

## IncurSION en terre inconnue

### Comment flairer de nouvelles particules sans les voir ?

La matière telle que nous la voyons n'est qu'un petit vingtième de l'Univers. Mais ce vingtième nous intéresse quelque peu car nous en faisons partie... Une théorie très aboutie explique pratiquement tout de cette matière : ses constituants, pour l'instant élémentaires, et leurs interactions. C'est le célèbre modèle standard, une des plus belles constructions intellectuelles de l'Homo sapiens. Elle s'élève à partir d'une fondation de douze briques de base, représentées dans le tableau ci-contre. Il manque à ces briques de base la clé de voûte du modèle, le non moins célèbre boson de Higgs<sup>1</sup>, à la fois Graal et Arlésienne des physiciens. Lesquels physiciens espèrent bientôt le débusquer dans quelques recoins des gigantesques détecteurs du plus puissant accélérateur de particules jamais construit, le grand collisionneur de hadron – LHC pour les intimes (ils sont légion) – au Cern.

| LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES DE LA MATIÈRE |                                         |                                 |                                 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                                           | Première famille                        | Deuxième famille                | Troisième famille               |
| Quarks                                    | u<br>haut/up                            | c<br>charm/charm                | t<br>top/top                    |
|                                           | d<br>bas/down                           | s<br>étrange/strange            | b<br>beau/beauty                |
| Fermions chargés                          | e<br>électron                           | μ<br>muon                       | τ<br>taon                       |
|                                           | ν <sub>e</sub><br>neutrino électronique | ν <sub>μ</sub><br>neutrino muon | ν <sub>τ</sub><br>neutrino taon |

© A. Dagan

Sur fond vert : les six quarks constituant les baryons, soumis aux forces nucléaires forte et faible ainsi qu'à la force électromagnétique. Sur fond bleu, les six leptons régis seulement par les deux dernières. Ces douze particules sont en outre sensibles à la gravitation, négligeable dans ce monde « subsubatomique ». La matière connue est construite à partir de ces douze briques « élémentaires », mais seules celles de la première famille sont permanentes. Les autres sont extrêmement éphémères.

Mais, tout comme la gravitation universelle de Newton fut perfectionnée par la relativité générale d'Einstein, le modèle standard, bien que validé par une impressionnante quantité d'observations (il manque celle du boson de Higgs), n'est probablement qu'une approximation d'une théorie plus générale. En effet, malgré ses succès spectaculaires :

- Le modèle standard n'explique pas pourquoi les briques élémentaires sont groupées en trois familles. Ni pourquoi seule, la première comporte des particules stables (constituants exclusifs de la matière ordinaire), bien plus légères que leurs cousines respectives des deux autres familles.
- Il dépend de trop de paramètres, comme, par exemple, les masses des particules<sup>2</sup>.
- Il est inopérant face à la gravitation quantique.

Une extension du modèle standard est très prometteuse : la supersymétrie, théorie qui associe à chaque particule de matière une particule d'interaction (messenger d'une force) et réciproquement. Séduisante incurSION dans l'inconnu : quelle est la masse de ces hypothétiques cousines lointaines de nos particules familières ? Probablement très élevée puisqu'on n'en a encore matérialisé aucune, faute d'énergie suffisante disponible dans les accélérateurs actuels. Mais les particules supersymétriques sont de sérieuses candidates au statut de composants de la matière noire, cette mystérieuse matière invisible, cinq fois plus massive que « notre » matière et dont la présence est révélée, entre autres, par les mouvements des étoiles dans les galaxies. Notre intérêt s'étend bien au delà du « vingtième » évoqué plus haut.

Le Dapnia a de belles cartes à jouer dans cette passionnante traque. De gauche à droite, son premier « a », l'astrophysique. Le satellite Integral a peut-être levé un beau lièvre en mesurant la production d'antimatière dans le bulbe central de notre galaxie (pages 2 à 4). Une partie de cette production est inexplicable en l'état de nos connaissances. Et si cela venait de la matière noire ? Suspense ! Ensuite, le « p » du Dapnia, la physique des particules. Les espoirs sont sérieux de débusquer au LHC le boson de Higgs, mais aussi des particules supersymétriques. Le « ia », comme « instrumentation associée » est de la fête : les équipes « techniques » du Dapnia sont, entre autres, fortement impliquées dans le détecteur Atlas dudit LHC (page 5) et dans d'autres « yeux » traqueurs de matière noire : Antarès, Cast, Edelweiss<sup>3</sup>. Et le « n », comme physique nucléaire dans tout ça ? Patience, lecteur enthousiaste et fébrile : un prochain numéro de votre journal favori du Dapnia montrera comment on peut tester le modèle standard à des énergies bien plus basses que celles de la physique des particules, comme par exemple celles de la physique du noyau et de ses constituants. Ces tests très précis et complémentaires des mesures à très haute énergie augmentent les chances de mettre en défaut le modèle standard et de découvrir de nouvelles particules. Particules supersymétriques ou autres...

Joël Martin (SPhN). Merci à David Lhuillier (SPhN)

(1) Voir ScintillationS n° 49, 60, 64 et 65.

(2) Le M. S. marche bien car on ajuste des paramètres pour que « ça colle » avec les masses observées.

(3) Antarès : voir ScintillationS n° 33, 34, 41, 47, 53. Cast : n° 55. Edelweiss : n° 33 et 55.

# Integral dresse une carte de l'antimatière lactée

Lancé en octobre 2002, le satellite *Integral*<sup>1</sup> de l'Agence spatiale européenne (ESA) – le *Dapnia* y contribue – poursuit son exceptionnelle moisson en matière de rayonnement gamma cosmique<sup>2</sup>. Pointé sur toute la Voie lactée pendant quinze millions de secondes au cours de l'année 2003, l'un de ses instruments, SPI<sup>3</sup> a pu établir la première « cartographie » d'une lumière particulière jaillie du bulbe central et du disque de notre Galaxie. Cette « super-lumière », dont les grains ont une énergie égale très précisément à 0,511 millions d'électronvolts, signale la présence d'antimatière.

\* \* \*

1928 : Dirac prédit l'existence de l'antimatière.

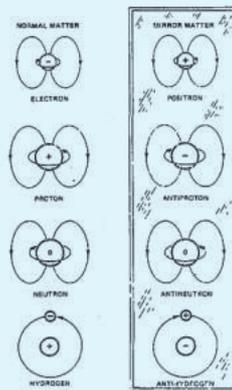
1932 : Anderson découvre une particule de même masse que l'électron mais dont la charge électrique est exactement opposée à celle de l'électron. Un antiélectron, en quelque sorte. Comme sa charge est positive, on le baptise positon. Ce jumeau miroir de l'électron est le premier grain d'antimatière entrevu. L'antiproton, de même masse que le proton et de charge négative, est découvert en 1955 par Segrè et Chamberlain. On sait depuis fabriquer des atomes d'antihydrogène (un positon lié à un antiproton).

Mais demeure une énigme majeure : chaque fois qu'une particule est créée, les lois de la physique imposent la création de son antiparticule. Alors qu'est devenue l'antimatière, en principe créée en même temps que la matière, lors du Big Bang<sup>4</sup> ? L'antimatière a disparu, annihilée par autant de matière. Mais nous existons, preuve qu'il a subsisté un peu de matière après ce fratricide anéantissement cosmique.

Notre monde est un « léger » excès de matière dont la présence reste une énigme.



Dirac



Matière et antimatière



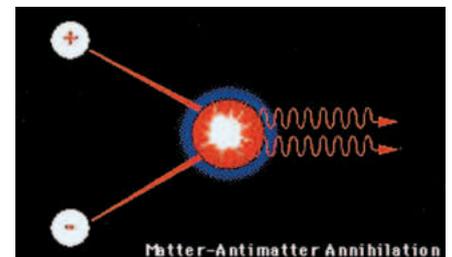
Antidirac

## La saga des positons

L'antimatière est-elle donc définitivement éliminée ? Eh bien non. Elle réapparaît en permanence et pas qu'un peu : au cœur de notre Voie lactée, il se crée chaque seconde plus de dix milliards de tonnes de positons ( $\sim 10^{43}$   $e^+/s$ ) ! Mais d'où viennent tous ces positons ? Et comment *Integral*, en orbite autour de la Terre, perçoit-il leur présence alors qu'ils disparaissent, annihilés à quelque 25 000 années-lumière de son spectromètre SPI ?

C'est que la mort d'un positon laisse une trace indélébile qui se propage à la

vitesse de la lumière. Il disparaît s'il fait la funeste rencontre de son jumeau électron. La particule et l'antiparticule s'anéantissent alors en un éclair d'énergie. Que se passe-t-il ? Einstein nous l'explique : la masse des deux particules est intégralement transformée en énergie dont la valeur est égale à la somme des masses de l'électron et du positon multipliée par le carré de la vitesse de la lumière. Vous avez reconnu la célèbre équation :  $E = mc^2$ . Le processus ici décrit se nomme *annihilation* «  $e^+e^-$  ».



Où passe l'énergie libérée ? Elle est emportée par deux photons gamma<sup>5</sup> (schéma ci-dessus). Ce sont ces grains de

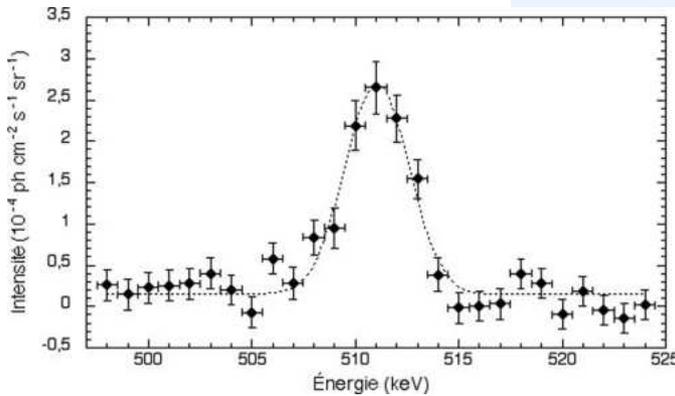
(1) Acronyme de *INTERNational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory* (Voir *ScintillationS* n° 13, 52, 56, 63)

(2) Voir *ScintillationS* n° 41.

(3) SPI : Spectromètre pour *Integral* (Voir *ScintillationS* n° 52)

(4) Pour une prise de contact, on peut lire ou relire *ScintillationS* n° 48

« super lumière » presque un million de fois plus énergiques que les photons de lumière visible, que détecte SPI. La courbe ci-dessous représente en gros le nombre de photons détectés en fonction de leur énergie. Le « pic » du milieu de la figure, qui émerge nettement du « plateau » des autres points, indique que le plus grand nombre des photons détectés possède une énergie égale à ou très proche de 511 milliers d'électronvolts (511 keV). De ce fait, on appelle ce pic la *raie d'annihilation* à 511 keV.



**Intensité du flux de photons en fonction de leur énergie (spectre) obtenu par SPI dans la région centrale de la Galaxie. On voit clairement la raie d'annihilation à 511 keV. À cause du flou instrumental d'environ 2 keV, la raie mesurée est plus large que la raie réelle, large d'environ 3 keV. [Collaboration SPI]**

Or cette valeur est précisément celle de l'énergie de masse d'un électron (ou d'un positon), autrement dit, le «  $mc^2$  » de chacun<sup>6</sup>. D'après la loi de la conservation de l'énergie, cela signifie que les photons détectés proviennent pour l'essentiel de l'annihilation électron-positon.

Cela veut dire que chaque photon produit par une annihilation «  $e^+e^-$  » emporte l'équivalent de l'énergie de masse d'un (anti)électron. Mais comme l'énergie totale d'une particule est la somme de son énergie de masse et de son énergie de mouvement (énergie cinétique), cela impli-

que que, lorsqu'ils s'annihilent, électron et positon ont une énergie cinétique quasi nulle. Or les positons, dont on va scruter plus loin les origines, sont émis à des vitesses non nulles et leur énergie cinétique de départ n'est pas du tout négligeable. Comment ralentissent-ils et dans quelles conditions rencontrent-ils des électrons ? Disons en gros que dans le vide (relatif) spatial, les positons parcourent en moyenne quelques milliers d'années-lumière avant de rencontrer un électron.

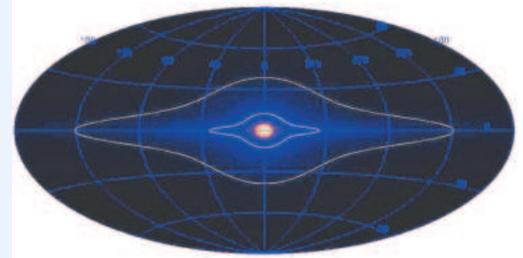
Au cours de ce voyage, ils perdent de l'énergie cinétique par diverses interactions avec le milieu traversé. Le vide n'est pas le néant... Et lorsqu'un positon ainsi ralenti croise un électron, les deux frères ennemis s'arri-

ment l'un autour de l'autre comme deux femtoscopiques vaisseaux spatiaux. Pendant quelques fractions ou dizaines de milliardièmes de seconde, ils forment un éphémère « atome », puis s'annihilent en émettant deux photons de 511 keV. Cet atome, sorte de mini-hydrogène où le proton est remplacé par un positon est appelé positronium. Il semble que la plupart (environ 93 %) des photons de 511 keV sont issus de *positroniums* galactiques autodétruits. La contribution de photons issus d'annihilations directes et qui auraient donc une énergie différente de 511 keV est négligeable. D'où la finesse de la raie d'annihilation. *Références [1] et [2]*



## Des photons à la carte

L'étape suivante fut de considérer que la répartition spatiale des photons est le reflet de celle des sources des positons. En cartographiant les photons de la raie d'annihilation à 511 keV, SPI vient indirectement<sup>7</sup> de nous livrer la carte de l'antimatière galactique (*Réf. [3]*). Voici la carte de ces photons (*Réf. [4]*):



Elle indique que la majorité des positons (couleur chaude) s'annihilent dans une région exactement axée sur le centre géométrique de la Galaxie. C'est une sorte d'ellipsoïde d'axes 3 800 et 3 400 années-lumière. Le reste des photons vient du disque galactique dont l'image complète est fournie par Integral. Les contributions respectives, corrigées des variations de luminosité dues aux différentes distances d'émission, sont environ 20 % pour le disque contre 80 % pour le centre.

## Qui sont les cracheurs de positons ?<sup>8</sup>

*Cracheurs explosifs* – Un processus très probable est la radioactivité  $\beta^+$  émise par des noyaux radioactifs créés lors d'explosions d'étoiles appelées *supernovae* de

(5) Seuls des photons sont créés par une annihilation «  $e^+e^-$  » lorsque l'énergie de la particule et de l'antiparticule est de 0,511 MeV. Mais lorsque  $e^+$  et  $e^-$  ont des énergies plus élevées, leur annihilation peut créer bien d'autres particules, par exemple des « bosons intermédiaires » de l'interaction faible ( $Z^0$  ou paire  $W^+W^-$ ). Cela se produisait en abondance au collisionneur LEP (comme « Large Electron Positron »), au Cern où l'énergie des particules atteignait la centaine de milliards d'eV.

(6) La masse d'un (anti) électron est égale à  $9,11 \cdot 10^{-31}$  kg. Multipliant par  $c^2$  ( $9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) et une fois les joules convertis en électronvolts ( $1 \text{ J}$  vaut  $6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$ ), on obtient l'« énergie de masse » du positon (et de l'électron) : 511 keV.

(7) Indirectement, car SPI ne cartographie pas les sources de positons mais les sites d'annihilation de ces positons. Or, nous l'avons vu plus haut, un positon peut diffuser longtemps dans la galaxie avant de s'annihiler. On perd ainsi l'information précise de la région d'émission. Or les incertitudes sont nombreuses, sur la source de positon (nature, distribution, énergie d'injection), la diffusion de ces positons dans la Galaxie (dépendance par rapport à la densité et au champ magnétique du milieu dans lequel il diffuse) et enfin la cible sur laquelle il s'annihile (densité, température). L'interprétation de la carte en est compliquée d'autant. D'où les débats actuels sur l'origine de ces positons. (*Merci à Bertrand Cordier, du SAP*).

(8) On peut consulter les références [2] et [5].

type Ia<sup>9</sup>. Lors de la brève agonie de ces étoiles, il se forge des noyaux très instables car ils n'ont pas assez de neutrons par rapport au nombre de leurs protons. De tels noyaux, comme l'aluminium-26, le titane-44 ou le nickel-56, se transmutent en émettant des positons. D'autres auteurs invoquent l'intervention d'hyper-explosions très rares, mais très productrices de positons : des *hypernovae* [6]. Mais leur contribution quantitative est très discutée. De toutes façons, le taux connu de ces morts explosives d'étoiles ne suffit pas pour expliquer le flux total des photons, ni sa répartition spatiale. L'imagination prend alors le pouvoir, souvent génératrice de découvertes ou du moins d'avancées. Cela sera-t-il le cas cette fois ? Bien des incertitudes demeurent, mais certaines hypothèses sont enthousiasmantes. Voici l'une d'elle.

**Cracheurs sombres** – La zone centrée sur le bulbe de la galaxie offre une émission « diffuse ». Il y aurait une zone continue de production de positons, et non une collection de sources ponctuelles. Et si ce « halo » central était fait de matière sombre [7] ? Les positons viendraient alors de l'annihilation de particules et d'antiparticules « légères » de cette mystérieuse matière noire dont les physiciens ont supposé l'existence afin de comprendre pourquoi la répartition des vitesses de rotation d'étoiles autour du centre de leur galaxie – comme la nôtre – n'obéissait pas aux lois de la gravitation lorsqu'on ne tient compte

que de la matière « ordinaire » et visible, celle dont nous sommes faits, la matière *baryonique*. L'existence de cette matière noire ne fait plus guère de doute, on chiffre même sa masse dans l'Univers à près de cinq fois celle de la matière baryonique mais on ne l'a pas encore détectée. En outre, on ne sait pas exactement de quoi elle est faite. Bref, cette hypothèse de la matière noire source de positons est fortement discutée, mais on ne peut pas la rejeter tant qu'un éventuel instrument plus performant (on parle du projet MAX dont la capacité à séparer les sources serait une vingtaine de fois plus fine que celle de SPI) n'aura pas prouvé que ce halo diffus pourrait être fait de sources ponctuelles très proches les unes des autres<sup>10</sup>. Il faudrait aussi être capable de distinguer un photon de 511 keV issu d'une désintégration

β<sup>+</sup> classique d'un autre photon de 511 keV, issu, lui, d'une éventuelle annihilation de matière sombre.

Cela dit, d'autres arguments qu'on ne peut développer ici appuient l'hypothèse de la matière sombre.

Tout reste ouvert, aucune hypothèse n'est à rejeter et certains espèrent bien que SPI vient d'établir la première « image indirecte » de la matière sombre galactique.

Affaire (passionnante) à suivre...

Joël Martin (ScintillationS et SPhN)

### SPI en chiffres



**Masse : 1 230 kg**

**Hauteur : 2,8 m**

**Diamètre : 1,1 m**

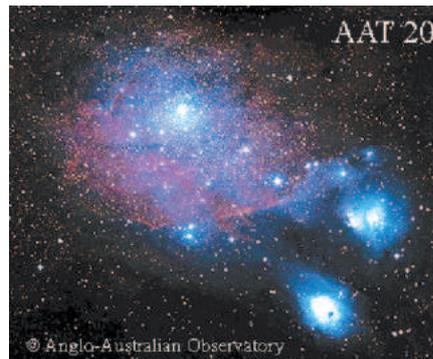
**Champ de vue total : 34°**

**Pouvoir de résolution angulaire : 2,5°**

**Gamme d'énergie : de 20 keV à 8 MeV**

**Précision sur l'énergie :**

**2 % à l'énergie de 1 MeV**



Galaxie naine du Sagittaire, satellite de la Voie lactée qui l'absorbe peu à peu. Cette galaxie sans supernova ni hypernova renfermerait un fort taux de matière noire. Mesurer son émission de photons de 511 keV serait un bon moyen d'y voir plus clair dans la contribution des différentes sources de positons.

**Contacts SAp : Michel Cassé, Bertrand Cordier, Jacques Paul, Stéphane Schanne.**

### Pour en savoir plus

- [1] [http://www.universetoday.com/am/publish/search\\_positronium.html?862005](http://www.universetoday.com/am/publish/search_positronium.html?862005) (Positronium)
- [2] <http://gamweb.lpta.in2p3.fr/dm/slides040902/Casse.ppt> (L'énigme des positons, diaporama de Michel Cassé)
- [3] [http://www.dapnia.cea.fr/Phoce/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast\\_fm.php?id\\_ast=713](http://www.dapnia.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_fm.php?id_ast=713) (Fait marquant Dapnia, juillet 2005)
- [4] <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/0506026> (Article à paraître dans *Astronomy and Astrophysics*)
- [5] <http://www.dapnia.cea.fr/Sap/Actualites/INTEGRAL031017/511keV/511keV.shtml> (Différentes sources de positons)
- [6] <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/0404492> (Source: *hypernovae*?)
- [7] <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/0404490> (Source: matière noire?)

(9) Dans une étoile double dont l'une des composantes est une naine blanche – étoile compacte dont la masse ne peut dépasser 1,4 fois celle du Soleil (limite dite de Chandrasekhar) – les conditions sont parfois réunies pour que la naine blanche capture les couches externes de son étoile compagnon. En tombant à la surface de la naine blanche, la matière s'échauffe et se comprime au point de déclencher des réactions thermonucléaires explosives. Quand ces dernières n'affectent que la périphérie de la naine blanche (c'est le cas des novae), une quantité de matière de l'ordre d'un cent-millième de masse solaire est éjectée à des vitesses comprises entre quelques centaines et quelques milliers de kilomètres par seconde. Mais pour peu que la masse de la naine blanche soit voisine de la limite de Chandrasekhar, le même mécanisme d'accrétion peut conduire à une conflagration thermonucléaire générale débouchant sur l'explosion de l'étoile dont toute la matière est éjectée à plus de 20 000 km/s (cas des supernovae de type Ia). Au cours de cet événement, il se forme environ une demi masse solaire (soit 10<sup>27</sup> tonnes) de nickel-56, source de positons par radioactivité bêta+. Une supernova Ia est une énorme fontaine d'antimatière. (Michel Cassé et Jacques Paul, du SAp, *ScintillationS* n° 41, page 5).

(10) Cela s'est déjà produit : dans le numéro 63 de *ScintillationS*, l'article titré « Integral dissipe le brouillard gamma », raconte comment ce qu'on croyait être un rayonnement diffus était en réalité un ensemble de sources ponctuelles qu'a pu « séparer » Intégral grâce à sa finesse d'observation sans précédent. Mais toute généralisation serait bien sûr aventureuse...

# La dentelle d'Atlas sort de son cocon

*Jeudi 29 septembre 2005 à 18 heures au Cern : l'armature de l'aimant toroïdal géant de l'expérience Atlas<sup>1</sup> vient d'être extraite sans encombre de son berceau de maintien. C'est une étape majeure de l'installation de cette expérience, vouée entre autres à la recherche du boson de Higgs<sup>2</sup>, en cours d'installation auprès du collisionneur LHC au Cern.*

Imaginé et conçu au Dapnia, l'aimant d'Atlas est le plus grand du monde. Pouvant atteindre en moyenne 0,5 teslas (plus de 10000 fois le champ magnétique terrestre) dans un énorme volume de 8000 mètres cubes, son champ magnétique permettra de courber les trajectoires de muons d'énergie pouvant aller jusqu'à mille milliards d'électronvolts (1 TeV).

Les huit bobines, refroidies à la température de l'hélium liquide ( $-269\text{ °C}$ ), totalisent 56 kilomètres de câbles supraconducteurs. Chacune d'elles a été testée sous un courant de 22500 ampères. En service, l'aimant stockera une énergie de l'ordre de celle qu'il faudrait pour soulever de 15 mètres les 7000 tonnes de la tour Eiffel.

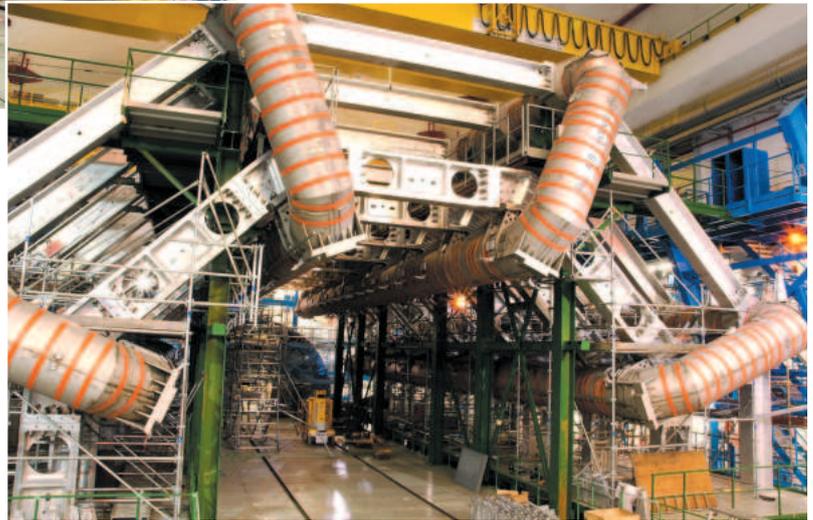
L'armature a été désolidarisée de son carcan, soutenue mécaniquement par des vérins que l'on a relâchés progressivement afin que, une fois libérée, la structure ne se déforme pas trop brutalement sous son propre poids. Cette déformation avait été prédite par les calculs avec une telle précision que le relâchement des vérins, qui devait durer cinq jours, n'en a duré que deux. Cerise sur le gâteau, cette énorme structure, suivie pratiquement en temps réel par l'un des systèmes d'alignement des détecteurs de muons, également *made in Dapnia* (voir *ScintillationS* n° 64 et 65), a pris la forme attendue au millimètre près.



Installation de la dernière des huit bobines (Accrochez les wagons !)

Il y a plus de dix ans, à Saclay, les physiciens du Dapnia proposèrent l'idée d'un aimant supraconducteur dans lequel viendraient s'insérer les 5000 m<sup>2</sup> des détecteurs de muons de leur expérience, tout en utilisant un minimum de matière. Les équipes techniques du Dapnia ont alors imaginé un ensemble de bobines géantes dans lesquelles s'imbriqueront 650 détecteurs de muons alignés à quelques dizaines de microns près (*Scintillations* n° 65). Puis, ils ont conçu une véritable dentelle mécanique capable de supporter les contraintes de ce gigantesque aimant. Des industriels de l'Europe entière ont contribué à la réalisation de cet ensemble intégré au Cern.

L'armature en inox et aluminium (métaux amagnétiques) d'Atlas est en forme de cylindre (certains parlent de tonneau) à base octogonale. Elle est capable de maintenir solidaires huit bobines rectangulaires supraconductrices de 25 m de long et 5 m de large (la moitié des cotes d'une piscine olympique), dont la dernière a été mise en place le 25 août dernier (*photos*). Disposées en étoile, ces huit bobines occupent le volume d'un immeuble de six étages. Cette structure devra supporter les 1400 tonnes du détecteur de muons et résister à des forces magnétiques énormes sans se déformer de plus de 30 millimètres.



Mission accomplie !

Dans un prochain *ScintillationS*, un article détaillera les prouesses techniques qui ont permis le succès de cette très délicate opération et donnera des nouvelles fraîches du géant dont, d'ici là, les bobines auront été mises en froid. C'est toujours délicat de glacer l'aimant...

*Contacts : Jean Ernwein (SPP), Claude Guyot (SPP),  
Patrick Ponsot (SIS), Philippe Schune (SPP)  
et Pierre Védrine (SACM)*

(1) ATLAS : A Toroidal LHC Apparatus. LHC : Large Hadron Collider (Voir *ScintillationS* n° 9, 17, 64, 65).

(2) Voir *ScintillationS* n° 49, 60, 64 et 65.

## Pierre Couvert, un physicien complet



Ceux d'entre nous qui ont fréquenté de près ou de loin le synchrotron Saturne, à Saclay ont connu et apprécié Pierre Couvert. Sa disparition soudaine en juin 2005 attriste

notre communauté du Dapnia, mais aussi celle de nos voisins et amis climatologues.

Aimant avant tout la physique, Pierre n'a eu aucun mal à passer de l'étude du noyau des atomes à celle de « fines » particules en suspension dans l'atmosphère. Ses talents combinés d'expérimentateur et de meneur de projet ont fait merveille dans les deux disciplines. Avec toujours la même gentillesse et une disponibilité de tous les instants.

Son parcours scientifique s'est déroulé en deux étapes.

En 1973, le voici à Saclay jeune thésard de troisième cycle. En 1978, il est recruté au CEA avant la fin de sa thèse d'état. Il commence alors des recherches auprès du synchrotron Saturne. Après deux ans de « post-doc » au Canada, il revient à

Saturne, entre temps rénové et désormais dévolu à la physique nucléaire après avoir été depuis 1956 un de accélérateurs pionniers en physique des particules. Pendant dix ans, il sonde l'intérieur du noyau à l'aide des différents faisceaux de Saturne. Il contribue à faire de ce gigamicroscope un des outils les plus performants aux énergies de quelques milliards d'électronvolts (jusque vers 3 GeV) en développant largement certains des détecteurs associés.

Pierre aura été l'un des derniers physiciens du Dapnia à travailler à Saturne, arrêté en 1997. Entre temps la climatologie et les sciences de l'environnement prennent de plus en plus d'importance. Le CEA diversifie ses activités. Aussi, peu après la création en 1991, à la DSM, de l'un des précurseurs du LSCE, le LMCE<sup>1</sup>, Pierre se tournera avec le même enthousiasme vers cette discipline nouvelle pour lui et rejoindra l'équipe des climatologues « maison » où l'avait précédé un autre « ancien » de Saturne, Jean Poitou. Il s'associe alors, avec Jean, au projet Polder<sup>2</sup>, détecteur satellisé voué à la mesure de composantes de l'environnement jouant un rôle important dans la machine climatique de la Terre. Il y travaillera 10 ans et sera, entre autres, responsable du développement des chaînes de traitement permet-

tant l'identification et l'analyse des propriétés des nuages à partir des images délivrées par le satellite. En 2003, il revient à sa passion d'expérimentateur pour étudier sur le terrain les aérosols « anthropogéniques » (d'origine humaine). Pierre continue dans cette voie en se consacrant à l'utilisation de « lidars<sup>3</sup> » pour mesurer ces aérosols. Activité directement liée à l'étude et à la prévention des pollutions de toutes sortes.

Activité qui convenait bien au tempérament de Pierre, précis et lumineux, épris de transparence et de chaleur dans les relations humaines. Et aussi homme de communication, de partage des connaissances et de la passion de chercher. Il est devenu climatologue AUSSI pour pouvoir expliquer son métier à ses deux enfants.

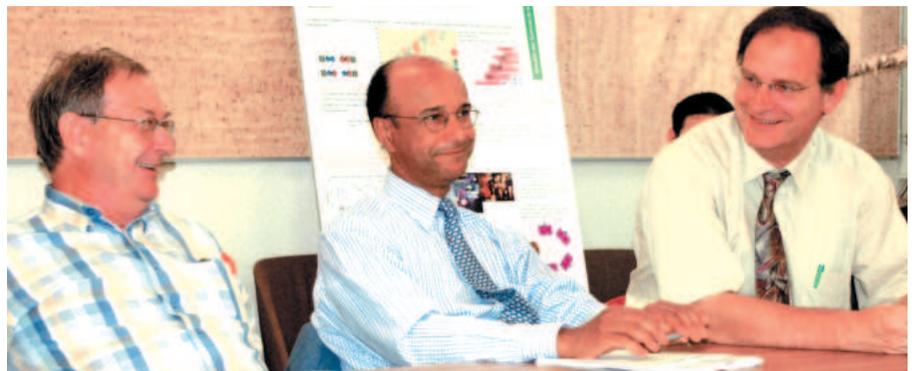
Comme l'écrit son grand ami et collègue Jean Poitou : « Sa disparition laisse un grand vide dans sa famille, mais aussi auprès de tous ses collègues et collaborateurs ».

Salut, Pierre, on ne t'a pas oublié au Dapnia. D'ailleurs c'était si agréable d'échanger nos passions devant la machine à café du bâtiment 703... Pierre, tu nous manques.

Merci à Jean Poitou (LSCE)

## Yves Caristan visite le Sénac et le SPhN

Jeudi 14 septembre 2005. Dès potron-minet, le hall d'entrée du bâtiment 703 à l'Orme des Merisiers, dit « hall de la chambre à brouillard » ressemble à la salle des pas perdus. De petits groupes de physiciens devisent. Enfin s'ouvre la porte. Yves Caristan franchit le seuil. Accueilli par Jean Zinn-Justin, chef du Dapnia, Patrice Micolon son adjoint, Nicolas Alamanos, chef du SPhN et François Damoy, chef du Sénac (voir *ScintillationS* n° 67), notre nouveau directeur de la DSM et du



Jean Zinn-Justin, Yves Caristan, Nicolas Alamanos.

- (1) LMCE: Laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement. LSCE: Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, unité mixte CEA/CNRS (dans l'ordre alphabétique des sigles) issu de la fusion, en 1998, du LMCE avec le CFR (Centre des Faibles Radioactivités).
- (2) POLDER: Polarisation and Directory of the Earth's Reflectors, « radiomètre imageur » développé par le CNES (Centre national d'études spatiales) et voué à la mesure du rayonnement solaire réfléchi par la Terre et son atmosphère. Deux instruments, POLDER1 et POLDER2 ont volé respectivement sur ADEOS 1 et ADEOS 2 (ADVANCED Earth Observation Satellite), développés par l'agence spatiale Japonaise, la NASDA. Belle collaboration franco-japonaise, prélude à Iter ?
- (3) LIDAR: Light Detection And Ranging. Le lidar est un peu à la lumière (de préférence laser) ce que le radar est aux micro-ondes électromagnétiques. Utilisant un rayonnement de longueur d'onde 10000 à 100000 fois plus petite, le lidar permet de séparer des détails 10000 à 100000 plus fins que ceux accessibles au radar. Le lidar envoie un faisceau laser dans l'atmosphère. Les photons « rétrodiffusés » (renvoyés) par les particules en suspension (aérosols) sont détectés par le télescope du lidar. La différence entre le temps d'émission et le temps de détection donne la distance de la particule, en fait, son altitude. Par analyse plus complète du signal, le lidar fournit aussi certaines caractéristiques des particules (composition chimique, concentration etc.).

Centre de Saclay (voir le même n° 67), va passer cette belle matinée avec les spécialistes maison du noyau atomique.

On a mis les petits plats dans les grands : diaporamas et commentaires de posters vont se succéder toute la matinée. Nicolas Alamanos ouvre le bal en exposant les grandes lignes de l'activité du SPhN. Puis les spécialistes entrent dans le détail. Les jeunes pousses du service ne sont pas en reste. Chaque poster est l'occasion de raconter avec fougue les tenants et aboutissants d'une manip précise. Attentif et détendu, Yves Caristan écoute, commente, interroge. Cette physique dont il découvre les arcanes l'intéresse visiblement. Le spin du nucléon, le plasma quarks-gluons, les noyaux exotiques, la



Photo de gauche : Nicolas Alamanos, Jean Zinn-Justin et Yves Caristan se penchent sur le « nombre magique 16 » que présente Alexandre Obertelli. À droite, Fabienne Kunne, pas compassée pour deux sous, décortique le spin du nucléon.



François Damoy survolté survole son sujet.



Yves Caristan s'informe.

transmutation des déchets à vie longue en déchets plus éphémères, l'assainissement « nucléaire » et la conception de nouvelles installations, la protonthérapie, on en oublie sûrement, éveillent sa vive curiosité.

Au final, une visite bien enlevée, vivante, riche d'échanges, d'éclats de rire parfois, et semble-t-il fructueuse. On a le

sentiment que Yves Caristan a envie de défendre cette physique. Il a écouté les préoccupations des physiciens. Il y a en partie répondu. Cette visite aura des retombées puisque notre directeur a souligné l'importance de la physique nucléaire dans le cadre de l'effort qui va être fait sur Spiral 2, pour mieux connaître l'intimité du noyau, ainsi que celle des données nucléaires dans le cadre plus lié aux applications. Il a également manifesté un vif intérêt pour la physique hadronique. La conclusion de notre visiteur fut en substance : « Je vous félicite et vous remercie de la clarté de vos présentations. Cela va me faciliter le travail lorsque ce sera mon

tour de plancher, de façon forcément encore plus synthétique. »

Comme c'est agréable à entendre...

Le petit doigt droit du rédacteur de ces lignes (qui a aussi joué les paparazzi) lui a soufflé que monsieur le directeur aurait trouvé sa visite « assez bien ». Mais le petit doigt gauche du même rédacteur lui a glissé que Yves Caristan usait d'« assez » comme en usait un Cyrano :

*Je me les sers moi-même avec assez de verve / Mais je ne permets pas qu'un autre me les serve !*

Dit comme cela, « assez » c'est déjà très bien ! Ainsi de Cyrano se déjouait la verve...

Joël Martin (SPhN)



La physique nucléaire ce n'est pas triste !

## Va-et-vient

**Juillet 2005** – Modeste Donati (SAP) et Jean-Michel Le Ster passent annexe 1. Un chaleureux bravo ! Marcel Jacquemet (Dapnia/Dir) est muté à Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) dont il devient directeur adjoint. Un bravo tout aussi chaleureux ! Marie-Cécile Aubert est mutée du Sénac à la Cellule qualité, sécurité, environnement (CQSE) de la DSM. Bonne chance dans ce nouvel environnement de qualité... Jean-Pierre Mouly (SPhN) nous quitte en « départ négocié » ; quatre départs en retraite : Georges Cozzika (SPP), Jacky Cretolle (SAP), Jacques Derre (SPP), et Joseph Gauthier (Sédi). Tous nos vœux d'épanouissement et de bonne route à ce sympathique quintette !

**Août 2005** – Nous déplorons le décès d'Olivier Gachelin (Sédi). Notre sympathie attristée va vers sa famille, ses amis et ses collègues. Philippe Gras est recruté au Sédi. Bienvenue au Dapnia ! Hervé Lafoux nous revient après un congé sabbatique. Bonne reprise parmi nous !

**Septembre 2005** – Michelle Aguer (Sédi) et Jean-Claude Languillat (DIR) prennent leur retraite. Gérard Congretel nous quitte après un « départ négocié ». Sophie Salasca quitte le Sédi pour Cadarache. Bon iter, euh, pardon, bon itinéraire. Olivier Besida est muté du Sénac au SPP. Marie Legendre est recrutée au SPP, Thomas Chaminade, au Sédi et Vincent Minier au SAP. Bonne chance aux partants bienvenue aux arrivants.

## Les lauriers du Dapnia

Bertrand Baudouy, du SACM, a reçu le Cryogenics Prize 2003 du *meilleur papier publié dans la revue internationale Cryogenics pendant l'année 2003*. Le Cryogenics Prize est attribué tous les ans et son lauréat est élu par les rédacteurs de la revue, les professeurs Steven W. Van Sciver (éditeur), Peter Komarek et Tom Harayuma. Le professeur Van Sciver a

L'article primé porte sur des mesures cruciales en matière d'aimants supraconducteurs qui, trempés dans l'hélium liquide, si possible du superfluide (en dessous de  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), acceptent un courant électrique très intense car à ces températures-là, leur résistance électrique devient quasi nulle. Ces aimants peuvent ainsi délivrer des champs magnétiques très élevés. C'est très utile pour les gros accélérateurs et pour l'imagerie médicale haute résolution. Mais il existe un danger majeur: si le dispositif se réchauffe accidentellement, l'aimant quitte son douillet état supraconducteur, et se remet brusquement à faire de la résistance. Vu les colossales énergies emmagasinées, cela peut être apocalyptique. Il est donc plus qu'impératif de maîtriser la température du monstre. Pour cela, il faut, entre autres, savoir mesurer l'écart de température entre la baignoire superfroide de l'aimant et les câbles conducteurs constituant les bobines de l'aimant, qui engendrent le champ magnétique. Ces câbles sont souvent gainés de Kapton, un isolant électrique, d'utilisation courante en cryomagnétisme. De ce matériau, il est indispensable de connaître le plus précisément possible deux grandeurs thermiques – très importantes en cryogénie: la conductibilité et la *résistance de Kapitza*, qui caractérise le transfert thermique à l'interface Kapton-hélium. Bertrand Baudouy a mené au Dapnia des mesures extrêmement précises de ces deux grandeurs. De quoi augmenter la sécurité autour de ces cathédrales magnétiques (voir page 5) et faire baisser les primes d'assurance? Ce prix est archi mérité!

remis lui-même son prix à Bertrand Baudouy, le 1<sup>er</sup> septembre 2005, lors de la Cryogenics Engineering Conference 2005 à Keystone, dans le Colorado.

Devant un si beau résultat, on crie au génie. Toutes nos félicitations!



Bertrand Baudouy et Steven Van Sciver une fois le prix remis.

## Plumes du Dapnia

Il urge d'augmenter la fréquence de parution de *ScintillationS* si l'on veut suivre la cadence de production livresque de Roland Lehoucq (SAP), le Lucky Luke Skywalker du Dapnia. Il vient en effet de publier aux éditions du Pommier:

« Faire de la science avec Star Wars »



L'idée est jolie: peut-on expliquer la Force, le sabre laser ou l'Étoile noire avec la physique du XXI<sup>e</sup> siècle? La réponse est évidemment non. Mais les incroyables engins des Jedi et autres Siths – dont l'empereur Palpatine<sup>1</sup> – sont prétexte, comme le souligne l'auteur, à « s'amuser en faisant de la physique. » Et nous voilà embarqués *via* l'énergie noire, les fluctuations quantiques du vide et autres trous noirs écologiques dans un maelström cosmique où le rêve côtoie le côté non obscur de la force des arguments de Roland. Ce petit livre jubilatoire est un vrai cours de physique qui n'est pas seulement amusante.

Joël Martin (SPhN et ScintillationS)

(1) NDLR. Eh oui!

(2) Centre national d'études spatiales.

## Quarante ans d'astrophysique au CEA

Le 2 décembre prochain est le deux centième anniversaire d'Austerlitz et de son fameux soleil. On ne pouvait trouver meilleur jour pour souffler les quarante bougies de notre Service d'Astrophysique, nom actuel de la communauté scientifique d'astrophysique du CEA/Dapnia.

Ce sera chose faite lors du Forum du SAP, intitulé cette année:

« Quarante ans d'histoire d'astrophysique spatiale au CEA en partenariat avec le Cnes<sup>2</sup> ».

Il se tiendra salle Joliot-Curie, au bâtiment 526 du Centre de Saclay.

Ce forum sera mis en orbite par un bien nommé « survol des 40 années d'astrophysique spatiale », avec, aux commandes, le chef du SAP, Pierre-Olivier Lagage. Le colloque aura du mal à revenir sur terre avec la table ronde finale animée par Dominique Leglu, directrice de la rédaction de *Sciences et Avenir*, et ancienne responsable de « Eurêka », le regretté cahier scientifique du mardi dans Libération. Sujet: « Futur de l'astrophysique et rôle du CEA ». Il y aura eu auparavant, à l'heure de la digestion, une première table ronde avec la même animatrice: « Années soixante: émergence du spatial au CEA ».

Entre temps se seront exprimés des noms connus de l'astrophysique, parmi lesquels Lydie Koch-Miramond, Laurent Vigroux, Michel Cassé, Hubert Reeves et, cerise sur un gâteau déjà fort appétissant, Catherine Césarsky, ancienne directrice de la DSM et ancienne cheffe du SAP.

Bon anniversaire aux « spatio-physiciens » maison!

Contacts P. O. Lagage

( [pierre-olivier.lagage@cea.fr](mailto:pierre-olivier.lagage@cea.fr) )

et Christine Toutin ( [ctoutain@cea.fr](mailto:ctoutain@cea.fr) )

### 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 GOUFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAJN, Xavier-François NAVICK, Yves SACQUIN, 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: [joel.martin@cea.fr](mailto:joel.martin@cea.fr)

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

Dépôt légal novembre 2005