

50 ANS DE PHYSIQUE DES PARTICULES AU CEA

LES GRANDES ETAPES



Frédéric Joliot, premier Haut-Commissaire

Le Commissariat à l'énergie atomique est créé le 18 octobre 1945 par ordonnance signée par le Général de Gaulle, avec pour mission d'acquérir la maîtrise de l'atome dans les secteurs de la recherche, de l'énergie, et de la défense. Frédéric Joliot fut le premier Haut Commissaire et Raoul Dautry le premier Administrateur Général.

A l'automne 1947 commence la construction de la première pile atomique française, ZOE. Un accélérateur Van de Graaff de 5 MeV et un cyclotron de 25 MeV sont à l'étude, et la décision est prise de construire le **Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay**. Le 5 novembre 1947, le service de physique nucléaire est créé, avec à sa tête André Berthelot.

En 1951, Francis Perrin succède à Frédéric Joliot comme Haut-Commissaire, et en 1952, la décision est prise de construire **SATURNE**, un grand synchrotron à protons de 500 MeV. Il sera mis en service en Août 1958. L'énergie maximale est finalement de 3 GeV, grâce, notamment, aux avancées techniques sur les aimants. En 1954 on commence à utiliser les premières émulsions nucléaires pour l'étude des particules élémentaires à Saclay. Le 1er avril 1958 est créé le service de physique corpusculaire à hautes énergies (SPCHE, 200

personnes), qui deviendra le DPhPE (500 personnes) en 1966. André Berthelot le dirigera jusqu'en 1975.

Le 9 octobre 1975 est fondé l'Institut de Recherche Fondamentale (IRF), dirigé par Jules Horowitz, regroupant Biologie, Chimie et Physique. La physique des particules y est représentée par le DPhPE. Jean Teillac est alors Haut-Commissaire. Membre du conseil du CERN, il le présidera de 1978 à 1981.

En 1991, l'IRF se scinde en deux parties, les sciences du vivant (DSV) et les sciences de la matière (DSM). Un



Séminaire de Georges Charpak au DAPNIA

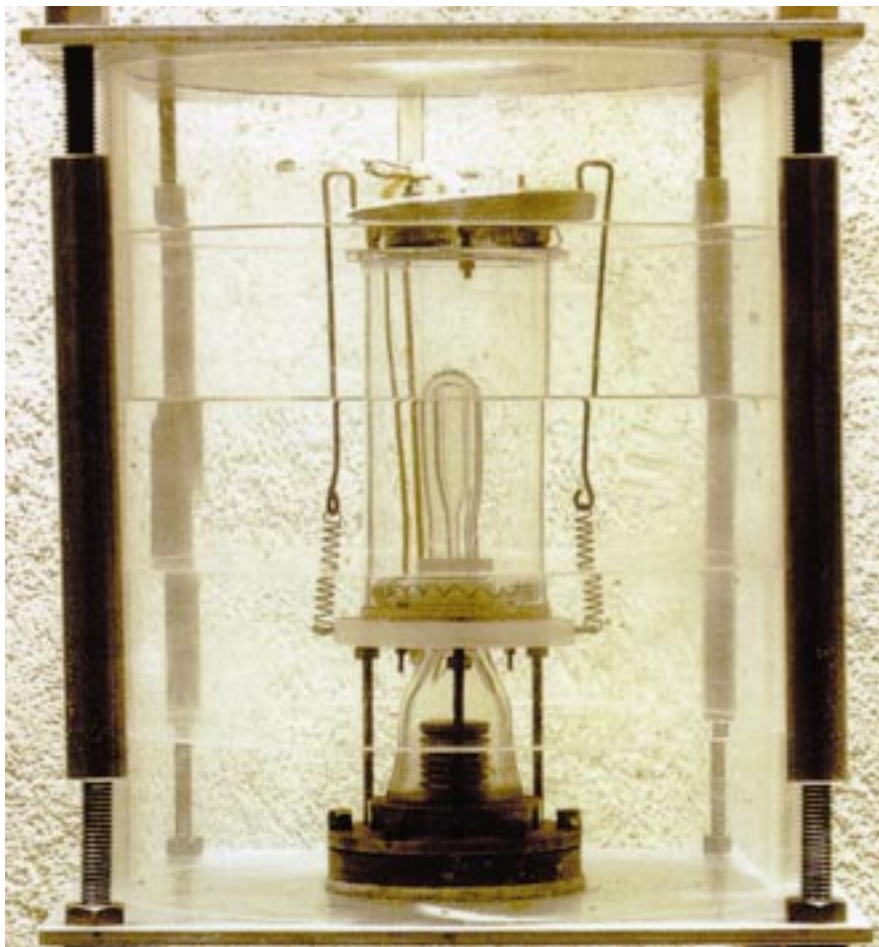
département nouveau de 900 personnes (DSM/DAPNIA) regroupe la physique des particules, la physique nucléaire et l'astrophysique, ainsi que l'instrumentation associée. Celle-ci est répartie en six services :

- Etude des accélérateurs,
- Etude des détecteurs,
- Electronique et informatique,
- Gestion des programmes et ingénierie,
- Instrumentation générale,
- Techniques de cryogénie et de magnétisme.

Par ses services techniques, le DAPNIA est ouvert sur les laboratoires de recherche extérieurs et sur l'industrie. Les services techniques se maintiennent à la pointe de leur spécialité par des activités de R&D propres.

Cette évolution des structures a été gouvernée par l'évolution de la physique et des techniques d'investigation. Pendant longtemps, les expériences de chambres à bulles et les expériences électroniques sont restées dans deux mondes séparés, complémentaires mais rivaux. Les détecteurs actuels doivent cependant autant aux deux techniques : sans les aimants géants et les techniques d'analyse développés pour la première, ou sans l'électronique ultra-rapide et les moyens de détection de la seconde, que seraient les détecteurs du LEP et de LHC?

LES CHAMBRES A BULLES



Prototype de chambre à bulle à propane. Probablement la première à avoir fonctionné en Europe, vers 1955

Saclay fut l'un des pionniers en Europe pour construction et l'utilisation des chambres à bulles auprès de la plupart des accélérateurs. En 1955, A. Rogozinski construit ce qui fut probablement la première chambre à bulles à avoir fonctionné en Europe. Suivent des prototypes sans champ magnétique (une chambre à propane de 0,5 litres en 1956, une chambre à hydrogène de 3 litres en 1958 utilisée auprès de Saturne). Viennent alors une dizaine de chambres de

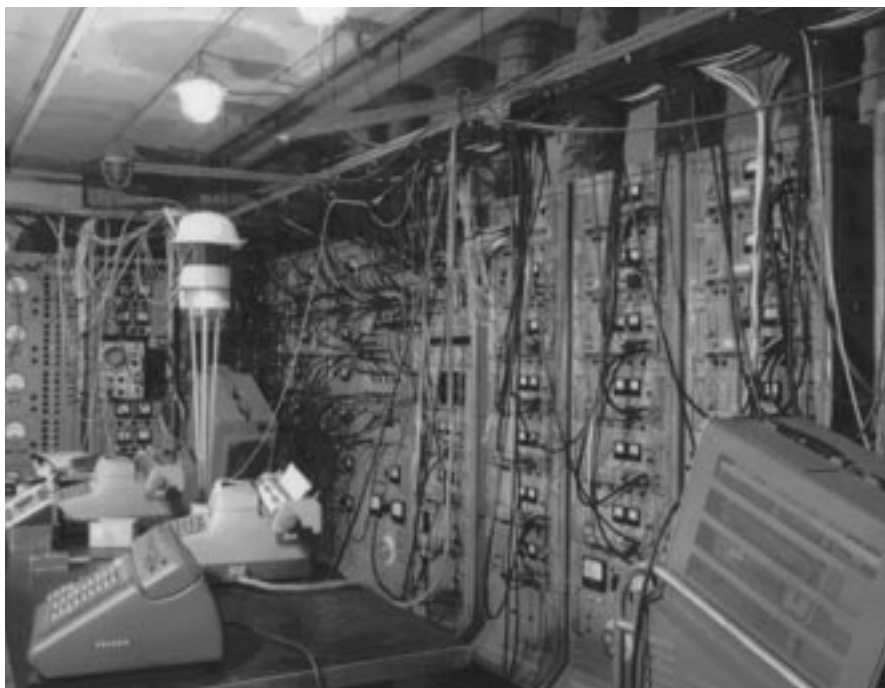
dimensions de plus en plus grandes, pour culminer avec Gargamelle, au CERN à partir de 1970, qui verra le premier signal inambigu de courant neutre, et Mirabelle (11 000 litres d'hydrogène), qui prendra deux millions et demi de clichés à Serpoukhov à partir de 1971.

Ainsi, le laboratoire a acquis un savoir-faire mondialement reconnu en cryogénie, magnétisme et optique. Les millions de clichés analysés à Saclay ont nécessité des équipes de dépouillement et de

mesure regroupant 150 personnes, puis des moyens de mesure automatiques, et ont donné lieu à des études détaillées en spectroscopie hadronique et en physique du neutrino.

LES EXPERIENCES ELECTRONIQUES

Le groupe des compteurs fut créé en 1957 pour travailler auprès de SATURNE, puis devint en 1966 le Service d'Expérimentation par l'Electronique du DPhPE. Ses premiers succès concernent l'électronique rapide à tubes. Le circuit de coïncidence et d'anti-coïncidence réalisé en 1957 par Georges Valladas et Jean-Claude Brisson n'avait que six canaux, mais une résolution de 1,5 ns. Une des premières activités du laboratoire, autour de Paul Falk-Vairant à partir de



Casemate électronique de l'expérience d'échange de charge (Paul Falk-Vairant) à Saclay en 1962

1962, a été la mesure de l'échange de charge $\pi p \rightarrow \pi^0 n$, qui déménagera au CERN en 1964 afin d'étendre la mesure à des énergies plus élevées, initiant une série de collaborations fructueuses Saclay-CERN.

Les techniques de détection ont

profité de l'évolution de l'électronique, avec les transistors en 1963, les minicalculateurs et les circuits intégrés en 1966, et la révolution provoquée par l'apparition du standard CAMAC au début des années 70, jusqu'aux microprocesseurs apparus à la fin des années 70.

Les expériences électroniques sur cible fixe, initialement confinées aux mesures de sections efficaces totales, ont progressivement évolué, avec l'apparition des chambres à étincelles puis à fils, pour permettre une analyse de plus en plus fine des

Principales expériences électroniques en cible fixe au CERN

1964	$\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ (Saclay)
1968-1974	Ke4 (Genève-Saclay) : désintégration $K^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ e^+ \nu$
1976-1980	NA3-Lézard : hadroproduction de J/ψ
1976-1980	WA11- Goliath : hadroproduction de J/ψ
1976-1984	CDHS : diffusion νN profondément inélastique
1978-1985	NA4 (BCDMS) : diffusion μN profondément inélastique
1980-1985	NA14 : photoproduction de charme
1989-1996	CP-LEAR : violation de CP dans le système $K^0 - \bar{K}^0$
1995	NOMAD : recherche d'oscillations $\nu_\mu \nu_\tau$
1995	NA48 : violation de CP, mesure de ϵ' / ϵ

processus physiques.

Avec les années s'est développé au CERN un programme vigoureux auprès du PS, du SPS et de LEAR. Saclay s'est distingué dans les expériences de diffusion profondément inélastique de neutrinos et de muons. Au tableau de chasse figurent la mesure des fonctions de structure des nucléons, la confirmation des violations de l'invariance d'échelle, la mesure de $\sin^2\theta_W$ et de α_s , l'étude du charme et de la mer étrange... Ce programme se poursuit actuellement par les expériences CP-LEAR

(violation de CP), SMC (structure en spin des nucléons), NOMAD (oscillations $\nu_\mu-\nu_\tau$) et NA48 (violation de CP). Le DAPNIA a construit des chambres proportionnelles et de grandes chambres à dérive pour ces expériences. En particulier les chambres à dérive hexagonales conçues pour l'expérience CDHS ont servi et servent encore, depuis 20 ans, à de nombreux tests de détecteurs en faisceaux, et sont un élément de l'expérience d'oscillation de neutrinos CHORUS.

LA PHYSIQUE AUPRES DES COLLISIONNEURS : DES ISR AU LEP

Au début des années 70, l'expérience Saclay-Strasbourg observe aux ISR une des premières manifestations de la structure granulaire du proton, en mettant en évidence la production de particules à grande impulsion transverse. Des ISR au LEP, en passant par le Sp \bar{p} S, Saclay a participé pleinement à l'aventure fructueuse des collisionneurs



L'expérience CDHS pour l'étude des interactions neutrinos. Les grandes chambres hexagonales construites par Saclay fonctionnent encore dans plusieurs expériences et tests



réalisation de cibles polarisées. Le CEA a également acquis une solide réputation dans le domaine de la conception et de la construction d'aimants, tant pour les détecteurs que pour les accélérateurs. Le fonctionnement des aimants de CELLO puis d'ALEPH ont montré la grande maîtrise de la construction d'aimants supraconducteurs. De grands aimants ont aussi été réalisés pour des applications médicales.

LE LHC

Essai d'assemblage d'un plan du calorimètre de luminosité SiCAL d'ALEPH

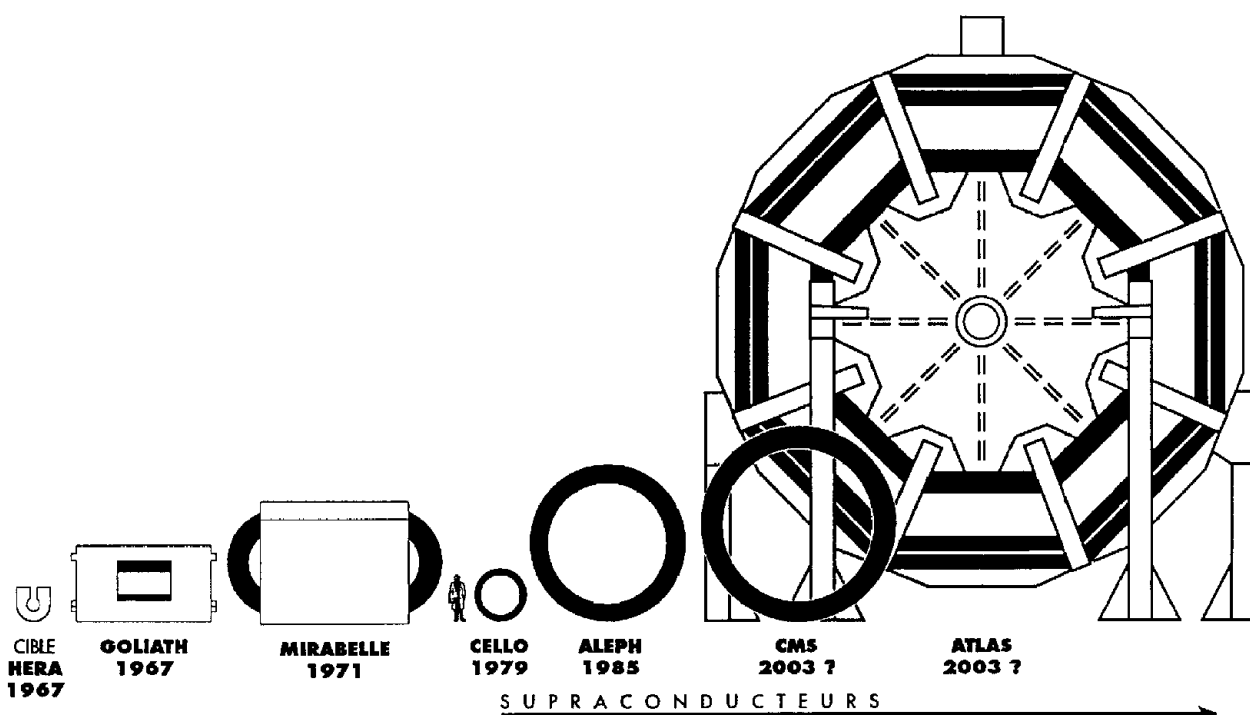
au CERN, à travers UA1 et UA2, ALEPH, DELPHI et OPAL. Le laboratoire a ainsi joué un rôle majeur dans la découverte et l'étude des bosons vecteurs de l'interaction faible et dans les tests précis du modèle standard. Il a réalisé ou participé à la réalisation de composants majeurs de ces grands détecteurs : les calorimètres électromagnétiques d'UA1 et d'ALEPH, la chambre à projection temporelle de DELPHI, le calorimètre de luminosité SiCAL d'ALEPH, pour n'en citer que quelques uns.

LA CRYOGÉNIE ET LE MAGNÉTISME.

Sous l'impulsion initiale d'Anatole Abragam, Saclay a développé une spécialité de

Saclay se tourne vers l'avenir en participant massivement au projet LHC, avec des contributions importantes aux deux expériences ATLAS et CMS ainsi qu'à la conception de quadripôles pour le collisionneur. Dans ATLAS, 60

Cibles polarisées réalisées à Saclay (↑ si le nucléon du faisceau est polarisé et ↑ si c'est celui de la cible):		
• Saclay (cyclotron):	$p\uparrow-p\uparrow$ 11 - 30 MeV	(1962 - 1966)
• Grenoble (cyclotron):	$p\uparrow-p\uparrow$ & $d\uparrow-p\uparrow$ 30 - 50 MeV	(1969 - 1972)
• Saclay (Saturne):	$p-p\uparrow$ & $p\uparrow-p\uparrow$ 0,5 - 1,2 GeV	(1965 - 1967)
	$p-p\uparrow$ 3 GeV	(1970)
	$p\uparrow-p\uparrow$ & $n\uparrow-p\uparrow$ 0,5 - 3 GeV	(1978 - 1995)
• CERN (PS):	Parité du Ξ^-	(1964)
	$p-p\uparrow$ 6 & 11 GeV	(1967)
	$p-p\uparrow$, $K-p\uparrow$ & $p-p\uparrow$ 6 - 16 GeV	(1967 - 1969)
• Serpukhov:	$p-p\uparrow$, $K-p\uparrow$ & $p-p\uparrow$ 40-45 GeV	(1971 - 1974)
• FNAL:	$p\uparrow-p\uparrow$ & $\bar{p}\uparrow-p\uparrow$ 185 GeV	(1987 - 1990)
• Dubna:	$n\uparrow-p\uparrow$ & $d\uparrow-p\uparrow$ 2-6 GeV	(1995 - 1998)



mécanique et des procédures d'assemblage, ainsi que la réalisation de la moitié de ce détecteur;

iii) le système de déclenchement avec la simulation des événements de physique et l'étude du système de collection et de sélection des données.

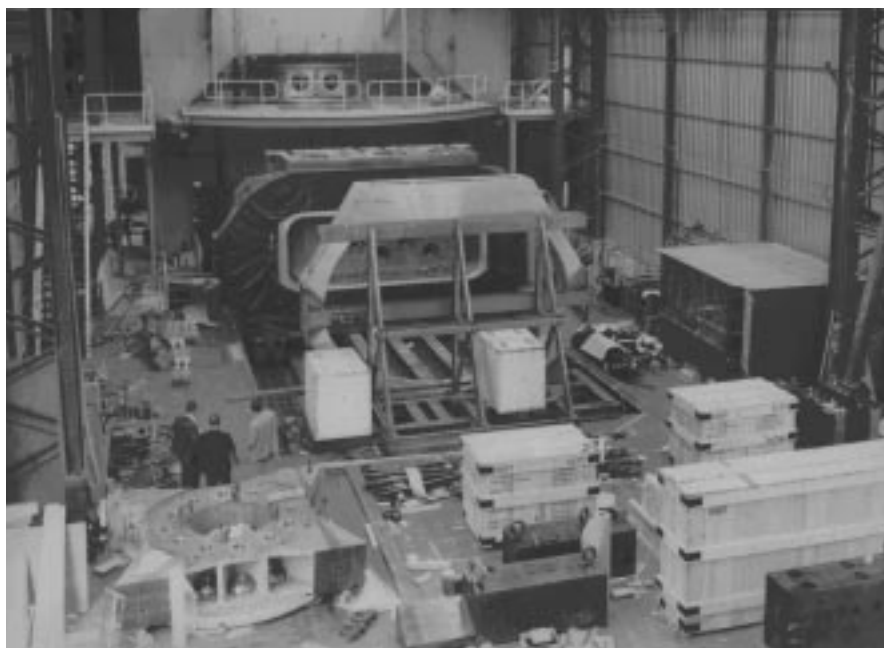
Les 25 physiciens et ingénieurs de Saclay qui participent à CMS s'attachent à la conception du calorimètre électromagnétique central, de la R&D sur les cristaux et les photodétecteurs à la calibration en ligne, et assureront la maîtrise d'oeuvre de la conception du solénoïde.

Le Service d'Etude des Accélérateurs est déjà l'auteur de quelques records en matière de cavités accélératrices, plaçant en bonne position sa

LES COLLABORATIONS HORS-CERN

Les physiciens des particules de Saclay ont toujours cherché des contacts avec des

laboratoires extérieurs, ce qui a donné lieu à de nombreuses expériences en plus de celles basées au CERN. A Protvino, près de Serpoukhov en Russie a été installée la chambre à bulles géante Mirabelle, et l'expérience sur cible



Mirabelle à Saclay en 1970

Expériences au laboratoire Fermi (Chicago, Etats-Unis)	
Expérience E312 (1978-1980)	Recherche de particules charmées dans les interactions hadroniques à 200 GeV/c.
Expérience E605 (1981-1983)	Etude de la production de particules à très haute impulsion transverse.
Expérience E617 (1981-1983)	Détermination expérimentale des paramètres de la violation de CP dans les désintégrations $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ et $K_S^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$.
Expérience E704 (1987-1990)	Mesures de paramètres de polarisation en p-p et p- \bar{p} à 185 GeV/c avec faisceau et cibles polarisés.
Expérience E731 (1985-1988)	Mesure précise des paramètres de violation de CP.
Expérience D0 (1992-2003)	Interactions p - \bar{p} à 2 TeV.

pour lequel Saclay a conçu les quadripôles et piloté leur réalisation en 240 exemplaires par l'industrie.

Unique en France est la collaboration entretenue avec le laboratoire Fermi près de Chicago depuis sa création. Par de nombreux séjours post-doctoraux aux USA, les physiciens ont noué des relations avec les laboratoires américains, ce qui a donné lieu à de nombreuses expériences en

collaboration. Ainsi, Saclay a participé à la découverte du quark top au Tevatron, avec le détecteur à rayonnement de transition (TRD) de

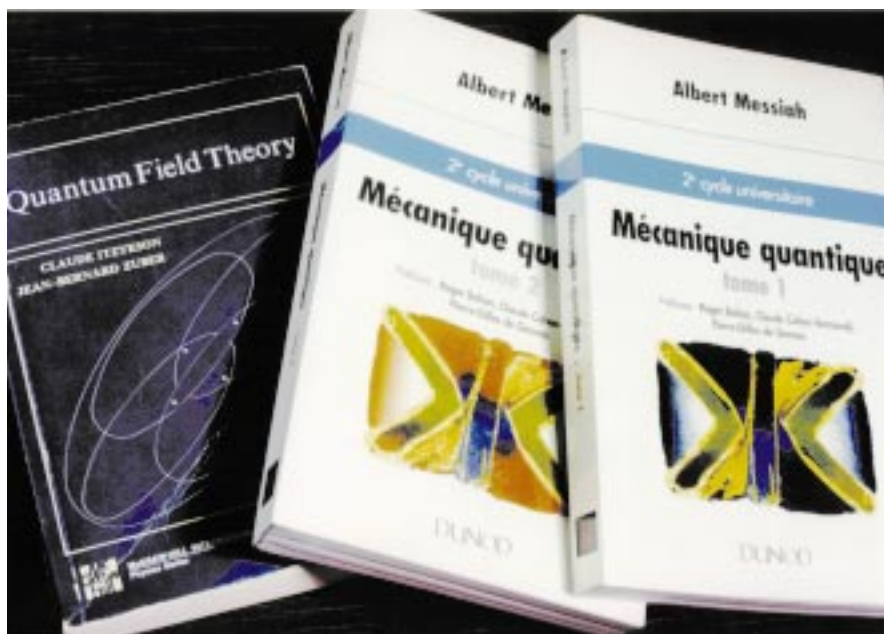
l'expérience D0, et à l'étude de la violation de CP dans les kaons neutres à Fermilab, et s'apprête à étendre au domaine des mésons beaux cette étude en participant à l'expérience BaBar à Stanford.

LA PHYSIQUE THEORIQUE ET L'ENSEIGNEMENT

Les cours d'Albert Messiah et de Claude Bloch, organisés au CEA dès 1954, jouèrent un rôle essentiel dans la refondation de la physique en France après la guerre. Ils préfigurent l'enseignement universitaire spécialisé en physique nucléaire et des hautes énergies. Le traité de mécanique quantique d'Albert Messiah est une référence mondiale. Il a été maintes fois réédité, dans de nombreuses langues, entre 1959 et 1995.

Au sein du département d'étude

polarisée HERA (High Energy Ring and Accelerator, à ne pas confondre avec le collisionneur e-p de DESY). La collaboration avec DESY remonte à 1965 avec la construction d'une chambre à bulles de 180 litres à hydrogène ou deutérium. Elle s'est poursuivie par l'expérience CELLO à la fin des années 1970 sur le collisionneur PETRA. Les grandes chambres à muons construites par Saclay pour CELLO équipent maintenant le détecteur de grandes gerbes cosmiques de l'expérience KASCADE à Karlsruhe. La tradition d'étude des fonctions de structure des nucléons et des interactions fortes est maintenue par une participation à l'expérience H1 auprès du collisionneur HERA,



Les livres de Claude Itzykson et Jean-Bernard Zuber et d'Albert Messiah du CEA, des références dans leur domaine



Petite fête au Service de Physique Théorique au début des années soixante. On reconnaît, de gauche à droite, Roger Balian, Gilles Cohen-Tannoudji, Jean Zinn-Justin et Maurice Jacob

des piles (dirigé par J. Horowitz), le service de physique mathématique avait une double vocation : calcul des réacteurs et physique théorique (réactions

nucléaires, physique des particules, problème à N corps). Depuis lors, la contribution de Saclay à la théorie quantique des champs est universellement reconnue.

LES ASTROPARTICULES ET LA PHYSIQUE HORS ACCELERATEURS

Le Service de Physique des Particules du DAPNIA consacre une part de ses moyens à la physique des particules hors-accelerateurs et à l'astrophysique des neutrinos. Parmi les sujets de physique figurent l'étude des neutrinos solaires, cosmiques, ou provenant du réacteur du Bugey, et la

recherche de la matière noire sous toutes ses formes.

Les désintégrations du proton ont été recherchées au Laboratoire souterrain de Modane à l'aide d'un calorimètre de 1000 tonnes et d'un million de canaux. L'expérience GALLEX a permis de confirmer le déficit de neutrinos en provenance du soleil précédemment observé. La source de ^{51}Cr utilisée pour la calibration du détecteur a été préparée par le CEA.

E c r i v e z ... E c r i v e z ...

Maryline ALBÉRA
DAPNIA/DIR - Bât 703
CEA/Saclay
91 191 - Gif sur Yvette cedex
Tél : (1) 69 08 82 78

La présence de matière noire dans notre galaxie fait l'objet de deux formes d'investigation : la recherche de naines brunes, astres non lumineux qui se manifesteraient par l'effet de lentille gravitationnelle sur une étoile source, et la recherche directe de particules élémentaires interagissant faiblement, par bolométrie à Modane et à l'aide d'un détecteur à l'iodure de sodium au Gran Sasso.

Tout au long de l'expansion du CEA et du développement de l'industrie nucléaire, la nécessité d'une relation privilégiée entre la recherche fondamentale et ses applications a été démontrée. Le CEA a réalisé combien il est important de faire partie de la communauté scientifique internationale. Il a tiré des bénéfices de sa coopération avec le CERN, et sa capacité à mettre sur pied de grands programmes a servi la recherche fondamentale en retour.

Ce numéro hors-série de ScintillationS a été réalisé au SPP à l'occasion de l'exposition présentée au CERN du 29 janvier au 9 février 1996.

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques HAISSINSKI

COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël MARTIN (porte parole),

Claire ANTOINE,

Michel BOURDINAUD,

François BUGEON, Rémi CHIPAUX

Gilles COHEN-TANNOUDJI,

Bertrand CORDIER, Pierre LAMARE,

Claude LESMOND, Elizabeth LOCCI,

Marc SAUVAGE, Jean-Claude SCHEUER

RÉDACTION :

Maryline ALBÉRA

MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Christine MARTEAU

Dépôt légal janvier 1996