

DECOUVRE L'UNIVERS

"Dans le combat entre toi et le Monde, seconde le Monde."

C'était écrit sur le mur du salon mais je ne comprenais pas ce que voulait dire Kafka. Peut-être commençai-je à entrapercevoir l'un des sens de cette phrase en m'imaginant à la place de Tracy dans l'ISS, regardant cette si fine pellicule d'atmosphère autour de la Terre. Dix ans que l'homme s'est infiniment libéré de la gravitation, illusoire combat contre le Monde, et habite en permanence dans l'espace.

Au moment où nous photographions les détails de la surface du sol de Mars, des satellites observent le pétrole se répandre dans le golfe du Mexique, la fonte des glaces au Groenland et la disparition de la forêt amazonienne. M'apparaît alors une des missions essentielles de la Science et de l'Irfu. Les scientifiques, bien que rebelles à accepter ce que la Nature impose et souhaitant maîtriser ses forces, en ce sens « combattants du Monde », doivent découvrir l'Univers pour être les premiers à seconder le Monde.

Je me réjouis alors que l'un de nos projets ait été retenu dans le cadre des « Recherches fondamentales pour l'énergie », que nos travaux sur les supra chauds puissent déboucher sur des applications de stockage de l'énergie, qu'en partageant le savoir d'une puce ou la simulation d'accélérateurs on économise et que nos connaissances entraînent des progrès en imagerie médicale.

Jean Luc Sida

SECONDE LE MONDE

- ◀ Le péri' des particules p. 2
- ◀ Musett, En avant la musique ! p. 4
- ◀ R-Evolution-M-R p. 5
- ◀ En quête d'axions p. 6
- ◀ Dernières nouvelles des supernovas p. 7
- ◀ Reflets du passé p. 10
- ◀ Le Lion et l'anneau p. 11
- ◀ L'Irfu chausse ses bottes de sept LIA p. 12
- ◀ La vie d'une puce p. 13
- ◀ Supra show p. 14
- ◀ TraceWin p. 15
- ◀ La fabuleuse histoire des quatre centenaires p. 16

Le périf' des

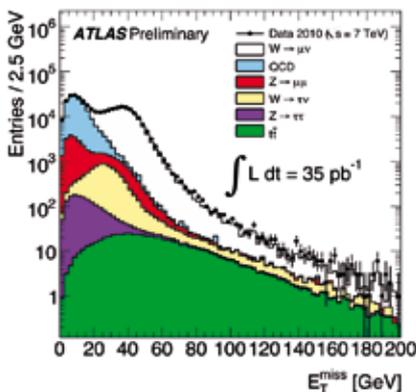
Chacun le sien, intérieur, extérieur, les protons
Ces périf' là sont particuliers en quatre points
collisions en protons, c'est le tour des poids lourds,
d'hiver du LHC. Des physiciens de l'Irfu racontent

Quel bilan dressez-vous de cette première phase de prise de données en collisions de protons à 7 TeV ?

Un bilan extrêmement positif car la machine a très bien marché. C'est la première fois dans l'histoire des accélérateurs qu'on progresse si vite. Six mois après le démarrage, on en est presque à un dixième de la luminosité finale attendue. Au début, on prenait des données pour la physique le week-end car, en semaine, les ingénieurs réglait l'accélérateur. Chaque week-end, on multipliait par 2 ou 3 ce que l'on avait accumulé les week-ends précédents ! Atlas est au point pour la reconstruction des événements. Deux jours après la prise de données, nous pouvions déjà les analyser ; et en une semaine, nous avons pu sortir des résultats.

Quelle a été votre première grande émotion ?

La détection des premiers événements à plus d'un muon (J/Ψ , Z), grâce au spectromètre conçu en grande partie par l'Irfu. Je citerais aussi la détection des premiers quarks top. Détecter un quark top exige que les réponses du détecteur soient bien maîtrisées : on doit mesurer



Distribution de l'énergie transverse manquante pour les événements à un muon, comparée aux résultats de la simulation. Cette quantité est liée à la présence de particules ayant échappé à la détection, comme les neutrinos. Elle est très sensible aux imperfections du détecteur ou à celles des codes de reconstruction. L'expérience et les prédictions sont en très bon accord, ce qui est signe d'une bonne maîtrise du détecteur. On notera la bosse due aux bosons W se désintégrant en un muon et un neutrino (en blanc).

les leptons, les jets, et l'énergie transverse manquante. Cette observable est la plus difficile à étalonner et elle semble déjà être maîtrisée.

Comment comptez-vous chasser le fameux boson de Higgs ?

2011 sera l'année du Higgs. D'après les prévisions, nous allons explorer 90% du domaine possible pour sa masse. S'il n'est pas dans ce domaine, on pourra le dire avec 95% de certitude. C'est une bonne surprise, parce que tout le monde pensait qu'il fallait fonctionner à 14 TeV et attendre 2013 pour y arriver. A Saclay, on se concentre sur le canal à quatre leptons qui signe la désintégration d'un Higgs « lourd » en deux bosons Z. On a bien vu un événement à deux muons avec une grande énergie manquante mais pas encore à quatre leptons chargés.

Quel est l'enjeu de prolonger la prise de données à 7 TeV une année supplémentaire ?

Si on prend des données à 7 TeV en 2012, on peut multiplier par trois à quatre le nombre d'événements accumulés. Si le Higgs existe dans le domaine exploré, on devrait voir un signal ! ... et là, ça ferait la une du *New York Times*...

Claude Guyot,
collaboration Atlas



Vous avez démarré votre thèse en septembre 2008, juste pour le démarrage du LHC, avez-vous été déçue lorsqu'il est tombé en panne 15 jours après ?

Finalment non, car pendant une année, j'ai pu apprendre à connaître les différents programmes informatiques de l'analyse en utilisant des données issues des rayons cosmiques. J'étais mieux préparée pour digérer les données en collisions de protons.

Quelle est votre meilleur souvenir depuis le début de votre thèse ?

Forcément les premières collisions en décembre 2009 dans Atlas ! Et puis aussi lorsque j'ai découvert qu'une des figures de mes analyses avait été sélectionnée comme résultat officiel de la collaboration. Ce n'est pas grand chose mais ça fait plaisir de voir que son travail a été choisi pour être montré.

Quels conseils donneriez-vous aux futurs thésards du LHC ?

Faites des shifts ! On y apprend beaucoup, on échange avec les

autres. La plupart du temps, il n'y a aucun souci, et heureusement. Mais lorsqu'il faut agir sur les détecteurs, on a le cœur qui se met à battre en espérant que tout se passera bien et qu'en intervenant on ne fera pas de bêtises qui nuiraient à la prise de données.

Quelle est votre plus grande frustration ou colère depuis le début de votre thèse ?

Bien que je m'y attende, le travail dans une aussi grosse collaboration qu'Atlas n'est pas toujours simple. Converger sur un résultat prend beaucoup de temps et produit nombre de discussions pas toujours constructives, voire quelques tensions.

Vous finissez votre thèse en 2011, qu'envisagez-vous après ?

Je compte continuer à travailler sur Atlas pour « rentabiliser » tout ce que j'ai appris sur ce détecteur et son analyse, en faire de nouvelles, voire participer à une découverte.



Ève Le Menedeu, doctorante sur Atlas



particules

Propos recueillis par Sophie Kerhoas et Didier Vilanova

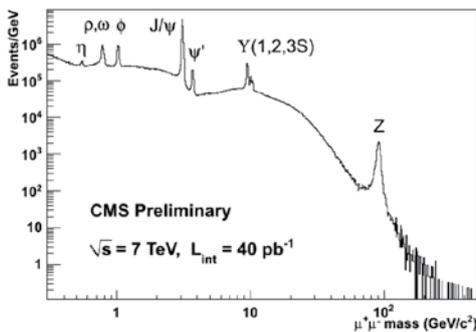
tourment, dans le LHC, sur leur périmètre de 27 km de circonférence approchant la vitesse de la lumière. de l'anneau; ils se croisent pour provoquer des accidents de particules. Après huit mois de ces les ions plomb, de se rencontrer. Eux n'auront qu'un mois pour faire leurs collisions avant la pause cette première période de prises de données ainsi que leurs toutes premières impressions...

Quel bilan dressez-vous de cette première phase de prise de données en collisions de protons à 7 TeV ?

Excellent ! La machine s'est comportée parfaitement, ainsi que tous les détecteurs. La collaboration CMS après la « redécouverte » de la physique du modèle standard, a mis les premières contraintes aux théories « au-delà du modèle standard » et a magnifiquement exploité la période de collisions entre noyaux de plomb.

Quelle a été votre première grande surprise ?

Dès le démarrage de l'expérience, j'ai été surpris par le très haut niveau de compréhension et la fiabilité du détecteur : on a atteint tout de suite les performances nominales en profitant de plus de 90% des collisions, alors que dans les expériences passées cela prenait des mois ou des années !



Spectre de la masse invariante des paires de muons mesurées dans le détecteur CMS. Les résonances J/psi, upsilon (1, 2 et 3S) et Z sont très clairement visibles. Elles apparaissent comme des raies plus ou moins larges dans le spectre de masse.

Comment comptez-vous chasser le fameux boson de Higgs ?

A travers l'analyse de sa désintégration en deux photons, qui est le mode préféré pour un boson de Higgs « léger ». Dans CMS, ce mode a même dicté la conception et l'optimisation du calorimètre électromagnétique, pour lequel le groupe du SPP joue un rôle de pointe tant pour la reconstruction des données que pour l'étalonnage. Le groupe est aussi engagé dans la recherche du boson de Higgs à travers sa désintégration en deux bosons vecteurs Z, importante dans le cas d'un boson de Higgs « lourd ».

Le groupe du SPP est-il engagé dans la recherche de preuves de la supersymétrie ?

Oui, notamment le boson de Higgs prévu par ce modèle. Nous le recherchons à travers ses produits de désintégration constitués par le lepton tau et son antiparticule. La recherche de leptons tau ouvre aussi la route vers d'autres particules supersymétriques.

Que gagne-t-on à prolonger la prise de données à 7 TeV en 2012 pour une année supplémentaire ?

Une prise de donnée en 2012 permettrait d'étendre encore plus le programme de physique et ouvrirait un potentiel de découvertes qui irait au-delà de celui des expériences au Tevatron. On pourrait même observer une première preuve de l'existence du boson de Higgs, en espérant qu'il soit léger car c'est là où je le chasse ! La décision sera connue début 2011, donc d'ici là, suspense...



Federico Ferri, collaboration CMS

Depuis le 7 novembre, des ions de plomb (Pb) circulent dans le LHC. Quelles sont vos premières sensations ?

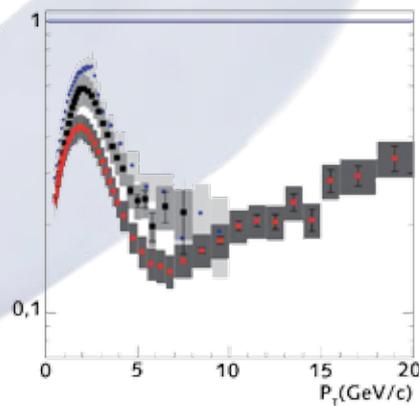
Une grande satisfaction ! On attendait ça depuis plus de 10 ans pour certains. L'Irfu s'est engagé dans l'étude des quarkonia (cf Scintillations N° 83, NDLR). On commence déjà à voir un pic de J/psi qui sort du bruit de fond. Pour chaque vrai J/psi il y en a environ cinq faux, alors qu'en collision de protons (p), c'est un pour un.

Les collisions en ions lourds s'arrêtent le 6 décembre. Aurez-vous eu assez de temps pour conclure sur la suppression du J/psi ?

Oui, on aura suffisamment de statistique pour comparer les résultats de production de J/psi en p-p et en Pb-Pb. Nous pourrions voir s'il y en a moins ou davantage et comparer aux résultats des expériences précédentes au Cern et à Rhic.

Quels résultats contiennent les deux premières publications de la collaboration Alice ?

La première concerne la multiplicité de particules produites pour les collisions centrales. On obtient 1580 traces chargées pour les collisions Pb-Pb soit deux fois plus que dans les collisions p-p. Cette différence montre qu'on ne peut pas considérer une collision Pb-Pb comme une superposition de collisions p-p.



La densité du milieu formé est étudiée en comparant la production de particules en Pb-Pb à celle en p-p dans les collisions centrales : expériences Phénix (noir), Star (bleu) et Alice (rouge). Si les collisions Pb-Pb étaient une simple superposition de collisions p-p, nous devrions obtenir un rapport constant, égal à 1. La nouvelle observation intéressante faite par Alice est la suppression à grande impulsion transverse (P_T).

L'autre publication concerne les phénomènes collectifs. On observe un taux de particules chargées 30% plus élevé qu'à Rhic aux États Unis (mesurées dans le flot elliptique). Ces observations peuvent être décrites par un liquide dans lequel les degrés de liberté sont les quarks et les gluons.

Javier Castillo, collaboration Alice



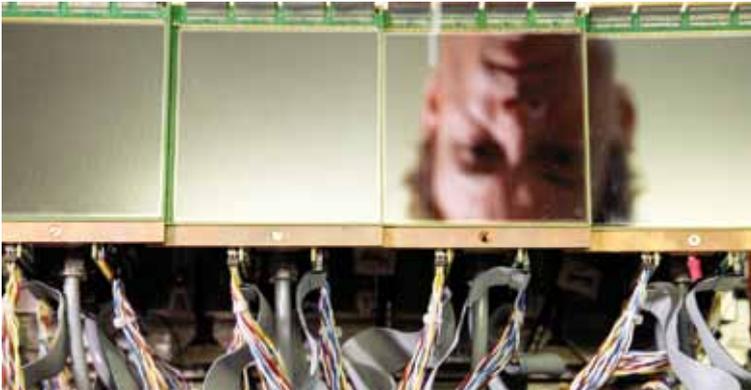
Musett En avant la musique !

Par Fabien Jeanneau et Christophe Theisen

Le mur de silicium pour l'étude des transférmiens par tagging (Musett) a détecté ses premiers noyaux lourds au Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil), à Caen. Musett va permettre d'étudier des éléments très lourds, situés au-delà du fermium qui possède 100 protons. Il fournit une très bonne identification des isotopes produits grâce à une méthode originale de «corrélation génétique».

Les physiciens nucléaires s'intéressent aux états extrêmes de la matière pour tester les théories décrivant le noyau. Les éléments très lourds, à la limite de l'existence et de la cohésion, sont particulièrement sensibles aux détails de l'agencement, régi par la mécanique quantique, des nucléons en interaction forte.

éléments magnétiques de Vamos, les noyaux d'actinium ($Z=89$) produits sont arrêtés dans Musett. Il subsiste cependant trop de contaminants (noyaux issus de réactions parasites) pour les identifier directement. On réalise un second tri grâce aux corrélations génétiques : après quelques secondes, le noyau d'actinium se désintègre vers son fils par émission d'une particule alpha avec un temps de décroissance et une énergie spécifique au noyau. Les corrélations spatiales et temporelles entre la détection du père et la particule alpha permettent d'identifier sans ambiguïté les isotopes produits et de les extraire du bruit de fond. Ainsi Musett, installé au plan focal du spectromètre Vamos, permet de signer la synthèse d'un noyau spécifique alors que les contaminants se comptent par millions ou milliards. Après cette identification formelle, il est possible de mesurer les rayonnements gamma émis par le noyau lors de sa formation grâce à Exogam et d'accéder ainsi à sa structure.



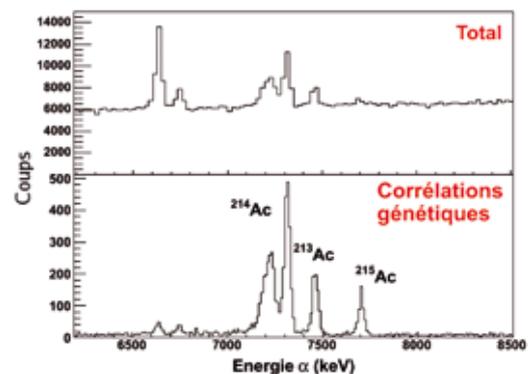
Fabien se reflétant dans Musett, constitué de quatre détecteurs silicium et de leur électronique frontale.

Le projet Musett, orchestré par l'Irfu et le Ganil, financé par l'Agence nationale pour la recherche (ANR), permettra l'identification d'isotopes rares et éphémères appelés noyaux exotiques, obtenus par réactions nucléaires à l'aide de faisceaux stables ou bien radioactifs, produits au Ganil. Il est composé d'un mur de quatre détecteurs silicium d'une surface de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, segmentés en 128 pistes sur chaque face pour une localisation des noyaux et de leur décroissance radioactive. La face avant ne présente pas de fenêtre afin de dégrader le moins possible l'énergie des particules incidentes. Pour des raisons d'intégration, la lecture électronique de ces détecteurs est assurée par un nouvel Asic appelé Athed, développé grâce au savoir-faire des ingénieurs en microélectronique de l'Irfu et piloté par un système d'acquisition conçu par la collaboration.

Asic : Application specific integrated circuit

Musett vient compléter les dispositifs mis à disposition des équipes internationales au Ganil comme le spectromètre Vamos, qui permet de trier et d'identifier les espèces produites, et le multidétecteur de rayonnements gamma Exogam.

Les noyaux observés en 2010 lors des premiers tests sont issus du bombardement d'une cible d'or par un faisceau de néon. Après un premier tri opéré par les



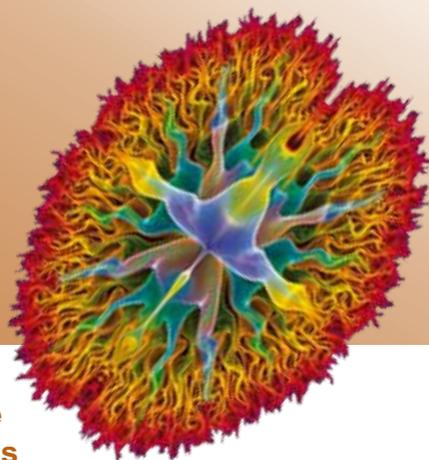
Le spectre total correspond à tous les événements détectés par Musett après le premier tri effectué par Vamos : la décroissance alpha est noyée dans un important bruit de fond. Les corrélations génétiques, spatiales et temporelles, entre le père et son fils permettent d'isoler très clairement les noyaux d'actinium que l'on voit apparaître sur la figure du bas.

Ces résultats ont démontré l'efficacité de Musett qui est prêt désormais pour l'étude de noyaux inconnus. L'ensemble Spiral2 et le futur spectromètre S^3 (voir Scintillations 83) nous ouvriront dans quelques années de fascinantes perspectives pour explorer les noyaux les plus lourds du tableau de Mendeleïev.

Fabien Jeanneau développe des détecteurs. Il travaille actuellement sur les détecteurs au silicium de Musett que Christophe Theisen, physicien nucléaire, prévoit d'utiliser dans ses futures expériences.

R-EvolutionN-M-R

Par Dimitrios Sakellariou



L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) a révolutionné la médecine moderne en permettant une visualisation, en trois dimensions, des organes et de leur fonction. L'Iramis, avec l'aide de l'Irfu, développe un projet ambitieux de RMN tournante qui permettrait d'améliorer la résolution des clichés pour des milieux hétérogènes, R-EvolutionN-M-R.

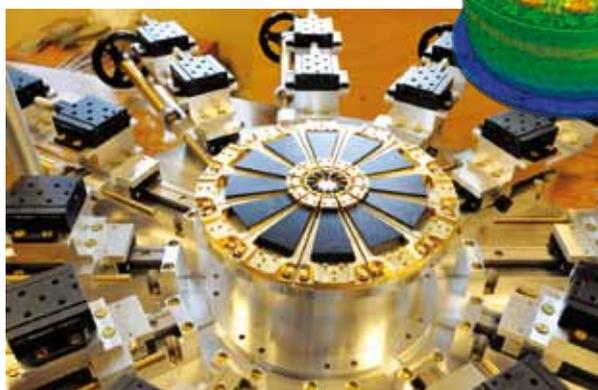
Au delà de l'imagerie médicale IRM, le phénomène de résonance magnétique nucléaire (RMN) est utilisé par les chimistes et les biochimistes pour détecter la signature chimique des composantes de la matière : c'est la spectroscopie par résonance magnétique. La combinaison de ces deux techniques, IRM et spectroscopie, permet simultanément de spécifier et de localiser dans l'espace les constituants chimiques. Ces informations sont cependant difficiles à obtenir lorsque l'objet d'étude est hétérogène, comme les tissus biologiques et les matériaux poreux.

Les résultats d'une spectroscopie RMN se présentent sous la forme de raies caractéristiques de chaque élément. Dans le cas d'un milieu hétérogène, les propriétés de la matière varient selon l'axe d'analyse et les raies spectrales sont élargies, ce qui réduit la lisibilité des spectres. Cette anisotropie peut être moyennée afin de récupérer des spectres aussi bien résolus que ceux de milieux isotropes. La solution consiste à faire tourner rapidement l'échantillon autour d'un axe incliné par rapport au champ magnétique selon un angle « magique » d'environ 57°. Cette technique a été inventée il y a plusieurs dizaines d'années. Elle est actuellement utilisée par tous les laboratoires d'analyse de solides.

Dans notre cas, l'échantillon est un organisme vivant (petit animal ou culture cellulaire) qu'une rotation rapide pourrait tuer. Même si des expériences réussies ont été effectuées par des laboratoires américains sur des souris en rotation ultra-lente (un à quatre tours par seconde), cette approche pose un problème éthique et pratique et n'est pas transposable vers des organismes plus grands. La solution que nous proposons dans le cadre du projet R-EvolutionN-M-R (*Rotating evolution magnetic resonance*), financé par l'ERC, est de faire tourner le champ magnétique à l'angle magique et non plus l'échantillon. Notre objectif est d'aller jusqu'à la réalisation d'un

démonstrateur de ce principe innovant d'imagerie et spectroscopie par résonance magnétique. Concevoir, fabriquer et optimiser un tel système demande un niveau d'expertise élevé aussi bien en magnétostatique et en automatisme qu'en mécanique, en électromagnétisme, et bien sûr en résonance magnétique.

La collaboration entre l'Iramis et l'Irfu a démarré il y a trois ans. Elle a déjà porté ses fruits avec la réalisation des premiers aimants pour une IRM transportable. Cette réussite nous a incités à relever le défi de construire un assemblage magnétique à rotation très rapide, avec une précision et une reproductibilité extrêmes. Son cahier des charges est très contraignant car une excellente uniformité de champ est requise, ce qui suppose une mécanique de précision et un contrôle fin de la rotation. Nous collaborons avec l'Irfu, qui apporte son expertise technique dans ces domaines.



Prototype réalisé par l'Iramis et l'Irfu d'un assemblage d'aimants permanents dans le but de développer une IRM transportable. Simulation des déformations en rotation.

Dimitrios Sakellariou, spécialiste de la physique du spin dans la matière, travaille à l'Institut rayonnement-matière (Iramis) à Saclay.

L'Irfu R-EvolutionN-M-R

Le défi confié à l'Irfu est d'assurer la rotation d'objets magnétiques avec une grande stabilité. Deux types de motorisation sont envisagés pour entraîner jusqu'à 50 tours par seconde ces objets de 1 à 150 kg placés sur coussin d'air : un système électrique ou pneumatique. Le moteur électrique répond facilement à ces besoins, mais son rayonnement électromagnétique peut interférer avec les aimants. L'entraînement pneumatique n'a pas ce défaut, mais les premiers tests restent loin des objectifs. Pour corriger les imperfections mécaniques (donc magnétiques) liées entre autres à la fabrication, les aimants permanents sont intégrés dans une structure où leur position est réglable individuellement. Cette structure conçue par l'Irfu doit permettre de se rapprocher au plus près du modèle magnétique théorique tout en étant robuste pour résister aux efforts magnétiques.

Sandrine Cazaux et Denis Loiseau, représentants du projet pour l'Irfu

En quête d'axions

Par Esther Ferrer-Ribas

Quelle est la nature de la matière noire ? Les axions, particules prévues théoriquement pour surmonter une des difficultés de la théorie décrivant l'interaction forte, pourraient constituer un élément de réponse s'ils ont été formés en grand nombre lors du big bang. Avant de remonter aux premiers instants de l'Univers, nous souhaitons confirmer l'existence de cette hypothétique particule grâce à l'expérience Cast.

Comme l'a montré Gérard t'Hooft, prix Nobel en 1999, la chromodynamique quantique (QCD) devrait violer la symétrie charge-parité (CP). Cette violation n'a pourtant jamais été observée. En 1977, Roberto Peccei et Helen Quinn postulent une nouvelle symétrie de QCD qui expliquerait la

non-violation de CP pour l'interaction forte. Cette symétrie implique cependant l'existence d'une particule que personne n'a jamais observée, l'axion, particule neutre, stable et de faible masse (entre quelques $\mu\text{eV}/c^2$ et quelques eV/c^2). S'ils existent, les axions devraient être produits au centre du Soleil, dans sa partie la plus chaude. Pour les détecter, on pointe le *Cern Axion Solar Telescope* (Cast) en direction du Soleil grâce à sa plateforme orientable.

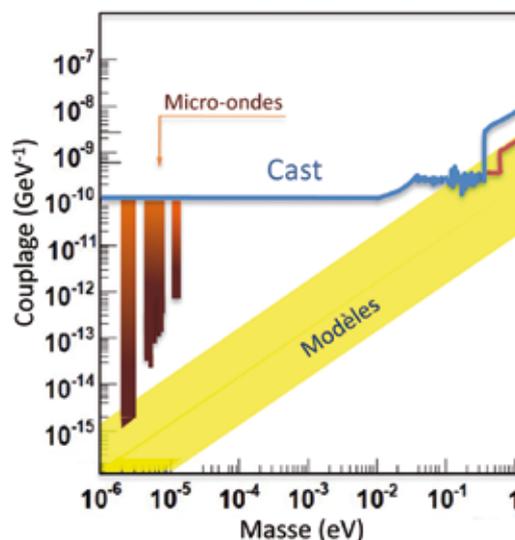
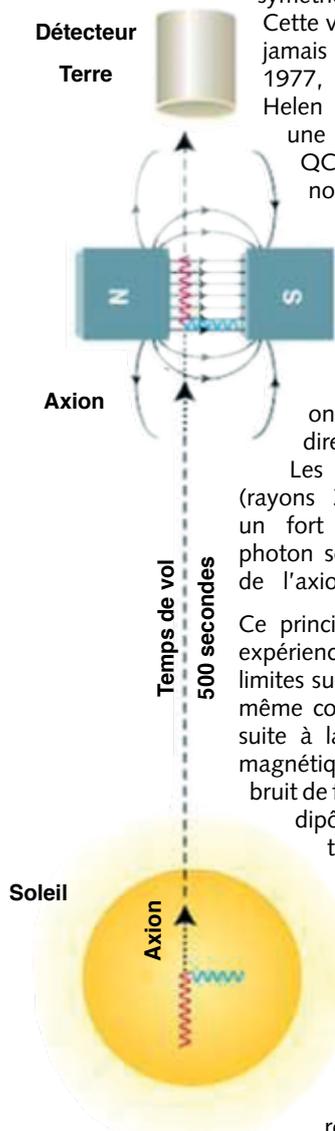
Les axions peuvent se changer en photons (rayons X) et vice versa lorsqu'ils sont soumis à un fort champ magnétique (effet Primakoff). Le photon sera alors émis exactement dans la trajectoire de l'axion qui lui transmettra toute son énergie.

Ce principe de détection avait été utilisé dans deux expériences, dans les années 90, donnant les premières limites sur la masse de ces particules. Cast repose sur le même concept : mesurer efficacement le photon émis suite à la transformation de l'axion dans un champ magnétique intense avec un détecteur ayant un très bas bruit de fond. Cast utilise pour cela un des prototypes de dipôles du LHC. Produisant un champ magnétique très élevé de 9 T, cet aimant est constitué de deux éléments cylindriques de 9.2 m de long, au bout desquels trois détecteurs Micromegas et une caméra CCD ont été installés pour détecter les rayons X issus des axions. Pendant la première phase de l'expérience (2003-2004), l'aimant fonctionnait sous vide et Cast a repoussé les limites des expériences précédentes pour des masses comprises entre 10^{-5} et $0.02 \text{ eV}/c^2$. Ce résultat corrobore pour la première fois de façon expérimentale la limite obtenue grâce à des arguments astrophysiques liés à des contraintes stellaires.



Zone expérimentale de Cast où on voit le dipôle LHC (en bleu) sur la plateforme qui lui permet le mouvement.

Dans la deuxième phase de l'expérience, depuis 2006, l'aimant a été modifié pour fonctionner sous gaz à basse pression. La sensibilité de l'expérience a été ainsi étendue vers de plus hautes masses. La prise de données devrait se poursuivre jusqu'à mi-2011 pour atteindre des masses proches de $1 \text{ eV}/c^2$.



La constante de couplage axion-photon en fonction de la masse des axions possibles, compte-tenu des contraintes cosmologiques. La bande jaune correspond à la région favorisée par les modèles théoriques. L'expérience Cast interdit déjà les valeurs au-dessus de la ligne bleue, précisant ainsi les exclusions déterminées par d'autres projets. La deuxième phase du projet permettra d'explorer la région au-dessus du trait rouge à haute masse. En dessous de 10^{-5} eV , les expériences de cavités micro-ondes, représentées en orange, sont les plus sensibles.

Au vu des performances déjà atteintes par Cast dans la réduction du bruit de fond, en particulier grâce aux détecteurs Micromégas, la construction d'un aimant pour ce type de physique permettrait à la nouvelle génération d'hélioscope de gagner encore un ordre de grandeur sur la sensibilité.

Esther Ferrer-Ribas, physicienne spécialiste de l'électronique et de la détection, traque les axions avec Cast.

Dernières nouvelles des supernovas

Par Vanina Ruhlmann-Kleider

A la fin des années 90, les premières mesures des distances des supernovas thermonucléaires révélaient un phénomène inattendu : l'expansion de l'Univers était en accélération ! Ce résultat, certes spectaculaire, était néanmoins basé sur quelques dizaines d'événements mesurés avec peu de précision. Pour l'établir plus fermement, une seconde génération d'expériences a été lancée, dont le *SuperNova Legacy Survey (SNLS)* est le fleuron.

De 2003 à 2008, SNLS a détecté un millier de supernovas thermonucléaires (type 1a) auprès du télescope Canada-France-Hawaii (CFHT), dont la moitié a pu bénéficier de mesures spectrales sur des télescopes partenaires pour confirmer leur type et mesurer leur décalage spectral. Les supernovas, explosions d'étoiles en fin de vie, sont des phénomènes très lumineux qui durent quelques semaines. A partir des mesures de flux réalisées par l'imageur grand champ Megacam (construit à l'Irfu), SNLS a déterminé les distances de ces supernovas puis comparé distances et décalage spectraux pour tester les lois de l'Univers, notamment son expansion.



Une galaxie lointaine, avant et après explosion de la supernova SNLS-04D1dc.

variations intrinsèques de luminosité des supernovas la et sur un contrôle poussé des incertitudes de mesure, sans précédent dans ce domaine. SNLS arrive ainsi à mesurer à quelques pourcents près des distances de plusieurs milliards d'années-lumière.

L'accélération de l'expansion de l'Univers reste incomprise. Elle peut s'expliquer par une simple constante fondamentale supplémentaire (dite constante cosmologique), ajoutée aux équations de la relativité générale ou par un scénario plus complexe, par exemple par l'existence d'un champ scalaire modifiant la gravité aux grandes distances.

Les supernovas thermonucléaires (dite de type 1a) ont un caractère reproductible. Elles sont probablement dues à un même mécanisme correspondant à l'explosion d'une naine blanche approchant une masse critique suite à l'accrétion de matière arrachée à une étoile compagnon. L'intensité de leur lumière mesurée sur Terre donne donc une mesure de la distance à la source de l'explosion.

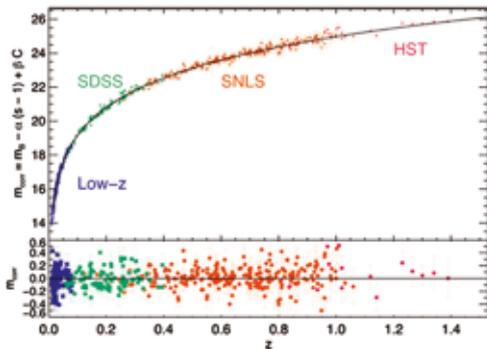


Diagramme dit de Hubble comparant la magnitude apparente des supernovas de type 1a (m_{corr} indicateur de distance) à leur décalage spectral (z). Les données de SNLS sont combinées avec des données d'autres expériences. La relation distance-décalage spectral déduite de ce diagramme indique sans ambiguïté une accélération de l'expansion de l'Univers.

Ainsi les résultats des trois premières années de données, récemment publiés, ont confirmé l'accélération de l'expansion de l'Univers à un niveau de confiance supérieur à 99.99% à l'aide des seules mesures de supernovas la. Au-delà de 2 milliards d'années-lumière (décalage de 0.2), celles-ci ont en effet une luminosité apparente plus faible qu'attendu dans un Univers dont l'expansion serait constante ou décélérée, comme ce serait le cas si l'Univers n'était composé que de matière. Ce résultat s'appuie sur la statistique importante recueillie par SNLS, sur un travail approfondi de modélisation des

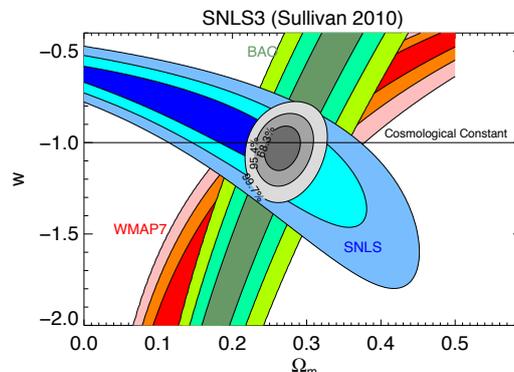


Diagramme combinant différentes mesures cosmologiques (SNLS : supernovas la, WMAP : fond diffus cosmologique, BAO : oscillations acoustiques baryoniques) pour un Univers composé de matière (de densité d'énergie Ω_m) et d'énergie noire (décrite par un rapport densité sur pression constant, w).

Ces scénarios peuvent être testés en combinant les résultats de SNLS et les autres mesures cosmologiques de précision. La dernière combinaison en date montre que l'ensemble des mesures actuelles (zone grisée de la figure ci-dessus) est compatible à la fois avec l'hypothèse d'une constante cosmologique $w=-1$ et avec d'autres scénarios. Il appartiendra aux expériences de cosmologie en cours ou en préparation d'aller plus loin !

Vanina Ruhlmann-Kleider, *a longtemps travaillé dans le domaine de la physique des particules avant de s'orienter vers la cosmologie.*



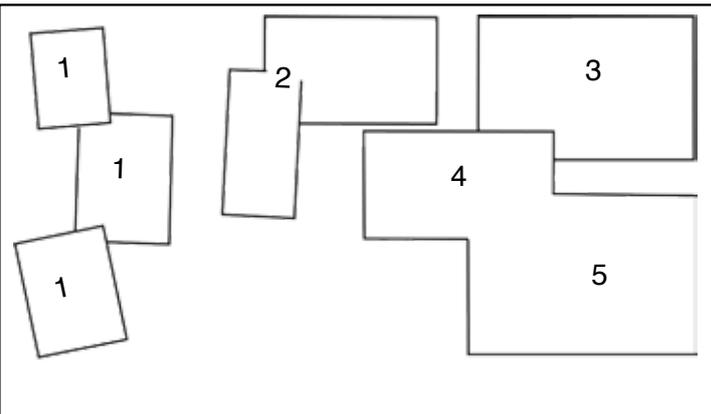
**SupraTech
La salle blanche ISO4**

La nouvelle salle blanche de la plateforme SupraTech de Saclay a été achevée en 2009. Un hall de l'ancien laboratoire Saturne a été rénové pour accueillir les installations et équipements nécessaires aux besoins des futurs accélérateurs pour la recherche ainsi que des projets de collaboration avec des industriels intéressés par la maîtrise de systèmes à cavités supraconductrices. Au centre, la machine à laver permettant de nettoyer et d'introduire des objets de gros volume dans la salle blanche.

1- Dario, François, Georges

Alors que les premiers neutrinos sont détectés dans T2K et Double Chooz, alors que le LHC poursuit la fantastique histoire des découvertes au Cern, nous perdons des compagnons, des amis, des esprits forts qui permirent que la science avance.

Au revoir Dario, François et Georges, nous continuons les recherches que vous aimiez partager avec nous avec ces détecteurs qui vous doivent tant.





2- Grand froid sur Agata

Dans le cadre du projet international Agata, pour la physique nucléaire, il est nécessaire de refroidir 180 cristaux de germanium à la température de l'azote sans vibrations acoustiques. L'Irfu a proposé de refroidir ces cristaux avec de l'hélium gazeux dont les qualités devraient permettre un fonctionnement continu silencieux. Cette technologie demande de savoir désaccoupler à froid les cristaux du système de réfrigération. Nous avons, en conséquence, étudié un système d'accouplage thermique possédant un interrupteur qui permet d'isoler thermiquement les cristaux pendant cette opération.

3- Stacy dans l'ISS

L'International space station (ISS) a fêté en 2010 les dix ans de présence humaine ininterrompue dans l'espace. Regardant par un hublot, l'astronaute Tracy Caldwell Dyson observe notre planète. A 350 km de hauteur, on voit clairement la courbure de la Terre et la fine pellicule d'atmosphère qui l'entoure.

5- La boule de cristal

Les développements instrumentaux requis pour les expériences menées par les chercheurs de l'Irfu sont réalisés en étroite collaboration avec les services techniques. Ici le calorimètre de BaF_2 installé sur la ligne nToF au Cern pour étudier les réactions nucléaires.

4- Philippe aux journées portes ouvertes

La communication de l'Irfu repose en grande partie sur la bonne volonté, la passion, l'envie de partager et d'échanger. Ici, Philippe Briet devant la maquette de CMS lors de la fête de la Science 2010. Nous remercions à travers lui tous les volontaires et participants aux actions de communication indispensables à l'Irfu.

Reflets du passé

Par Andréa Goldwurm

Le trou noir central de notre galaxie est aujourd'hui étonnamment calme. En étudiant les nuages moléculaires situés à proximité, grâce à leurs émissions de rayons X et gamma, les chercheurs ont découvert qu'il a vécu un violent regain d'activité, il y a plusieurs centaines d'années, de façon similaire à d'autres trous noirs supermassifs tapis au cœur des galaxies de l'Univers.

Au centre de la Voie lactée existe un trou noir de quatre millions de masses solaires, Sagittarius A* (Sgr A*). Malgré de nombreuses campagnes d'observations, il semble étonnamment discret et seule la dernière génération de télescopes à rayons X (Chandra et XMM-Newton) a permis de détecter une faible activité

obtenues depuis six ans grâce à la caméra Isgr, embarquée sur le satellite Intégral, viennent de démontrer que l'émission du nuage Sgr B2 est bien provoquée par le

trou noir central de la Galaxie. Elle résulte de la réflexion d'une de ses éruptions géantes. La décroissance d'activité que nous avons observé depuis résulte du déclin de ce sursaut, amorcé il y a 100 ans. Ce résultat est conforté par la découverte par le satellite XMM-Newton d'un second nuage moléculaire, G0.11-0.11, qui montre une décroissance identique. Ces deux nuages témoignent de la fin du sursaut. On peut alors imaginer que d'autres nuages, placés différemment par rapport au trou noir et à l'observateur, permettraient d'observer sa naissance. Les observations avec XMM nous ont en effet permis de découvrir des variations complexes dans les nuages du centre et, en particulier, une propagation apparente supraluminique de l'émission, signe incontestable du début de l'éruption.

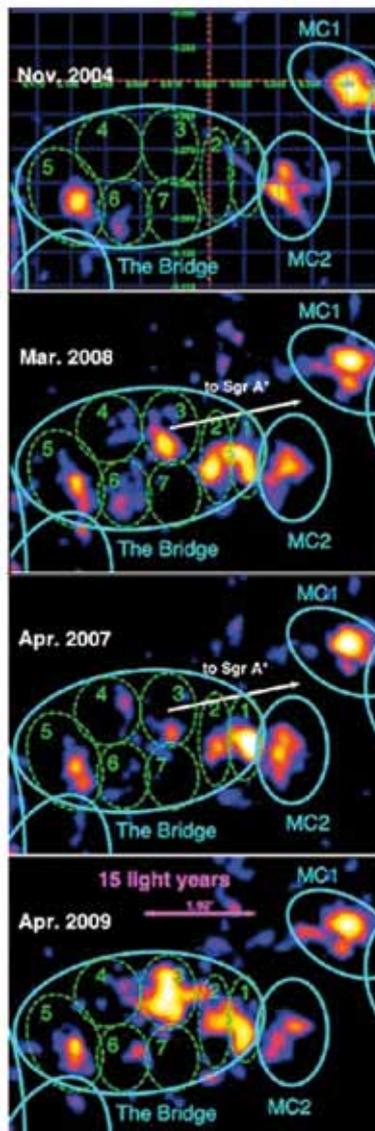
L'observation des nuages moléculaires retrace l'histoire récente du trou noir central de la Voie lactée. Il s'est violemment réveillé il y a 400 ans pour s'éteindre à nouveau il y a 100 ans avant de rentrer dans la phase de léthargie actuelle. L'intensité de l'éruption, un million de fois le niveau présent, le rapproche de la famille des trous noirs supermassifs tapis au cœur des galaxies actives. Les nuages moléculaires apportent ainsi la preuve que le trou noir central de notre galaxie est probablement moins atypique qu'il ne paraissait.



Le centre scientifique et de contrôle du satellite X-ray Multi-Mirror Mission (XMM-Newton) au Centre européen d'astronomie spatiale (Esac), en Espagne.

sous la forme de bouffées de rayons X sporadiques. La méthode employée par les chercheurs pour déceler des traces d'activité ancienne a consisté à étudier l'émission de nuages moléculaires, nombreux dans la région du centre galactique. Lorsqu'un nuage moléculaire est illuminé par un rayonnement de haute énergie, il réfléchit la lumière. Il agit comme un miroir qui, compte tenu du trajet plus important de cette lumière, parvient à l'observateur avec un certain retard par rapport au moment de l'émission. Ce phénomène analogue à un écho sonore, un reflet du passé, a déjà été mis en évidence dans le cas de nébuleuses. Il permet d'observer indirectement des événements passés.

L'éclat de Sagittarius B2 (Sgr B2), le nuage moléculaire le plus massif de la région centrale de la Galaxie, décelé dans les années 90, avait de cette manière été attribué à une éruption du trou noir central, il y a environ 300 ans¹. Néanmoins, d'autres explications comme l'existence d'une source excitatrice placée à l'intérieur du nuage ou celle de particules chargées en interaction avec le nuage pouvaient aussi expliquer le phénomène. Les observations



Cette séquence d'images obtenue par le satellite XMM-Newton entre 2004 et 2009 montre l'allumage progressif, avec une vitesse apparente supraluminique, d'un nuage moléculaire situé dans la région du centre galactique, illuminé par une éruption géante du trou noir central de la Galaxie.

Andrea Goldwurm, astrophysicien travaille sur les objets compacts galactiques comme le trou noir central de la Voie lactée.

(1) Lorsque l'on écrit « Il y a 300 ans », il faut comprendre que le nuage moléculaire a réfléchi la lumière 300 ans après l'éruption du trou noir central (distance séparant le nuage du trou noir). Compte tenu de la distance séparant la Terre du centre de la Galaxie, cette lumière a mis ensuite 27000 ans à nous parvenir.

Le Lion et l'anneau

Par Pierre-Alain Duc



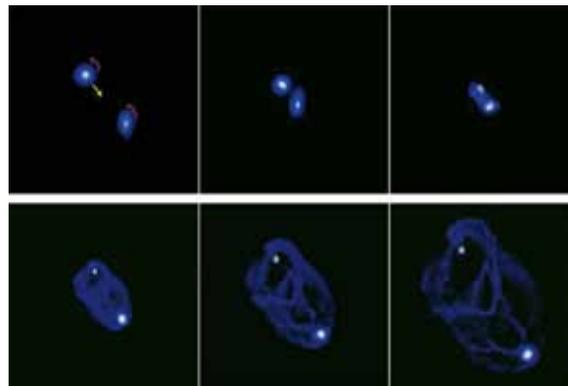
La découverte de nuages d'hydrogène entre des galaxies laissait soupçonner la présence de gaz primordial, surprenante dans l'Univers proche. Une équipe internationale vient de lever le voile sur l'origine d'un tel anneau de gaz géant situé dans la constellation du Lion. Avec le télescope Canada-France-Hawaii (CFHT), les astrophysiciens ont pu y observer des étoiles en formation et démontrer que ce gaz était d'origine galactique. Grâce à des simulations numériques, les chercheurs ont proposé un scénario de formation de cet anneau: il serait né d'une violente collision entre deux galaxies.

Dans les théories actuelles de la formation des galaxies, l'accrétion de gaz froid et primordial est un processus majeur pour les premières étapes de croissance. Ce gaz primordial présente deux caractéristiques : il n'a jamais séjourné dans les galaxies ni satisfait les conditions nécessaires pour former des étoiles. Ce processus est-il encore à l'œuvre dans les galaxies proches ?

L'anneau du Lion, un anneau géant de gaz froid entourant les galaxies de la constellation du Lion, est un des exemples les plus spectaculaires et mystérieux de nuages de gaz intergalactiques. Depuis sa découverte dans les années 80, son origine et sa nature sont controversées. Les nouvelles observations viennent de lever le voile sur sa genèse.

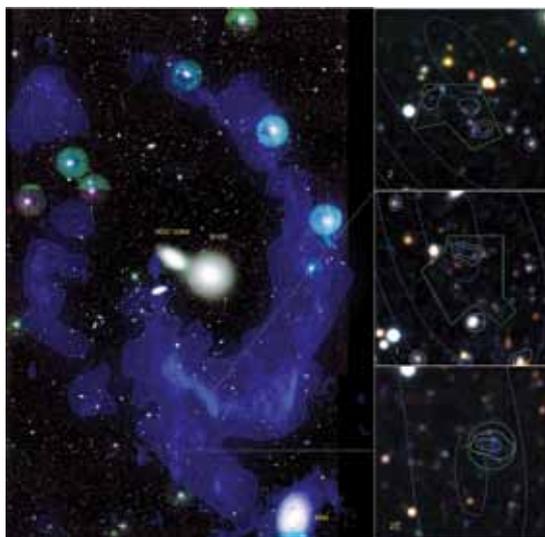
sorte d'anneaux dit collisionnels, formés par la collision de deux galaxies. Est-ce le cas de l'anneau du Lion ?

Pour étudier cette hypothèse, les chercheurs ont utilisé des simulations numériques et montré que cet anneau était le fruit d'une collision géante entre deux galaxies du groupe. Lors de la collision, le disque de gaz d'une des galaxies est soufflé et va former un anneau à l'extérieur de la galaxie.



Simulation numérique de la formation de l'anneau géant de gaz du Lion résultant de la collision des deux galaxies, NGC 3384 et M96. Le bleu représente le gaz, le jaune/blanc les étoiles. Après un milliard d'années, la structure et la taille de l'anneau sont correctement reproduites. Crédit: Observatoire de Lyon et laboratoire AIM.

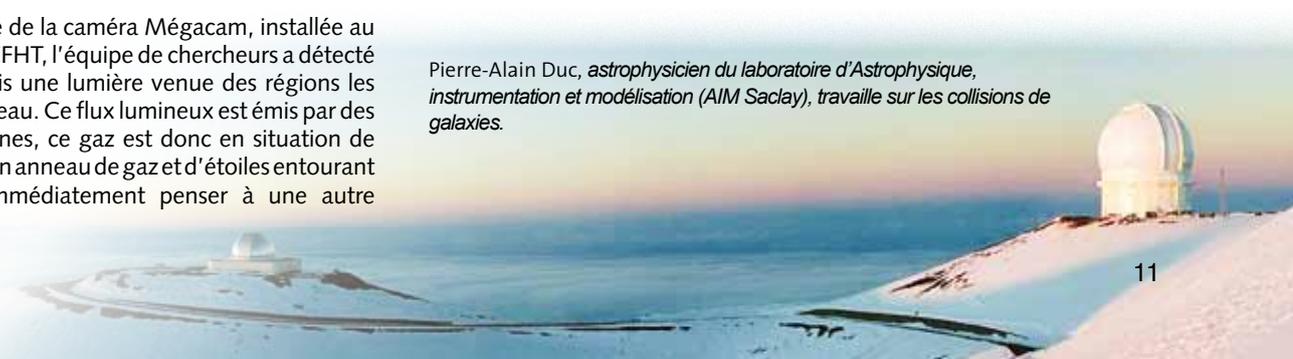
Grâce à ces simulations, les chercheurs ont également pu identifier les galaxies responsables de cette collision : il s'agit des galaxies NGC 3384, une des galaxies centrales du groupe, et M96, une galaxie spirale massive située dans sa périphérie. Les simulations, en retraçant la formation de l'anneau, ont permis de dater l'impact à un peu plus d'un milliard d'années. Ces travaux permettent donc d'affirmer que le gaz de l'anneau géant du Lion n'est pas primordial. La chasse au nuage de gaz primordial reste donc ouverte.



L'anneau du Lion : image profonde dans le domaine optique combinée avec la distribution de gaz HI, en couleur bleue. Les trois images de droite sont les régions dans lesquelles les images Megacam ont permis de détecter la présence d'étoiles jeunes (points bleutés). (crédits : CFHT/Astron - P.A. Duc)

Grâce à la sensibilité de la caméra Mégacam, installée au foyer du télescope CFHT, l'équipe de chercheurs a détecté pour la première fois une lumière venue des régions les plus denses de l'anneau. Ce flux lumineux est émis par des étoiles massives jeunes, ce gaz est donc en situation de former des étoiles. Un anneau de gaz et d'étoiles entourant une galaxie fait immédiatement penser à une autre

Pierre-Alain Duc, astrophysicien du laboratoire d'Astrophysique, instrumentation et modélisation (AIM Saclay), travaille sur les collisions de galaxies.



L'Irfu chausse ses bottes de sept LIA

热烈欢迎

参加第二届“中法粒子物理实验室”研讨会的

Par Didier Vilanova

L'Irfu participe depuis quelques années à plusieurs laboratoires internationaux associés (LIA), des organisations sans murs qui favorisent les échanges entre équipes internationales. Ce type de structure est un autre moyen de nous ouvrir à l'étranger, au-delà des classiques accords de collaboration. Il permet notamment de faciliter l'accueil et le séjour de chercheurs et ingénieurs de nos partenaires.

Les laboratoires internationaux associés (LIA) sont des organes de coopération internationale que le CNRS met fréquemment en place pour favoriser les échanges entre ses équipes et celles d'institutions étrangères. Ce sont des laboratoires « sans murs » qui associent en général deux équipes ; ils ne possèdent ni site unique, ni personnel permanent, chaque chercheur gardant son statut. Ils sont de durée limitée : 4 ans renouvelables. Ils sont dirigés par un comité directeur et les programmes de recherche qui doivent être détaillés sont évalués par des responsables scientifiques désignés par les partenaires. Au CEA, il n'existe pas de structure équivalente, mais cela n'empêche pas l'Irfu de participer à sept LIA comme partenaire français du CNRS. Ces LIA sont de natures assez différentes. Quatre d'entre eux impliquent l'Institut par l'intermédiaire du Ganil, qui en est le partenaire français. Il s'agit tout d'abord du laboratoire européen Colliga, créé en 2007, qui rassemble une trentaine de physiciens du Ganil et de l'INFN (Italie) et dont le but est d'être complémentaires dans l'utilisation des accélérateurs et instruments.

« Sur leur sillage sont lancés des projets beaucoup plus vastes que ceux prévus dans les conventions initiales. »

Nicolas Alamanos

Le *French-Japanese International Associated Laboratory for Nuclear Structure Problems* (FJ-NSP, 2007) est de même taille et s'organise autour de Spiral2 au Ganil, et RIBF au Japon. La Pologne a ensuite suivi, avec la création l'année suivante de Copigal, une collaboration sur la physique des noyaux exotiques. Enfin, tout récemment, l'Inde et le Ganil se sont associés pour créer un *French-Indian International Associated Laboratory for Nuclear Science* (FI-NS). Nicolas Alamanos qui fait partie des comités de pilotage de ces quatre laboratoires est enthousiaste : « Non seulement

les LIA permettent des échanges de chercheurs, mais sur leur sillage sont lancés des projets beaucoup plus vastes que ceux prévus dans les conventions initiales. L'Italie, par exemple, va fournir une cible tournante au Ganil, et le laboratoire de Grenoble va prendre en charge la construction d'un équipement spécifique, un « charge breeder » pour l'Italie. L'Inde de son côté, aiguillonnée par le FI-NS, a promis une importante contribution financière à Spiral2 ».



Les trois autres LIA rassemblent chacun plus de cinquante chercheurs et sont résolument tournés vers l'Extrême-Orient. En 2006, l'IN2P3 lance avec le CEA le *France Japan Particle Physics Laboratory* (FJ-PPL, laboratoire Toshiko Yuasa) pour améliorer la collaboration avec le Japon dans le domaine des accélérateurs et de la physique des particules. Le même modèle a ensuite été appliqué à la Chine dont l'engagement dans la physique des particules et l'astrophysique s'est vu décupler. Créé en 2007, le *France China Particle Physics Laboratory* (FC-

PPL) a encouragé et soutenu de nombreux échanges d'étudiants et post-docs dans tous les domaines. À l'Irfu, cela s'est traduit notamment par l'accueil de quatre thésards et d'un post-doc. Plus récemment, c'est un *France Vietnam Particle Physics Laboratory* (FV-PPL) qui vient d'être créé. Ici aussi, les LIA remplissent plus que leur mission, puisqu'ils ont permis l'éclosion d'une École franco-asiatique de physique des particules.

La co-directrice du FC-PPL, Lydia Roos, tire un bilan très positif de ces quatre années de fonctionnement. Pour elle, le résultat le plus important concerne les jeunes thésards : « Sans l'existence du LIA et de ses possibilités d'accueil, les étudiants chinois travaillant sur les expériences du Cern n'auraient pas eu la visibilité qu'ils méritaient. Le LIA leur a vraiment permis de trouver leur place au sein d'énormes collaborations d'où il est difficile d'émerger ».

Artémis, un autre moyen pour favoriser les échanges internationaux

Artemis, réseau européen de recherche coordonné au SPP, a réuni de 2006 à 2010 des théoriciens et expérimentateurs de 7 instituts dans 5 pays. Doté d'un budget de 2.7 M€, le réseau a permis d'accueillir 7 post-docs et 6 étudiants en thèse dans la collaboration Atlas. Ceux-ci ont travaillé conjointement à l'analyse des premières données de l'expérience pour évaluer les performances du détecteur et à la préparation des analyses de recherche du boson de Higgs. La coordination du réseau, qui a abouti à des résultats scientifiques et à la formation et valorisation de jeunes chercheurs, a été une expérience particulièrement enrichissante.

Rosy Nikolaidou, coordinatrice du réseau.

La vie d'une puce

Par Pascal Baron

Le destin des puces électroniques est généralement lié aux expériences de physique pour lesquelles elles ont été conçues. Cependant, elles peuvent, comme la puce After développée par l'Irfu, avoir une autre vie et subir une mutation pour s'adapter à de nouveaux projets.

Le groupe de microélectronique de l'Irfu réalise des circuits intégrés appelés « puces », pour la lecture des détecteurs de particules utilisés dans un grand nombre d'expériences de physique. Ces puces sont élaborées à partir d'un cahier des charges défini par l'ensemble des acteurs allant des physiciens aux ingénieurs en charge du développement des détecteurs. Elles doivent tenir compte des spécifications demandées : type de mesure (charge, temps, position...), des caractéristiques des détecteurs associés (capacité, type de détecteur...) et de l'environnement (espace imparti, température, puissance consommée...).

en cours de projet, pour lire les SiPM¹ du détecteur FGD (*Fine Grained Detector*) de T2K. Pour ces deux utilisations, la puce After a pu s'adapter sans modification pour lire des informations très différentes comme celles de détecteurs gazeux et de semiconducteurs.

Le Japon n'est pas le seul endroit où l'électronique développée par l'Irfu, allant de la puce au système d'acquisition, est utilisée. On la retrouve aussi dans nos laboratoires pour les avant-projets Clas12 et ILC_TPC, les détecteurs Micromégas (Mimac, Cast) et Fideas, et même dans d'autres pays comme l'Espagne (Next) ou les Etats-Unis (AT_TPC).

Pour valider le démonstrateur d'ILC_TPC, l'électronique a été modifiée afin de s'intégrer dans le faible volume disponible. La puce a été dénudée de son boîtier plastique trop volumineux pour être montée directement sur la carte électronique de lecture (facteur 3 de réduction).

Comme rien n'est parfait et que les besoins sont toujours différents, cette puce a encore muté vers un objet appelé Aget encore plus générique que le précédent. Il a pour ambition de permettre la lecture des nouvelles TPC développées pour la physique nucléaire (projet ANR GET). De nouvelles fonctions ont été intégrées (discrimination, canal touché) permettant d'optimiser le temps de lecture. Ces deux puces ont la particularité d'être entièrement compatibles au niveau connectique (même boîtier et brochage) et donc d'être interchangeables.

La suite ? Dès maintenant pour le projet Clas12, en partant de la version Aget mais en optimisant encore son fonctionnement, tout en réduisant le nombre de pattes (passage de 160 à 128). Son nom ?

Dream ...

Pascal Baron, ingénieur en électronique, développe des circuits intégrés nécessaires à l'exploitation des signaux que les rayonnements laissent dans les détecteurs.

(1) SiPM : Silicon photomultiplier. Ce sont des diodes à avalanches qui peuvent être de taille micrométrique. Ces diodes fonctionnent en mode Geiger, fournissant l'information « touché » ou « non touché ».

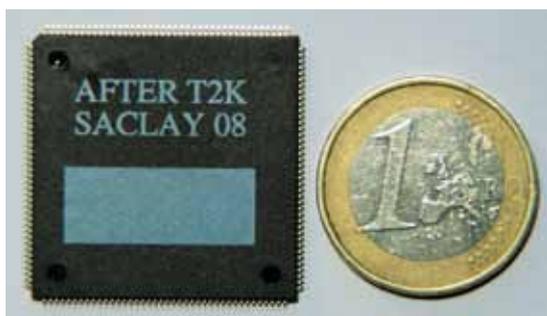
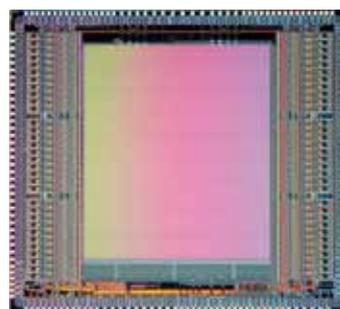


Photo de la puce After avec ses 160 pattes.

Ainsi chaque projet implique généralement le développement d'une nouvelle électronique de traitement du signal comme pour la puce After (*Asic For TPC electronic readout*) réalisée pour la lecture des grandes TPC (*Time projection chamber*) de l'expérience T2K au Japon. Ce circuit gère le traitement de 72 voies de détection indépendantes en mémorisant l'intégralité des signaux sur un intervalle en temps programmable. Grâce à sa polyvalence, cette puce a aussi été choisie,



Carte frontale de T2K supportant quatre puces After.



La puce Aget, fille d'After.



Supra show

Par Jean-Michel Rey

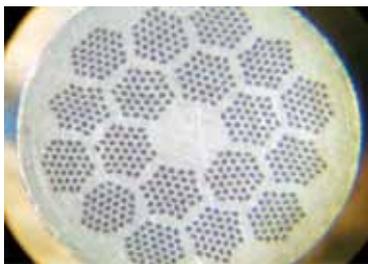
Depuis leur découverte par Bednorz et Muller en 1986, les matériaux supraconducteurs à haute température de transition, supérieure à la température de l'azote liquide (-196°C soit 77 K), n'ont cessé de stimuler la curiosité des physiciens et des ingénieurs. L'Irfu s'est naturellement intéressé à leur utilisation pour la réalisation de champs magnétiques intenses ou de structures magnétiques supraconductrices, développant ainsi une expertise aujourd'hui reconnue internationalement.

Les applications utilisant les supraconducteurs à haute température de transition (supra HTc) visent deux buts principaux : l'augmentation des champs magnétiques créés et la réduction des coûts. Autant pour l'imagerie médicale par RMN que pour la montée en énergie du LHC, l'augmentation des champs magnétiques dans des systèmes de taille raisonnable représente un enjeu majeur. Divers projets ambitionnent d'atteindre des champs de 30 T à l'aide d'aimants entièrement supraconducteurs. Par ailleurs, les réflexions actuelles sur le stockage d'énergie ont relancé l'étude des dispositifs type SMES (*superconducting magnetic energy storage*) car la technologie HTc permet d'augmenter l'énergie stockée tout en réduisant le coût du cryogène. D'autre part, le transport d'électricité par supra HTc est une sorte de Graal pour les fabricants de matériaux supraconducteurs car il se ferait sans déperdition d'énergie. Il est à ce jour handicapé par les coûts des matériaux et de la cryogénie. Son expansion se limite à des sites

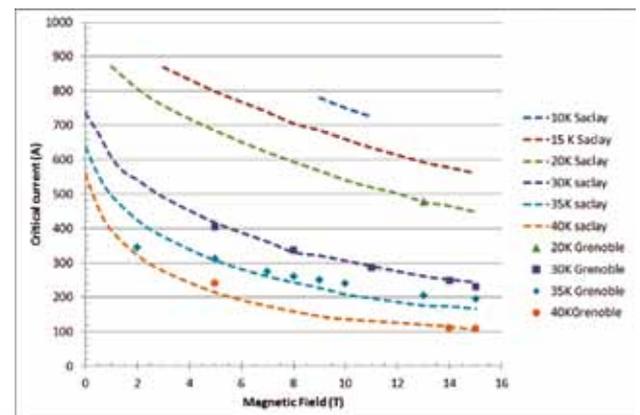
de tests où les lignes supra sont doublées par des lignes conventionnelles comme la ligne de 574 MVA, mise en service à long Island en avril 2008. L'application qui verra le jour dans un avenir probablement proche est le transport sur de courtes distances dans les centres urbains saturés et dont la consommation électrique croît fortement.

Les premières activités de R&D entreprises à l'Irfu ont porté sur la caractérisation de matériau Bi2212 en rubans produits par Nexans pour une application de SMES et le développement d'un fil rond dans ce même matériau. Ce fil était conçu pour étudier l'influence des sollicitations mécaniques sur les propriétés du supraconducteur en vue d'opérations de câblage, nécessaires quelque soit l'application : transport d'un courant de plusieurs milliers d'ampère ou réalisation d'aimants à haut champ. Cette nouvelle expertise a ensuite permis à l'Irfu de prendre en charge la réalisation d'un dipôle à très haut champ (18-20 T) destiné à la physique des hautes énergies. Ce travail, piloté par le Cern, est financé par le septième programme cadre européen (FP7). L'enjeu est double. D'une part il nous faut réaliser un dipôle à grande ouver-

ture en Nb3Sn produisant 13 teslas à 4,2 K et 15 teslas à 1,8 K. Ce dipôle sera la base d'une station de tests pour câbles. D'autre part nous devons réaliser un insert en supra HTc permettant de produire les 5-7 teslas complémentaires. Compte tenu de la forte densité de courant nécessaire pour cette application, sous une induction supérieure à 13 teslas, l'utilisation de matériaux HTc, ici de l'YBCO, est indispensable. Dans le cadre des études sur le stockage de l'énergie, l'Irfu participe aussi à un projet financé par l'ANR destiné à améliorer la densité spécifique d'énergie stockée. Nous voulons atteindre un stockage de 20 kJ/kg alors que les aimants supraconducteurs actuels ne dépassent qu'exceptionnellement 10 kJ/kg.



Fil en Bi2212 développé avec Nexans.



Evolution du courant critique du ruban supraconducteur SCS4050 produit par Superpower en fonction du champ magnétique mesuré à différentes températures sur les installations de test du CNRS-LNCMI et du CEA-Irfu.

L'utilisation de supraconducteurs à haute température tend à se généraliser et se diversifier. L'expertise et les moyens d'essai de l'Irfu en font un partenaire privilégié tant pour les recherches sur les lois fondamentales de l'Univers que pour les industriels.

Jean-Michel Rey, ingénieur spécialisé dans le cryomagnétisme et la supraconductivité, s'investit dans les applications au domaine de l'énergie de ces techniques, transport et stockage.

TraceWin

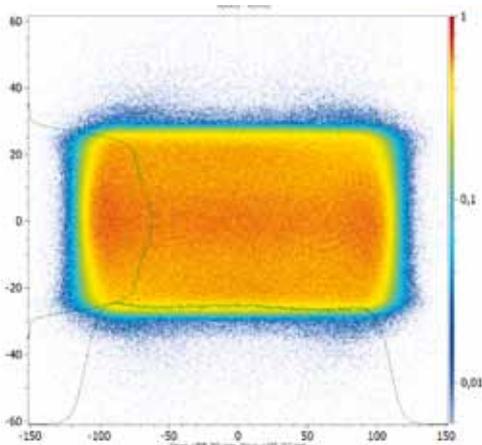


Par Didier Uriot

Dans les années 90, le besoin de faisceaux d'ions légers de forte intensité s'est fait ressentir pour de nombreuses applications : sources de neutrons, transmutation des déchets nucléaires, tests de matériaux ou production de noyaux exotiques. La nécessité de disposer d'outils de simulation performants, capables de calculer précisément la propagation d'un faisceau dans un accélérateur linéaire de très forte puissance a conduit l'Irfu à développer le logiciel TraceWin utilisé aujourd'hui par de nombreuses installations et laboratoires.

Pour les accélérateurs de très haute intensité, le défi de la modélisation de la dynamique des faisceaux était de taille. Contrainte par la radioprotection, la proportion de l'intensité du faisceau perdue ne doit pas excéder 1 W/m, soit, pour certaines machines, une fraction du faisceau inférieure à 10^{-6} /m, deux ordres de grandeur au-delà des capacités des programmes alors disponibles. D'autre part, certains phénomènes physiques, tels que la charge d'espace susceptible d'induire des pertes, étaient sommairement simulés.

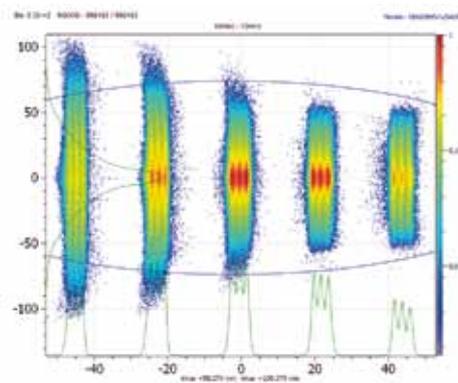
représentant le faisceau. C'est un des seuls outils à ce jour capables de proposer ces deux approches simultanément.



Le faisceau de 125 mA de deutons d'Irfmif arrivant sur la cible.

La cible constituée d'un flux laminaire de lithium liquide nécessite une distribution rectangulaire obtenue grâce à l'utilisation d'une combinaison d'éléments magnétiques (octupôles, duodécapôles). Le défi a été d'y parvenir en conservant un niveau de pertes acceptable dans la ligne de transfert.

Le logiciel TraceWin, un code de transport de particules chargées (électrons ou ions) dans un accélérateur linéaire a été développé pour la conception d'accélérateurs de haute intensité. Ce code est polyvalent, capable à la fois de spécifier, d'optimiser et de quantifier leurs performances. Il offre les moyens d'y parvenir progressivement, en commençant par des modèles analytiques simples et rapides jusqu'à des représentations plus réalistes et donc plus gourmandes en puissance de calcul. Ainsi, TraceWin permet de transporter soit les propriétés statistiques du faisceau, soit un échantillonnage de macro-particules



Simulation de la sélectivité du spectromètre S^3 (Spiral2).

Chaque groupe de taches est associé à un état de charge d'un élément super-lourd ($Z=116$) pour lequel on différencie trois isotopes (291, 292, 293) au plan focal du spectromètre. Le calcul utilise la géométrie S^3 avec des cartes de champs pour tous les éléments.

TraceWin a fait l'objet de plusieurs validations et a démontré sa prédictivité expérimentale, en particulier lors d'un «benchmark» international sur l'accélérateur linéaire Unilac à GSI. Largement distribué dans de nombreux laboratoires tels que le Cern, l'IN2P3 ou Fermilab, il est utilisé par les projets Ifmif, Iphi, Linac4, SPL, ESS, Spiral2, Project X, Eurisol, Myrrha... Il peut aussi avoir des applications industrielles.

Aujourd'hui, TraceWin, c'est 15 ans de développement, 100 000 lignes de code sous trois langages et trois systèmes d'exploitation différents. La précision de ses prédictions associée à une interface et des fonctionnalités originales ont fait son succès. Il est utilisé sur un périmètre de plus en plus large, aux limites de ses compétences initiales. Nous assurons un support technique (400 sollicitations en 2010). Intégrant une suite logicielle permettant de générer et de simuler un accélérateur linéaire de la source à la cible, il est commercialisé depuis 2009 sous licence Irfu, via un site Web: <http://irfu.cea.fr/Sacm/logiciels/index.php>

Didier Uriot, physicien accélérateur, spécialiste de dynamique faisceau de haute intensité, d'expérimentation faisceau et interfaçage contrôle-commande, principal développeur de TraceWin.

La fabuleuse histoire Des quatre centenaires

Par Florine Authier

Étudiante en BTS Communication

Il y a cent ans, quatre grands chercheurs révolutionnaient la science...



L'autrichien Victor Hess, voulait vérifier l'origine de la source du rayonnement ionisant l'atmosphère. Était-elle située dans la croûte terrestre ? En 1911, il entreprit une série de vols en ballon. Ils prouvèrent que l'ionisation de l'air croissait avec l'altitude : le rayonnement était d'origine extraterrestre ! La découverte de ces rayons cosmiques, publiée en 1912, lui valut de partager le prix Nobel de physique 1936 avec l'américain Carl Anderson.



Au même moment, en Nouvelle-Zélande, Ernest Rutherford étudiait la constitution de l'atome. A l'époque, on imaginait des électrons navigant dans un magma de charges positives. Le physicien et ses élèves découvrirent, en bombardant une mince feuille d'or avec des particules alpha, que l'atome était essentiellement vide et possédait une très petite région capable de dévier ces particules. Ils découvraient le noyau atomique !



A l'autre bout du globe, aux Pays-Bas, Heike Kamerlingh Onnes tentait d'atteindre le zéro absolu (-273° C). En 1908, Il réussit à refroidir de l'hélium à seulement un degré kelvin. Il proposa à son élève Gilles Holst de mesurer la résistivité d'un barreau de mercure. Ils découvrirent que celle-ci s'annulait en dessous de 4,15 K. L'absence totale de résistivité d'un matériau est le premier phénomène spectaculaire de la supraconductivité.



On fête aussi cette année le 100^{ème} anniversaire du prix Nobel de chimie attribué à Marie Curie. Décrétée Année internationale de la chimie, 2011 sera l'occasion de promouvoir cette discipline auprès du grand public, de susciter son intérêt, notamment celui des jeunes. De nombreuses manifestations organisées sur l'ensemble du territoire permettront de présenter le rôle prééminent de la chimie dans les activités humaines. Les journées portes-ouvertes du centre de Saclay seront consacrées à cette thématique.



Va-et-vient

Ce va-et-vient couvre la période avril - novembre 2010

Tu vas...

Frédéric Masset du SAp part en détachement un an auprès de l'Institut de physique de l'Unam à Mexico, Aubrey Poulizac du SACM et Andréa Gorgen du SPhN nous quittent pour des raisons personnelles tandis que François Méot du SACM part en congé sabbatique pour onze mois au Brookhaven National Laboratory.

Ils partent à la retraite : Marc Dorlot du SACM, Nicole Devin-Renaut du SAp, Patricia Fauvel, Michel Cossu et François Meigner du Sédi

... et tu viens

Christine Tiquet quitte DSM/Dir pour l'Irfu qui accueille ainsi sa nouvelle Assistante chargée des Ressources humaines. En interne, Bénédicte Piccirelli quitte le SACM pour le secrétariat du Sédi.

Les recrutés : au SIS, Arnaud Roger va s'atteler à la programmation d'automates et Damien Bachet rejoint les projeteurs du Lcap pour se consacrer aux projets Iseult et JT60. Au SAp, François Nico intègre le Ledes et Diego Götz l'équipe du projet Eclairs dans le cadre de la mission SVOM. Au Sédi, Laszlo Liskay va travailler sur le projet anti-hydrogène et Jérôme Bobin s'intéressera au traitement du signal dans l'équipe de Jean-Luc Starck. Au Senac, Anthony Marchix se chargera des études de sureté pour la conception d'installations nucléaires.

Directeur de la publication : Philippe Chomaz

Directeur scientifique : Vanina Ruhlmann-Kleider **Rédacteur en chef** : Jean-Luc Sida

Comité éditorial : Maryline Besson, Jean-Bernard Braud, Rémi Chipaux, Olivier Corpacé, Philippe Daniel-Thomas, Antoine Drouart, Christian Gouiffès, Florence Hubert-Delisle, Fabien Jeanneau, François-Paul Juster, Sophie Kerhoas-Cavata, Emmanuelle de Laborde, David Lhuillier, Pierre Manil, Jacques Marroncle, Vanina Ruhlmann-Kleider, Yves Sacquin, Corinne Salmon, Didier Vilanova

Secrétariat : Maryline Besson

Mise en page : Christine Marteau **Impression** : diadeis graphotec

Crédits Photo : CEA - Cern - Deviantart - ESA - Nasa - Imag'In Irfu (Alain Porcher)

Abonnement : Sophie Durand Tél : 01 69 08 75 57 ou sophie.durand@cea.fr

<http://irfu.cea.fr>

Dépôt légal : janvier 2011