

NUMÉRO SPÉCIAL RECHERCHE ET VALORISATION



Depuis sa création, voilà une décennie, le Dapnia mène des recherches aux frontières de la connaissance en astrophysique, physique nucléaire et physique des particules. Les exigences extrêmes de ces recherches fondamentales conduisent le Dapnia à développer des technologies de pointe qui trouvent des applications dans d'autres secteurs du CEA et dans l'industrie.

Préserver ces recherches, c'est préserver les développements de pointe qu'elles induisent. Développements souvent totalement inattendus. Qui aurait pu prédire que la recherche sur le boson de Higgs¹, contribuerait à perfectionner la vision en temps réel du fonctionnement du cerveau humain? Bien malin qui aurait deviné que scruter des objets cosmiques faciliterait le contrôle de l'humidité de barres d'oxyde de plutonium. Il aurait été incrédule, le décideur à qui l'on aurait annoncé que mesurer la part des gluons dans le spin du nucléon allait accélérer la mise au point du laser Mégajoule... Ces bonnes surprises sont pourtant le quotidien du Dapnia, ce concentré typiquement CEA de symbiose entre la science la plus ésotérique et les applications les plus pointues! La valorisation tant vantée et exigée par nos autorités est déjà là. Ce numéro spécial en raconte des exemples récents. Il en faut encore plus nous dit-on. Alors laissez-nous chercher! Henri Poincaré allait bien plus loin: « La science qui n'aurait en vue que les applications ne serait plus de la science, elle ne serait plus que de la cuisine. » L'illustre savant ne mâchait pas ses mots...

La recherche fondamentale d'aujourd'hui, c'est la valorisation, et donc les emplois de demain. Elle colmate la fuite des cerveaux de ces jeunes chercheurs à l'enthousiasme vigilant, dont témoigne Valérie Lapoux, du Service de physique nucléaire (SPhN), au Dapnia:

« Lorsque nous expliquons au public notre physique fondamentale, la question est souvent: "À quoi ça sert?" À faire éclore et croître la connaissance comme l'agriculteur fait pousser son blé. Comme lui, les chercheurs nourrissent la société. Certes, la récolte intellectuelle s'effectue à plus longue échéance et de façon plus aléatoire. Mais le processus est le même: semer pour récolter plus tard. Aux vendanges, circule ce proverbe: "Le grand-père plante la vigne, son fils la taille, le petit-fils saura pourquoi..." »

"La recherche fondamentale ne se fixe d'autre but que d'acquérir des connaissances." (Bijan Saghäi, Dapnia). Son sujet est plus vaste que son application. Vouloir réduire les thèmes de recherche en physique à des applications prédéfinies, c'est focaliser les chercheurs sur une cible unique qui peut très bien n'être pas la bonne.

Le Dapnia est et doit rester les yeux du CEA sur les deux infinis. Ses yeux cosmiques par les caméras et les télescopes qu'il aide à concevoir et à embarquer sur des satellites qu'il aide à réaliser. Son regard sur les noyaux et les particules, par les détecteurs auxquels il participe, installés auprès d'accélérateurs qu'il contribue à construire. Grâce à l'environnement technique de l'organisme CEA, les chercheurs sondent le monde physique et le vivant, fertilisant les activités appliquées. Connaître et comprendre, c'est être capable de prévoir les phénomènes, c'est préparer les futurs progrès et posséder les développements technologiques qui nourriront la croissance et la qualité de vie des générations futures. Il s'agit bien de recherches fondamentales pour maîtriser notre destin.

La vocation du CEA, depuis son origine avec Frédéric Joliot, jusqu'en 2003, était d'aller, par l'atome, de la recherche à l'industrie. Prendre le contre-pied de l'idée fondatrice, en forçant à s'éclipser la recherche fondamentale, l'un des piliers historiques du CEA, ce serait volontairement s'aveugler. »

Ce numéro spécial est une vitrine du rapprochement des recherches, fondamentale et finalisée, du Dapnia avec d'autres disciplines: climatologie et environnement, traitement des déchets, médecine etc., avec d'autres directions du CEA: DAM, DEN, DRT, avec d'autres instituts français et internationaux: CNRS, Inserm, Insu, Cern, Esa etc. (rassurez-vous, chers lecteurs, le lexique des sigles est fourni), et avec des industries, dont nous aidons à créer et préserver les emplois.

Joël Martin (ScintillationS et SPhN) et Valérie Lapoux (SPhN)

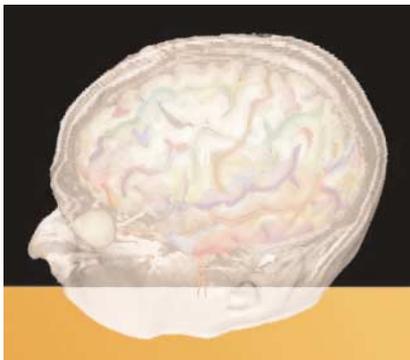
On peut lire aussi le numéro spécial 47 de *ScintillationS*: « Le Dapnia au cœur des deux infinis » et le très bel article « À quoi sert la recherche de base » par Chris Llewellyn-Smith, ancien directeur du Cern (*ScintillationS* n° 34, 36, 37, 38, 39, 40, <http://www-dapnia.cea.fr/ScintillationS/>)

(1) Particule peut-être à l'origine des masses.

PENDANT LA RECHERCHE,

Les termes en rouge sont explicités dans un glossaire, page 6.

Les nombres bleus entre parenthèses renvoient aux numéros correspondants de ScintillationS



Des aimants pour le Large Hadron Collider (LHC) à l'imagerie médicale par résonance magnétique nucléaire (IRM), NeuroSpin et au-delà.

L'**IRM** permet d'observer et de voir fonctionner en temps réel des organes profonds avec une sensibilité d'autant plus grande que le champ magnétique dans lequel baigne le patient est intense. Bénéficiant du savoir-faire du Dapnia et du **Drecam** en matière d'aimants et de RMN (55), le projet NeuroSpin sera équipé d'outils d'imagerie d'une puissance à ce jour inégalée, d'autant que le programme de R&D actuellement conduit par le Dapnia et Alstom sur la technologie **Nb3Sn** (voir aussi le point suivant) laisse espérer une amélioration des performances aux champs très élevés (supérieurs à 20 teslas).

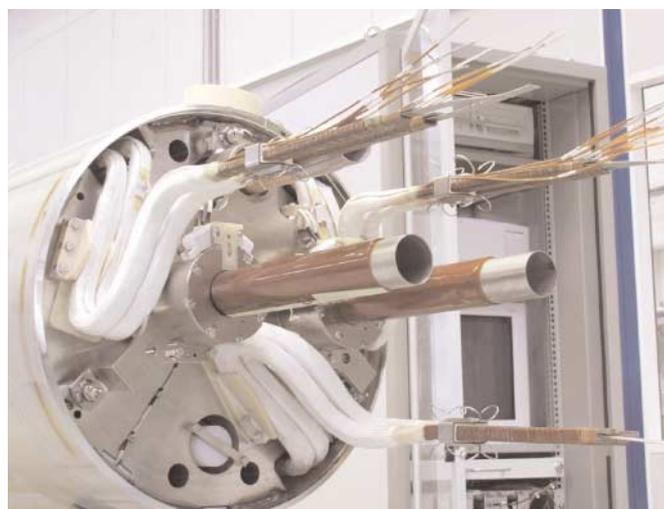
Du LHC aux parts de marché d'Alstom/MSA avec sauvetage d'emplois.

Le Dapnia et la société Alstom/MSA mènent de concert un programme de R&D sur l'utilisation du Nb3Sn dans la fabrication des aimants supraconducteurs (3, 17, 23) à champ intense (au-delà de 12 teslas). L'enjeu pour l'industriel est de se préparer, une fois livrées les fournitures au LHC, à reporter sa capacité de production sur le programme de fusion thermonucléaire contrôlée **Iter**, afin de pérenniser l'activité de son unité de Belfort et de maintenir au moins jusqu'à 2010, les 130 emplois directs et 100 emplois indirects qu'a créés cette activité.

De l'astronomie gamma à l'asic analogique avec prise de brevet.

Réalisée sous maîtrise d'œuvre du Dapnia, **Isgri** (45, 52), caméra γ de nouvelle génération comportant 16384 cristaux de CdTe (tellure de cadmium), constitue une première mondiale. Elle est le premier plan de détection d'Ibis « l'imageur » embarqué sur le satellite Integral (41, 52), qui a pour objectif de fournir

une localisation précise des sources cosmiques actives dans la bande des rayons γ de basse énergie, une estimation de leur spectre et une mesure de leurs variations. **Isgri** a établi la première image des régions centrales de la Galaxie pour des rayonnements au-delà de 20000 électronvolts. Pour tirer le meilleur des performances du CdTe, ce qui n'est pas évident, il a été conçu un circuit

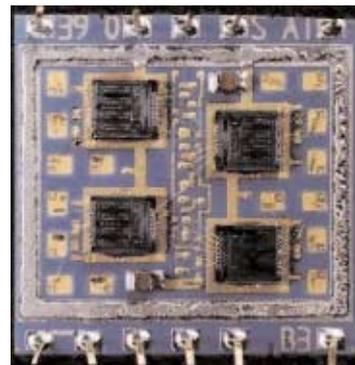


L'extrémité d'un aimant de courbure du LHC.

électronique et des logiciels de traitement, qui ont fait l'objet d'un brevet, utilisé au **Dimri** pour :

- des mesures d'humidité dans l'oxyde de plutonium PuO_2 ;
 - de la spectroscopie γ en chambre d'ionisation au Xe ;
- et au **Léti** pour
- une sonde spectrométrique γ « Oméga » pour la Cogema ;
 - des sondes de mesures d'impuretés radioactives pour Saint-Gobain.

Par ailleurs, un **asic** (52) utilisant ce brevet, conçu au Dapnia et au **Leti**, a été développé pour ISGRI en commun avec la Direction des applications militaires (DAM) du CEA et fabriqué par un industriel de Nantes.



Puces asic et détecteurs CdTe d'Isgri.

LA VALORISATION CONTINUE

Anthologie collectée par Jean-Claude Languillat (Dir), Thomas Denis (SACM), Jean-Luc Sauvageot (SAp), François Damoy (SDA), François Bugeon (Sédi), Valérie Lapoux, Etienne Burtin, Marco Cometto et Frédéric Marie (SPhN). Mise en forme par Christian Cavata (SPP) avec grains de sel de Joël Martin (SPhN)

De la mesure de la contribution des gluons au spin du nucléon à la mesure de l'activité en neutrons des réacteurs nucléaires.

Le Dapnia étudie, en collaboration avec la Direction de l'énergie nucléaire (DEN) du CEA et la DAM, la possibilité d'utiliser la célèbre chambre Micromégas (38, 45, 55), actuellement utilisée par les expériences Compass (54, et page 8 de ce numéro), Kabes et Cast (55) au Cern, afin de mesurer le spectre des neutrons dans les réacteurs nucléaires hybrides et auprès de la LIL (Ligne d'intégration laser), prototype du futur laser de puissance « Mégajoule ».



Claude Marchand (SPhN), Gerhardt Mallot (Cern), Fabienne Kunne (SPhN), Philippe Rebourgeard (Sédi) et un certain Georges Charpak, devant la chambre Micromégas de Compass (photo Alain Magnon, SPhN).

L'apport du Dapnia au démantèlement des accélérateurs et des réacteurs, et dans l'optimisation des filières de traitement des déchets nucléaires.

Dans le cadre du démantèlement (43) de deux accélérateurs de particules de Saclay, l'accélérateur linéaire d'électrons (ALS, 1) et le synchrotron, Saturne (25, 34, 39, 45), à faisceaux de protons, deutons et ions lourds, le Dapnia a mis en place un quadrillage de référence des déchets radioactifs. Tenant compte de la conception des installations, de leurs règles de fonctionnement et de leur histoire, la démarche a consisté à :

- identifier les secteurs et les matériaux où ont pu avoir lieu des interactions, entre les faisceaux et la matière, source de radiations ;
- caractériser les zones de radiations et rechercher les radioéléments représentatifs de l'activation éventuelle des matériaux ;



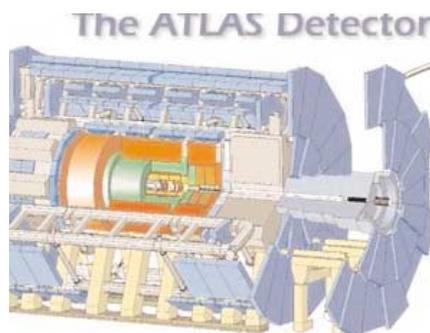
Découpage du blindage du spectromètre « 700 » dans la salle photonucléaire de l'ALS de Saclay.

- évaluer leur activité par unité de masse, par calcul mi-empirique, mi-théorique ou par simulation ;
- vérifier l'état radioactif des zones en effectuant des mesures sur des échantillons et des cartographies des débits de dose absorbée.

Cette démarche, validée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), a permis de valoriser 85 % des matériaux, limitant ainsi de façon très efficace les résidus radioactifs ultimes. Cette méthode pourra être étendue au démantèlement à venir des réacteurs nucléaires et à la caractérisation de déchets nucléaires.

De la recherche du boson de Higgs (49) à la désactivation nucléaire.

Le circuit intégré Hamac, développé initialement par le Dapnia pour l'expérience Atlas (9, 17) du LHC (3, 9, 17, 18, 22, 23, 24, 31, 32, 57) a donné lieu à un projet industriel d'oscilloscope numérique. Le même circuit est maintenant utilisé par la DAM dans les détecteurs de neutrons du futur laser Mégajoule (voir deux points plus haut).



Découpage du blindage du spectromètre « 700 » dans la salle photonucléaire de l'ALS de Saclay.

De la physique nucléaire aux systèmes nucléaires de quatrième génération.

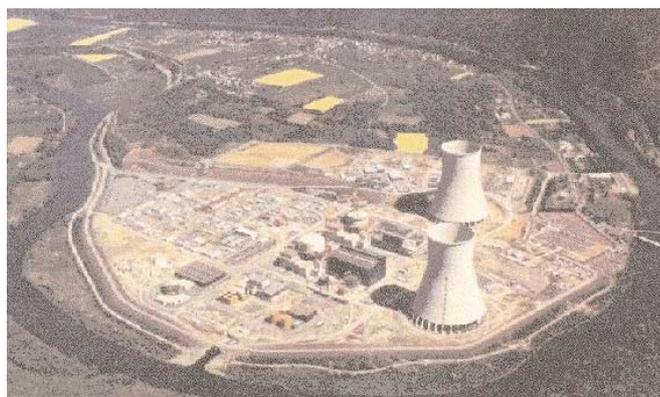
Au cours des dix dernières années le Dapnia a su valoriser son savoir-faire expérimental (détection de particules) et théorique (simulations numériques par la méthode de Monte-Carlo), acquis lors de recherches fondamentales, en l'appliquant aux études sur la transmutation des déchets nucléaires. En particulier, le Dapnia a effectué des mesures des probabilités de capture et de fission des actinides mineurs, pour évaluer la possibilité d'incinération des actinides.



Le Dapnia a donc développé en collaboration avec la Direction des recherches technologiques (DRT) une technique de spectroscopie γ à haut flux de photons. En outre, il met au point, avec la DEN, des outils innovants tels que des micro-chambres à fission fonctionnant à très hauts flux de neutrons, comme Mini-Inca (photo ci-dessus et n° 39), à l'ILL, ou à haute température, comme Mégapie (57). Le Dapnia participe ainsi à l'instrumentation nucléaire des réacteurs de quatrième génération et des futurs projets d'ADS (Accelerator driven system), accélérateurs « premier étage » des systèmes hybrides.

Des oscillations de neutrinos à la surveillance des sites nucléaires pour le compte de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

Le Dapnia participe à l'étude de faisabilité lancée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) concernant la surveillance des réacteurs nucléaires par détection des anti-neutrinos produits lors de désintégrations β . Michel Cribier, grand spécialiste des-neutrinos au SPP, a été nommé par le CEA expert auprès



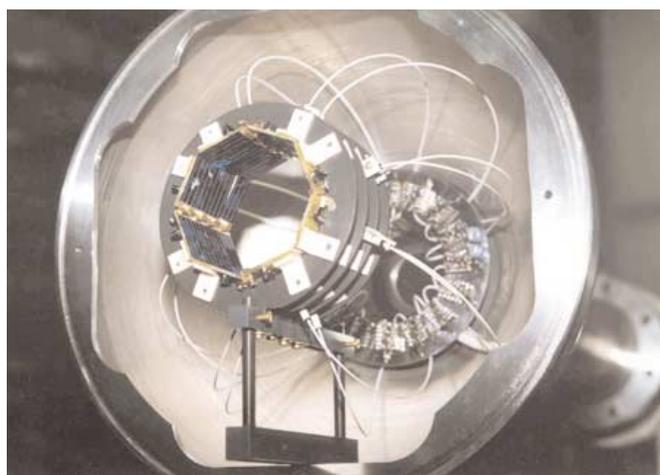
Centrale nucléaire de Chooz, dans les Ardennes, où le Dapnia envisage d'implanter un détecteur d'antineutrinos.

de l'AIEA. Les neutrinos (26, 38) au service de la sûreté nucléaire...

De l'étude de l'interaction nucléon-noyau, à la métrologie et la simulation pour traiter les déchets nucléaires et concevoir des réacteurs nouveaux utilisant du thorium ou des actinides mineurs.

Dans le cadre de la loi Bataille, le Dapnia conduit, en collaboration avec la Direction DEN, des campagnes de mesures de spallation (22, 39) à GSI (Darmstadt) et de probabilités d'interaction neutron-noyau à Geel (39) et au Cern. Ces mesures sont indispensables pour maîtriser la transmutation des déchets. On peut consulter :

<http://www.cea.fr/fr/Publications/Clefs46/clefs46fr-pdf/09-transmuter.pdf>

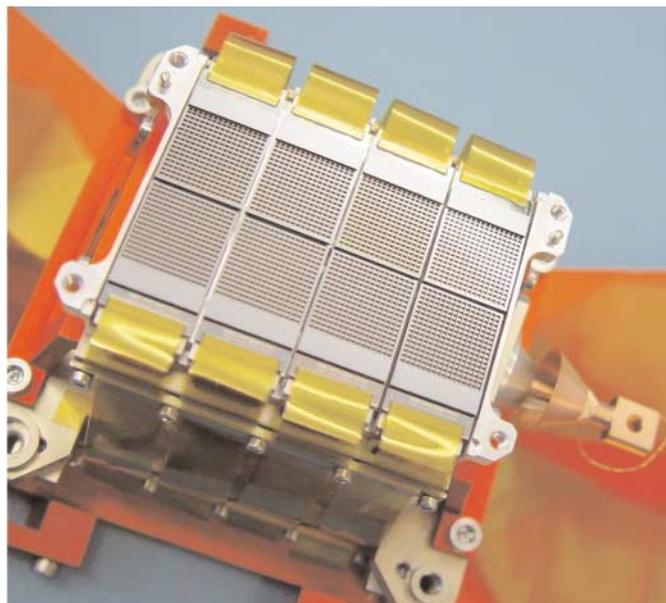


Le détecteur Saphir.

De la formation des galaxies aux détecteurs infrarouge pour le Léti.

Le Dapnia participe à la réalisation des instruments scientifiques qui seront embarqués à bord du satellite Herschel (56, 59), futur observatoire spatial de l'Agence spatiale européenne (European Spatial Agency, ESA), lancement prévu en 2007.

Parmi ces instruments figurent des bolomètres (33) de nouvelle génération développés par le LÉTI de Grenoble, associé au Dapnia. Ces bolomètres ont une sensibilité sans précédent puisqu'ils détectent des variations de flux infrarouge de moins d'un pico-watt, quelque mille milliards de fois plus faible que la puissance émise par un simple voyant lumineux ! Cette performance, qui ne semblait utile à première vue qu'aux seuls astronomes, découle d'un procédé original de détection du rayonnement infrarouge aux grandes longueurs d'onde (de 60 micromètres aux alentours



Un des 2 plans focaux du futur instrument PACS sur Herschel: 8 matrices de bolomètres jointes de 256 pixels chacune.

du millimètre). Cette innovation technologique vient d'être rendue publique et elle a fait l'objet d'un brevet déposé en décembre 2002 par le LÉTI et le Dapnia.

De la physique nucléaire et des particules aux réacteurs nucléaires hybrides.

Afin d'être en mesure d'étudier des phénomènes de plus en plus rares, les physiciens des particules et les physiciens nucléaires ont besoin d'augmenter l'intensité des faisceaux des accélérateurs de particules (LHC, faisceaux de neutrinos et de muons, faisceaux radioactifs (53). La communauté internationale (Japon, Europe, USA) a lancé un programme de R&D sur les « super-faisceaux » de protons visant à obtenir vers 2008 une puissance de quelques mégawatts.

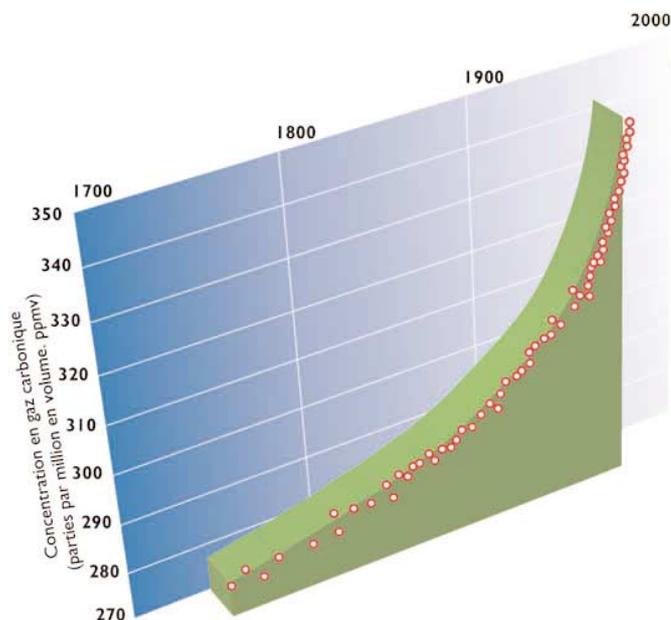


Vue intérieure du prototype de DTL (Drift tube linac), section rectiligne de l'accélérateur linéaire de protons IPHI.

Ces faisceaux extrêmement intenses constituent par ailleurs le premier étage d'un système hybride d'incinérateur de déchets nucléaires, activement étudié au Japon et en Europe (Accelerator Driven System, ADS, voir plus haut, page X). Le programme qu'ont proposé le Dapnia et l'IN2P3, centré sur le prototype Iphi (Injecteur de Protons de Haute Intensité, 39) a pour objectif d'acquiescer la maîtrise des technologies et des concepts de pilotage de cette nouvelle génération d'accélérateurs.

Du contrôle des détecteurs du LHC à l'effet de serre.

Le Dapnia projette de réaliser avec le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) de Saclay plusieurs stations de mesure de la teneur en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Ce projet, pour lequel le LSCE a fait appel à la puissance technologique du Dapnia, s'insère dans le programme d'étude sur l'augmentation de l'effet de serre. Ces stations réparties sur tout le globe, mesureront différentes sources d'émission (industries et transports) et d'absorption (océans et forêts), ainsi que leur variation d'une année à l'autre.



Ainsi, des développements novateurs réalisés au Dapnia contribuent à défendre l'environnement alors, qu'au départ, ils n'étaient pas du tout conçus pour cela. Citons :

- Le contrôle à distance des détecteurs de physique des particules (station d'essais pour le LHC, circulateur d'hélium pour Atlas, etc.) ;
- les domaines de l'instrumentation spécifique « réseau de terrain » (23, 27, 42) ;
- la régulation en logique « floue » (36) ;
- les capteurs intelligents ;
- les technologies informatiques « Web » pour la supervision et le paramétrage à distance mais aussi pour l'aide à la conduite des systèmes installés (voir aussi l'écho de Françoise Gougnard, page Y).

SIGLES, ACRONYMES ET PRÉCISIONS

ASIC

« Application Specific Integration Circuit », circuit électronique « sur mesures » adapté à une application particulière, par exemple, la physique des hautes énergies du Dapnia. Une puce à la carte, en quelque sorte.

CAST

« Cern Axion Solar Telescope », appareillage voué à traquer les « axions », possibles constituants de la « matière noire » de l'Univers. Il utilise la chambre « Micromegas ».

CERN

« Centre européen de recherches nucléaires », ancienne dénomination de ce laboratoire européen pour la physique des particules, le plus grand au monde.

CNRS

« Centre national de la recherche scientifique ».

COMPASS

« Common Muon Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy ». Cette expérience implantée au super-synchrotron à protons du Cern sonde l'intimité des « hadrons », les particules soumises à l'interaction forte, comme les nucléons (protons et neutrons), à l'aide de faisceaux de muons et de hadrons de très haute énergie (au-dessus de 100 GeV). En particulier, ces études portent sur l'influence du spin des quarks et des gluons sur le spin des nucléons. Voir aussi page X.

DRECAM

« Département de recherche sur l'état condensé, les atomes et les molécules » (DSM, CEA).

DRT

« Direction des recherches technologiques » (CEA)

DIMRI

« Département de l'instrumentation et de la métrologie des rayonnements ionisants » (DRT, CEA)

DSM

« Direction des sciences de la matière » (CEA), dont fait partie le Dapnia.

DSV

Direction des sciences du vivant (CEA).

GSI

« Gesellschaft für Schwerionenforschung » (ou : « German Synchrotron Installation », pour les Anglo-Saxons), centre de recherche à Darmstadt sur les ions lourds. Un gross Ganil allemand, en quelque sorte.

Geel

Ville de Belgique où est implanté un laboratoire européen de mesures fondamentales de probabilités d'interaction neutrons-noyaux, données indispensables pour étudier la transmutation de déchets nucléaires à vie longue en déchets à vie courte.

Hybrides (réacteurs nucléaires)

Systèmes associant un accélérateur de particules à un réacteur nucléaire. Ce couplage exploite le phénomène de spallation (22, 39) : le choc d'une particule (le plus souvent un proton) de haute énergie, de l'ordre du milliard d'électronvolts, sur un noyau cible entraîne par interactions successives l'émission d'un grand nombre de neutrons. Un accélérateur

peut ainsi faire office de générateur de neutrons pouvant alimenter un réacteur nucléaire sous-critique. L'apport en neutrons que l'on peut réguler par le débit en protons de l'accélérateur contrôle la réaction en chaîne, ainsi entretenue dans un milieu multiplicateur de neutrons sous critique.

On peut consulter le site :

<http://www.sfen.org/fr/avancees/dossiers/reacteurs.htm>

et lire le dossier consacré aux systèmes hybrides dans « Les Défis du CEA » n° 66 (avril 1998).

ILL

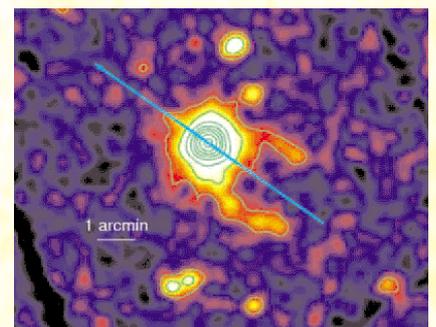
« Institut Laue-Langevin », centre de recherches neutroniques à Grenoble.

INSERM

« Institut national de la santé et de la recherche médicale ».

INSU

« Institut national des sciences de l'Univers ».



Matière éjectée par le pulsar Geminga, observée pour la première fois par le satellite Newton XMM.

IRM

« Imagerie par résonance magnétique nucléaire » (ce dernier mot est gommé du sigle pour ne pas effrayer les patients, écologistes ou non) issue des recherches sur la résonance magnétique nucléaire (RMN).

ISGRI

« Integral Soft Gamma Ray Imager », camera CCD, embarquée sur le satellite Integral.

ITER

« International Thermonuclear Experimental Reactor », projet mondial pour domestiquer la fusion thermonucléaire, l'énergie des étoiles. Confiner magnétiquement, dans un volume réduit, le plasma, siège des réactions de fusion thermonucléaire requiert d'énormes champs magnétiques que seule permet la supraconductivité.

KABES

« Kaon Beam Spectrometer », dispositif pour mesurer les caractéristiques du faisceau de mésons K de l'expérience NA 48 de mesure de la violation directe de CP (48, 55), au Cern.

LETI (Léti)

« Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information », au CEA Grenoble (DRT).

LHC

« Large Hadron Collider », le futur plus puissant accélérateur de particules de la planète : deux faisceaux de protons de 7 téraélectronvolts (7 TeV), soit 7 000 milliards d'électronvolts (7 000 GeV) y tournent en sens inverse dans un tunnel circulaire de 27 kilomètres de tour.

Loi Bataille

Cette loi votée en décembre 1991 à l'initiative du député Christian Bataille prévoit un important programme de recherches en trois volets :

1) la séparation et la transmutation des radioéléments ;

2) le stockage en formation géologique profonde ;

3) le conditionnement des radioéléments et leur entreposage sur une longue durée. La loi fixe un calendrier avec un rendez-vous en 2006 pour établir un bilan des recherches.

MEGAPIE

« MEGAwatt Pilot Experiment », est une cible en alliage liquide de plomb et de bismuth destinée à étudier les processus d'émission de neutrons par « spallation » au sein de noyaux bombardés par des faisceaux très puissants (autour du mégawatt) de protons d'une énergie de l'ordre de 1 GeV.

Mégawatt

C'est une puissance d'un million de watts. Pour un faisceau de particules portant chacune une charge élémentaire 1 : (+1) pour un proton, (-1) pour un électron, un mégawatt de puissance transportée correspond, par exemple pour des particules d'un gigaélectronvolt (GeV) d'énergie, à un courant équivalent d'un milliampère, c'est-à-dire un flux de quelque six millions de milliards de particules par seconde.

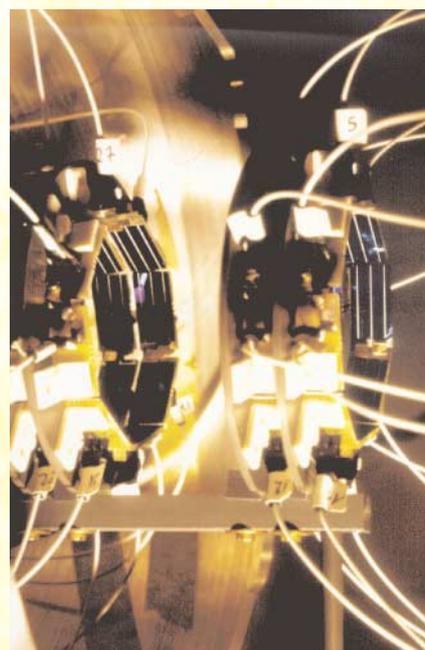
Nb₃Sn

Alliage de niobium et d'étain. Ses performances en font le matériau supraconducteur qui a actuellement le vent en poupe dans les câbles, aimants ou cavités accélératrices récents. À la température de l'hélium liquide ordinaire (4,2 kelvins), son champ magnétique critique (au-dessus duquel il cesse d'être supraconducteur) est de 28 teslas. Par comparaison, le champ magnétique des composants du LHC à son énergie maximale de 7 TeV est de 8,4 teslas.

Cet alliage est une aubaine, entre autres, pour les fabricants d'aimants destinés à l'imagerie médicale (IRM), car plus leur champ est élevé, plus fine et précise est l'image.

SAPHIR

(Saclay Aquitaine Photovoltaic cells for Isomer Research), détecteur conçu pour des expériences de physique fondamentale, est utilisé depuis le printemps 2000 pour des expériences de fission dans le cadre de l'étude sur la transmutation des déchets nucléaires demandée par la loi Bataille (voir plus haut). Saphir est le fruit d'une collaboration entre le Dapnia (Sédi et SPhN) et l'IN2P3.



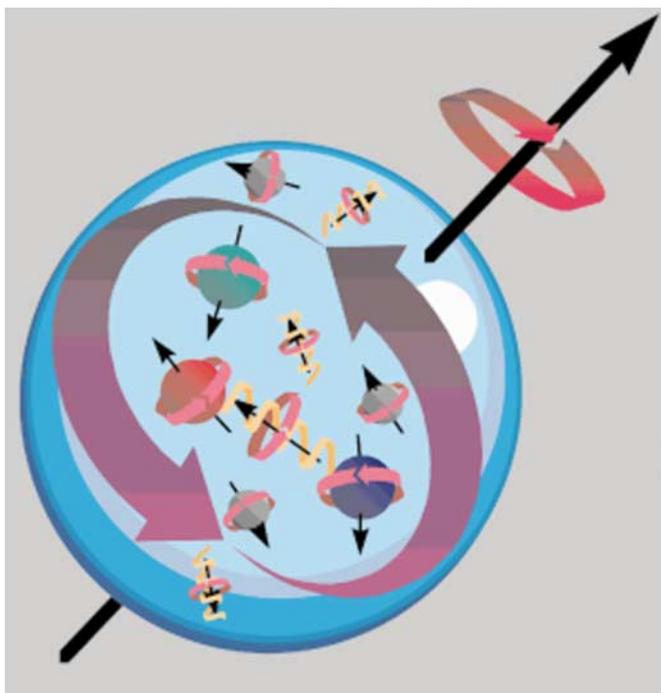
Saphir, utilisé avec Euroball III, à Strasbourg.

PENDANT LA VALORISATION,

Le charme des petites toupies gigognes.

Compass en passe de dénouer la crise du spin

Les constituants du noyau atomique, les nucléons (protons et neutrons) renferment des *quarks* qui s'attirent sous l'empire de la *force de couleur* véhiculée par des *gluons*. Lorsqu'on découvrit dans les années 70 que les nucléons contenaient trois quarks, on pensa que le *spin* (propriété quantique liée à la rotation d'une particule sur elle-même) du nucléon était la somme des spins de ses quarks. Surprise ! Dans les années 1990, des mesures au Cern et au Slac (*ScintillationS* n° 12) montrent que le spin des quarks n'est responsable que d'une toute petite fraction du spin du nucléon. Pour tenter d'y voir clair dans ce qu'on a appelé la *crise*

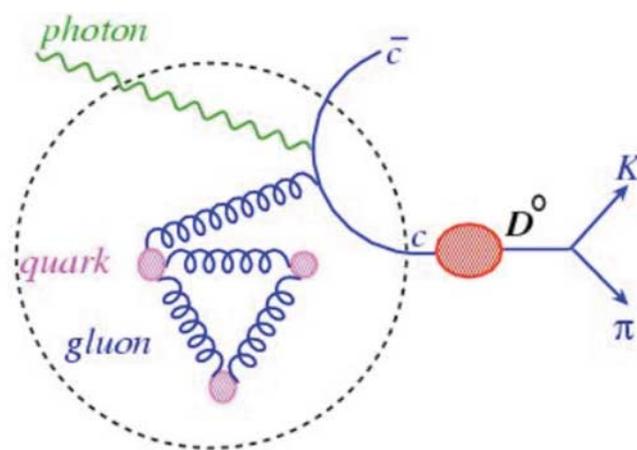


du spin, la collaboration internationale Compass (Common muon proton apparatus for structure and spectroscopy), au Cern, a entrepris de mesurer la contribution des gluons au spin du nucléon.

Le maître mot dans les mesures de spin c'est *polarisation*. (n° 30, 42, 48). Un projectile qui arrive en tournoyant sur un corpuscule qui tournoie, lui aussi, est dévié différemment selon qu'il tourne dans un sens ou dans l'autre. Or on peut imposer collectivement un même sens de rotation et une unique direction de l'axe de chacune de ces petites « toupie » en *polarisant* les faisceaux de projectiles et les noyaux des cibles. Pour mesurer le spin d'un cor-

puscule cible, on peut le bombarder avec des projectiles de même énergie et de même incidence, mais alternativement polarisés dans la direction du faisceau incident puis dans la direction opposée. On mesure alors la différence entre les déviations respectives des projectiles. Les physiciens parlent d'*inversion de polarisation* et de mesures d'*asymétrie*.

Mettant en œuvre cette technique, l'expérience Compass (*voir aussi page ZZ*) bombarde des couples proton-neutron polarisés (noyaux de deutérium – ou hydrogène lourd –, contenus dans une cible de deutériure de lithium, LiD^1) par des muons (*voir le tableau des particules, 5, 19 ou 47*) polarisés de 160 milliards d'électronvolts (160 GeV). À cette haute énergie, la frappe est chirurgicale et un muon peut choquer un seul gluon d'un des protons. Lors de cette *diffusion*, un photon « virtuel », lui-même polarisé, est échangé. Le choc du photon et du gluon produit une paire quark-antiquark *charmés* qui forme immédiatement un méson charmé neutre D^0 , lequel se désintègre en un kaon et un pion.



Le photon sonde les constituants du proton : quarks et gluons. La fusion photon-gluon produit une paire quark-antiquark charmés, qui donne naissance à des mésons charmés D^0 . On détecte les produits de désintégration du D^0 : un K et un π .

C'est comme un code-barre : la production de ce charme, révélé par le couple $K\pi$, signe sans ambiguïté la frappe sur un gluon (*schéma*). L'asymétrie mesurée lorsque l'on inverse la polarisation des muons renseigne sur la polarisation du gluon dont on peut ensuite évaluer la contribution au spin du nucléon.

C'est très beau sur le papier mais il s'agit d'une mesure effroyablement délicate. La probabilité du choc photon-gluon est infinitésimale. Il faut donc extraire un minuscule signal d'un

(1) En 2002, COMPASS a battu le record mondial du taux de polarisation pour une telle cible : plus de 50 %.

LA RECHERCHE CONTINUE

« bruit de fond » très intense. Cela implique, entre autre, de mesurer des flux énormes de particules avec la meilleure précision spatiale. Compass réussit une localisation de 0,06 à 0,15 mm pour 200 000 à 300 000 particules/s.

On en rêvait, Compass l'a fait. Mais il a fallu pour cela stocker et traiter cent mille milliards « d'événements », soit la capacité d'environ mille disques durs d'ordinateurs modernes. Un superbe « pic de charme » a été ainsi observé avec une belle netteté, grâce à un dispositif expérimental ultrasensible et performant (Micromegas, grandes chambres à dérives, électronique associée, aimants supraconducteurs dernier cri pour la cible polarisée¹, etc.) dans lequel le Dapnia a pris une part majeure² ainsi que dans l'analyse des données. La mise en évidence de ce « pic du D⁰ » montre que Compass est en mesure de résoudre la crise du spin en mesurant la part des gluons dans le spin du nucléon.

En cas de crise, déployez le charme...

Présentation : Joël Martin (SPhN)

*Services du Dapnia à la peine et à l'honneur : Sédi, SIS, SPhN.
Contact : Fabienne Kunne (SPhN) 01 69 08 43 45 fkunne@cea.fr*

Réglages Outre-Rhin et Outre-Atlantique depuis Saclay.

Dans le cadre de la collaboration du Dapnia et de Desy (Deutsches Elektronen Synchrotron), à Hambourg, pour Tesla¹ Test Facility (TTF), prototype de Tesla³ (23, 32, 34), le Service d'ingénierie des systèmes (SIS, 57) a mené à bien le contrôle à distance de l'injecteur de ce prototype et de ses cavités supraconductrices. Ce système de contrôle a été réalisé avec le logiciel Epics (Experimental Physics Industrial Control Systems) utilisé aujourd'hui sur la plupart des accélérateurs dans le monde. TTF est constitué d'un injecteur comprenant une cavité supraconductrice dite « de capture » et deux cryomodules, de chacun 8 cavités. En particulier, la cavité de capture mise en place par les spécialistes en accélérateurs du Dapnia pouvait être accordée à distance depuis Saclay, ce qui a été salué à l'époque comme une première par la communauté des accélérateurs. Par la suite, Epics a été utilisé pour les systèmes de contrôle du polarimètre Compton et du système « ARC » de mesure d'énergie du faisceau de Cebaf (42), Antares, Compass (*pages XX et ZZ*), W7X (57), etc.

Françoise Gougnaud (SIS)



Cavité supraconductrice type TESLA 9 cellules.



Cavité supraconductrice de TTF.

(1) Y a-t-il à COMPASS, des gluons sur l'aimant (*ndlr*)?

(2) L'un des deux porte-parole de Compass est un physicien du Dapnia, Alain Magnon (SPhN), et le « Technical Coordinator », véritable *deus ex machina* pour tout l'équipement et la planification de l'expérience, est Stéphane Platchkov, également physicien au SPhN.

(3) Tesla (Teraelectronvolt Energy Superconducting Linear Accelerator), est un futur grand collisionneur linéaire composé de deux accélérateurs linéaires alignés de 15 km de long produisant un faisceau d'électrons pour l'un, de positons (électrons d'antimatière) pour l'autre, chacun de 500 GeV, et se précipitant l'un vers l'autre.



RENÉ PELLAT 1936-2003

René Pellat est décédé accidentellement le 4 août, quelques jours après avoir quitté ses fonctions de Haut-commissaire à l'énergie atomique – le Très-Haut, comme nous l'appelions. Au-delà des hommages officiels liés à la succession de hautes fonctions qu'il occupa (Président du Cnes, puis du CNRS, puis Haut-commissaire, et bien d'autres, comme depuis longtemps président du Programme national de cosmologie, sans compter des responsabilités de haut niveau à l'Onera, l'Inserm, France Télécom...), nous voulons nous souvenir avant tout du physicien exceptionnel qu'il fut.

Son histoire est celle de la rencontre d'un jeune physicien remarquablement doué, commençant sa carrière scientifique dans les années soixante, et d'une discipline en plein essor : la physique des plasmas chauds qui à cette époque se développait à grande vitesse, stimulée par les premiers succès dans les recherches sur la fusion contrôlée. René Pellat (et Guy Laval, avec qui il a étroitement collaboré, de leurs études communes à la création de leur laboratoire à l'École polytechnique) rejoignit la génération de brillants jeunes théoriciens qui développèrent les bases de cette discipline. L'essentiel de la physique des plasmas chauds est né dans cette période bouillonnante, et d'emblée René Pellat y apporta des contributions très remarquées concernant d'abord l'équilibre et la stabilité des plasmas confinés magnétiquement.

Travaillant à cette époque au Département de physique des plasmas et de la fusion contrôlée du CEA à Fontenay-

aux-Roses, il comprend très rapidement que la théorie des plasmas ne peut se développer qu'en se donnant des horizons nouveaux, appliquant à d'autres domaines les outils physiques forgés dans le domaine de la fusion, et réciproquement. Il s'intéresse alors à ces autres domaines, en commençant par les plasmas magnétosphériques ou ceux de l'environnement des pulsars. En 1972, il choisit avec Guy Laval, de quitter le CEA pour le CNRS et de créer, au Centre de physique théorique de l'École polytechnique, un groupe de théorie des plasmas, actif dans tous les domaines d'intérêt des plasmas chauds : fusion contrôlée magnétiquement, plasmas d'interaction laser-matière, magnétosphère, physique des galaxies, disques d'accrétion, cosmologie, plasmas gravitationnels, formation des planètes, accélération des rayons cosmiques. De sa génération, René Pellat est certainement celui qui a poussé le plus loin cette recherche de la fertilisation mutuelle des différents domaines d'application de la physique des plasmas.

Dès sa création, ce laboratoire, et plus généralement l'ensemble des étudiants et collaborateurs de René Pellat, s'est imposé comme l'un des meilleurs au monde avec des succès remarquables dans la théorie de l'équilibre et la stabilité des tokamaks, des plasmas créés par laser (en liaison avec le laboratoire expérimental Luli, qui se créait à l'École polytechnique, et la Direction des applications militaires (DAM) du CEA), des plasmas magnétosphériques, et divers domaines de l'astrophysique. En parallèle, il se lançait dans une succession de responsabilités d'administration, d'organisation et d'encadrement de l'activité scientifique, marqué par les fonctions que l'on connaît mais aussi par de nombreuses interventions d'expert, poussant de nombreux projets ou au contraire les condamnant si c'était justifié – il savait faire des choix, quitte à mettre sa carrière en jeu. Le dernier en date est certainement Iter (*voir aussi page Z*), projet d'un Tokamak en

collaboration mondiale, successeur du JET (Joint European Torus). Il a ces dernières années consacré des efforts inlassables à relancer le projet, obtenir la participation de très nombreux partenaires à travers le monde, et pousser la candidature du site de Cadarache pour son implantation.

Il y avait une étrange osmose entre l'homme, la physique qu'il pratiquait, et les responsabilités qu'il assumait, entre le pied-noir issu des faubourgs populaires d'Alger et la théorie telle qu'il la concevait et la pratiquait, difficile, harassante, exigeant de se « salir les mains ». Théorie difficile, car impliquant souvent des pages d'équations longues et ardues qu'il n'hésitait pas à sortir lorsqu'il s'ennuyait dans un conseil d'administration ; harassante, car les résoudre demande un travail acharné, obstiné, répétitif, pour parvenir à les exploiter ; salissante enfin, car la physique des plasmas produit rarement des résultats propres, exacts, comme on les apprécie dans les cercles académiques et les livres de cours. Elle exige, si l'on veut avancer, de réduire, d'isoler les termes physiquement significatifs, d'approximer, mais toujours avec la même rigueur qu'il démontrait dans ses diverses responsabilités.

Théoricien hors pair, administrateur, organisateur de la science, initiateur et fédérateur d'efforts interdisciplinaires, René Pellat était un homme de science complet qui alliait la rigueur et, quand il le fallait, le tranchant, avec la chaleur humaine de ses origines méditerranéennes. Pour beaucoup d'entre nous il était non seulement un collègue éminent, mais aussi un ami et un exemple. À l'initiative de ses anciens élèves (dont plusieurs au SAp), une conférence internationale « Plasma Astrophysics » (avec des aperçus sur les autres aspects de sa carrière) sera organisée en sa mémoire à l'automne 2004. Dans l'activité scientifique comme dans les turbulences que traverse la recherche au CEA, il nous manque déjà...

Michel Tagger (SAp)

LE NOUVEAU HAUT-COMMISSAIRE

Bernard Bigot, ancien directeur de cabinet de Claudie Haigneré, ministre de la Recherche, a été nommé Haut-commissaire à l'énergie atomique le 1^{er} août. Le 3 octobre, il a rencontré une délégation du Dapnia inquiète des projets du Siège en matière de recherche en physique fondamentale au CEA, et le 21 octobre, il a visité notre département (photos : Jean-Jacques Bigot, Dapnia/Com).



Jean Zinn-Justin, chef du Dapnia faisant le point avec le HC.



Le HC avec Martial Authier (SIS), devant Philippe Rebourgeard (chef du Sédi) et Jean-Claude Languillat (Dapnia/DIR).

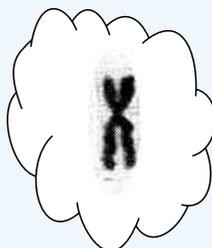
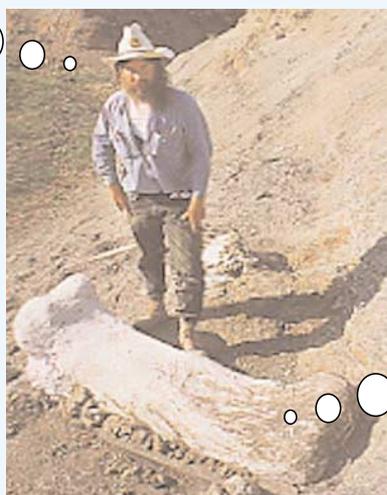
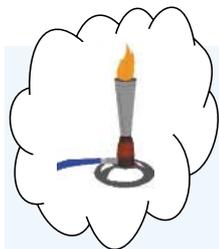
Le gluon d'honneur

Pêché dans un récent « Plan à moyen et long terme pour le CEA » :

« La mise en service au Ganil de sources de noyaux instables permet à la physique nucléaire d'explorer de nouveaux états des noyaux et ainsi de mieux comprendre les étapes de la nucléosynthèse et d'envisager la description du noyau en termes de quarks et de gluons. »

Pour la gouverne de ceux qui gouvernent de fraîche date nos destinées, hauts personnages desquels on attendrait une connaissance approfondie des domaines sur lesquels s'exercent leurs arbitrages budgétaires, précisons que l'exploration d'un noyau instable nous en apprend autant sur les quarks et les gluons que faire bouillir un tibia de tyrannosaure nous renseigne sur le chromosome X d'un administrateur général.

Joël Martin (SPhN)



Plumes du Dapnia

On prend les mêmes et on recommence. Les astromultirécidivistes bien connus, Michel Cassé et Roland Lehoucq sont de nouveau en place dans les bonnes librairies.

Michel Cassé publie avec Edgar Morin, chez Odile Jacob, un dialogue initié par Laure Adler sur « France-Culture » entre l'astrophysicien et le philosophe :

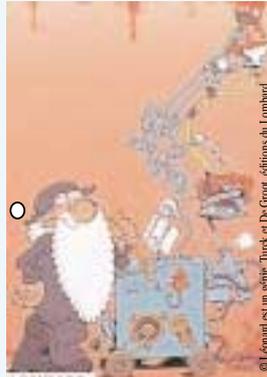
Enfants du ciel

(entre vide, lumière, matière)

En quelque 130 pages profondes et jubilatoires, ce duo joue la grande symphonie cosmique, de la prime explosion à la quête de tous les savoirs. Comme l'annonce le sous-titre, les mouvements de cette partition dont le contrepoint s'articule sur le hasard et le temps, sont « vide », « lumière », « matière ». De l'incandescence de la matière lumineuse aux bouillonnements de la matière grise. Nous sommes issus du vide plein de matière et de lumière. Nous sommes les enfants de ce néant rayonnant. Les solistes de l'orchestre ont nom Platon, Newton, Einstein. Un grand moment de science (avec conscience), d'émotion et de poésie.

D'où viennent les pouvoirs de Superman ?

Physique ordinaire d'un super-héros



Roland Lehoucq, qui a gardé son âme d'enfant du ciel, se penche, lui, sur un super héros de bande dessinée, dans un savoureux opusculé publié chez EDP Sciences.

Préface, bien sûr lumineuse, de Jean-Pierre Luminet, illustrations de Thomas Haessig, qui ne sont pas tristes. Car ses super pouvoirs confèrent au natif de la planète Krypton une anatomie qui risque de décevoir ses groupies¹. Sa super vision lui modèle de gros yeux globuleux surmontés d'énormes sourcils. Ses oreilles vont de pair(e). Et le tout à l'avenant. Mais cette iconoclaste incursion d'un scientifique dans le mythe de Superman est prétexte à raconter la physique qui sous-tend l'invulnérabilité, la force et la vitesse surhumaines, la perception ultrasensible de ce Schwarzenegger à la puissance mille. Et comme Roland est un merveilleux pédagogue, petits et grands ne s'ennuieront pas une seconde dans la relecture qu'il propose des aventures de leur héros de BD favori. Pour les jeunes de 13 à 113 ans.

Joël Martin (ScintillationS)

Va-et-vient

Juillet 2003 – Tous nos compliments pour leur passage mérité en « annexe 1 » à Jean-Marc Gheller (SACM), Patrick Girardot (SIS), Patrick Le Dortz (SACM), Loris Scola (SIS) et Éric Zonca (Sédi). Jean-Jacques Darennes arrive au SACM en provenance du Dimri, Département de

l'instrumentation et de la métrologie des rayonnements ionisants de la Direction des recherches technologiques (DRT). Autre muté, au SDA, Lionel Latron qui nous vient de la Direction de l'énergie nucléaire (DEN). C'est un spécialiste des technologies de l'information, discipline en pleine santé. Bienvenue à Paul Lotrus, recruté au SIS. Sur le front des départs, nous souhaitons bonne route à Daniel Le Bihan et Guy Rousseau (SIS), ainsi qu'à Christian Brouzeng (SDA) et Michel Maurier (SIS) qui vont faire retraite en de riants horizons. François Simoens quitte le SACM pour la DRT et, plus précisément, le département d'optronique du Léti à Grenoble. Tous nos vœux de réussite.

Août 2003 – André Gaidot (SPP) part en retraite. Roman Tirler illustre merveilleusement le titre de cette rubrique puis-

qu'il est réintégré au Sédi et, le même 1^{er} août 2003, il part en retraite. Bonne chance à ces sympathiques aoûtiers migrants.

Septembre 2003 – Fassou Mané (Sédi) part en « NIG 213 ». Michelle Dufrennes (SIS) part en « départ négocié ». Joseph Pascual (Sédi) part en retraite « classique », ainsi que François Pierre (SPP). Bonne chance aux partants, quel que soit leur mode de départ. Alain Goetschy est muté au SAp, venant du Département des systèmes intelligents de la DRT. Bienvenue à sa personne et à sa matière grise. Maarten Boonekamp est réintégré au SPP. Anne-Isabelle Étienne est recrutée au SPP et Sandrine Pirès est recrutée au Sédi. Bienvenue et, par les temps qui courent, félicitations pour ces embauches automnales...

Octobre 2003 – Jacques Proudowsky est muté du SACM au Service de physique de l'état condensé (Spec) du Drecam. Pierre Roth quitte le Sédi en « départ négocié ». Yves Lemoigne (SPP), Serge Palanque (SACM) et Christian Wannepain (Sédi) partent en retraite. Tous nos vœux de réussite dans leurs nouvelles entreprises. Stéphane Feray (SDA) passe annexe 1. Toutes nos félicitations pour ce passage bien mérité! Bienvenue aux autres recrutés de cet automne : Pierre-François Giraud (SPP), Lionel Quettier (SACM) et Cédric Simenel (SPHN).

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION: Jean ZINN-JUSTIN

COMITÉ ÉDITORIAL: Joël MARTIN (porte-parole), Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Philippe CONVERT, Françoise GOUGNAUD, Christian GOUIFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAIN, Xavier-François NAVICK, Angèle SÉNÉ, Didier VILANOVA

MAQUETTE: Christine MARTEAU

MISE EN PAGE: GRAPHOTEC

CONTACT: Joël MARTIN -

Tél. 01 69 08 73 88 - Fax: 01 69 08 75 84 - E.mail: jmartin@dapnia.cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/ScintillationS/>

Dépôt légal novembre 2003

21

(1) L'auteur ne précise pas si « l'Homme d'Acier » a une pile de méthane (ndlr).