engineering Chemistry and Microstructure, the Role for Ceramics (2004) 1-5

Auteurs du laboratoire : Irigaray J.L., Chassot E., Guibert G., Jallot E.

Properties of two biological glasses used as metallic prosthesis coatings and after an implantation in body

Key Engineering Materials 254 (2004) 717-720
Auteurs du laboratoire : Barbotteau Y., Irigaray J.L., Chassot E., Guibert G., Jallot E.

Properties of two biological glasses used as metallic prosthesis coatings and after an implantation in body

Bioceramics (2004) 717-720
Auteurs du laboratoire : Barbotteau Y., Irigaray J.L., Chassot E., Guibert G., Jallot E.

X-ray microanalysis in STEM of short-term physico-chemical reactions at bioactive glass particles / biological fluids interface. Determination of O/Si atomic ratios

Surface and Interface Analysis 36 (2004) 658-665
Auteur du laboratoire : Jallot E.

Characterization of intra-cellular ionic concentrations of monocytes in contact with bioactive glasses and hydroxyapatite particles. A TEM cryo-Xray analysis of

diffusible ions

Instrumentation Science and Technology 32 (2004) 537-544

Auteur du laboratoire : Jallot E.

STEM and EDXS characterization of physico-chemical reactions at the periphery of bioactive glass particles in - contact with biological fluids

Instrumentation Science and Technology 32 (2004) 255-262

Auteurs du laboratoire : Jallot E., Chassot E.

MMP-2, MMP-9 and their inhibitors TIMP-2 and TIMP-1 production by human monocytes in vitro in the presence of different forms of hydroxyapatite particles

Biomaterials 25 (2004) 2515-2524

Auteur du laboratoire : Jallot E.

Influence of hydroxyapatite particle characteristics on the [K]/[Na] ratio : a human monocytes in vitro study

Colloids and Surfaces B33 (2004) 39-44

Auteur du laboratoire : Jallot E.

Nanoscale characterization of biomaterials

Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology (2004) 405-415

Auteur du laboratoire : Jallot E.

Dissolution kinetics physico-chemical reactions at bioactive glass/bone interface studied by STEM-EDXS

Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering MEDICON 2004 (2004)

Auteurs du laboratoire : Jallot E., Chassot E., Irigaray J.L.

Modelling by percolation theory of the behaviour of natural coral used as bone substitute

Physics in Medicine and Biology 48 (2003) 3611-3623

Auteurs du laboratoire : Barbotteau Y., Irigaray J.L., Mathiot J.F.

The influence of physico-chemical reactions of bioactive glass on the behavior and the activity of human osteoblasts in vitro

Journal of Biomedical Materials Research 67A (2003) 1205-1218

Auteur du laboratoire : Jallot E.

Characterization of intra-cellular ionic concentrations of monocytes in contact with bioactive glasses and hydroxyapatite particles. A TEM cryo-Xray analysis of diffusible ions

Proceedings Book of the International Symposium on Trace Elements in Human : (Part II) (2003) 1303-

1311

Auteur du laboratoire : Jallot E.

STEM and EDXS characterization of physico-chemical reactions at the periphery of bioactive glass particles in contact with biological fluids

Proceedings Book of the International Symposium on Trace Elements in Human : (Part II) (2003) 1295-1302

Auteurs du laboratoire : Jallot E., Chassot E.

Manufacturing effect on the location of zinc used as a doping in hydroxyapatite biomaterial

Proceedings ESB 2002 of the 17th European Conference on Biomaterials (2003) 144

Auteurs du laboratoire : Chassot E., Guibert G., Irigaray J.-L.

Contamination and oxydation degree of metallic elements in periprosthetic tissues

Proceedings of the International Federation for Medical and Biological Engineering IFBME 2002 (2003) 162-163

Auteurs du laboratoire : Chassot E., Guibert G., Irigaray J.-L.

AVIRM

Contribution of HEP electronics techniques to the medical imaging field

Proceedings (CD) of the 14th IEEE-NPSS Real Time Conference, Stockholm, Suède (2005)

Auteurs du laboratoire : Vert P.-E., Bohner G., Lecoq J., Montarou G.

An application specific integrated for multi anode PMT

Proceedings of the IEEE Medical Imaging Conference, MIC, Rome, Italie (2004)

Auteurs du laboratoire : Gaglione R., Bohner G., Lecoq J., Montarou G., Royer L.

PCSV

Les grilles pour le développements médical

Compte-rendus du deuxième Colloque sur le développement durable et la santé dans les pays du sud, Lyon, France (2005)

Auteurs du laboratoire : Jacq N., Reichstadt M., Jacq F., Salzemann J., Breton V.

Fully 3D Monte Carlo reconstruction in SPECT: a feasibility study

Physics in Medicine and Biology vol. 50, n° 16 (2005) 3739-3754

Auteurs du laboratoire : El Bitar Z., Breton V.

- Empowering humanitarian medical development using grid technology
Methods of information in medicine 44-2 (2005) 186-189
Auteurs du laboratoire : Breton V., Legre Y.
Medical image databases content-based queries partitioning on a grid
Methods of Information in Medicine 44 (2005) 154-160
Auteur du laboratoire : Breton V.
- The Healthgrid White Paper
From Grid to Healthgrid (IOS Press) (2005) 249-318
Auteur du laboratoire : Breton V.
- Monte Carlo tomographic reconstruction in SPECT impact of bootstrapping and number of generated events
Open International Conference on Modeling and Simulation (2005) 415-429
Auteurs du laboratoire : El Bitar Z., Breton V.
- Reconstruction tri-dimensionnelle complete d'images en spect-ct par modelisation Monte-Carlo
Comptes-Rendus (CD) des 44^{èmes} Journées Scientifiques de la Société Française de Physique Médicale (SFPM), Avignon, France (2005)
Auteurs du laboratoire : El Bitar Z., Breton V.
- Les grilles de calcul au service de la physique médicale
Comptes-rendus (CD) des 44^{èmes} Journées Scientifiques de la Société Française de Physique Médicale (SFPM), Avignon, France (2005)
Auteurs du laboratoire : Thiam C., Breton V., El Bitar Z., Maigne L.
- Grid-enabling medical image analysis
Journal of Clinical Monitoring and Computing, vol 19 (4-5), (2005) 339-349
Auteurs du laboratoire : Breton V., Legre Y.
- Secret Sequence Comparison on Public Grid Computing Resources
Proceedings of Cluster Computing and Grid 2005 (CCGrid05), Cardiff, Royaume-Uni (2005)
Auteur du laboratoire : Breton V.
- Methods of information in medicine 44 -2 édition (2005) 137-347
Editeurs du laboratoire : Breton V., Legre Y.
From Grid to Healthgrid (IOS Press) (2005) XI-324
Editeurs du laboratoire : Breton V., Legre Y.
- A perspective on the Healthgrid initiative
Proceedings of the Second International Workshop on Biomedical Computations on the Grid (2004)
Auteur du laboratoire : Breton V.
- SPECT/CT registration with the DCC and MC simulations for SPECT imaging
Proceedings of the IEEE Medical Imaging Conference 2004 Rome, Italie, (2004)
Auteur du laboratoire : Breton V.
- Monte Carlo simulation in PET and SPECT instrumentation using GATE
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 527 (2004) 180-189
Auteurs du laboratoire : Breton V., Lazaro D.
- Grid as a bioinformatic tool
Parallel Computing 30 (2004) 1093-1107
Auteurs du laboratoire : Jacq N., Breton V.
- GATE : a simulation toolkit for PET and SPECT
Physics in Medicine and Biology 49 (2004) 4543-4561
Auteurs du laboratoire : Breton V., Donnarieix D., Maigne L.
- Validation of the GATE Monte Carlo simulation platform for modelling a CsI(Tl) scintillation camera dedicated to small animal imaging
Physics in Medicine and Biology 49 (2004) 271-285
Auteurs du laboratoire : Lazaro D., Donnarieix D., Maigne L., Breton V.
- Parallelization of Monte Carlo simulations and submission to a grid environment
Parallel Processing Letters 14 (2004) 177-196
Auteurs du laboratoire : Maigne L., Breton V., Donnarieix D.
- Synergy between medical informatics and bioinformatics: facilitating genomic medicine for future health care
Journal of Biomedical Informatics 37 (2004) 30-42
Auteurs du laboratoire : Breton V.
- Medical images simulation storage and processing on the European DataGrid testbed
Journal of Grid Computing 2 (2004) 387-400
Auteurs du laboratoire : Breton V., Legre Y., Maigne L.
- A Method to verify originality of sequences secretly on distributed computing environment
Proceedings of the International Conference on High Performance Computing and Grid in Asia Pacific Region, Tokyo, Japon (2004)
Auteurs du laboratoire : Breton V.

Effect of noise and modeling errors on the reliability of fully 3D Monte Carlo reconstruction in SPECT
Proceedings of the IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS / MIC), Rome, Italie (2004)
Auteurs du laboratoire : El Bitar Z., Breton V.

DataGrid prototype of a biomedical grid
Methods MIMST 42 (2003) 1-5
Auteur du laboratoire : Breton V.

Finding unique PCR products on distributed database
IPSIJ Transaction on Advanced Computer Systems 44 SIG6 (2003) 34-44
Auteur du laboratoire : Breton V.

Feasibility and value of fully 3D Monte Carlo reconstruction in single photon emission computed tomography
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 527 (2003) 195-200
Auteurs du laboratoire : Lazaro D., Breton V.

GATE, a Geant4-based simulation platform for PET integrating movement and time management
IEEE Transactions on Nuclear Science 50 (2003) 1516-1521
Auteurs du laboratoire : Lazaro D., Breton V.

Fully 3D Monte Carlo reconstruction in SPECT: proof of concept and is it worthwhile?
Proceedings of the International Conference on Fully 3D Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine, Saint Malo, France (2003)
Auteurs du laboratoire : Lazaro D., Breton V.

Finding unique PCR products on distributed databases
Proceedings on CCGrid2003 (2003) 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Tokyo, Japon
Auteur du laboratoire : Breton V.

Evaluation of unique sequences on the european Data Grid
APBC 2003 (2003) 43-52 1st Asia-Pacific Bioinformatics Conference, Adelaide, Australie
Auteur du laboratoire : Breton V.

Medical image content-based queries using the grid
Proceedings of the First European HealthGrid Conference (2003)142-151, Lyon, France
Auteur du laboratoire : Breton V.



Présentation à des congrès et workshops

Théorie

Mathiot

Non-perturbative renormalization in Light Front Dynamics with Fock space truncation
Light-Cone QCD and Nonperturbative Hadron Physics
Cairns, Australie, 07/07/2005 15/07/2005

Orloff J.

The Maximal Neutrino Flux from Neutralino Annihilation in the Galactic Center
40^e Rencontres de Moriond - Very High Energy Phenomena in the Universe
La Thuile, Italie, 12/03/2005 19/03/2005

Orloff J.

Leptonic CP violation and the baryon asymmetry
International Workshop on Exploring the Impact of New Neutrino Beams
Trento, Italie, 18/10/2004 22/10/2004

Orloff J.

Theory summary
39^e Rencontres de Moriond Electroweak Interactions and Unified Theory
La Thuile, France, 21/03/2004 28/03/2004

Mathiot

Renormalized nonperturbative scalar and fermion models in covariant light Front Dynamics
Light-Cone 2004
Amsterdam, Pays-Bas, 08/2004

Morenas

Phenomenological discussion of $B \rightarrow P V$ decays in QCD improved factorization approach
38th Rencontres De Moriond On Electroweak Interactions And Unified Theories
Les Arcs, France, 15/03/2003 22/03/2003

Orloff J.

Leptogenesis: a link between the matter-antimatter asymmetry and neutrino physics
38 Rencontres de Moriond: Electroweak Interactions and Unified Theories
Les Arcs, France, 15/03/2003 22/03/2003

ATLAS

Cogneras E.

Reconstruction de quarks tops produits dans le cadre du Modèle Standard
Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs 2005
Aussois, France, 4/12/2005 10/12/2005

Calvet D.

Test System for the production of the ATLAS tile - calorimeter front-end electronics
9th Pisa Meeting on Advanced Detectors
La Biodola, Isola D'Elba, Italie 25/05/2003
31/05/2003

LHCb

Deschamps O.

ackm from $B \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, LHCb sensitivity
CKM 2005 Workshop on the unitary triangle
San Diego, Californie, USA, 15/03/2005
18/03/2005

Robert A.

A model-independent analysis of new physics contributions in $|\Delta F| = 2$ transitions
Flavor in the era of the LHC
CERN, Genève, Suisse, 7/11/2005 10/11/2005

Conte E.

Phénoménologie de la désintégration $\Lambda_b \rightarrow \Lambda +$ meson vecteur, recherche d'une violation des symétries CP et T
Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs 2005
Aussois, France, 4/12/2005 10/12/2005

Perret P.

Status and expected performance of the LHCb experiment
6th International Conference on Hyperons, Charm and Beauty Hadrons
Chicago, États-Unis d'Amérique, 27/06/2004
03/07/2004

Ajaltouni Z.

Direct CP violation in B decays with ρ^0_ω mixing
18th International Workshop on High energy Physics
and Quantum Field Theory, QFTHEP004
St Petersburg, Russie, 17/06/2004 23/06/2004

Borras D.

Mesure du B^0_s de plus court temps de vie dans le
cadre de l'expérience LHCb
Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs 2004
Ile de Berder, France, 28/11/2004 03/12/2004

Deschamps O.

LHCb calorimeter from trigger to physics
11th International Conference On Calorimetry In
High-Energy Physics (Calor 2004)
Perugia, Italie, 28/03/2004 02/04/2004

Monteil S.

LHCb preshower photodetector and electronics
11th International Conference On Calorimetry In
High-Energy Physics (Calor 2004)
Perugia, Italie, 28/03/2004 02/04/2004

Carloganu C.

MAPMTS and front end electronics for the LHCb
preshower readout
9th Pisa Meeting on Advanced Detectors
La Biodola, Isola D'Elba, Italie 25/05/2003
31/05/2003

Ajaltouni Z.

Simulation methods of the processes $B \rightarrow \pi^+\pi^-V$
including ρ^0_ω mixing effects
CERN Workshop on Monte Carlo Tools for the LHC
Genève, France, 07/07/2003 01/08/2003

ILC

Gay P.

Higgs self coupling at 800 GeV,
ECFA Study on Physics and Detectors for a Linear
Collider
Third International Linear Collider (ILC) Workshop
2005
Vienne, Autriche, 14-17 November 2005

Gay P.

Analysis plans and results
ECFA Study on Physics and Detectors for a Linear
Collider
Third International Linear Collider (ILC) Workshop
2005
Vienne, Autriche, 14-17 November 2005

Manen S.

Front end electronics dedicated to the next
generation of linear collider calorimeter
International Conference on electronics for LHC
and future experiments
Boston, USA, September 2004

Manen S.

R&D de l'électronique front-end du calorimètre
électromagnétique de FLC
Journées VLSI de l'IN2P3
Paris Jussieu, France, Juin 2004.

DO

Gay P.

Search for associate neutralino and chargino
production with DO
13th International Conference on Supersymmetry
and Unification of the Fundamental Interactions,
SUSY 05
Durham, 18-23 July 2005

ALICE

Crochet P.

The LHC heavy flavor program
Flavor Productions & Hot/Dense Quark Matter
Brookhaven, États-Unis d'Amérique, 12/12/2005
14/12/2005

Rosnet P.

The muon spectrometer of the ALICE experiment at
LHC
IEEE Nuclear Science Symposium (NSS)
San Juan (Puerto Rico), États-Unis d'Amérique,
24/10/2005 27/10/2005

Crochet P.

(Di)leptons physics with ALICE
International Workshop on transition Radiation
Detectors, Present and Futur
Cheile Gradistei, Roumanie, 24/09/2005
28/09/2005

Guernane R.

Beauty production with the ALICE detector
Proceedings of the XLth Rencontres de Moriond on
QCD and High Energy Hadronic Interactions
La Thuile, Italie, 12/03/2005 19/03/2005

Crochet P.

(Di)lepton physics with ALICE
18th International Conference on Ultrarelativistic
Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2005

(QM 2005)

Budapest, Hongrie, 04/08/2005 09/08/2005

Crochet P.

(Di)lepton physics with ALICE

International Workshop XXXIII on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Excitations

Hirschegg, Autriche, 16/01/2005 22/01/2005

Crochet P.

(Di)leptons and heavy flavors in heavy ion collisions at the LHC

International Workshop on Electromagnetic Probes of Hot and Dense Matter

Trento, Italie, 02/06/2005 12/06/2005

Bastid N.

Trigger status : Electronics

International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion Collisions at LHC

Peterhof, Russia, 01/06/2005 07/06/2005

Crochet P.

Update on trigger rates

International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion Collisions at LHC

Peterhof, Russia, 01/06/2005 07/06/2005

Jouve F.

Dimuon trigger electronics

International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion Collisions at LHC

Peterhof, Russia, 01/06/2005 07/06/2005

Guernane R.

Update on centrality dependence of heavy flavors production in Pb-Pb

International Workshop on Computing for Heavy Ion Physics

Nantes, France, 26/04/2005 29/04/2005

Stoicea G.

ALICE computing with the grid in Clermont-Fd

International Workshop on Computing for Heavy Ion Physics

Nantes, France, 26/04/2005 29/04/2005

Yermia F.

RPCs for the ALICE Muon Trigger System

International Workshop on Relativistic Heavy-Ion Physics FOPI Days in Split

Split, Croatie, 25/05/2005 29/05/2005

Guernane R.

Measuring b-meson production cross in 5.5 TeV Pb-Pb collisions using semi-leptonic decay muons

International Workshop on Heavy Flavors in Heavy

Ion Collisions at the LHC

Clermont-Ferrand, France, 13/12/2004

15/12/2004

Grigoryan S.

Quarkonia production vs centrality in the Pb-Pb collisions using the ALICE Muon Spectrometer

International Workshop on Heavy Flavors in Heavy Ion Collisions at the LHC

Clermont-Ferrand, France, 13/12/2004

15/12/2004

Crochet P.

Quarkonia and heavy flavors at the LHC

Hard Probes 2004 International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High Energy Nuclear Collisions

Ericeira, Portugal, 04/11/2004 10/11/2004

Dupieux P.

Physics perspectives with the ALICE muon spectrometer

Physics at LHC

Vienne, Autriche, 13/07/2004 17/07/2004

Guerin F.

Etude des performances du système de déclenchement du spectromètre à muons de l'expérience ALICE

Journées Jeunes Chercheurs 2004

Ile de Berder, France, 28/11/2004 03/12/2004

Rosnet P., Royer L.

Front-end electronics for ALICE dimuon trigger RPCs

IEEE Nuclear Science Symposium (NSS)

Rome, Italie, 16/10/2004 22/10/2004

Yermia F.

R&D on RPC for muon trigger system for the ALICE experiment in view of p-p data taking

IEEE Nuclear Science Symposium (NSS)

Rome, Italie, 16/10/2004 22/10/2004

Crochet P.

Physics perspectives with ALICE

Gordon Research Conference on Nuclear Chemistry : Nuclear Reactions, Flavors across Energies

New London, États-Unis d'Amérique, 13/06/2004

18/06/2004

Crochet P.

The muon trigger in AliRoot

19th International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC

Berg-en-Dal, Afrique du sud, 06/2004

Crochet P.

Open heavy flavour measurements in ALICE

(di)muon channels
19th International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC
Berg-en-Dal, Afrique du sud, 06/2004

Dupieux P.
Status of trigger electronics
19th International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC
Berg-en-Dal, Afrique du sud, 06/2004

Guérin F.
Update of trigger efficiency and rates : preliminary results for Pb-Pb collisions
19th International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC
Berg-en-Dal, Afrique du sud, 06/2004

Dupieux P.
Local trigger electronics
International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC
Torino, Villa Gualino Italie 05/05/2003
09/05/2003

Dupieux P.
Performances of a prototype for the ALICE muon trigger at LHC
13th IEEE-NPSS (Nuclear and Plasma Sciences Society)
Montréal, Québec, Canada, 18/05/2003
23/05/2003

Rosnet P.
Trigger front-end electronics and related topics
International Workshop on Dimuon Physics in ion-ion collisions at LHC
Torino, Villa Gualino, Italie, 05/05/2003
09/05/2003

Forestier B.
Performances of a prototype for the ALICE muon trigger at LHC
7th Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors
Clermont-Ferrand, France, 20/10/2003
22/10/2003

Sonde Electromagnétique

Fonvieille H.
VCS at Low Energy and the Generalized Polarizabilities
Trento (ECT), Italie, 05/2005

Fonvieille H.
VCS at Low Energy, Present Status and Perspectives
Donnersberg, Allemagne, 12/09/2005

Bensafa I.K.
Etude de la structure interne de la matière par la diffusion Compton virtuelle a basse énergie
Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs 2005
Aussois, France, 4/12/2005 10/12/2005

Ferdi C.
Experimental Status of DVCS at Jefferson Lab-Hall A
3rd International Symposium on the Gerasimov-Drell-Hearn Sum Rule and Its Extensions
Old Dominion University, Virginia, USA, 2-5 June 2004

Fonvieille H.
Virtual Compton Scattering at Low Energy and the Generalized Polarizabilities of the Nucleon
International School of Nuclear Physics 26, Lepton Scattering and the Structure of Hadrons and Nuclei
Erice, Italie, 16/09/2004 24/09/2004

Bensafa I.
Nucleon structure study by polarized virtual compton scattering
7th Constantine High Energy Physics School
Constantine, Algérie, 03/04/2004 08/04/2004

Fonvieille H.
Virtual Compton scattering at low energy and the generalized polarizabilities of the nucleon
International Workshop on Probing Nucleons and Nuclei via the (e,e'p)reaction EEPO3
Grenoble, France, 14/10/2003 17/10/2003

Fonvieille H.
Virtual Compton Scattering at low energy and the generalized polarizabilities of the nucleon
International Workshop on Chiral Dynamics, Theory and Experiment
Bonn, Allemagne, 08/09/2003 13/09/2003

Camsonne A.
DVCS in JLab Hall A
Tucson, USA, 2003

FOPi

Bastid N.
Nuclear collective flow from Lee-Yang zeroes and standard procedures in Ni + Ni reactions at 1.93 AGeV
International Workshop on Relativistic Heavy-Ion

Physics, FOPI Days in Split
Split, Croatie, 25/05/2005 29/05/2005

Bastid N.

Results from FOPI on nuclear collective flow in heavy ion collisions at SIS energies
International Nuclear Physics Conference (INPC 2004)
Göteborg, Suède, 27/06/2004 02/07/2004

Bastid N.

Results from FOPI on flow in heavy ion collisions at SIS energies
Topics in Heavy Ion Collisions
Montreal, Canada, 25/06/2003 28/06/2003

Lopez X.

Measurement of strange resonances with FOPI at SIS
International School on Nuclear Physics
Erice, Italie, 16/09/2003 24/09/2003

Thermoluminescence

Bassinat C.

Thermoluminescence of heated quartz grains : intercomparisons between SAR and multiple aliquot additive dose techniques
11th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating
Cologne (Allemagne) 25-29 juillet 2005

Courtine F.

Simulation of detection of gamma radiation by germanium detector
MGS workshop 2005. Detectors simulation and characterisation & Pulse shape generation.
Strasbourg, France, 19-20 avril 2005

Bassinat C.

Datation d'une coulée volcanique wurmienne à Malauzat (Chaîne des Puys, France) par la thermoluminescence et la luminescence optiquement stimulée du quartz
Archéométrie 2003 (Congrès du Groupe des Méthodes Physiques et Chimiques Contribuant à l'Archéologie, GMPCA)
Bordeaux, France, 16-19 avril 2003

Courtine F.

Simulation de la détection du rayonnement gamma par un détecteur germanium. Utilisation des plate-formes Gate et Geant4
20e Journée des Laboratoires Associés de Radiophysique et de Dosimétrie (LARD)

Clermont-ferrand, France, 16-17 octobre 2003

Courtine F.

Simulation de la détection de rayonnement gamma par un détecteur germanium avec la plate-forme G.A.T.E. basée sur GEANT4
Journées Jeunes Chercheurs 2003
Aussois, France, 1-5 décembre 2003

PNAB

Jallot E.

Characterisation by PIXE method of trace elements during physico-chemical reactions at the periphery of bioactive glass pastilles in contact with biological fluids
5th International Symposium on Trace Elements in human : New Perspectives
Athens, Grèce, 13/10/2005 15/10/2005

Jallot E.

Bioactivity process on glass particles at the submicrometer scale by EDXS/STEM
13th European Microscopy Congress
Anvers, Belgique, 22/08/2004 27/08/2004

Jallot E.

Dissolution kinetics physico-chemical reactions at bioactive glass/bone interface studied by STEM-EDXS
10th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering MEDICON 2004
Naples, Italie, 31/07/2004 05/08/2004

Irigaray J.L.

Atomic transfers between implanted bioceramics and tissues in orthopaedics surgery
9th Seminar and Meeting on Ceramics Cells and Tissues
Faenza, Italie, 28/09/2004 01/10/2004

Jallot E.

Characterization of intra-cellular ionic concentrations of monocytes in contact with bioactive glasses and hydroxyapatite particles. A TEM cryo-Xray analysis of diffusible ions
4th International Symposium on Trace Elements in Human : New Perspectives
Athens, Grèce, 09/10/2003 11/10/2003

Jallot E.

STEM and EDXS characterization of physico-chemical reactions at the periphery of bioactive glass particles in contact with biological fluids
4th International Symposium on Trace Elements in

Human : New Perspectives
Athens, Grèce, 09/10/2003 11/10/2003

Barbotteau Y.
Properties of two biological glasses used as metallic
prosthesis coatings and after an implantation in
body
16 th International Symposium on Ceramics in
Medicine
Porto, Portugal, 06/11/2003 09/11/2003

AVIRM

Francis Z.
Monte Carlo, track structure calculations of low
energy particles in liquid water
10th International Conference Geant4 2005
Bordeaux, France, 03/11/2005 10/11/2005

Francis Z.
Etude des effets des faibles doses et faibles débits
de doses de neutrons de 14 MeV sur les cellules
vivantes.
XXII Journées des Laboratoires Associés de
Radiophysique et de Dosimétrie, LARD 2005
Montbéliard, France, 20/10/2005 21/10/2005

Vert P.-E.
Contribution of HEP electronics techniques to the
medical imaging field
14th IEEE-NPSS Real Time Conference 2005
Stockholm, Suède, 04/06/2005 10/06/2005

Gaglione R.
An application specific integrated for multi anode
PMT
IEEE Medical Imaging Conference, MIC 2004
Rome, Italie, 16/10/2004 22/10/2004

PCSV

Breton V.
Les grilles pour le développement médical
Deuxième Colloque sur le développement durable
et la santé dans les pays du sud
Lyon, France, décembre 2005

El Bitar Z.
Monte Carlo tomographic reconstruction in SPECT
impact of bootstrapping and number of generated
events
Open International Conference on Modeling and
Simulation (OICMS 2005)
Clermont-Ferrand, France, 13/06/2005
15/06/2005

Breton V.
Applications' Status (NA4)
Fourth EGEE Conference
Pisa, Italy, 24/10/2005 28/10/2005

Breton V.
Application
Fourth EGEE Conference
Pisa, Italy, 24/10/2005 28/10/2005

Jacq N.
Demonstration of the First Prototype of RUGBI,
Design and Deployment of a Grid for
Bioinformatics
HealthGRID 2005
Oxford, Royaume-Uni, 07/04/2005 09/04/2005

El Bitar Z.
Reconstruction tri-dimensionnelle complète
d'images en spect-ct par modelisation Monte-Carlo
44èmes Journées Scientifiques de la Société
Française de Physique Médicale (SFPM)
Avignon, France, 01/06/2005 03/06/2005

Thiam C.O.
Les grilles de calcul au service de la physique
médicale
44èmes Journées Scientifiques de la Société
Française de Physique Médicale (SFPM)
Avignon, France, 01/06/2005 03/06/2005

Breton V.
The Healthgrid White Paper
Healthgrid 2005
Oxford, Royaume-Uni, 07/04/2005 09/04/2005

Thiam C.O.
Gate simulations in a grid environment
10th International Conference Geant4
Bordeaux, France, 03/11/2005 10/11/2005

Thiam C.O.
Gate for brachytherapy applications
10th International Conference Geant4
Bordeaux, France, 03/11/2005 10/11/2005

Jacq N.
Biomedical research on a computing grid
environnement
International Symposium on Web Services for
Computational Biology and Bioinformatics
Blacksburg, États-Unis d'Amérique, 25/05/2005
27/05/2005

Breton V.
Empowering humanitarian medical development
using grid technology

HealthGRID 2004
Clermont-Ferrand, France, 29/01/2004
30/01/2004

Maigne L.
Parallelization of Monte Carlo simulations and
submission to a grid environment
HealthGRID 2004
Clermont-Ferrand, France, 29/01/2004
30/01/2004

Breton V.
Applications Deployment
2nd EGEE Conference
The Hague, Pays-Bas, 22/11/2004 26/11/2004

Breton V.
A perspective on the Healthgrid initiative
Second International Workshop on Biomedical
Computations on the Grid, at the 4th IEEE/ACM
International Symposium on Cluster Computing and
the Grid (CCGrid 2004)
Chicago, États-Unis d'Amérique, 19/04/2004
22/04/2004

Breton V.
Health grid
International Symposium on Grid Computing
Taipei, Chine, 08/03/2003 11/03/2003

Maigne L.
Simulation Monte Carlo en médecine nucléaire,
radiothérapie-curiethérapie avec une plateforme de
simulation Gate basée sur Geant4
20emes Journées des Lards
Clermont-Ferrand, France, 16/10/2003
17/10/2003

Maigne L.
Simulations Monte Carlo en curiethérapie oculaire
avec le logiciel GEANT4-GATE
Journées de Recherche en Ophtalmologie
Clermont-Ferrand, France, 05/05/2003
06/05/2003



Séminaires du laboratoire

Potentiels de recherche d'antimatière et de matière noire

Sylvie Rosier

Cosmological GRB: a near future tool to investigate the universe at $z > 1$?

Guido Barbiellini

Techniques and applications of online tracking at the LHC

Nikolaos Konstantinidis

Nucleon Structure Study in Nuclear Deep Inelastic Scattering

Alexandre Molochkov

L'astronomie des neutrinos

Françis Vannucci

La production d'antinoyaux légers dans le rayonnement cosmique

R. Duperray et K. Protassov

Enhancing High Pt Jet Physics in ALICE with an ElectroMagnetic Calorimeter

L.S. Pinsky

Comment faire de la physique électrofaible sans boson de Higgs

Christophe Grojean (Service de Physique Théorique, CEA-Saclay)

Physics of linear collider

François Richard (LAL, Orsay)

Réponse des chambres à fils (Cathode Pad Chamber) du spectromètre dimuon de l'expérience ALICE

K. Boudjemline (SUBATECH, Nantes)

Rencontres de Moriond - Electroweak Interactions and Unified Theories Theory Summary

Jean Orloff (LPC Clermont)

Détection des résonances étranges à STAR et mesure d'étrangeté et de charme grâce à l'ITS (Inner Tracking System) d'ALICE

L. Gaudichet (Universita di Torino et INFN)

Etude de la matrice CKM avec CDF : résultats et perspectives

L. Vacavant (LBL)

Evidence for $S=-2$ Pentaquarks in p+p Collisions at the CERN SPS

Peter Seyboth (Max Planck Institut fur Physik)

Flot des baryons multi-étranges au RHIC: à la recherche du flot partonique

Javier Castillo (LBNL)

L'interface machine-détecteur du collisionneur linéaire e+e-

Philip Bambade (LAL, Orsay)

Développement et applications des micro-faisceaux d'ions à l'interface Physique-Biologie au CENBG

S. Incerti (CENBG)

Mesure du facteur de forme électrique du neutron

Michael Seimetz (DAPNIA/SPhN, CEA Saclay)

Recherche de matière noire avec le spectromètre AMS-02

Catherine Adloff (LAPP, Annecy)

Les collisions d'ions lourds à RHIC

Philippe Rosnet (LPC Clermont)

La gestion des documents électroniques et l'outil EDMS

Chantal Harb (CC IN2P3 Lyon) et Christian Olivetto (IRES Strasbourg)

QCD sur réseaux

Olivier Pene (LPTHE Orsay)

Implants de biomatériaux dans l'os: intérêt d'un modèle de percolation

Jean-Francois Mathiot (LPC Clermont)

Parity-violating asymmetries from the G0 experiment

Julie Roche (Jefferson Lab.)

Neutralinos, Gravitinos and the Cosmic Lithium Problems

Karsten Jedamzik (Montpellier)

Electron Beam for LHC

Mieczyslaw Witold Krasny (LPNHE, Pierre et Marie Curie University, Paris)

Production and Flow of Neutral Strange Particles in FOPI

Markus Merschmeyer (Physikalisches Institut, Heidelberg)

Les grilles de calcul au service des traitements de lutte contre le cancer

Lydia Maigne (LPC Clermont)

Etat d'avancement du Tiers 2 Clermontois et du projet Auvergrid

Jean-Claude Chevalerey (LPC Clermont)

Polynomes orthogonaux contraints; coordonnees, modes et cartes pour la fonctionnelle densite

Bertrand Giraud (CEA)

Des premiers hommes modernes à l'apparition de l'art : apport des méthodes de datation

Hélène Valladas (Labo des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA-CNRS, Gif)

Etude des collisions d'ions lourds aux énergies du SIS et du LHC

P. Crochet (LPC Clermont)

Dispositif expérimental pour la diffusion Compton virtuelle dans le régime profondément inélastique dans le Hall A au Jefferson Laboratory

Alexandre Camsonne (LPC Clermont)

Présentation de la valorisation à l'IN2P3

Jacques Doremus (chargé de mission pour la valorisation à IN2P3)

Recherche de la décroissance double bêta sans émission de neutrino. Présent et futur de l'expérience NEMO

Christine Marquet (CENBG)

Le calorimètre électromagnétique accordéon a argon liquide de l'expérience ATLAS

Fares Djama (CPPM)

Les résonances de quarks lourds comme sonde du plasma de quarks et de gluons. Du SPS au LHC

Philippe Pillot (ISN Grenoble)

The Femto-experiment for the LHC: the W-boson beams and their targets

Witek Krasny (LPNHE, l'Université Pierre et Marie Curie, Paris)

Derniers résultats de l'expérience KamLAND sur les oscillations des neutrinos et la détection des géoneutrinos

Fabrice Piquemal (CENBG Bordeaux)

Etude de la production de charme ouvert et de Drell-Yan dans les collisions p+p à 200 GeV avec le détecteur PHENIX à RHIC

Sébastien Gadrat (LPC Clermont)

Fiabilité, comment répondre à la question : le système, marchera-t-il ?

Gianluca Guaglio (LPC Clermont / CERN)

Mesures des paramètres cosmologiques à partir des Supernovae Ia : contraintes et biais d'analyses

Jean-Marc Virey (Centre de Physique Théorique de Marseille)

L'avancement de la construction du détecteur ATLAS

David Calvet (LPC Clermont)

Interactions des ions lourds ultrarelativistes avec la matière

George Smirnov (LPC Clermont)

Discrete symmetries and general relativity, the dark side of gravity

Frederic Henry-Couannier (CPPM Marseille)

Decoherence or the story of life and death of Schrödinger cats in the real world

Pascal Degiovanni (ENS Lyon)

New results from BaBar

Fernando Ferroni (INFN)

Masses des neutrinos et leptogenèse

Thomas Hambye (Oxford)

Mesures de violation de CP dans l'expérience Belle

Luc Hinz (LPHE Lausanne)

Pourquoi et comment maîtriser les fonds astrophysiques ?

David Maurin (Service d'Astrophysique, CEA Saclay)

Etats quantiques du neutron dans le champ de pesanteur

K. Protassov (Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, Grenoble)

De la mesure ou du calcul à la dose en physique radiologique, médicale et industrielle

Didier PAUL (Aix- Marseille II)

Les dimensions supplémentaires à l'heure de l'expérimentation

Nadia Lahrichi (LAL)

Modèle effectif de Matière Noire Fermionique, et Détection Indirecte en Astronomie Gamma avec CELESTE

Julien Lavalle (Groupe d'Astroparticules de Montpellier)

De la physique nucléaire à l'imagerie médicale : enjeux et perspectives

Sebastien Jan (CEA - Direction des Sciences du Vivant - Service Hospitalier Frederic Joliot – Orsay)

Violation de CP et matrice CKM : à la mi-temps des usines à B

Muriel Pivk (CERN)

Les constantes fondamentales et leurs variations

Jean-Philippe UZAN (Institut d'astrophysique de Paris)

Polarisation hadronique du vide et le moment magnétique du muon

Andreas Hoecker (LAL Orsay)

Des traces nucléaires dans les polymères à la radiobiologie ou comment réorienter sa recherche sans vendre son âme

Michel Fromm (Laboratoire de Microanalyses Nucléaires Alain Chambaudet UMR CEA Université de Franche-Comté, Besançon)

De la calibration de la TPC d'ALICE aux corrélations de particules

Gaël Renault (Niels Bohr Institute et Université de Copenhague)

Diffusion Compton Profondément Virtuelle (DVCS) dans le Hall A au Jefferson Lab

Carlos Munoz Camacho (CEA, Saclay)

Recherche expérimentale de Pentaquarks : revue et perspectives

Silvia Niccolai (IPN Orsay)

Le Charme des Mésons Beaux

Fabrice Couderc (CEA Saclay)

Une approche probabiliste et dynamique des systèmes biologiques par simulation numérique

Bertrand Laforge (LPNHE)

The Structure of Nucleon

Kees De Jaeger (Jefferson Lab)

Astronomy with ultra high energy cosmic rays

Alvise Mattei (LAPP Annecy)

Les collisions des ions lourds aux énergies du SIS

Xavier Lopez (GSI- Darmstadt, Allemagne)

BABAR

Denis Bernard (Laboratoire Leprince-Ringuet)

L'utilisation des hadrons pour le traitement des tumeurs : Projet ETOILE

Gérard Montarou (LPCC Clermont)



Séminaires à l'extérieur du laboratoire et autres présentations

Séminaires

Crochet P.

ALICE au pays du QGP
CENBG, Bordeaux, France, mai 2005

Ajaltouni Z.

Time reversal in subnuclear physics :
phenomenology and experiments
Trento, Italie (ECT), avril 2005

Jallot E.

Etude par faisceaux d'ions et d'électrons des
interfaces biocéramiques/tissus vivants.
Institut de Physique Nucléaire, Orsay, France, 11
avril 2005

Manen S.

Convertisseur analogique numérique pipeline 10
bits
Séminaire microélectronique de l'IN2P3
Porquerolles, France, Avril 2005

Mathiot J.-F.

Théorie des champs sur le front de lumière.
Application à la structure d'états liés relativistes
Assemblée générale des théoriciens nucléaires
Paris, France, mai 2005

Mathiot J.-F.

Implants de biomatériaux dans l'os : intérêt d'un
modèle de percolation
CENBG, Bordeaux, France, février 2004

Labonne B.

Théorie de Yang-Mills sur le superspace
Séminaire du Groupe de travail Géométrie,
Algèbre, Algèbres d'opérateurs
Laboratoire de Mathématiques
Clermont-Ferrand, France, avril 2004

Labonne B.

Introduction au formalisme géométrique de la
supersymétrie

Séminaire du Groupe de travail Géométrie,
Algèbre, Algèbres d'opérateurs
Laboratoire de Mathématiques
Clermont-Ferrand, France, avril 2004

Labonne B.

Du modèle standard à la supersymétrie
Séminaire Florin Perrier (séminaires de
vulgarisations destiné aux doctorants, étudiants et
chercheurs de l'Université Blaise Pascal)
Ecole Doctorale de l'UBP
Clermont-ferrand, France, décembre 2004

Cours et Ecoles

Dupieux P.

L'étude du QGP au LHC
Ecole Internationale Joliot-Curie 2005, la QCD à
l'oeuvre : des hadrons au plasma
Maubuisson, France, 11/09/2005 17/09/2005

Orloff J.

Discovering SUSY Dark Matter: the need for direct,
indirect & collider searches
Ecole Pré-Doctorale européenne des Houches
Les Houches, France, septembre 2005

Crochet P.

Collisions d'ions lourds ultra-relativistes, la chasse
au QGP
Ecole d'instrumentation de l'IN2P3 : de la physique
au détecteur
Cargèse, France, novembre 2004

Orloff J.

Baryogénèse, Leptogénèse et Violation de CP
Ecole de GIF de Physique des Particules destinée
aux thésards et jeunes docteurs
CEA, Saclay, France, septembre 2003

GDR

Gaglione R.

Circuits TDIM : un ASIC pour PM dédié à l'imagerie médicale
GDR MI2B
Orsay, France, 17/05/2005

Mathiot J.-F.

Théorie des champs sur le front de lumière
Réunion annuelle du GDR « Lattice QCD »
Autrans, France, Juin 2005

Labonne B.

Suppression of the Zh channel
Meeting Euro GDR
Barcelone, Espagne, novembre 2005

Labonne B.

Annihilation de neutralinos : Suppression du canal Zh
Réunion du groupe de travail « Matière Noire » (GDR SUSY)
Annecy, France, octobre 2005

Labonne B.

Annihilation de l'annihilation de neutralinos en Zh
Réunion du GDR SUSY,
Clermont-Ferrand, France, juillet 2004

Orloff J.

Lightest Kaluza-Klein Particle: a Serious Dark Matter Candidate?
Atelier Matière Noire du GDR PCHE
Montpellier, France, octobre 2003

Autres présentations

Mathiot J.-F.

Au cœur de la matière
Les Mercredis de la Physique
Clermont-Ferrand, France, juin 2003

Orloff J.

Recherche de matière noire: modèle standard et au-delà
Congrès de prospective du LLR
Carré des Sciences, Paris, France, 17/05/2004
18/05/2004

Jallot E.

Study of interactions between biomaterials and bone tissues.
Journées de perspectives sur les faisceaux d'ions en Aquitaine
CENBG , Bordeaux, France, 4-5 Novembre 2005

Crochet P.

Day-one physics in pp collisions with the muon spectrometer
Journées ALICE France
IPN Orsay, France, 22-24 mai 2005

Crochet P.

Collisions d'ions lourds ultra-relativistes, la chasse au QGP
La Physique pour les ITA
LPC, Clermont-Fd, février 2005

Labonne B.

Invariance de Jauge et Suppression de l'annihilation de Neutralinos en Zh
Rencontre de physique des particules
Marseille, France, mars 2005

Crochet P.

Perspectives de physique avec Alice
Journées ALICE France
Strasbourg, France, mars 2004

Vazeille F.

Etat d'avancement des contributions IN2P3 au détecteur ATLAS : Calorimètre à Argon liquide, Tilecal et Pixels
Conseil Scientifique de l'IN2P3
Paris, France, décembre 2004

Bastid N.

Hadronic matter at SIS energies – FOPI experiment
Journées de perspectives DAPNIA-IN2P3 2004-2014 : structure interne des hadrons
IPN Orsay, France, 1/06/2004

Crochet P.

Perspectives de physique avec Alice
Conseil Scientifique de l'IN2P3
Paris, France, décembre 2003



Laboratoire de Physique Corpusculaire
de Clermont-Ferrand



Unité Mixte de Recherche 6533 Université Blaise Pascal / CNRS - IN2P3
63177 Aubière cedex • Tél. 33 (0)4 73 40 72 72 • Fax 33 (0)4 73 26 45 98 • <http://clrwww.in2p3.fr/>