

Table des matières

TABLE DES MATIERES	1
CURRICULUM VITAE.....	2
ETUDES UNIVERSITAIRES.....	2
DIPLOMES UNIVERSITAIRES.....	2
CARRIERE CNRS	2
DISTINCTION.....	2
RAPPORT D'ACTIVITES	3
1. INTRODUCTION CHRONOLOGIQUE ET THEMATIQUE	3
2. LE SEJOUR AU CERN : OCT. 89 - OCT. 90	5
3. LA DOUBLE DESINTEGRATION BETA : 1990 – 1998	6
NEMO2 : LE PROTOTYPE DEVENU EXPERIENCE	6
DE NEMO2 A NEMO3.....	9
4. OSCILLATIONS DE NEUTRINOS : PARTIE DE 1998 A 2005	10
1998, UNE ANNEE CHARNIERE	10
L'ETAPE « MONOLITH » : UN PROJET D'EXPERIENCE DE NEUTRINOS ATMOSPHERIQUES DE NOUVELLE GENERATION	10
L'ETABLISSEMENT DE L'ENGAGEMENT FRANÇAIS A OPERA.....	12
L'ENGAGEMENT DU LAL DANS OPERA.....	15
LES CORNES A NEUTRINOS DU CNGS : UN AUTRE CONTRIBUTION DU LAL.....	17
5. OSCILLATIONS DE NEUTRINOS : PARTIE DE 2005 – A MAINTENANT	19
PREPARATION DES USINES A NEUTRINOS.....	19
SUR LA ROUTE DE MEMPHYS	21
<i>Etude de physique avec des Cerenkov.....</i>	<i>21</i>
<i>PMM2 : la R&D financée par l'ANR</i>	<i>22</i>
<i>La R&D LAL-KEK pour une électronique des HPD dans le cadre FJPPL.....</i>	<i>24</i>
<i>LAGUNA : la R&D dans le cadre du FP7.....</i>	<i>25</i>
AUTRES ACTIVITES	26
ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE	26
RESPONSABILITE DE DIRECTION	26
EXPERTISES.....	27
ORGANISATION DE CONFERENCES, ATELIERS, SEMINAIRES.....	27
COURS DISPENSES	28
SEMINAIRES ET CONFERENCES.....	28
PRÉSENTATIONS À DES CONSEILS SCIENTIFIQUES	29
DIFFUSION DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE	30
LISTE DES DOCUMENTS ARCHIVÉS	31
PMM2 (18).....	31
CNGS-CORNE (76).....	31
CERN-NUFACT ET CARE/BENE-NOTE (5).....	33
OPERA (8).....	33
NEMO (13).....	33
DELPHI(6).....	34

Curriculum Vitae

Campagne Jean-Eric
LAL - UMR 8607
BP34 – 91898 Orsay Cedex
campagne@lal.in2p3.fr
Tél. :01 64 46 84 29
Fax : 01 64 46 83 97

Né le 4 décembre 1964 (43 ans)
Nationalité française
Marié, 2 enfants

Etudes Universitaires

1982 : Baccalauréat C
1982-85 : Lycée Sainte Geneviève de Versailles
1985 : Entrée E.N.S Saint Cloud
1985-86 : Première année du Magistère Inter universitaire de Physique (MIP à Ulm),
comprenant Licence et Maîtrise de Physique de Paris 6
1986-87 : Deuxième année du MIP comprenant le DEA de Physique Théorique d'Ulm.
1987-88 : Fin du MIP comprenant la première année de thèse de doctorat de l'Université de
Paris 6, au LPNHE sous la direction de M. R. Zitoun
1988-89 : Deuxième et dernière année de thèse ainsi que dernière année d'ENS. Soutenance
en mai 1989.

Diplômes Universitaires

Thèse de Doctorat de l'Université de Paris 6 le 25 mai 1989 : « Etude du canal $e^+e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$
(γ) dans le cadre de l'expérience DELPHI : corrections radiatives et performances du système
de déclenchement et de reconstruction ».

Habilitation à diriger des recherches de l'Université Paris 11 le 11 avril 1995 : « Effets de la
nature de Dirac ou de Majorana, ainsi que de la masse, sur le comportement du neutrino. »

Carrière CNRS

01.09.1989 : CR2 02 affecté au LAL
01.07.2006 : CR1 08

Distinction

Médaille de Bronze du CNRS en 1996

Rapport d'activités

1. Introduction chronologique et thématique

Après l'obtention en 1986 du DEA de Physique Théorique de l'Université Paris 6 dans le cadre du Magistère Inter-Universitaire de Physique (MIP) d'Ulm, j'ai passé ma thèse en 1989 au Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies (LPNHE Paris 6&7) dirigée par R. Zitoun. Celle-ci portait sur l'étude du canal $e^+e^- \rightarrow \mu^+ \mu^- (\gamma)$ dans le cadre de l'expérience DELPHI au LEP: corrections radiatives et performances du système de déclenchement et de reconstruction. A la fin de mes années d'Ecole Normale de Fontenay-St Cloud, je suis entré en octobre 89 au CNRS affecté au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay (LAL).

Durant mon stage de fonctionnaire, profitant d'une bourse CERN (fellow), j'ai participé activement au démarrage du détecteur DELPHI, ainsi qu'aux premières déterminations des paramètres du Z^0 et à l'analyse des événements à trois jets, sous la direction de J.E Augustin.

De retour au LAL en octobre 1990, j'ai effectué l'essentiel de mes recherches dans le domaine du Neutrino soit dans les expériences NEMO et OPERA, soit maintenant pour les futures projets d'usine à neutrinos (Super Beam, Beta Beam, NuFact) à la fois sur les aspects machines, les aspects de R&D détecteur Water Cerenkov de très grande taille, et les sujets de physique associés (désintégration du nucléon et neutrinos).

Dans le groupe de S. Jullian (expérience NEMO) de 1990 à 1998 en vue de la recherche de la double désintégration bêta sans neutrino, j'ai dirigé la thèse de G. Pichenot lors de la mesure de la demie-vie du processus permis pour le ^{100}Mo avec NEMO2, et préparé l'expérience NEMO3.

En 1998, je me suis investi avec J-P Repellin dans la constitution d'un groupe en vue de l'étude des oscillations des Neutrinos. J'ai pris officiellement la direction d'un groupe LAL en 2001 lors de l'approbation de sa participation à l'expérience OPERA (présentations au différents CS de l'IN2P3, Modane, LAL). J'ai dirigé la thèse d'A. Cazes soutenue le 20 décembre 2004 et ayant pour titre « Etude du faisceau CNGS et identification des muons dans l'expérience OPERA. Optimisation de la ligne de faisceau du projet SPL-Fréjus ». L'objet de la seconde partie de la thèse d'A. Cazes a été impulsé grâce à ma participation en 2002 en tant qu'animateur du groupe de travail européen COLLECTOR examinant les R&D à entreprendre en vue des futures usines à neutrinos (NuFact) dans le cadre du réseau européen CARE/BENE.

En novembre 2003, le groupe OPERA-LAL a finalisé avec succès l'engagement dans OPERA par la livraison des 1984 circuits de l'électronique frontale du Target Tracker (OPERA_ROC). Le Target Tracker a parfaitement été opérationnel dès l'acquisition des premiers événements neutrinos en 2006. Notons, que ce circuit qui s'adapte sur les MaPMTs 64 canaux d'Hamamatsu est également utilisé à l'IREs et à l'IPNL dans des applications hors physiques des particules (mesure de radioactivité et « petit animal »), et qu'il est la base de plusieurs développements comme front-end d'autres type de détecteurs (ex. LHCb, Atlas, ILC et le projet MEMPHYS).

Le groupe OPERA-LAL a apporté également de nombreuses contributions software : J. Boucrot était en charge du groupe Software et Data Base d'OPERA ; A. Cazes dont j'ai dirigé la thèse, a élargi le programme de reconstruction des traces dont j'étais l'initiateur dans tous les détecteurs électroniques ; et j'ai fourni le framework d'analyse en collaboration avec D. Duchesneau et L. Chaussard après avoir co-dirigé le groupe Software-Analyse d'OPERA au début de l'expérience.

Ainsi, toutes les contributions hardware et software de mon groupe ont été très appréciées par la collaboration OPERA. Le groupe ne pouvant espérer de renfort interne ou externe, et comme J.P Repellin puis J. Boucrot ont pris leur retraite, il a été convenu avec la direction que l'implication du LAL dans OPERA s'achèvera à la première publication sur les oscillations.

A la suite de la constatation de dysfonctionnements, j'ai pris en charge à la demande de B.D'Almagne mi-septembre 2003, la direction du groupe de mécaniciens en charge de la réalisation des « Cornes » du CNGS. Cette direction a été rendue extrêmement délicate premièrement à cause de nombreuses « non-conformités » constatées par les experts CERN sur bon nombre de pièces reçues dans nos ateliers et qu'il a fallu modifier au LAL en profondeur, et deuxièmement à cause d'une atmosphère délétère dans le service SDTM dont les plus hautes autorités de l'IN2P3 ont été informées ainsi que les services compétents du CNRS. Tous les engagements redéfinis en juillet 2004, lors d'un Comité de Suivi de Projet réuni à ma demande, ont été respectés et cela dans le budget initial de 1MFCH de l'IN2P3 pour le CNGS. Un dernier CSP s'est tenu entre le CERN et le LAL-IN2P3 (G. Wormser) à la demande du CERN, pour clore dans les meilleures conditions possibles la collaboration. Les Cornes ont parfaitement fonctionné en 2006 permettant l'enregistrement des premiers événements neutrinos par OPERA.

Dés 2004, mes activités se sont déployées dans le cadre de la définition d'un futur projet d'usine à neutrinos : au niveau français dans l'atelier GDR Neutrinos (M. Dracos), au niveau européens dans le Network BENE/CARE (V. Palladino/J. Dumarchez), et en 2005 au niveau international d'abord dans l'Int. Scoping Study for NuFact & SuperBeam d'initiative anglaise où j'ai rassemblé les activités des groupes travaillant sur des Cerenkov à Eau dans les trois régions géographiques (USA, Japon, Europe) puis dans le regroupement des trois techniques de détection (Cerenkov à Eau, Liquide Scintillant, Argon Liquide) baptisé LAGUNA en Europe sous l'impulsion de S. Katsanevas, F. von Feilitzsch et A. Rubbia. Après une série de réunions plénières et une revue détaillée de la physique possible avec ces détecteurs que j'ai dirigée, un dossier a été présenté par A. Rubbia au 7ème PCRD. Après un avis favorable de l'EU, nous sommes en cours de boucler les arbitrages budgétaires.

De 2005 à 2007, j'ai assuré la coordination avec M. Mezzetto du projet MEMPHYS (contacts en France L. Mosca/Th. Patzak/S. Katsanevas), Cerenkov à Eau de 500kT en masse fiducielle, que pourrait accueillir un nouveau laboratoire souterrain au Fréjus.

Depuis mars 2006, date du dépôt de dossier, je dirige à temps plein le projet Blanc « PMm2 » de R&D sur la photodétection et l'électronique associée pour MEMPHYS. Ce R&D est un partenariat LAL-IPNO-LAPP-Photonis financé par l'ANR pour trois ans à hauteur de 500k€ Il est susceptible d'être stratégiquement très intéressant car il pourrait placer le LAL en position privilégiée pour équiper les détecteurs de la prochaine génération d'expérience après SuperK.

Afin de mieux cerner la physique auprès d'un Cerenkov à Eau de grande dimension dans le cadre d'une expérience de premier plan, il aurait été intéressant de rejoindre l'expérience T2K avec des collègues de l'IN2P3 et du CEA. Le CS du LAL de novembre 2006 a néanmoins préféré différer un éventuel engagement du laboratoire se gardant la possibilité d'accroître sa visibilité dans le programme T2K-2km, via une retombée de PMm2 ou de la collaboration LAL-KEK dans le cadre du FJPPL, si celui-ci voyait le jour.

Enfin, j'assume depuis septembre 05 la présidence du Conseil Scientifique de Modane dont l'extension à 20 fois la capacité actuelle (50,000 m³) est rendu possible par l'approbation fin 2006 par les gouvernements concernés du percement d'un tunnel de sécurité de 8m de diamètre. Notons qu'un ensemble de cavités visant à héberger MEMPHYS (10⁶ m³) serait une nouvelle extension d'un facteur 20. Le LAL par le biais de J.L Borne est impliqué, via LAGUNA, dans le suivi des cahiers des charges établis pour l'avant projet détaillé (APD) par les ingénieurs des entreprises candidates en vue de la réalisation de ce nouveau laboratoire.

Les sections qui suivent détaillent mes activités dans DELPHI, NEMO, OPERA/CNGS, LAGUNA, MEMPHYS et PMm2.

2. Le séjour au CERN : Oct. 89 - Oct. 90

L'entrée au CNRS en qualité de CR2 me fit quitter le LPNHE Paris 6&7 où j'avais effectué ma thèse sous la direction de R. Zitoun, pour rejoindre le groupe TPC-DELPHI du LAL, dirigé à l'époque par J.E Augustin. Profitant d'une bourse CERN, j'ai pu être un membre actif du groupe d'analyse de la TPC et de canaux de physiques. J'ai contribué en particulier, en collaboration avec P. Billoir, à l'amélioration de la mesure de l'impulsion des traces chargées par les différents détecteurs de DELPHI, en travaillant sur leur alignement relatif par l'analyse off-line des événements Z⁰. J'ai aussi participé à la compréhension des distorsions des traces vues par la TPC. Ces travaux firent l'objet de notes internes au groupe TPC et d'exposés devant la collaboration DELPHI. Ils contribuèrent à leur niveau à la qualité des premiers résultats publiés.

Mon travail de thèse portant sur l'étude des corrections radiatives dans le canal $e^+e^- \rightarrow \mu^+ \mu^- (\gamma)$, j'ai bien entendu participé à l'analyse de cette physique de la première heure. Le Monte Carlo au second ordre des corrections radiatives, présenté dans ma thèse (DYMU2 devenu DYMU3 par la suite), ayant fait l'objet de plusieurs publications et d'une présentation à une conférence, a été utilisé par l'ensemble des expériences LEP et tout particulièrement DELPHI et ALEPH. Sa maintenance ainsi que son extension au canal hadronique, ainsi que son implémentation dans la librairie JETSET, a fait partie de mon travail quotidien au CERN.

J'ai également entrepris, en collaboration avec W. de Boer, l'étude des événements hadroniques à trois jets, en vue d'une compréhension de la fragmentation du gluon rayonné. En particulier, il s'agissait de réexaminer «l'effet de string» que la collaboration JADE avait été la première à mettre en évidence aux énergies de PETRA. L'avantage de travailler aux énergies de LEP, permettait la production de jets très bien séparés spatialement, rendant plus aisée l'isolation du jet de gluon. Ce travail fit l'objet d'un séminaire DELPHI, et d'une présentation à la conférence de Singapour 90 par U. Amaldi, porte-parole de la collaboration à l'époque.

3. La Double Désintégration Bêta : 1990 – 1998

NEMO2 : le prototype devenu expérience

En octobre 90, j'ai rejoint le groupe NEMO du LAL dirigé par S. Jullian. Cette collaboration formée en vue d'une expérience de double désintégration bêta de nouvelle génération, utilisant l'émetteur ^{100}Mo entre autres, avait comme objectif la démonstration de la maîtrise des sources de bruit de fond causées par la radioactivité naturelle principalement. Ainsi, avait été mis sur pieds deux prototypes afin d'étudier progressivement les problèmes.

Avant mon arrivée dans la collaboration, le premier prototype dit 64-cellules, mis dans l'environnement du laboratoire souterrain de Modane (LSM), a permis d'affirmer le principe de l'expérience visée. Elle est articulée autour d'une identification des électrons par la signature de leur trajectoire et de la mesure de leur énergie. Ce prototype a contribué également à la définition d'une partie du blindage. En parallèle, une étude systématique par spectroscopie gamma à l'aide de détecteur « germanium » bas bruit, a permis de sélectionner les matériaux de construction du détecteur NEMO2, et par la suite pour le détecteur NEMO3, bien que des mesures aient dû être faites tout au long de la construction de ce nouvel instrument.

L'installation du second prototype (NEMO2) s'est achevée en juin 91 au LSM, après une phase de rodage au LAL à laquelle j'ai participé très activement dès mon retour du CERN. Ce prototype était primitivement destiné à vérifier que le bruit de fond était maîtrisé dans la zone d'énergie de 3MeV, siège de la double désintégration bêta sans neutrino du ^{100}Mo . En deçà de cette énergie, c'est le siège de la double désintégration bêta avec émission de neutrinos $\beta\beta 2\nu$, permise par le Modèle Standard et qui avait été mise en évidence pour l'émetteur ^{100}Mo par les équipes d'Irvine et Osaka en 1990. La zone proche de 3MeV (selon la résolution de l'appareillage), au maximum d'énergie disponible la réaction de double désintégration bêta du molybdène, est là où l'on doit chercher l'hypothétique $\beta\beta 0\nu$ qui révélerait le caractère Majorana du neutrino, et donnerait une estimation de sa masse, sans parler de l'existence éventuelle d'autres types de processus (courants droits, Majoron, Supersymétrie...). En fait, au fur et à mesure, NEMO2 a acquis le statut d'expérience à part entière, dont le premier résultat marquant fût la mesure et l'étude du processus permis $\beta\beta 2\nu$ du ^{100}Mo ($T_{1/2} \sim 10^{19}$ ans) confirmant avec un meilleur rapport signal sur bruit (au moins de 2 sur l'ensemble du spectre de 200keV à 3MeV) les résultats précédents. Ensuite, NEMO2 a également pu déterminer la période du processus permis du ^{116}Cd , du ^{96}Zr et du ^{82}Se , ainsi que la pose de limites de processus à Majoron.

Ma contribution aux efforts de recherches et de développements, a tout d'abord porté sur la mise au point de l'ensemble du détecteur NEMO2. Ce dernier était constitué d'une partie de détection et reconstruction 3D (cellule Geiger) de traces chargées de basse énergie grâce au mélange Hélium-Alcool, et d'une partie de calorimétrie à base de scintillateurs plastiques « lus » par des photomultiplicateurs. Dans le domaine du « online », j'ai mis en œuvre, en collaboration avec C. Longuemare (LPCC), le programme d'acquisition de NEMO2. Il était articulé autour du processeur 68020 (OS9) et du standard CAMAC. La phase de rodage a eu lieu à Orsay, et en collaboration avec G. Szklarz (LAL), j'ai contribué au bon fonctionnement de la partie électronique Geiger et Scintillateur et au système de déclenchement.

NEMO2 utilisait pour la première fois la technique du temps de vol pour discriminer des événements $\beta\beta$ venant de la source placée au milieu du détecteur, du bruit de fond traversant

celui-ci de part en part. Une attention particulière était donc requise pour le système de calibrage des calorimètres (scintillateur + photodétecteur). J'ai mis au point une paramétrisation de la relation temps-amplitude de la réponse temporelle de la chaîne d'électronique (nous ne disposions que de discriminateurs à front de montée à un seuil unique) qui servait par ailleurs au suivi journalier de celle-ci. Les corrections temporelles, que j'étais amené à appliquer aux données brutes, pouvaient atteindre la nanoseconde pour une énergie déposée des électrons/photons entre 100keV et 300keV, et devenaient donc comparables au temps de parcours d'une particule sur la distance de 50cm séparant le milieu du détecteur (source) aux calorimètres. J'ai également déterminé une méthode de calibrage absolue de cette réponse temporelle à l'aide d'événements à 2 photons de 1,6MeV engendrés au milieu du détecteur par une source de ^{60}Co . Les résultats ont été très satisfaisants puisqu'une résolution de 250ps pour une énergie de 1MeV a été obtenue d'une manière stable dans le temps. Grâce à cela, j'ai initié une méthode de discrimination par maximum de vraisemblance (on ne parlait pas encore de réseaux de neurones) des événements traversant le détecteur vis à vis de ceux ayant pour origine l'échantillon central. Elle utilisait les diverses mesures des compteurs, à diverses hypothèses de calcul de temps de vol de chaque particules de l'événement ($2e$, $e\gamma$, $e\gamma\gamma$), le tout pondéré par les résolutions de chaque mesure obtenues lors du calibrage de la relation temps-amplitude et les erreurs attribuées aux calculs « théoriques ». Cette technique a permis d'obtenir un pouvoir de réjection de 10^5 dans le cadre de la thèse de G. Pichenot, et a fait l'objet d'un chapitre pour la proposition d'expérience de NEMO3.

Un autre volet de mon activité a été consacré à la mise en œuvre d'un programme de reconstruction basé sur la méthode progressive que m'avait enseignée P. Billoir (LPNHE Paris 6&7) dans le cadre de DELPHI lors de mon séjour au CERN. Il existait précédemment un tel programme réalisé par nos collègues de Bordeaux, mais celui-ci ne prenait pas en compte ni la résolution intrinsèque des cellules Geiger (que j'avais mesurée à l'aide de cosmique à Orsay lors de la phase de rodage), ni les effets de la diffusion multiple par les électrons. Les cellules Geiger fournissent une localisation à 500 μm près en transverse et à 5mm près en longitudinal. Il fallait par ailleurs absolument tenir compte de la diffusion multiple dans le gaz, même si celui-ci avait été choisi pour sa faible densité : hélium + 4% d'alcool éthylique à pression atmosphérique. En effet, avec les énergies typiques des électrons d'une centaine de keV, des déplacements latéraux de l'ordre de 5mm sur des parcours de 5cm étaient des grandeurs à prendre en compte. Cela a été fait en suivant la méthode proposée par P. Billoir en 1984 (plus connue maintenant sous le nom du « filtre de Kalman »). Ce travail a fait l'objet de notes internes, d'un séminaire au LAL, et d'une étude visant à dimensionner le champ magnétique de NEMO3.

L'application des caractéristiques principales du détecteur NEMO2, à savoir le suivi de la trajectoire des électrons et la mesure de temps par les compteurs, et la signature du bruit de fond de radioactivité naturelle (signature des photons), ont fait l'objet de la thèse de G. Pichenot que j'ai dirigé et dont le but était la mesure de la demie-vie du processus $\beta\beta_{2\nu}$ du ^{100}Mo .

Le détecteur NEMO2 est passé par différentes étapes dont certaines se sont effectuées après mon passage dans la collaboration. Ces étapes étaient caractérisées par les différentes feuilles métalliques installées au centre du détecteur. La première configuration était constituée d'une feuille de cuivre très pure et d'une feuille de molybdène naturel non spécialement purifié provenant de la société américaine AMAX. J'ai rapporté pour la première fois à Moriond (1992), les principaux résultats de cette étapes : d'une part nous n'avons (après 2270h) aucun

événement provenant du cuivre ayant une énergie supérieure à 2,5MeV, donc le bruit de fond à 3MeV était en voie de maîtrise, d'autre part nous étions capable de mesurer dans les canaux $2e$ et $e\gamma$ les teneurs en différents radioéléments préalablement déterminées par spectroscopie gamma au LSM (^{208}Tl et ^{214}Bi principalement). L'excellent accord entre les diverses mesures nous confortait dans nos analyses et dans la maîtrise de l'appareillage.

La seconde étape de transition nous a permis d'introduire deux sortes de molybdènes naturels purs, l'un fourni par la société AMAX, et l'autre par l'ITEP de Moscou (début d'une longue collaboration fructueuse). Le principal résultat après 4650h était qu'il n'y avait toujours pas de bruit de fond au-delà de 2,5MeV. Mais, à cause de bruit de fond dont l'origine était le flux de photons du ^{40}K venant des photomultiplicateurs de l'époque, nous étions à la limite de voir un signal de double bêta permise. Par contre, nous avons beaucoup progressé dans la compréhension des importances relatives des différentes composantes du bruit de fond interne : celle du $^{234\text{m}}\text{Pa}$ par exemple, quasiment invisible directement par spectroscopie gamma, ni même dans les événements $e\gamma$, mais produisant par cascade β +Møller des événements $2e$ simulant une $\beta\beta\nu$.

La troisième étape fût l'occasion d'étudier deux échantillons exceptionnels (à l'époque) de molybdène de 160g chacun, d'une très grande pureté, fournis par nos collègues de l'ITEP de Moscou : un échantillon de produit naturel et un échantillon de produit enrichi en ^{100}Mo à 99%, chacun sous la forme de bandelettes de 5cm de large, 1m de long et $50\mu\text{m}$ d'épaisseur. Après 6140h, un signal clair de double désintégration bêta permise a été obtenu avec plus de 1000 événements, et un rapport signal sur bruit de 2 sur l'ensemble du spectre en énergie (200keV à 3MeV). L'analyse a été entièrement détaillée dans la thèse de G. Pichenot et dans une publication. La période correspondante avait été évaluée à $T_{1/2} = (1,10 \pm 0,06 \text{ (stat.)} \pm 0,11 \text{ (syst.)}) 10^{19}$ ans, et venait confirmer les précédentes mesures obtenues en 1990 par le groupe d'Irvine et d'Osaka, utilisant également des techniques de physique des particules. Par contre, pour la première fois, la distribution angulaire des deux électrons a été clairement mise en évidence. J'ai présenté tous ces résultats (les trois phases) de NEMO2 dans deux séminaires, l'un donné au LAL et l'autre donné au LPNHE Paris 6&7 en 1993.

La qualité des résultats était le reflet de la maîtrise des trois points suivants :

- premièrement, la grande pureté au niveau de 1,7mBq/kg des feuilles minces de grande dimension de molybdène enrichi et naturel, technique employée et étendue à d'autres produits pour NEMO3 ;
- deuxièmement, la possibilité de suivre la trajectoire des électrons de basse énergies (100keV) et de signer la présence de photons et d'alpha (coups retardés dans la chambre à fils), ce qui permet de reconstruire les événements comme $1e$, $1e(n\gamma)$, $1e1\gamma1\alpha$, $2e\dots$ et donc de discriminer le bruit de fond du signal. Ce concept fondateur est bien entendu la base de NEMO3 où a été ajoutée la possibilité de signer la charge des électrons/positrons ;
- troisièmement, la maîtrise de l'analyse par temps de vol qui permet de sélectionner les bons candidats avec un pouvoir de réjection de 10^5 . Egalement dans NEMO3, le champ magnétique permet de signer le sens des particules.

Par ailleurs, les résultats accumulés à l'époque et poursuivis par la suite a été le fruit de la capacité du détecteur à prendre des données de manière très fiable dans le temps, sur de longues périodes (plus de 20 000h pour les trois premières phases). Les erreurs systématiques de l'époque provenaient essentiellement de l'incertitude sur le bruit de fond d'origine interne (le croisement avec les mesures par spectroscopie gamma n'avait pas toujours été possible et

NEMO2 de part sa nature prototype n'avait pas une bonne efficacité géométrique) et sur le bruit de fond externes dû au flux de photons des photomultiplicateurs. Malgré leur forte « radioactivité », ces derniers avaient été utilisés faute de mieux. Depuis, des progrès considérables ont été fait dans les deux domaines : utilisation de détecteur germanium de plus grosse taille pour sélectionner des matériaux encore moins radioactifs, et l'utilisation de PMTs ultra bas bruit de chez Hamamatsu, et la maîtrise de la contamination du détecteur par le Radon.

De NEMO2 à NEMO3

Toutes les méthodes d'analyse développées par G. Pichenot et moi-même ont servi à dimensionner NEMO3 et servent encore au quotidien à l'heure actuelle pour le calibrage en temps du détecteur. NEMO3 étudie en premier lieu plusieurs kilogrammes de ^{100}Mo avec une sensibilité 10 fois meilleurs que NEMO2, mais surtout a la possibilité d'étudier en un même détecteur un grand nombre de noyaux candidats (dont il constitue souvent le stock mondial !): ^{100}Mo (7kg), ^{82}Se (1kg), ^{130}Te (1kg), $^{\text{nat}}\text{Te}$ (1kg), ^{116}Cd (0,4kg), ^{150}Nd (50g), ^{96}Zr (20g), ^{48}Ca (7g). Un tel dispositif peut espérer atteindre des périodes de quelques 10^{24} ans, ce qui traduit en termes de masse effective de neutrino correspond à quelques dixièmes d'électron-volt rivalisant avec les équipes travaillant avec des détecteurs purement calorimétrique soit de type germanium (enrichi) soit de type bolomètre de Tellure.

En 1993, j'ai participé activement à la conception générale de NEMO3 qui mena à la rédaction de la proposition d'expérience dont j'avais la charge de coordonner l'écriture des chapitres des différents groupes de la collaboration, en plus de la rédaction de la partie « temps de vol ».

Suite à l'approbation par l'IN2P3 de construire NEMO3, Le LAL a été maître d'œuvre de l'ensemble du projet et a réalisé au laboratoire entre autre le tissage et les tests des 20 secteurs de la chambre à fils comportant environ 6000 cellules permettant une reconstruction tridimensionnelle de traces d'électrons de très basse énergie (seuil $\sim 100\text{keV}$). Le mélange gazeux de la chambre d'un volume de 36m^3 est constitué d'environ 96% d'hélium à pression atmosphérique afin de garantir la transparence du milieu et de 4% d'éthanol pur en guise de « quencher ». La teneur en alcool détermine directement la vitesse de propagation du plasma le long du fil central de la cellule, donc conditionne la reconstruction de la coordonnée longitudinale. Cette coordonnée est cruciale dans la géométrie de NEMO3 où tous les fils étant parallèles l'on veut pouvoir localiser des points chauds dans les sources de matériaux candidats à la double désintégration bêta.

Lors de la phase de tests des vingt secteurs du détecteur, j'ai pu valider un protocole de mise en gaz avec l'aide de G. Szklarz expert en la matière. Le protocole adopté se déroule en trois temps : une phase de purge «rapide» ($\sim 10\text{ m}^3/\text{h}$) en hélium pur correspondant à une dizaine de volumes afin de chasser l'air de la chambre ; une phase de remplissage également «rapide» avec un mélange hélium/éthanol proche de la valeur de fonctionnement ($\sim 1\text{ m}^3/\text{h}$); une phase d'affinage par un remplissage à vitesse lente ($\sim 100\text{ l/h}$) avec le mélange final. La mise au point de ce protocole, en particulier l'évaporation lente de l'alcool dont j'ai « redécouvert » les vertus, a permis d'écarter une première solution qui aurait consisté à remplacer les deux premières phases par un pompage grossier suivi d'un remplissage hélium/éthanol directement avec le bon pourcentage. Un test réel à montrer que ce pompage non seulement ne raccourcissait pas d'une manière significative le temps de mise en gaz mais également que la qualité du gaz final était sujet à caution. On peut de plus supposer qu'elle aurait présenté des

problèmes de longévité du détecteur à cause des contraintes mises en jeu (rappel : les blocs de scintillateurs collés au guide de lumière sont à l'intérieur de l'enceinte gazeuse).

Le mélange hélium/éthanol est effectué par barbotage d'hélium dans un bain d'alcool à température contrôlée. La température fixant la pression de vapeur saturante de l'alcool, dont le rapport à la pression ambiante détermine la teneur en alcool du mélange, influence directement sur la vitesse de propagation du Geiger. Il faut donc « thermostatier » au dixième de degré près le bain d'alcool et disposer de capteurs de température, de pression et de débitmètres afin de surveiller le bon déroulement de la mise en gaz à la fois en local et à distance.

Ainsi, j'ai dirigé la réalisation mécanique des divers éléments constituant « l'usine à gaz » réalisée dans les ateliers du LAL (spécification et réalisation des « gamelles » permettant le barbotage de l'hélium dans l'alcool, de la tuyauterie afin de réaliser les différentes phases de la mise en gaz, etc.), et également je me suis chargé de la définition des spécifications et de l'achat à moindre coût des capteurs et autres matériels auprès des sociétés Roucaire et Serv'Instrumentation. J'ai de plus supervisé la réalisation du programme « LabView » de suivi des paramètres température/pression/débit en temps réel, il est intégré au Slow Control général de l'expérience mis en œuvre au LAL. Cette installation est maintenant pleinement opérationnelle au LSM de Modane depuis fin 1999 et fonctionne sans problème.

4. Oscillations de Neutrinos : partie de 1998 à 2005

1998, une année charnière

Après la soutenance de mon habilitation en 1995 (« Effets de la nature de Dirac ou de Majorana, ainsi que de la masse, sur le comportement du neutrino. » ; rapporteurs: F. Vannucci, S. Petcov ; président : J. Lefrançois), je m'intéressais aux expériences d'oscillations de neutrinos. Et de manière plus concrète, dès le début de l'année 1997, je participais au CERN à des réunions regroupant la communauté des neutrinos qui envisageait une suite aux expériences CHORUS et NOMAD.

Les 22-23 avril 98, j'ai organisé avec A. de Bellefon du LPC Collège de France, J. Bouchez du DAPNIA-CEA, J. Dumarchez du LPNHE Paris 6&7, au LPNHE de Jussieu, les « Journées Neutrinos » regroupant environ 50 physiciens français travaillant dans le domaine. Elles marquèrent le début de deux groupes de travail français : l'un sur les neutrinos solaires animé par D. Vignaud, l'autre sur les « neutrinos atmosphériques et oscillations à grande distance » animé par Y. Declais. Je me suis investi dans ce deuxième atelier, et j'ai fait la promotion des résultats de la collaboration Super-Kamiokande (SK) à la biennale du LAL en juin 98.

L'étape « MONOLITH » : un projet d'expérience de neutrinos atmosphériques de nouvelle génération

Suite à la biennale du LAL en 1998, J.-P. Repellin et moi-même avons pris part à la collaboration nationale constituée de collègues du LAPP et de l'IPNL. A cette époque la moitié grosso-modo des valeurs de Δm^2 admises par SK dans le cadre de l'interprétation de l'anomalie des neutrinos atmosphériques, était hors d'atteinte des expériences sur faisceau. Donc, nous nous sommes focalisés sur le projet d'une expérience de nouvelle génération de neutrinos atmosphériques basé sur un calorimètre massif (50kT). Le projet, baptisé par la suite MONOLITH, s'inscrivait dans le dessein de participer au programme « Neutrino Gran Sasso » d'étude de la matrice de mélange des neutrinos, à l'aide de neutrinos d'origine naturelle ou produits à partir d'accélérateurs du CERN interagissant avec un (ou des) détecteur(s) placé(s)

au laboratoire souterrain du Gran Sasso situé à 730km en Italie. Le Conseil Scientifique du LAL en décembre 1998, auquel j'ai présenté le panorama des programmes d'oscillations neutrinos dans le monde, nous a encouragé à poursuivre dans ce sens. A cette date le groupe du LAL s'est enrichi de B. Merkel et de J.J Veillet mais ils ont finalement peu contribué au groupe.

Très rapidement, je me suis intégré au groupe de travail français puis européen constitué de collègues italiens et allemands. Les Italiens ayant fait deux propositions d'expériences (NICE et HDD) au comité commun CERN-Gran Sasso de 1998. Une fusion s'est formée lors de nos réunions afin de dégager les points essentiels en vue de l'écriture d'une proposition d'expérience commune, sous le label MONOLITH en 1999. Pour ce faire, une contribution décisive de simulation a été effectuée par le groupe français autour d'un détecteur type de 10kT de fer instrumenté de barreaux de scintillateurs. Ce détecteur permettait d'accumuler une statistique de 740 événements courants chargés par an, avec une énergie supérieure au GeV pour lesquels non seulement le phénomène d'oscillation semblait être prépondérant mais aussi la corrélation entre la direction du muon et celle du neutrino était la meilleure.

J'ai contribué à ce travail en mettant en œuvre la reconstruction des trajectoires de muons en profitant de mon expérience passée dans DELPHI et NEMO sur l'élaboration d'algorithmes de Kalman que j'ai étendu au cas où la détermination de l'énergie du muon se fait non seulement par la courbure de la trajectoire mais aussi par son parcours dans la matière. Lors d'interaction à courant chargés ν_μ , les paramètres estimés du muon associés à ceux de la partie hadronique permettent d'obtenir la direction et l'énergie du neutrino primaire. L'apport de l'information hadronique permet d'obtenir une résolution sur le rapport L/E (L : longueur d'oscillation, E : énergie du neutrino) inférieure à 50% soit bien meilleure que celle accessible par le détecteur SK utilisant seulement la partie leptonique. Les études ont permis de déterminer la précision avec laquelle le paramètre Δm^2 de l'oscillation des ν_μ est mesurée dans la zone $0.2-5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$. Pour 140kT.a, on pouvait atteindre une précision de 20%, ce qui était comparable à ce qu'annonçait l'expérience américaine d'oscillations à grande distance (MINOS) pour des $\Delta m^2 > 10^{-3} \text{ eV}^2$. L'autre atout de MONOLITH, était de pouvoir accéder à la charge du muon : c'était une donnée nouvelle dans le domaine des neutrinos atmosphériques, elle pouvait permettre de normaliser les flux théoriques séparément pour la contribution ν_μ et anti- ν_μ , de réduire les systématiques, et d'avoir un potentiel de découverte de phénomènes inattendus. Par contre, étant donnée la géométrie du détecteur favorisant les événements haut-bas, la sensibilité à des événements provenant d'un faisceau venant du CERN n'était pas jugée optimale.

A coté de cet effort de simulation, la collaboration française a débuté dans le cadre de MONOLITH un travail de R&D de l'optoélectronique de lecture du signal venant des barreaux de scintillateurs de ~8m de long et de 2cm x 2cm de section. Cette électronique basée sur l'utilisation de photodiodes hybrides d'environ 60 voies (HPD) dont la mise sur le marché était relativement récente par la société DEP, devait répondre à des impératifs de faible bruit étant donné les gains limités de ces détecteurs (environ 3000 à 10kV) et le peu de photoélectrons disponibles (de l'ordre de quelques unités). Cette option HPD était privilégiée par rapport à l'option « PM Multicanaux » malgré le surcoût de l'étage d'amplification, grâce à une plus grande intégration, et à l'époque les PMT d'Hamamastu de 64voies n'étaient pas au point (forte variation de gain, canaux ne « fonctionnant » pas...). Pour pouvoir disposer de grandes longueurs d'atténuation (8m et plus), les fibres WLS à décalage dans le vert étaient envisagées ce qui était bien adapté à la sensibilité des photocathodes « green extended » également disponibles. Les HPD permettaient de lire autant de fibres WLS qu'elles avaient de

pads silicium, et l'excellente uniformité de gain lié au processus physique d'amplification permettait de compter le nombre de photoélectrons et d'accéder à l'information de l'énergie déposée dans chaque barreau de scintillateur.

Dans un premier temps, j'ai assuré la liaison avec DEP pour faire une prospective sur les prix. Par la suite, c'est l'équipe de Lyon qui s'en est chargé. Un des HPD reçus début juillet 1999, a été utilisé par le service électronique du LAL dirigé par Ch. de La Taille, en vue du développement de l'électronique analogique frontale, l'IPNL se chargeant de la partie « digitale » ainsi que de l'évaluation d'un système clef en main de la firme IDEAS (VA-TA). Le but des tests au LAL était de montrer la faisabilité d'un préamplificateur de charge sensible à 1 photoélectron (p.e). Alors que le gain typique du HPD est de l'ordre de 3000, il fallait viser un bruit de l'ordre de 500 électrons équivalent pour un shaping time dans la gamme des 20ns, le tout pour une faible consommation. Ce shaping rapide était nécessaire pour permettre d'obtenir une information temporelle capable d'établir le sens de parcours des muons (haut en bas ou vice-versa), c'est ce qui rendait le problème de déclenchement à 1 p.e ardu (la mesure de la charge se faisant à shaping plus lent $\sim 1\mu\text{s}$ ne posant pas de problème a priori). Une intégration dans un chip en technologie BiCMOS $0.8\mu\text{m}$ a été conçue au laboratoire et soumise fin 1999 au centre multi-projets de Grenoble (CMP). Les caractéristiques en temps de montée (6ns) et de bruit ($1.6\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) étaient attendues par les simulations, par contre la capacité totale de 22pF était beaucoup trop grande pour pouvoir envisager un déclenchement sur 1 p.e. En fait, elle se décomposait en 6pF pour le HPD et 4pF pour le transistor d'entrée dont les valeurs étaient attendues, et de 6pF venant de la carte de support et 6pF de diodes de protection pour lesquelles a posteriori un effort aurait pu être fait dans le design, ce qui a été jugé encourageant pour la suite.

J'ai présenté les résultats de MONOLITH au Conseil Scientifique du LAL de septembre 1999 ainsi que nos engagements futurs en direction de la collaboration OPERA. En effet, plusieurs évolutions s'étaient dessinées depuis le Conseil Scientifique du LAL en 1998. De nouveaux résultats des expériences de neutrinos atmosphériques (principalement Super-K) avaient conforté les résultats initiaux et avaient permis de renforcer la probabilité que Δm^2 soit supérieure à 10^{-3} eV^2 pour un angle de mélange voisin de 1. Cette zone rendait plus attrayants les projets d'oscillations avec des faisceaux artificiels sur des distances de l'ordre de 700km. Par ailleurs, la possibilité de réaliser une expérience d'apparition $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ sans bruit de fond nous semblait être une étape unique dans le programme mondial d'étude de la matrice PMNS des neutrinos (équivalente de la matrice CKM des quarks). De plus, les performances attendues d'un faisceau de neutrinos entre le CERN et le Gran Sasso avaient été multipliées par 3 depuis l'étude du rapport CERN-98-02 et finalement la décision de construire ce faisceau avait été prise par le CERN à la fin de l'année 1999. Concernant MONOLITH, il est intéressant de noter qu'un projet indien, nommé INO, reprend le concept pour envisager un très gros détecteur pouvant être utilisé dans le cadre d'une Usine à Neutrinos.

L'établissement de l'engagement français à OPERA

J'ai présenté la participation à OPERA de la collaboration française (IPLN, LAL, LAPP) devant les Comités Scientifiques de Modane et de l'IN2P3 en novembre 1999, laquelle a été approuvée par ces deux Conseils. A la suite de ces présentations, j'ai donné deux séminaires : tout d'abord à l'IPN d'Orsay en décembre 1999, puis en février 2000 à l'IReS afin d'élargir la collaboration française suite à quoi des physiciens de l'IReS (M. Dracos et J.-L. Guyonnet) que je connaissais de DELPHI et NEMO nous ont rejoint. Au LAL, J. Boucrot a rejoint également le groupe et a pris des fonctions de Coordinateur du Groupe Software et Database.

Le projet OPERA, pleinement approuvé par le CERN et le Laboratoire National du Gran Sasso, et en cours de prise de donnée dans le Hall C depuis août 2006, vise donc la mise en évidence de l'oscillation de ν_μ en ν_τ par interaction courant chargé produisant des τ dont les désintégrations dans les modes à 1 trace chargée essentiellement (le mode en 3 traces sera étudiés également) sont identifiées dans une cible active de 1,8kT répartie en deux super-modules. La cible est constituée d'empilements de feuilles de plomb et de feuilles d'émulsion photographique en guise de détection, assemblés en briques de dimension $12 \times 10 \times 8 \text{ cm}^3$ d'environ 8kg chacune au nombre total de l'ordre de 200000. La technique de détection employée est la mise en évidence de la déviation angulaire entre la trajectoire du τ et celle de la particule fille produite lors de la désintégration du τ . Les émulsions photographiques sont utilisées grâce à l'extrême résolution spatiale (inférieure au μm). La surface totale d'émulsion de l'ordre de 175000m^2 est en cours de production sur une chaîne automatique de la société Fuji ce qui conduit à une bien meilleure qualité (régularité des grains et homogénéité du gel) par rapport aux films obtenus dans le passé par des techniques « artisanales » (comme pour l'expérience CHORUS).

Environ 1/10 des briques seront le siège des interactions à courant chargé et neutre durant les cinq ans de fonctionnement de l'expérience. La segmentation de la cible en briques élémentaires et les performances sans cesse améliorées des techniques de scanning automatique permettent d'envisager une exploitation quasi « en ligne » des événements enregistrés. Ceci implique un détecteur « électronique » qui permette d'identifier efficacement la brique à scanner (environ 30 briques par jour). La solution retenue est l'utilisation de barreaux de scintillateurs séparant les plans de briques, ainsi les développements des laboratoires français dans le cadre de MONOLITH trouvent naturellement leurs places. L'efficacité totale de détection des ν_τ dans les trois modes (e, μ , h) est de l'ordre de 9% et permettrait de détecter une dizaine d'événements si $\Delta m^2 \sim 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$ (comme semble l'indiquer à la fois Super Kamiokande avec des neutrinos atmosphériques et K2K avec un faisceau de basse énergie entre KEK et Super Kamiokande et depuis peu corroboré par MINOS au Etats-Unis qui exploite un faisceau de basse énergie entre FermiLab et Soudan) pour un niveau de bruit de fond inférieur à 1 événement pour une durée totale de l'expérience de 5 années, même si au bout de 2 ans on pourra déjà « couvrir » le contour de SK. Un gain proche de 70% serait susceptible d'être obtenu si le SPS fonctionnait en mode « dédié » plutôt qu'en mode « partagé ».

Durant la phase de préparation à la rédaction de la proposition d'expérience, j'ai co-dirigé le groupe Analyse et Software. En particulier, je me suis chargé de la réorganisation des programmes d'analyse (générateurs d'événements, simulation, production de tuples) afin que toute la collaboration ait accès à ces outils, ainsi que la coordination des développements logiciels. Pour ce faire, je me suis servi d'un outil développé au LAL et dont j'usais depuis sa création à savoir CMT. Cet outil a bien été intégré par la collaboration et est utilisé pour la gestion des développements centralisés. Puis, j'ai mis en œuvre un algorithme de reconnaissance de traces dans la partie cible et le spectromètre lequel a permis les études sur l'identification du bruit de fond charme. Ce programme était une adaptation de celui développé dans NEMO par un collègue russe : « l'automate cellulaire ». Ainsi, le facteur 20 de suppression du bruit de fond charme avancé dans le Progress Report d'OPERA en septembre 1999 basé sur une analyse visuelle, a pu être confirmé en utilisant une méthode totalement automatique. Actuellement, cet algorithme sert de première étape dans la reconstruction des traces dont l'ajustement des paramètres est assuré par le filtre de Kalman adapté pour OPERA par mes soins. C'est le même filtre que j'avais mis au point dans MONOLITH. L'étude

détaillée des performances de cette reconstruction de traces et de son utilisation pour combattre le bruit de fond charme a fait l'objet d'un chapitre de la thèse d'Antoine Cazes.

D'une manière plus «hardware» et donc plus concrète encore, j'ai placé mon action dans le cadre défini par le groupe français portant sur le détecteur électronique de la partie cible («Target Tracker»). Ce détecteur doit en premier lieu donner la localisation de la brique, siège de l'interaction neutrino. Plus ce détecteur sera performant moins la charge des fermes de scanning sera lourde.

L'activité principale de la recherche et développement entreprise au LAL sur l'électronique frontale du «Target Tracker» basée sur la lecture des HPD dans le cadre de MONOLITH, s'est poursuivie en 2000, par la réalisation d'un deuxième chip devant valider une chaîne complète de lecture et bénéficiant des acquis du premier. Si la logique de lecture répondait parfaitement, par contre le bruit effectivement mesuré n'était pas du tout en accord avec les améliorations attendues. Le départ du LAL de l'électronicien en charge de ce développement ainsi que la charge du service sur d'autres projets «chauds» n'a pas aidé à l'analyse de ces problèmes. De plus, les progrès réalisés par la société IDEAS sollicitée par l'IPNL semblaient très prometteurs ce qui relativisait une prolongation du R&D au LAL.

Par contre les HPD se voyaient être de plus en plus concurrencées par les PMT multianodes de chez Hamamastu : ceux-ci permettaient d'envisager un déclenchement sur 1 p.e avec un grand gain «naturel» de 100 à 1000 fois celui d'une HPD, ce qui simplifiait a priori l'étage d'amplification de l'électronique. De plus leurs coûts étaient suffisamment attractifs pour les retenir finalement dans la proposition d'expérience. De nouveaux problèmes se posaient comme la correction de la variation de gain voie à voie qui pouvait atteindre un facteur 3. Là aussi, une soumission au CMP de Grenoble a été entreprise courant 2000 par les électroniciens du LAL en partenariat avec un électronicien de l'IReS. Les premiers résultats très encourageant ont permis d'envisager une contribution effective de notre groupe à OPERA en nous chargeant de l'électronique frontale.

Une activité annexe qui n'a pas enthousiasmé les ingénieurs mécaniciens au regard de l'ingratitude de la tâche je présume, a été l'étude des problèmes liés à la fabrication des plaques de Plomb des briques d'OPERA. En effet, un point crucial dans la cible active est la qualité du plomb tant d'un point de vue mécanique que d'un point de vue de la teneur en ^{210}Pb . La planéité influe sur la résolution ultime avec laquelle la mesure du moment des particules est obtenue par analyse du Multiple Scattering. La radioactivité perturbe la reconstruction des gerbes électromagnétiques (électron/photon) et un niveau en dessous 0,02Bq/g est requis. J'ai profité des installations de Modane et des compétences des groupes français de l'expérience NEMO, à la fois pour ce qui concerne des mesures de radioactivités à l'aide de détecteur Germanium, mais également dans le domaine des simulations de l'implication de cette radioactivité sur les émulsions. Ainsi, en comparant les radioactivités des plombs japonais et européens nous avons pu conclure que la mine suédoise de Boliden, fournit un plomb dont la radioactivité est bien dans les spécifications. D'autre part, J.-P. Repellin et moi-même aidé d'un mécanicien du LAL, sommes rentrés en contact avec un industriel français spécialiste de l'utilisation de plomb : Les Fonderies de Gentilly. Des études de fabrication des plaques de plomb, nous avons pu exclure la production par fusion beaucoup trop chère et fastidieuse, et diriger les recherches vers une technique de laminage/estampage pour la production des ~13 millions de plaques. Cette technique est en charge par les collègues allemands.

L'engagement du LAL dans OPERA

J'ai présenté au Conseil Scientifique du LAL du 5 juillet 2000 une proposition de participation du groupe LAL constitué de J. Boucrot, J.E Campagne, B. Merkel, J.P Repellin et J.J Veillet, au projet OPERA. Le CS a approuvé cette proposition sous la condition d'un renfort externe du groupe.

Un poste CR1 a été pourvu en la personne de A. Lucotte à la session de printemps 2001 de la commission 03. Début avril 2001, un nouvel ingénieur électronicien a pu être embauché, ce qui a nettement permis d'améliorer la situation et de clarifier notre engagement dans OPERA. Ainsi, le groupe OPERA-LAL a pu voir le jour officiellement et j'en ai pris la direction. Notons qu'en 2002 une autre ingénieure électronicienne fraîchement embauchée a été mise sur le projet, ce qui a monté l'effectif à 4 ingénieurs quasi plein temps (quasi car de ces R&D, LHCB, ILC, etc en ont bénéficié immédiatement).

En 2001, la collaboration OPERA a définitivement choisi la technologie à base de barreaux scintillants lus par un système de fibres à décalage spectral (de 7m de long) amenant la lumière à des MaPMT 64-canaux de chez Hamamatsu. L'électronique analogique fabriquée au LAL permettant une certaine flexibilité et une réduction des coûts pour sa réalisation a été préférée à la solution industrielle VA-TA de la société IDEAS qui était deux fois plus chère et aurait nécessité un R&D malgré tout. Dans ce contexte, A. Lucotte a eu pour tâche de suivre de près la réalisation, l'intégration dans la carte « fille » conçue par des collègues de Berne et la maintenance du circuit électronique analogique. Les protocoles de tests ont été définis en partenariat avec Berne.

Le circuit a pour rôle 1) de corriger les gains des 64 canaux des MaPMT afin d'uniformiser les voies et d'appliquer un seuil commun pour déclencher le circuit 2) de déclencher à 1/3 de photoélectrons (une particule au minimum d'ionisation passant au centre d'un barreau pourra donner environ 5 photoélectrons d'où la nécessité de descendre le seuil de déclenchement au maximum) 3) de fournir une mesure de la charge recueillie 4) donner une information temporelle bien que marginale étant donné toutes les fluctuations dans les processus mis en jeu dans la chaîne de collection de lumière et de la production du signal. La technologie ASIC BiCMOS 0,8µm encore disponible et déjà testée lors du R&D a permis de mettre en chantier rapidement une première version d'un circuit de 32 voies (2 par MaPMT) offrant les fonctionnalités requises. Les tests sur table dès réception ont commencé en juillet 2002 conjointement au LAL et à Berne. Ils ont été globalement encourageants même si des erreurs de conception ont dû être corrigées afin de rendre le circuit pleinement opérationnel. En parallèle, un chip « mécano » contenant une voie complète avec de nouvelles conceptions du préamplificateur, des shapers, du Track & Hold a été soumis au CMP et testé au LAL. Tous les résultats sont consignés dans une note interne OPERA. Il a été décidé de soumettre fin 2002, un chip 32 voies reprenant le design précédent en corrigeant les défauts sans plus, ce qui constituait la solution de base finale, et un chip 32 voies basé sur les nouveautés du chip « mécano » constituant la solution la plus aboutie car améliorant sensiblement les fonctionnalités existantes (gamme dynamique étendue, uniformité et réduction des piédestaux, réduction du cross-talk) et comprenant de nouvelles fonctionnalités (suppression des voies bruyantes au niveau du préampli., marquage des voies ayant déclenché, injection de charge pair-impair).

Après validation de ces deux circuits à la fois « sur table » et avec des signaux réels, nous avons soumis en mars 2003 la version la plus aboutie du chip pour en produire 3000. Une procédure de tests en vue de la réception des chips fut mise en place par l'équipe

d'électroniciens ainsi qu'A. Lucotte qui a réalisé une application LabView sur mesure. Pour la validation avec des signaux réels de MaPMT, j'ai quant à moi confectionné la boîte « noire », fait réalisé un pulser de LED et commandé la table micro-control XY de chez MICOS.

Fin 2003, nous étions très heureux de livrer à nos collègues de Berne, en charge de la carte d'accueil du chip, la totalité des circuits testés. Environ 80% des chips produits ont les caractéristiques requises (et même meilleurs que prévues) pour OPERA ce qui est un yield standard et permet de équiper le Target Tracker des 1984 chips. En particulier tous ont un gain ajustable (jusqu'à un facteur de 3,5), 100% d'efficacité à déclencher à 0,3 photoélectrons, et une gamme dynamique de 0 à 100 photoélectrons (non linéarité inférieure à 5%). Maintenant que la totalité du Target Tracker est équipé de chips au Gran Sasso, un premier bilan peut-être fait : le chip est robuste et seuls quelques unités sont passés à travers le filtre des tests au LAL et doivent être changés. C. de La Taille a fait une présentation du chip à la conférence IEEE 03 et un article N.I.M accepté à publication en détaille le design ainsi que les caractéristiques. Une note interne OPERA donne les caractéristiques sur l'ensemble du lot réceptionné et est notifié dans un papier N.I.M décrivant le Target Tracker. Notons, que l'IReS et l'IPNL ont profité de la réalisation de ce circuit à correction de gain variable pour leurs applications dans le domaine du « petit animal » et de la mesure de radioactivité avec une possibilité de valorisation. Ce chip a donné lieu par la suite à de nombreuses extensions pour LHCb, Atlas, ILC et bientôt pour le R&D de smart-détecteur de MEMPHYS (la version MAROC2).

A coté de cet engagement « hardware », le groupe OPERA-LAL a offert une contribution « software » importante à la collaboration. J. Boucrot a été chargé de coordonner les activités software d'OPERA, et quant à moi j'ai poursuivi une activité d'écriture de code et d'analyse, entamée depuis l'élaboration de la proposition d'expérience autour de plusieurs axes d'intérêts généraux et par la suite étendue par A. Cazes.

Le premier axe a utilisé mes quelques connaissances du design orienté objet avec son application en C++. En effet depuis 2001, date du dernier « processing » en vue de la détermination de l'efficacité/réduction de bruit de fond, une refonte complète du software fût entreprise. Cette refonte était également culturelle car quasiment personne dans la collaboration avait une expérience de l'usage des technologies OO/C++ à grande échelle. J'ai joué un rôle moteur puisque j'ai créé le framework pour la nouvelle chaîne d'analyse. A base d'orientation objet, ce software permet à la fois de gérer des chaînes d'algorithmes et de s'affranchir de la technologie de stockage : c'est une version légère de Gaudi diront certains mais ni ROOT, ni Gaudi n'était accepté comme unique framework par la collaboration OPERA. Mais, le plus délicat en fait a été de faire admettre la nécessité d'un modèle de données (ou « Data Model ») que j'ai du mettre en place quasiment seul, avec sa réalisation concrète à la fois en mémoire (« transient ») et sur un moyen de stockage (« persistent ») tel que ROOT. La notion de « sécurité » à guider le développement. Enfin, pour offrir à tout à chacun la possibilité de faire sa propre analyse à partir des données stockées sous ROOT (hiérarchie de Tfolder que j'ai développée), j'ai mis en œuvre une analyse « type » basée sur le framework général avec des exemples pour utiliser ROOT, HBOOK,...

Le deuxième axe concerne le programme de digitization. Il interface les données issues de la simulation gérée par D. Duchesneau du LAPP et L. Chaussard de l'IPNL avec la reconstruction dont j'ai la charge également. Ce programme fait intervenir l'ensemble des « experts » des différents détecteurs d'OPERA y compris les émulsions.

Le troisième axe concerne le programme de reconnaissance de traces chargées dans les détecteurs électroniques introduit dans les sections précédentes. Ce programme a fait l'objet d'une étude détaillée par A. Cazes dont j'ai dirigé la thèse, dans les domaines 1) de l'identification des muons, essentielle pour le signal $\tau \rightarrow \mu$ et la réjection du bruit de fond provenant des courants neutres et du « charme », 2) de la localisation de la brique siège de l'interaction neutrino non moins essentielle dans la chaîne d'analyse.

Avant de clore ce paragraphe, je tiens à mentionner que la mutation d'A. Lucotte au 1/1/04 au LPSC Grenoble a fragilisé grandement la position du groupe au sein du LAL puisqu'avec J. Boucrot en permanence au CERN pour convenance familiale dont le départ en retraite est prévu pour Octobre 2006, J.-P. Repellin en retraite, je reste le seul permanent au LAL intra muros. De plus, faute de pouvoir espérer un renfort interne ou externe, il a été convenu avec la direction (G. Wormser) que l'implication du LAL dans OPERA s'achèvera à la première publication sur les oscillations. En définitive, jusqu'à la date de 2006 où le LAL ne participe plus à OPERA, faute de recrutement, j'en retiens que toutes nos contributions hardware et software ont été très appréciées par la collaboration et ont contribué à la réalisation de cette expérience et aux premières analyses de physique avec un vrai faisceau de neutrinos dont des éléments essentiels ont été également réalisés en partie par le LAL (voir ci-après).

Les cornes à neutrinos du CNGS : un autre contribution du LAL

Il était très intéressant et naturel de profiter de la réalisation des éléments de focalisation du CNGS, dans le cadre de la participation de la France au faisceau, pour s'intéresser à la conception de ces objets et également pour mettre à jour la simulation officielle du faisceau. Ainsi, A. Cazes et moi-même avons pris en main cette simulation en juillet 2003 avec le feu vert de K. Elsener, le chef du projet CNGS. L'impact de la mise à jour de la géométrie de la Corne et du Réflecteur, en particulier l'épaisseur du conducteur interne de la Corne, serait de faire baisser le flux de neutrinos de 2% environ par rapport aux estimations officielles de 2000.

Mi-septembre 2003, en vue du départ de G. Macé, chef du service de mécanique SDTM (ex. SECAP) en charge de la réalisation des cornes, B. D'Almagne m'a nommé à la direction du projet, ce que j'ai accepté bien volontiers. J'étais bien loin de présumer 1) de l'état très tendu des relations humaines entre l'ingénieur responsable et les autres acteurs du projet, 2) du nombre de vices de conception et réalisation sur bon nombre des pièces réalisées ou en cours de réalisation. Mes premières décisions ont concerné l'organisation du groupe, la réduction de points de blocage et l'implication de la quasi-totalité (hors électronique) des services du LAL pour le projet.

Début décembre 2003, à la demande du CERN, j'ai été contraint d'établir des règles très draconiennes pour filtrer les relations entre l'équipe LAL et, d'une part l'équipe CERN et d'autre part la société italienne SIMIC en charge de la réalisation de grandes pièces mécaniques d'aluminium. Malgré mes efforts et le dévouement d'une partie de l'équipe, des problèmes se faisaient jour au fur et à mesure des visites de l'expert CERN (S. Rangod), et ont rendu K. Elsener très septiques sur la possibilité du LAL à tenir ses engagements. Il a été décidé par la direction et moi-même d'un renfort de l'équipe par un ingénieur senior en la personne de J.-L Borne, chef de service du SRM à l'époque (devenant par la suite chef du service SDTM), par un dessinateur/concepteur, et par deux techniciens pour aider entre autre au montage et à la retouche de tous les états de surface des contacts électriques. De plus, j'ai dû m'investir à partir de ce moment, à 100% sur ce projet, délaissant mes activités dans

OPERA et dans le R&D NuFact me limitant au suivi de la thèse d'A. Cazes et à la rédaction d'un article (cf. paragraphe suivant).

A pas cadencés, une première Corne a pu être livrée au CERN en avril 2004 (devait suivre la Corne de rechange ou n°2, et le Réflecteur). Une semaine de tests électriques aux valeurs nominales a pu montrer dans un premier temps que la remise à niveau au LAL d'éléments essentiels de la Corne avait été correctement effectuée, c'était considéré comme un succès. Mais, dans un deuxième temps, après introspection de la dite Corne suite aux tests, le CERN a mis à jour une dizaine de défauts dont la plus part avaient trait à la collection de l'eau radioactive de conception remontant aux années 2000-2001 et remettant en cause la fiabilité de l'instrument.

J'ai fait état de tous ces éléments en détail lors d'une session fermée d'un Comité de Revue en juin 2004 où des experts mondiaux examinaient le projet CNGS dans son ensemble. Il est apparu lors de cet exposé que certaines informations ayant un impact sur le design d'éléments annexes (pieds d'ajustement des Cornes, système de refroidissement par exemple) et normalement relevant de la compétence du CERN faisaient défaut, comme le calcul des niveaux de radiations, la maintenance des circuits des « fluides ». Le manque d'interlocuteurs au niveau de la maintenance s'est fait jour. Enfin, le nombre de personnes sur le projet Corne a été jugé trop faible par les mêmes experts alors que les 15h.an prévus au protocole d'accord signé en 2000 entre le CERN et l'IN2P3 et le LAL avait été dépassé par le LAL (presque doublé).

En parallèle, de ces problèmes techniques et de ressources humaines, j'ai mis à jour un déficit financier : grosso modo après la livraison de la Corne 1, 70% des ressources financières étaient engagées alors qu'il restait plus de 50% des objets à financer (hors frais de missions non comptabilisés mais à la charge de l'IN2P3).

Ainsi, une renégociation complète de l'accord signé en 2000 entre le CERN, l'IN2P3 et le LAL a été entamée au plus haut niveau. Les échanges ont été particulièrement serrés. En définitive, ces négociations se sont conclues le 20 juillet 2004 lors de la tenue du Comité de Suivi de Projet où du côté français se trouvaient M. Lieuvin, B. D'Almagne et moi-même et du côté CERN siégeaient J. Engelen, K. Elsener et S. Rangod. Le CERN a repris à son compte dans un premier temps les parties du projet faisant intervenir des services de maintenances « électriques, radioactives » et de géométrie : les strip-line, le système de refroidissements, le système de pointage des Cornes. Puis dans un deuxième temps le CERN s'est chargé de la modification du Réflecteur. Le LAL a été chargé du suivi de la fabrication du Conducteur Interne du Réflecteur et la conception et réalisation de la Connexion Electrique Rapide (C.E.R). J'ai fait état de ces négociations ainsi que de l'avancement du projet au CS du LAL du 8 octobre 2004.

Un nouveau prototype de C.E.R a été mis en œuvre au LAL fin 2004 par un nouvel ingénieur senior que je connaissais depuis NEMO (J. Forget). Cet élément de la connexion électrique doit permettre l'échange d'une Corne ou d'un Réflecteur défectueux (bien qu'il n'y ait à l'heure actuelle qu'une Corne de rechange), dans un délai de quelques minutes par une personne seule. Elle est constituée par deux jeux de 8 plaques de cuivre (400 mm de haut, 5mm d'épais et de longueur variable), deux à deux de polarité inverse espacées de 40mm par des isolants en ARCLEX (composite de mica et verre). Un jeu est fixé aux plaques d'alimentation de la Corne/Réflecteur, et l'autre jeu se trouve fixé à une partie mobile (le long du faisceau) du strip-line. Cette C.E.R n'a l'air de rien à première vue, mais les contraintes de

fonctionnement et d'utilisation, et de fiabilité en font un objet pas trivial du tout demandant un R&D dédié, sachant que le CERN n'a jamais eu dans ses projets antérieurs de solution « clef en main ». On peut même avancer que dans le futur des Cornes (Nufact), le caractère interchangeable de ces objets deviendra de plus en plus un point clef et que donc ces aspects de Connexion Electrique seront sans doute un élément déterminant de design.

Nous avons eu également une grande pièce en réalisation d'avril 2004 à fin janvier 2005, le conducteur interne du réflecteur (CIR), dont la fabrication chez SIMIC a été brutalement interrompue à la demande du CERN pour différents vices de procédure de soudage. Le CIR est un objet délicat de 7m de long en aluminium comportant deux flasques circulaires d'un mètre de diamètre soudés aux extrémités d'une pièce conique fabriquée par soudage de troncs de cônes mis bout à bout. Les troncs de cône en tôle d'aluminium de 2mm seulement roulée et soudée longitudinalement, ont des diamètres s'étalant de 560mm à 140mm. Les experts CERN ont estimé que les usinages effectués fin août 2003 chez SIMIC, ne permettaient pas de garantir une pleine pénétration des soudures TIG, ce qui remettait en question les qualités de conduction électrique du CIR devant subir 20 millions de pulses (180kA/2x10ms/6sec). A la suite d'une nouvelle prospective, la société française SDMS a été chargée du dossier en avril 2004. En compagnie de J.-L. Borne, j'étais en relation directe avec le chargé d'affaire de SDMS et je suis allé très régulièrement visiter cette entreprise qui a éprouvé de nombreuses difficultés pour réaliser cet élément essentiel du Réflecteur (2 flasques et un kit complet de troncs de cône mis au rebut). SDMS a finalement livré le CIR en début de l'année 2005 dépassant de 6mois la date prévue de livraison.

L'ensemble des éléments précités (CER + CIR) ainsi que des vérins « tout inox et sans graisse » entièrement revus par le LAL et traités pour améliorer le glissement (bisulfure de molybdène) ont satisfait le CERN et sont sur zone. Ainsi, l'ensemble des engagements du LAL fixés lors d'un Comité de Suivi de Projet réuni à ma demande en juillet 2004, ont été respectés et cela dans le budget initial de l'IN2P3 pour le CNGS (soit 1MFCH). Un dernier CSP s'est tenu entre le CERN et le LAL-IN2P3 (G. Wormser) à la demande du CERN, en octobre 2005, pour clore dans les meilleures conditions possibles la collaboration d'une durée de 5ans.

J'ai par ailleurs fait part de l'ensemble des savoir-faire acquis lors de ce programme aux journées ECFA/BENE de novembre 2004 à Desy.

Depuis août 2006 un faisceau envoyé par le CERN vers le Gran Sasso est devenu réalité, et a relaté dans un article d'OPERA largement diffusé. Tout se passait bien, les éléments de focalisation fonctionnaient parfaitement, jusqu'à l'apparition d'une fuite d'eau (radioactive) au niveau de la collection des eaux de refroidissement. Les fuites de ce genre sont bien la bête noire des opérateurs de faisceaux. La fuite a été localisée dans la partie la plus en aval au niveau des piquages dans le conducteur externe et plus précisément au niveau de l'isolation électrique entre le conducteur externe et le collecteur d'eau. Toute cette partie avait pourtant été refaite entièrement sous la responsabilité des experts au CERN... Gageons que la réparation sera effectuée lors du shut-down d'hiver 2006-2007.

5. Oscillations de Neutrinos : partie de 2005 – à maintenant

Préparation des usines à neutrinos

Les projets de super-faisceaux ou d'usine à neutrinos (faisceaux conventionnels, faisceaux issus d'ions radioactifs, faisceaux issus de désintégrations de muons) et très

récemment les faisceaux d'ions radioactifs (Beta Beam) deviennent de plus en plus intéressants étant donné que la « Nature » semble avoir privilégié des valeurs d'angle de mélange θ_{12} quasi-maximales (cf. les résultats de SNO et KamLAND) ce qui rend l'étude de la violation de CP dans le secteur des leptons accessible (pour ne parler que de cet aspect des choses). Les divers projets se différencient par les valeurs de θ_{13} accessibles (rappel $\theta_{13} < 10^\circ$ selon l'expérience CHOOZ) : grosso modo sans être exhaustif par ordre décroissant, on peut citer OPERA pour $\theta_{13} > 7^\circ$, Double-CHOOZ pour $\theta_{13} > 5^\circ$, le super-faisceaux de technologie conventionnelle au Japon T2K ou bien l'exploitation du faisceau existant NuMI (USA) off-axis (NoVA) pour $\theta_{13} > 3^\circ$, les super-faisceaux de technologie conventionnelle de seconde génération ou bien les faisceaux d'ions radioactifs de basse énergie (SPL et BetaBeam-MEMPHYS en Europe, T2HK au Japon) pour $\theta_{13} > 1^\circ$, et d'une manière ultime les usines à muons et les faisceaux d'ions radioactifs de haute énergie pour $\theta_{13} < 1^\circ$.

Ce programme scientifique s'inscrit dans la continuation naturelle de celui entrepris dans OPERA et fût à l'origine de l'ouverture de cet axe de recherches au LAL. Ainsi en France, en partenariat avec le CERN (notamment les ingénieurs du CNGS) et l'équipe de A. Blondel, j'ai tout d'abord essayé de réunir quelques physiciens et ingénieurs afin de mettre en place une recherche et développement sur les éléments magnétiques des futures machines.

Un R&D spécifique s'impose dans le cadre des nouvelles machines car de nouveaux problèmes se posent par rapport à ceux du CNGS : la cible doit être fluide pour pouvoir supporter l'intensité du faisceau de protons de 4MW, elle est de plus intégrée à l'intérieur de la corne pour pouvoir focalisée le plus grand nombre de pions de basse énergie, d'où il en découle entre autre une forte irradiation qui alliée au taux de répétition élevée (50 Hz) avec des courants très élevés (300kA) entraînent des efforts mécaniques et thermiques non atteints à ce jour.

A. Cazes a simulé l'interaction des particules secondaires issues de l'interaction de protons du Super Proton Linac du CERN sur une cible de mercure liquide. Il a pu montrer que la puissance dissipée dans les conducteurs du prototype de corne construit par le CERN était sous estimée (80kW au lieu de 15kW) et qu'une nouvelle conception afin de réduire l'épaisseur des matériaux serait à entreprendre. De plus, une mesure des coefficients d'échange de chaleur entre des jets d'eau dans différentes configurations et le tube interne d'aluminium doit être faite sur un banc de test afin de préciser des conditions réalistes de fonctionnement pour une simulation des contraintes. Une note NUFact détaille cette étude de simulation.

Un point très important concerne le niveau de radioactivité que subiront les matériaux de la corne. Avec 4MW de puissance, on estime un flux de 10^{22} neutrons rapides/cm² en 6mois de fonctionnement. A de tel flux, les caractéristiques des alliages d'aluminium, comme le 6082 utilisé au CERN (ou le 6061 aux USA), changent comme le détaille une note NUFact que j'ai écrite à ce sujet après consultation d'une experte du CEA. Des mesures de limites de fatigue seraient souhaitables au delà de 10^9 cycles tant avec des éprouvettes non irradiées qu'avec des éprouvettes irradiées.

Enfin, d'un point de vue de l'alimentation électrique, le design actuel de la corne NuFact a besoin de fonctionner en 50Hz à 300kA (et 600kA pour le Réflecteur) pour fournir des pulses de 100µs. Un ingénieur LAL expérimenté en la matière a très rapidement écrit un cahier des charges pour une telle alimentation dont la partie délicate est le jeu de « switches » qui réalise la fréquence de 50Hz. Une solution industrielle existe, mais afin de 1) réduire encore les coûts

2) pouvoir discuter efficacement avec les industriels, une R&D s'impose. Ainsi, j'avais entamé des discussions avec l'équipe CERN afin de rapatrier au LAL leurs équipements en matière d'alimentation et de corne prototype.

Tout ce programme de R&D qui s'inscrit dans le cadre du réseau européen BENE est malheureusement arrêté au LAL à cause des problèmes rencontrés sur le projet Corne CNGS. Il est envisagé qu'à l'IREs de Strasbourg M. Dracos trouve le soutien suffisant pour entamer une partie de ces développements.

Avec A. Cazes, nous avons fait une optimisation de la ligne de faisceau du Super Proton Linac du CERN sur des bases spécifiques à un super faisceau de neutrinos entre le CERN et un grand Cerenkov à eau au Fréjus baptisé MEMPHYS (MEgaton Mass PHYSics). Cette étude détaillée a été tout d'abord consignée dans un article paru dans EPJ C. Elle tente à montrer que l'énergie nominale initialement prévue de 2,2GeV du SPL devrait être revue à la hausse (entre 3,5GeV et 4,5GeV), et qu'en optimisant l'élément de focalisation on gagne un facteur 4 en sensibilité à θ_{13} et que par rapport à T2K phase I la sensibilité à δ_{CP} est 10 fois meilleure. D'autre part cette étude a été mise en commun avec celle de M. Mezzetto sur les faisceaux d'ion radioactifs de basse énergie et celle de Th. Schwetz et M. Maltoni sur les neutrinos atmosphériques (voir § ci-après).

Sur la route de MEMPHYS

Etude de physique avec des Cerenkov

Le projet MEMPHYS (MEgaton Mass PHYSics) de grand détecteur Cerenkov à Eau (au Fréjus) s'organise peu à peu et mon action a été au début de coordonner le projet, en tandem avec M. Mezzetto de Padoue, sur trois bases : un aspect de promotion du projet à différents niveaux, un aspect de simulation du détecteur, un aspect de coordination de R&D.

Les résultats de l'étude sur le SPL (cf. § précédent) ont été présentés en 2004 lors du meeting annuel CARE/BENE et par M. Mezzetto au workshop de Trento04, ainsi que Ch. Cavata aux journées IN2P3/DAPNIA. Petit à petit l'idée a fait son chemin et contrairement aux attendus du meeting à Villars du SPSC04 qui stipulés que le SPL n'avait pas suffisamment de potentiel de physique, J. Ellis a fait mention des améliorations du potentiel du SPL lors de son intervention à NNN05, et j'ai été invité à exposer ce travail lors de la conférence internationale NuFact05 en juin à Frascati, et aux journées de l'International Scoping Study for Neutrino Factory & Super Beams (ISS) en sept. 05.

M. Maltoni, M. Mezzetto, Th. Schwetz et moi-même avons rassemblé en 2006 dans un article publié dans JHEP, les potentialités de l'utilisation combinée des faisceaux du CERN, super faisceau (SPL) et faisceau d'ions radioactifs de basse énergie (BB) avec l'exploitation des neutrinos atmosphériques par MEMPHYS. Le Cerenkov à Eau est bien adapté pour la détection de neutrinos de 300-400MeV (basse énergie) requis pour une distance de 130km (CERN-Fréjus) en vue de la recherche poussée de θ_{13} et δ_{CP} . Les sensibilités obtenues sont bien meilleures que celles du projet japonais T2HK de seconde génération de faisceaux intenses entre Tokay et Hyper Kamiokande, un Cerenkov à Eau comparable à MEMPHYS. L'évolution du projet japonais avec un détecteur en Corée leur permettrait d'avoir de meilleurs résultats sur la hiérarchie de masse. Ceci dit au Fréjus, la configuration des

faisceaux au CERN serait unique au monde et permettrait des analyses croisées. J'ai présenté ces résultats au workshop NNN06 de Seattle.

MEMPHYS et les projets similaires au Japon (Hyper-K) et aux USA (UNO) couvrent de multiples sujets d'étude autres que les oscillations de neutrinos : ex. la désintégration du nucléon (thème ayant motivé Kamiokande et SuperK) ; neutrinos de SuperNovae (explosion « récentes » et reliquat d'explosions passées), neutrinos solaires et atmosphériques (avec un regain d'intérêt pour ces derniers dans le cadre de la levée de dégénérescence pour la détermination précise de θ_{13} et δ_{CP}) ; des aspects à caractère astro-particule comme la détection de neutrinos de très haute énergie, la recherche indirecte de matière noire ; le trigger pour les interféromètres à ondes gravitationnelles... D'une part j'ai édité avec un représentant japonais et américain une synthèse des projets de grand détecteur Cerenkov dans le monde, et tout le potentiel de physique a été consigné, concernant MEMPHYS, dans une « Expression of Interest » signée par 15 membres et envoyée au Strategy Group du CERN de 2006.

Si la technique de détection, Cerenkov à Eau, est bien établie depuis l'époque des détecteurs pionniers Kamiokande et IMB, la taille gigantesque des futurs détecteurs posent des problèmes techniques, et des optimisations sont à entreprendre pour réduire les coûts. Grosso modo le coût d'une telle facilité vient pour moitié du génie civil souterrain et pour moitié de la photo-détection. D'autre part, des détecteurs ayant la même thématique de physique utilisent des technologies différentes qu'il faut évaluer Scintillateur Liquide (masse : 50kT, détecteur : LENA), Argon Liquide (masse : 100kT, détecteur : GLACIER). Ce sont les raisons d'être des différentes R&D auxquelles je participe activement que je vais détailler dans les sections suivantes.

Couplée à cette R&D, une simulation réaliste de MEMPHYS a été mise en œuvre tout d'abord par mes soins en partant du MC du détecteur Cerenkov à eau pour le projet T2K (2km) écrit par M. Fechner (DAPNIA) et ses collègues américains. Depuis juillet 2006, et jusqu'à fin 2007, N. Vassilopoulos s'en charge durant son contrat de visiteur étranger au LAL. Ce MC doit pouvoir préciser des aspects de trigger de MEMPHYS : quelle est la taille minimale de la matrice de PMTs pour effectuer soit une coïncidence locale pour déclencher le trigger et la digitisation locale, soit le multiplexage de l'information ? Quel est le niveau de dark current maximal en fonction du seuil en énergie ? Quelle est la couverture minimale requise par canal de physique ? Le plus gros travail à effectuer est de mettre en œuvre des algorithmes de reconstruction des anneaux Cerenkov et l'identification de particule, car ces mêmes algorithmes utilisés par SuperK ne sont pas disponibles et très peu documentés. J'ai fait en sorte que N. Vassilopoulos puisse exposer ses résultats à toute la communauté française d'une part dans le cadre du GDR neutrinos, et à la communauté internationale d'autre part lors du Workshop NNN07 (j'étais membre de l'International Advisory Committee et j'ai présenté PMm²).

PMm² : la R&D financée par l'ANR

A la suite de la conférence NNN05 à Aussois dont j'étais un des co-organisateurs, j'ai pris l'initiative de fédérer un petit groupe d'électroniciens de l'IPNO (resp. J. Pouthas) et du LAL (resp. Ch. de la Taille) et quelques expérimentateurs du DAPNIA, du LPNHE P6&7 et de l'APC, en vue de la définition d'une électronique pour les photo-détecteurs de MEMPHYS. En effet, le chip d'OPERA (OPERA_ROC) développé lors de l'engagement du LAL à OPERA me semblait remplir déjà nombre de fonctions requises pour MEMPHYS, et un nouveau développement semblait à porter de main par l'introduction de la numérisation de la

charge et du temps (ADC/TDC) dans le chip lui-même. De plus l'IPNO et le LAL étant partenaires avec la société Photonis dans le cadre d'un GIS, ceci constituait une base indispensable pour concevoir un modèle industriel pour produire les quelques 250,000 PMTs requis pour équiper MEMPHYS.

Afin de financer cette R&D commune d'électronique et de tests des PMTs 12'' dont Photonis avait fait la promotion à NNN05, j'ai coordonné une demande auprès de l'ANR en 2006 regroupant les partenaires : LAL, IPNO, LAPP et Photonis. Cette demande a été honorée à hauteur de 500k€ (95% de la demande initiale) pour une durée de 3ans à partir de fin janvier 2007 (date de la signature de l'attribution d'aide). Ceci occupe donc la part essentielle de mon temps en fournissant des informations indispensables à la rédaction d'un cahier des charges émanant de la physique, et en maintenant une étroite collaboration entre les divers partenaires liés par un Accord de Consortium et de Protection Intellectuelle.

En fait, le contexte scientifique et les objectifs du programme PMm² vont bien au-delà de MEMPHYS car la couverture de très grandes surfaces de photodétection est un élément essentiel des dispositifs expérimentaux dévolus aux études des gerbes atmosphériques de grande énergie, des neutrinos de différentes sources (Soleil, atmosphérique, supernova, réacteurs, accélérateurs) ainsi que celles sur la désintégration du nucléon. La génération suivante d'expériences que cela soit MEMPHYS, LENA, ou GLACIER pour ne rester que dans les détecteurs ayant pour but l'étude de la désintégration du nucléon et la physique des neutrinos de toute nature, ne pourra plus être le simple agrandissement des expériences existantes qui utilisent des photomultiplicateurs de très grandes dimensions (jusqu'à 50 cm de diamètre) et un système centralisé d'acquisition. Ils devront faire appel à des capteurs intelligents distribués, par analogie à la grille de calcul par rapport aux "Super computers". L'objectif vise donc les grands détecteurs utilisant des milliers de photomultiplicateurs. Les partenaires (LAL, IPNO, LAPP, Photonis) se proposent de segmenter de très grandes surfaces en macro pixels connectés à une électronique autonome permettant alors de réduire considérablement le coût surfacique de ces détecteurs et facilitant leur industrialisation. Ce développement est rendu possible par les progrès de la microélectronique qui permettent d'intégrer tous les composants d'amplification et traitement du signal de nombreuses voies de PM dans un ASIC. Seules les données utiles sont ensuite expédiées par réseau (ex. courant porteur) vers le système de trigger de haut niveau et de stockage des données. Il est à noter aussi que ces développements font déjà l'objet d'attention en vue de nombreuses autres applications comme le domaine de l'imagerie médicale par exemple.

La R&D vise donc à donner des résultats sur la possibilité d'intégrer dans une technologie moderne (SiGe 0,35µm) l'électronique analogique et électronique numérique, ainsi que sur le coût du photoélectron détecté intégrant le photomultiplicateur, son alimentation électrique, et l'électronique de lecture. PMm² se propose de construire d'un « démonstrateur » équipé d'une matrice de 4x4 PMs de chez Photonis intégrant l'ensemble des éléments développés (générateur de HT, ASIC de lecture, distribution d'horloge et de puissance, boîte étanche, câblerie, connectique). Nous avons espoir de réduire non seulement le coût de la voie de lecture (PMT et HV compris) mais aussi la logistique de trie des PMs selon leur gain et de faciliter également le câblage, en regroupant les signaux d'un certain nombre de photodétecteur sur une même puce qui corrige le gain (à la OPERA_ROC et ses successeurs de la série MAROC) pour n'avoir qu'une seule alimentation haute tension.

Après 1 an d'existence, PMm² a bien balisé son action et les différents partenaires se sont organisés et rapportent leurs résultats dans des réunions mensuelles et dans des rapports

confidentiels. Des présentations ont été effectuées par les membres de PMm² à International Room Temperature Semiconductor Detector Workshop en Californie, à NNN06 à Seattle, à NNN07 à Hamamatsu, au Workshop FJPPL'07 à KEK entre autres.

Un ASIC complet 16 voies dans la configuration PMm² va être soumis en mars 2008. Sa conception bénéficiera de toute l'expertise du groupe de micro-électronique du LAL renforcé par une ingénieure italienne qui nous a rejoint depuis le 1^{er} décembre 07 (financée par PMm²) pour 2 ans. Des liens se sont tissés entre l'IPN et BNL sur des tests en commun des PMs tenant la pression (10b). Photonis et l'IPN reprennent les tests de poting et sont en partenariat également pour la conception des ampoules tenant les 10b, Photonis s'occupant de la partie électrostatique et l'IPN de la conception mécanique. L'IPN conçoit également une enceinte qui permettra l'étude d'une voie complète de PMm² (1PM + électronique dans une boîte ad hoc + connectique, le tout dans l'eau). Le LAPP a défini le matériel et le protocole pour l'extraction des données et la distribution de l'horloge pour l'horodatage GPS, contacté des industriels et mis en place un banc de test pour la qualification des câbles immergés dans une eau très corrosive sous 10b et cela durant 10 ans et plus.

Outre être le coordinateur favorisant la diffusion de l'information (animation des réunions et du site Web PMm2.in2p3.fr), j'ai rédigé entre autre un document décrivant exhaustivement d'une part la problématique de détection des détecteurs type MEMPHYS avec des résultats que j'ai tiré de la simulation Geant4 de MEMPHYS, et d'autre part le fonctionnement de l'électronique de SuperKamiokande (ancienne et nouvelle version) et de IceCube, le tout pour en dégager des spécifications de l'électronique et des PMs (gamme dynamique, courant d'obscurité, seuil de détection, précision ADC, TDC, d'étiquetage en temps...) dans le cadre de PMm².

La R&D LAL-KEK pour une électronique des HPD dans le cadre FJPPL

En parallèle de PMm² et d'une manière complémentaire, une opportunité s'est offerte de collaboration entre des électroniciens de KEK et du LAL. Des liens se sont tissés depuis NNN06 pour faire fonctionner la nouvelle HPD 13'' de Hamamatsu. En effet, on peut se rendre compte que des R&D pour un futur Cerenkov de la classe de MEMPHYS (également HK, UNO) nécessite une optimisation du coût et des performances de la photodétection. Or, sur le marché des photodétecteurs, il existe le PM classique et la HPD, et sur le marché de l'électronique il y a schématiquement deux classes de systèmes : ceux qui envoient les données analogiques locales (DAL) vers des convertisseurs centralisés pour générer un trigger hardware puis software, et ceux qui inversement envoient des données numérisées localement (DNL) directement vers une acquisition qui effectue non plus un trigger mais un filtrage des événements avec une reconstruction rapide de ces derniers

PMm² s'est proposé en fait d'étudier la solution PM-DNL, mais dans la matrice 2x2 les trois autres solutions restent ouvertes bien que SuperKamiokande donne des informations pertinentes pour la solution PM-DAL avec un filtrage software avec la nouvelle électronique. Dans la nouvelle collaboration LAL-KEK, on se propose d'étudier la solution HPD-DNL. Ainsi les efforts de R&D sont partagés et KEK trouve au sein du LAL l'expertise en microélectronique qui lui fait défaut actuellement.

Ainsi, avec K. Nakamura puis M. Tanaka cote japonais, j'ai proposé avec Ch. de La Taille un programme de R&D au FJPPL avec une demande d'aide essentiellement pour les missions. Ch. de La Taille et N. Seguin se sont rendus à KEK, et M. Tanaka est venu au LAL pour se former au chip MAROC. M. Tanaka a acquis un exemplaire du chip avec la carte d'acquisition afin de procéder à des tests préliminaires sur les HPD à KEK. Il faut noter que la

HPD 13'' Hamamatsu n'est pas encore commercialisée et relève de secrets de fabrication. Nous ne pouvons pas totalement croiser les résultats pour le moment, mais cette situation devrait évoluer favorablement.

LAGUNA : la R&D dans le cadre du FP7

Concernant l'excavation des grandes cavités, la France et le Japon sont en avance par rapport aux USA car des études d'ingénieries concrètes existent, mais ces derniers ont fait un pas majeur vers l'établissement d'un grand laboratoire souterrain puisque leur comité DUSEL a choisi le site d'Homestake finalisant le processus de désignation. Ce travail de sélection reste à faire en Europe, quant au Japon le site de HK est retenu mais n'ai pas décidé. Pour MEMPHYS, la pré-étude réalisée par les ingénieurs franco-italiens ayant eu en charge le tunnel routier du Fréjus, a montré que le détecteur est faisable avec des méthodes traditionnelles dans une version modulaire, dont chaque module est un puit de 65m de diamètre et 65m de haut (pour la partie contenant de l'eau) soit 4 fois la cavité de SuperK chacun. En novembre 2006, le programme de percement d'un tunnel de sécurité d'un diamètre 8m a été définitivement accepté au niveau des gouvernements français et italien et le chantier débutera mi-2008. Ceci constitue un point très important pour la suite du projet de futur grand laboratoire souterrain au Fréjus. En effet avec une telle largeur de tunnel, l'extraction des gravas s'en trouve facilité et le temps de réalisation réduit à 5ans environ. Une étude détaillée de ce futur très grand laboratoire va être menée avec en premier lieu le projet à court terme d'une extension de 50,000m³ (20 fois la capacité actuelle).

En Europe, des groupes travaillent à l'élaboration d'autres types de grands détecteurs ayant des sujets de physique en commun avec ceux de MEMPHYS. Il s'agit de LENA, un détecteur à liquide scintillant de 50kT, et de GLACIER, un détecteur de 100kT d'argon liquide. Les trois équipes constituant environ 60 physiciens se sont fédérées (LAGUNA pour *Large Apparati for Grand Unification and Neutrino Astrophysics*) afin de faire partager leur point de vue sur chaque technique, et de préparer des R&D communs dans les domaines suivants : l'excavations de grandes cavités, la photodétection, l'acquisition de données, les aspects liés à la sécurité, le maniement des divers fluides, les aspects liés à la faible radioactivité des matériaux et du laboratoire...

De nombreuses réunions ont eu lieu afin de mettre sur pieds un protocole d'accord entre les différents groupes et présenter une demande d'aide dans le cadre du 7ème PCRD avec André Rubbia comme porte-parole. Thomas Patzak assure la coordination des efforts français. A l'heure actuelle l'EU a certes accueilli favorablement le projet LAGUNA, mais demande un nouveau tour de table pour rentrer dans l'enveloppe budgétaire de 1,7M€ sur les 5M€ initiaux. La part de la France permettrait de procéder à une étude détaillée par les ingénieurs qui procéderaient à la réalisation du laboratoire. Les cahiers des charges vont être suivis par J.L Borne, chef du service SDTM du LAL et avec lequel j'ai déjà étroitement travaillé (cf. Cornes Magnétiques du CNGS). En tant que membre actif de MEMPHYS et président du conseil scientifique du LSM, je suis en étroite relation avec les autorités du laboratoire et les interlocuteurs industriels, ce qui sera important pour la suite.

En amont de cette opération européenne, un document détaillant la richesse des sujets de physique couverts par les trois détecteurs, leur complémentarité éventuelle, a été rédigé sous ma responsabilité avec l'aide d'un interlocuteur pour LENA et GALCIER et deux théoriciens spécialistes de la désintégration du nucléon et de la physique des supernova, il est publié dans JCAP.

Autres activités

Administration de la Recherche

Président du Conseil Scientifique du Laboratoire Souterrain de Modane à partir de septembre 2005.

Responsabilité de direction

- Coordinateur du programme ANR BLANC « PMm2 » pour une durée de 3ans à partir de janvier 2007 (date de signature officielle de l'attribution d'aide) avec les laboratoires LAL-IPNO-LAPP et la société Photonis.
- Responsable du groupe MEMPHYS à partir de mi-2006, avec au LAL un visiteur étranger pour 1 an durant 2007
- Responsable du groupe OPERA-LAL (A. Cazes, J. Boucrot, A. Lucotte, J.P. Repellin) de 2001 jusqu'à 2006. Notons le départ d'A. Lucotte au 1/1/04 pour mutation au LPSC Grenoble pour convenance personnelle, la retraite de J.-P. Repellin depuis juillet 2003 et la retraite prochaine de J. Boucrot en 2006
- Direction de Sept. 2003 à Nov. 2005 du projet Cornes Magnétiques du CNGS dont le LAL a été conjointement avec le CERN maître d'œuvre (2000-2005)

Directeur et Rapporteur de Thèses/Habilitations

- Directeur de la thèse de G. Pichenot (1992-1994) : « Etude de la double désintégration bêta du ^{100}Mo à l'aide du détecteur NEMO2 ».
- Rapporteur de la thèse de Mme Mai Khanh VO (Paris 7) : « Etude des dimuons dans l'expérience NOMAD au CERN » (juin 1996).
- Rapporteur de l'habilitation de M. Th. Stolarczyk (Paris 7) : « GALLEX, NOMAD, ANTARES : une décennie de neutrinos » (janvier 2003).
- Rapporteur de la thèse de Mme M. Lavy (Lyon I) : « Développements des outils d'analyse et de reconstruction dans OPERA et analyse du canal $\tau \rightarrow 3$ hadrons chargés » (juillet 2004).
- Directeur de la thèse de A. Cazes (2002-2004) : « Etude du faisceau CNGS et identification des muons dans l'expérience OPERA. Optimisation de la ligne de faisceau du projet SPL-Fréjus ».
- Membre du jury de thèse de J. Argyriades (Dapnia) le 12 mai 2006 : « Résultats de l'expérience K2K »

Expertises

- Rapport d'expertise en novembre 2006, pour le compte du Conseil scientifique de la Fondation Saint-Cyr, sur le projet : « Les neutrinos : des témoins incorruptibles des fissions nucléaires »
- L' ANR m'a demandé à être « expert » sur deux projets en 2007

Direction de Stages :

- Binôme de Math Sup. de Louis Legrand en 1997, T.I.P.E sur les « chambres à fils ».
- Binôme de Math Spé. de Rennes en 1999, T.I.P.E sur « la physique des neutrinos solaires ».
- Codirection de 5 stagiaires de DEUG/Maîtrise de physique d'Orsay dans le cadre des tests des chambres à fils de NEMO3 en 97-98.
- Binôme du DEA CPM (nov. 2002) sur les scintillateurs et photodétecteurs d'OPERA.
- Binôme de Licence de Magistère (L3) d'Orsay en 2005 sur les productions de particules secondaires dans les interactions $p(400\text{GeV}/c)+\text{Be}$ avec Fluka et Geant4 (QGSP).
- Licence de Magistère (L3) d'Orsay en 2006 : « Oscillations de neutrinos avec le super faisceau entre le CERN et MEMPHYS au Fréjus »

Organisation de Conférences, Ateliers, Séminaires

- Participation à l'organisation de l'atelier « Physique des Kaons » au LAL 30 mai – 4 juin 1996.
- Chargé d'organiser les séminaires LAL durant les années 1995 - 1996.
- Organisation des « Journées Neutrino France » au LPNHE-P6&7 les 22-23 avril 1998.
- Organisateur de la session « Neutrino » lors des Journées d'instrumentation et de prospective DAPNIA/IN2P3 des 21-26 octobre 2002.
- Membres des comités locaux d'organisation de NEUTRINO 2004 et SEESAW25 (juin 04) à Paris.
- Membre du comité local d'organisation de NNN05 (avril 05) à Aussois.
- Membre du comité local d'organisation du Symposium du Strategy Group du CERN au LAL (fin-janvier 06).
- Organisation de l'atelier « trois liquides » (Argon Liquide, Scintillateur Liquide, Cerenkov à Eau » (16 février 06 au LPNHE).
- Co-organisation de la session GDR Neutrino des 10-11 mai 06 au LAL.

- Membre du Program Advisory Committee du Workshop NNN07, 2-5 Oct. 2007 Hamamatsu, Japon.

Cours dispensés

- Formation permanente (1990) au LAL dans la série « Physique de base » le thème « La matière ».
- Ecole de Gif 92 (LAL 93-02) : « A la recherche de la double désintégration bêta »

Séminaires et Conférences

- In Brighton 1989, Proceedings, Radiative corrections 271-287. (see HIGH ENERGY PHYSICS INDEX 29 (1991) No. 8663.): The DYMU2 event generator.
- DELPHI séminaire hebdomadaire (24 avril 1990) : « Around the MERCEDES events ».
- Moriond 1992 « Progress in Atomic Physics Neutrinos and Gravitation » : « The neutrino(less) experiment with molybdenum : 2nd prototype.
- LAL, avril 1993 : « Etude de la double désintégration bêta du ¹⁰⁰Mo dans l'expérience NEMO ».
- LPNHE P6&7, mai 1993 : « Etude de la double désintégration bêta du ¹⁰⁰Mo dans l'expérience NEMO ».
- LAL , février 1994 : « Méthode adaptative d'ajustement ».
- Journée thématique du DAPNIA sur le Neutrino (1994) : « La double désintégration bêta sans neutrino ».
- INP Orsay, décembre 1999 : « A l'OPERA, une sonate en neutrino majeur... ».
- Journées « Astroparticule » du CNRS 10-11 janvier 2000 : « La connaissance du Neutrino : un problème fondamental »
- IReS, 9 février 2000 : « OPERA : un détecteur de neutrino tau au Gran Sasso ».
- 1er Colloque Neutrino du 3e Millénaire, PCC Collège de France – 15 Janvier 2001 : “Les neutrinos atmosphériques”
- 2e Colloque Neutrino du 3e Millénaire, PCC Collège de France – 22 Janvier 2002 : « Les neutrinos atmosphériques: quelles erreurs et comment sont-elles estimées ? »
- 1st International CMT Workshop LAL, Orsay February 28 - March 1 2002 : « Porting ALIROOT to CMT for Opera »
- Séminaire SFP Lyon pour Licence-Maitrise, 12-FEV-2003: "Mystérieux Neutrino"
- IHEP-EPS03 17-23 Juillet 2003 Aachen : “OPERA experiment” pour le compte de la collaboration OPERA

- CNGS Comité de Revue : « Status report on LAL activities » juin 2004
- CARE/BENE meeting général annuel à Desy 2-3 novembre 2004 : « Pion Collection » et «What we have learned from CNGS Horn realisation at LAL.»
- NuFact05, 7th International Workshop on Neutrino Factories and Superbeams Frascati (Rome) June 21 - 26, 2005: “The SPL-Fréjus physics potential”.
- International Neutrino Factory and Superbeam Scoping Study meeting CERN - 22-24 September 2005: “The SPL-Fréjus: physics potential, Fréjus site and French photodetector R&D”, and “Collector: from a SuperBeam Horn to a Neutrino Factory Horn”.
- GDR Neutrino, réunion plénière, Collège de France 20-21 Octobre 2005 : « Sur la route de MEMPHYS ».
- Journée de la division Champs et Particules de la SFP sur « La physique du Neutrino présent et futur », 4 Mars 2006 Lyon : « De futurs projets Mega-Tonic ! ».
- Workshop on Next generation Nucleon decay and Neutrino detectors 2006, Seattle 21-23 Sept. 06 (NNN06): “CERN to MEGaton Mass PHYSics”.
- GIS Photonis, Paris 15/12/2006: “ R&D Program for any detectors using “large” number of photodetectors O(100,000) units”.
- Workshop on Next generation Nucleon decay and Neutrino detectors 2007, Hamamatsu 2-5 Oct. 07 (NNN07): “PMm2 readout electronics”.

Présentations à des Conseils Scientifiques

- 1993 : coordinateur de la rédaction de la Proposition d’Expérience NEMO3 (LAL 94-29) soumis au CS de l’IN2P3
- 1998 : présentation au CS du LAL du panorama des programmes d’oscillations
- 1999 :
 - présentation au CS du LAL des résultats de MONOLITH et engagements vis-à-vis d’OPERA
 - présentation au CS de Modane et de l’IN2P3 de l’engagement de l’IPNL, du LAL et du LAPP dans l’expérience OPERA
- 2000 : présentation de l’engagement du LAL dans OPERA
- 2001 : présentation de l’avancement des chips LAL pour OPERA
- 2004 : présentation de l’avancement du projet Cornes CNGS et de R&D possibles
- 2005 : présentation de l’avancement d’OPERA et du CNGS au LAL ;
- 2006 : présentation du programme PMm2 et proposition d’engagement dans T2K-280m off axis.

Diffusion de l'Information Scientifique

- Participation en qualité de conseiller à l'article de Sciences et Vie Junior n°74 – Oct. 1995 : « Alice au pays des particules » par Ph. Monges.
- Conseiller scientifique de G. Edelheit chargée de communication à l'IN2P3 de 1995 à 1998.
- Participation en qualité de conseiller à l'article de Ciel & Espace n°365 – Oct 2000 : « Neutrinos : piège géants pour particules fantômes » par A. Khalatbari.
- Participation au film de J.-F. Ternay projeté lors de sa thèse (2001) « Le message de l'image dans la vulgarisation scientifique » en qualité « d'interviewé » sur « L'image : outil de recherche, outil de communication » appliqué à la Physique des Particules
- Conseiller de Sciences et Vie sur la question « Comment mesure-t-on la masse d'une particule ? » Juin 2003
- Conférence de presse en marge de Neutrino 2004 : faisceau de neutrinos.
- Participation régulière aux Journées Portes Ouvertes pour faire visiter le laboratoire.
- Interventions dans les groupes scolaires :
 - 1991 : école préparatoire Ste Geneviève de Versailles: « A la découverte de la physique des particules ».
 - 1995 : collège de Plessis-Robinson : « Le métier de chercheur ».
 - 2002 : 1ere S au lycée Molière de Paris: « Les accélérateurs de particules pourquoi, comment ? ».
- Interventions au Club d'Astronomie d'Antony :
 - Juin 2003 : « La Relativité d'échelle » de L. Nottale (étude critique).
 - Dec. 2003 : « Les neutrinos de SuperNovae (à l'occasion du Prix Nobel 02) »
- Dans le cadre de l'année mondiale de la Physique : rencontre avec des classes de lycées pour faire visiter la « Corne de Neutrinos du CNGS » en construction au laboratoire.
- Interview par D. Larousserie (Sciences & Vie) sur les résultats de MINOS (Avril 06)

Liste des Documents Archivés

PMM2 (18)

PMM2/Rapport Semestriel d'activité/décembre 2007

PMM2/Rapport Semestriel d'activité/juillet 2007

PMM2/Minutes/15.11.07, Réunion d'avancement des partenaires

PMM2/Minutes/06.09.07, Réunion d'avancement des partenaires

PMM2/Minutes/18.06.07, Réunion d'avancement des partenaires

PMM2/Minutes/10.05.07, Réunion d'avancement des partenaires

PMM2/Minutes/12.04.07, Réunion d'avancement des partenaires

PMM2/Minutes/15.03.07, Réunion de « kick off »

PMM2/Phys/24.09.07, Influence de l'absorption et la diffusion dans l'eau sur le Time Spread

PMM2/Phys/14.09.07, Influence de l'indice de l'eau sur le Time Spread

PMM2/Phys/29.08.07, Etat des lieux des spécifications

PMM2/LAL/15.11.06, Informations générales

PMM2/LAL/18.05.06, CR réunion à l'IPNO

PMM2/LAL/20.03.06, document PMm2 soumis à l'ANR

CNGS-CORNE (76)

CNGS/LAL/180705, Rapport financier Corne CNGS-LAL

CNGS/LAL/180705-2, Note Interne « Corne n°2 »

CNGS/LAL/010405, Note Interne « CR des semaines 12 & 13 »

CNGS/LAL/240305, CR réunion LAL-CERN

CNGS/LAL/170305, Note Interne « CR des semaines 10 & 11 »

CNGS/LAL/040305, Note Interne « CR de la semaine 9 »

CNGS/LAL/260205, Note Interne « CR des semaines 7 & 8 »

CNGS/LAL/240205 Lettre au Chef de projet CNGS-CORNE CERN

CNGS/LAL/220205 Lettre au Chef de projet CNGS CERN

CNGS/LAL/110205, Note Interne « CR des semaines 5 & 6 »

CNGS/LAL/040205, Note Interne « Proposition de nouvelle fixation des coupelles CER »

CNGS/LAL/280105, Note Interne « CR des semaines 3 & 4 »

CNGS/LAL/190105, Note Interne « Points sur les activités en cours »

CNGS/LAL/180105, CR réunion LAL-CERN-SDMS

CNGS/LAL/140105/2, Note Externe «Préparation du transfert du Cond. Interne Réflecteur de SDMS au CERN »

CNGS/LAL/140105, Note Interne « Calcul pour le système de câbles du Réflecteur »

CNGS/LAL/120105, Note Interne « CR des semaines 1 & 2 »

CNGS/LAL/110105, CR réunion LAL

CNGS/LAL/040105, CR réunion LAL spécifique à la CER
CNGS/LAL/030105, CR réunion LAL

CNGS/LAL/231204, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/181204, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/161204, CR réunion LAL-SDMS
CNGS/LAL/131204 Lettre au Chef de projet CNGS CERN
CNGS/LAL/121204, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/041204, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/261104, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/121104, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/091104, CR reunion LAL-CERN
CNGS/LAL/291004, Note Interne « Points sur les activités en cours »
CNGS/LAL/231004 Lettre au Chef de projet CNGS CERN
CNGS/LAL/300904, Note Interne « CR de la semaine 39-40 »
CNGS/LAL/080904, CR LAL réunion de rentrée du 7/09/04
CNGS/LAL/240704, Note Interne « CR de la semaine 29-30 »
CNGS/LAL/230704, CR réunion LAL-SDMS
CNGS/LAL/150704 Lettre aux Chefs de projet CNGS CERN et CNGS-CORNE CERN
CNGS/LAL/100704, Note Interne « CR de la semaine 27-28 »
CNGS/LAL/270604, Note Interne « CR de la semaine 26 »
CNGS/LAL/120604, Note Interne « CR de la semaine 24 »
CNGS/LAL/080604 Lettre au Chef de projet CNGS CERN
CNGS/LAL/180504 Lettre au Directeur de l'IN2P3
CNGS/LAL/180504 Lettre au Chef de projet CNGS CERN
CNGS/LAL/160504, Note Interne « CR de la semaine 20 »
CNGS/LAL/090504, Note Interne « CR de la semaine 19 »
CNGS/LAL/090504, Note Interne « CR des tests au BA7 de la Corne 1 (2nd période)»
CNGS/LAL/040504, CR réunion LAL-CERN
CNGS/LAL/020504, Note Interne « CR des tests au BA7 de la Corne 1 »
CNGS/LAL/250404, Note Interne « CR de la semaine 17 »
CNGS/LAL/180404, Note Interne « CR de la semaine 16 »
CNGS/LAL/150404, CR réunion LAL-SDMS
CNGS/LAL/100404, Note Interne « CR de la semaine 15 »
CNGS/LAL/040404, Note Interne « CR de la semaine 14 »
CNGS/LAL/280304, Note Interne « CR de la semaine 13 »
CNGS/LAL/210304, Note Interne « CR de la semaine 12 »
CNGS/LAL/140304, Note Interne « CR de la semaine 11 »
CNGS/LAL/120304, CR réunion LAL-SDMS
CNGS/LAL/070304, Note Interne « CR de la semaine 10 »
CNGS/LAL/290204, Note Interne « CR de la semaine 9 »
CNGS/LAL/220204, Note Interne « CR de la semaine 8 »
CNGS/LAL/130204, Note Interne « CR de la semaine 7 »
CNGS/LAL/120204, Note Interne « Filtration à la MiniBOONE »
CNGS/LAL/090204, Note Interne « Scénario pour la suite à donner à l'avenant de SIMIC pour le CIR »
CNGS/LAL/080204, Note Interne « CR de la semaine 6 »
CNGS/LAL/010204, Note Interne « CR de la semaine 5 »
CNGS/LAL/240104, Note Interne « CR de la semaine 4 »
CNGS/LAL/200104, CR réunion LAL-SIMIC

CNGS/LAL/170104, Note Interne « CR de la semaine 3 »

CNGS/LAL/100104, Note Interne « CR de la semaine 2 »

CNGS/LAL/221203, Note Interne « CR de la semaine 51 et 52»

CNGS/LAL/141203, Note Interne « CR de la semaine 50 »

CNGS/LAL/141203, Note Interne « CR des rencontres LAL-CERN en semaine 50 »

CNGS/LAL/121203, Note Interne “CR semaine 49”

CNGS/LAL/101203, Note Interne “CR rencontre LAL-CERN »

CNGS/LAL/081203, Note Interne “Calcul SAMCEF de liaison tube-flasque du CIR”

CNGS/LAL/021203, Note Interne « Relations avec le CERN et la société SIMIC »

CNGS/LAL/241003, « CR réunion LAL-CERN du 24/10/03 »

CERN-NUFACT et CARE/BENE-NOTE (5)

BENE Interim Scientific Report: A. Baldini et al.

NOTE 142 (novembre 2004), BENE-WP4-Article-04-1: J.E Campagne et A. Cazes : “The theta13 and deltaCP sensitivities of the SPL-Fréjus project revisited ».

NOTE 138 (juillet 2004), BENE-WP4-Note-04-1 : J.E Campagne: « Horn profile determination: the SPL use case.»

NOTE 134 (août 2003), BENE-WP4-Note-03-2: J.E Campagne et A. Cazes: « The CERN horn prototype revised »

NOTE 130 (mars 2003), BENE-WP4-Note-03-1 : J.E Campagne et al.: « Influence des neutrons thermiques et rapides sur les alliages d'aluminium de la série 6000 »

OPERA (8)

OPERA 57 (janvier 2004) : R. Bernier et al. : « Validation of 2400 front end Read Out Chips for the OPERA Target Tracker »

OPERA 41 (juin 2003): A. Lucotte et al.: « The OPERA ROC: a front-end Read Out Chip for the OPERA Target Tracker”

OPERA 40 (mai 2003): A. Lucotte et al.: “Design and performance of an Front-End electronic ASIC for the OPERA Target Tracker: Version2”

OPERA 36 (décembre 2002) avec A. Cazes : « Pattern recognition »

OPERA 34 (novembre 2002) avec S. Bondil et al.: « Performances of the 32-channels Front End electronic chip ».

OPERA 23 (décembre 2000) : « LNGS Computer request ».

OPERA 22 (décembre 2000) : « DATA Model Generator »

OPERA 6 (janvier 2000) : « Muon tracking in heterogeneous structures »

NEMO (13)

NEMO 93/1 avec G. Pichenot : « TRIBIS informations and the ANATRI program »

NEMO 93/2 : « New Monte-Carlo based on Doi et al Formulae for $\beta\beta_{2\nu}$, $\beta\beta_{0\nu}$ and $\beta\beta\chi$ processes.

NEMO 93/3 avec G. Pichenot : « ANATRI N-tuples description »

NEMO 93/4 avec G. Pichenot : « Improved time of flight estimation »
NEMO 93/7 avec G. Pichenot : « Maximum contamination of single beta emitters in molybdenum sources studied with NEMO2 detector (phase III). »
NEMO 93/9 : « Limits with a large number of events using Poisson formula »
NEMO 92/5 : « Tracking precision of the NEMO2 detector with cosmic data »
NEMO 92/6 avec G. Pichenot: « Iterative Track Finding and Fitting with NEMO2 »
NEMO 92/8 : « Ultimate tracking resolution with NEMO3 detector »
NEMO 91/1 : « When the NEMO-1 experiment should be stoped ? »
NEMO 91/3 avec M. Isaac et F. Piquemal : « Ajustement de la relation temps-amplitude »
NEMO 90/9 : « Exercice : How to get limits with low statistics ? »
NEMO 90/10 : « The One Square Meter prototype »

DELPHI(6)

TPC-DELPHI (janvier 1990) : « Results on alignment and $1/p$ measurement. »
TPC-DELPHI (février 1990) : « Results on TPC residuals and resolutions. »
TPC-DELPHI (février 1990) : « Hardware and Software problems seen with real data. »
TPC-DELPHI (mars 1990) : « First results on the moments. »
DELPHI 88-36 PHYS 26 (mai 88) avec L. Brault et R. Zitoun : « Structure function applied to the radiative $\mu+\mu^-$ production at LEP-SLC energies. »
DELPHI 87-87 PROG 95 (oct 87) avec P. Billoir : « Offline alignment by tracks.»