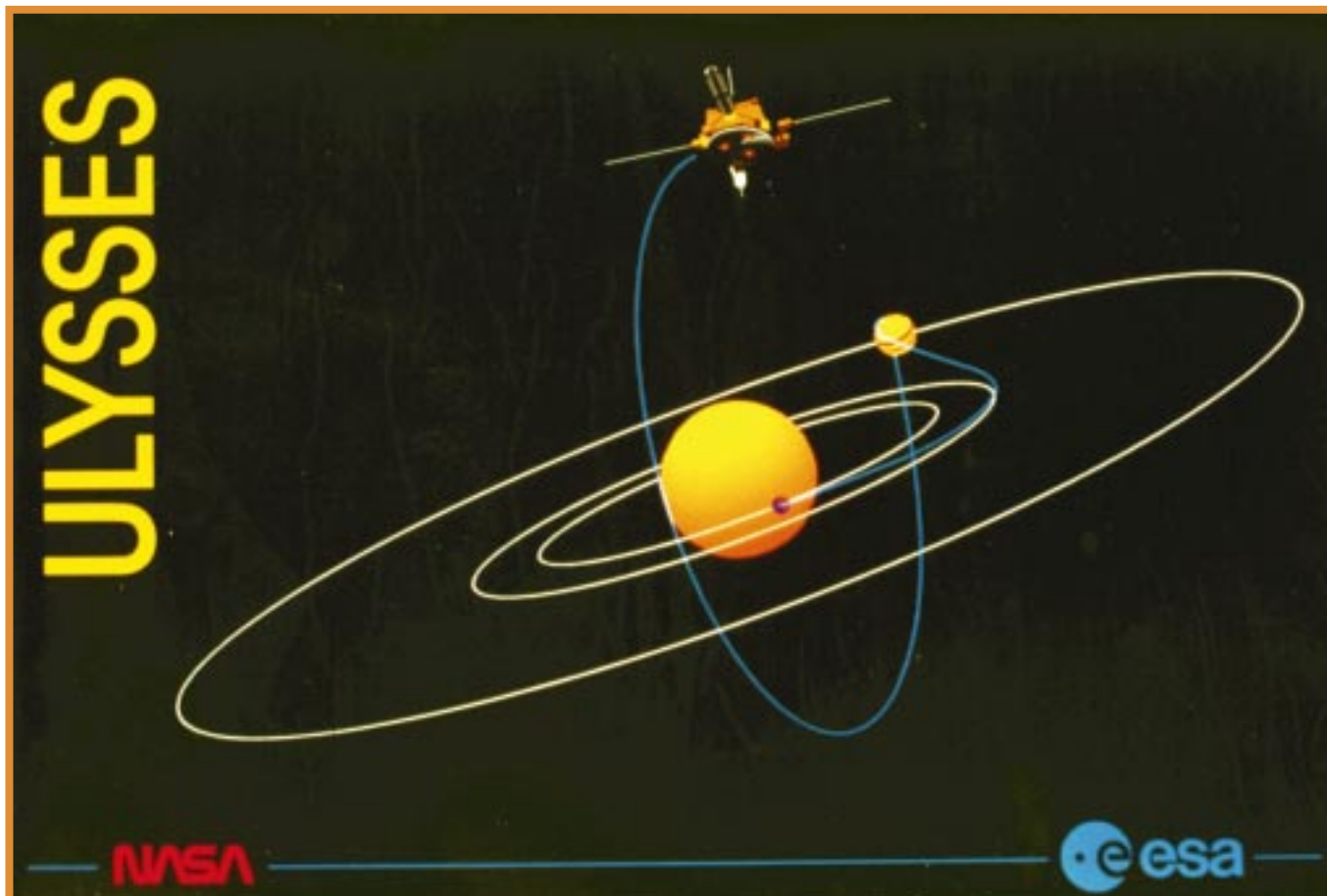


## Iliad'èjà quatre ans débutait l'Odyssée

*Survol des zones polaires sud du Soleil par la sonde ULYSSE*



**Le 13 septembre 1994, la sonde Ulyssée (voir "ScintillationS" n° 5) atteignait un des sommets de son odyssée commencée le 6 octobre 1990, en passant par le point de sa trajectoire le plus proche du pôle sud du Soleil, soit 80,2 degrés de latitude, distant de quelques 350 millions de kilomètres du Soleil, soit 2,3 unités astronomiques (1 U. A. = distance Terre-Soleil = 1.49 10<sup>8</sup> km).**

Ce survol, une première spatiale, ouvre le champ d'observations limité jusque là aux zones équatoriales du Soleil. Les données qu'accumulent depuis le lancement les 9 instruments d'observation à bord d'Ulyssée vont permettre de cartographier et de mieux comprendre l'environnement solaire fortement régi par cette véritable évaporation permanente du Soleil : le vent solaire. Un de ces instruments est le télescope à électrons

cosmiques KET, conçu, réalisé et opéré par le SAP en collaboration avec l'Université de Kiel.

L'image générale que procure ce survol de la zone polaire sud est celle d'un Soleil bien plus simple qu'à l'équateur où les zones de vent solaire rapide interagissent avec celles du vent lent et les éruptions solaires injectent dans le vent solaire des flots de matière et des particules relativistes (de vitesse proche de celle de la lumière). Près du pôle, Ulyssée se trouve au contraire plongé dans un vent solaire pratiquement constant (800 km/s) et à l'abri des éruptions solaires, position bien plus propice à l'étude de certains phénomènes comme la turbulence magnétique.

Les résultats préliminaires les plus saillants portent sur le champ magnétique et les rayons cosmiques, les seconds étant en fait liés au premier.

- Contrairement au champ magnétique terrestre plus élevé aux pôles qu'à l'équateur, le champ magnétique interplanétaire est en gros constant : Ulyssée n'a pas vu de signature du pôle magnétique du Soleil. Par ailleurs, ce champ est beaucoup plus "turbulent" que dans le plan équatorial. Cela va conduire à une révision totale des idées sur la façon dont le champ magnétique est extrait du Soleil et redistribué dans le vent solaire, ainsi que sur l'origine de sa turbulence.

- Le flux des électrons cosmiques qu'a mesuré KET n'est supérieur que d'une dizaine de pourcents à celui mesuré dans le plan de l'écliptique (où tournent les planètes). On est bien loin d'observer un entonnoir à rayons cosmiques comme on l'imaginait il y a une vingtaine d'années quand fut conçue la sonde Ulyssée. On est même très loin, et c'est beaucoup plus surprenant, des flux attendus dans les

modèles les plus réalistes qui prévoyaient au moins 50% d'augmentation aux latitudes atteintes par Ulysse. On s'attendait aussi d'après les mêmes modèles à un comportement très différent des protons et des électrons, ce qui n'est pas du tout observé par KET. De plus, le flux des rayons cosmiques très près du pôle est modulé avec une période de 26 jours, période de rotation solaire. C'est un phénomène complètement inattendu pour lequel on n'a trouvé aucune explication. Il va

falloir revoir les modèles théoriques d'interaction entre les rayons cosmiques galactiques et le vent solaire.

La sonde va maintenant effectuer une plongée très rapide dans le plan de l'équateur solaire qu'elle traversera le 4 mars 1995. Ulysse visitera ensuite les zones polaires Nord, jusqu'à la latitude  $80,2^\circ$  le 31 juillet 95. Durant cette période, le Soleil devrait être dans sa période d'activité minimum, ce qui n'est pas encore le cas.

La vision des zones nord de l'héliosphère pourrait bien aussi apporter son lot de surprises.

Philippe Ferrando (SAp)

*Ulysse prend le vent solaire comme un cerf-volant (NDLR).*

## LE PROJET EFFE

### Quel est l'attrait des études de fusion à des énergies sous-coulombiennes ?

Lorsque deux noyaux se trouvent en présence l'un de l'autre, même à de grandes distances, ils se repoussent électriquement car, par leurs protons, ils sont tous deux porteurs de charges de même signe (positif). C'est la répulsion coulombienne. Au fur et à mesure de leur rapprochement, cette répulsion devient de plus en plus intense (lorsque la distance diminue de moitié, la répulsion quadruple). Quand les distances entre les surfaces des deux noyaux sont de l'ordre du fermi, l'interaction nucléaire qui est attractive commence à se manifester et contrebalance la répulsion coulombienne. Pour des distances inférieures, l'attraction nucléaire devient suffisamment intense pour que les deux noyaux s'interpénètrent pour former un noyau composé de l'ensemble de leurs

nucléons. Cette évolution des interactions avec la distance entre les noyaux conduit à une allure typique du potentiel en forme de montagne, avec un maximum que l'on appelle "barrière coulombienne" (notée  $V_B$  sur la figure 1). Le puits correspond à la formation d'un noyau composé.

Les noyaux sont représentés par une onde. Si l'énergie cinétique est inférieure à la hauteur de la barrière  $V_B$ , la fusion ne pourra être réalisée que par "effet tunnel" (flèche pointillée traversant la montagne).

Si l'énergie cinétique totale des deux noyaux est supérieure à la hauteur de cette barrière, ils pourront former ce noyau composé en la franchissant. Dans le cas contraire (l'énergie est dite alors "sous-coulombienne"), le système butera dessus et les noyaux repartiront à l'infini l'un de l'autre. Les

familiers de la mécanique quantique savent déjà que ce schéma est simplifié. Les noyaux sont des objets quantiques et il leur est possible de traverser cette barrière par un effet purement quantique : l'effet "tunnel" (voir "Comment ça marche" en page 5) et de fusionner. C'est la fusion sous-coulombienne. La probabilité de cette fusion dépend exponentiellement de l'épaisseur à traverser. La moindre erreur sur le calcul de ce potentiel entraîne des variations considérables de cette probabilité. La région d'énergie sous-coulombienne est, par conséquent, la plus intéressante pour étudier la fusion car il faut maîtriser parfaitement les interactions, et notamment l'interaction nucléaire,

pour bien calculer le potentiel et donc bien reproduire les probabilités de fusion.

Comme illustration expérimentale de la grande sensibilité du phénomène, vous pouvez voir sur la figure 2 l'évolution des sections efficaces de fusion, pour des réactions avec un projectile d'oxygène sur différents isotopes du samarium en fonction de l'énergie cinétique du projectile. L'ajout d'une paire de neutrons aux 150 nucléons du noyau cible entraîne des variations considérables pour des énergies incidentes inférieures à la barrière car bien qu'ils changent faiblement sa masse, ils provoquent une importante modification de la structure du noyau-cible. L'isotope 144 du samarium contient 82 neutrons, nombre "magique" (qui correspond à des couches complètes ou "fermées" NDLR). Ce type de noyau est sphérique. Mais plus on s'éloigne de cette fermeture de couche en ajoutant des neutrons, plus le noyau se déforme. La fig. 2 montre que la fusion sous-coulombienne est directement sensible à la structure des noyaux en présence.

Outre qu'elle décroît rapidement quand décroît l'énergie car l'épaisseur à traverser est de plus en plus grande, la probabilité de fusion, est en gros la même pour tous les isotopes (144 à 154) aux énergies supérieures à 70 MeV, barrière coulombienne. Elle devient extrêmement dépendante du nombre de neutrons aux énergies inférieures. Vous pouvez constater par exemple qu'à 63 MeV, énergie sous-coulombienne, la fusion est une centaine de fois plus probable pour le  $^{154}\text{Sm}$  que pour le  $^{144}\text{Sm}$  (notez que l'échelle des ordonnées est logarithmique).

**Comment progresser dans notre compréhension de la fusion sous-coulombienne ?**

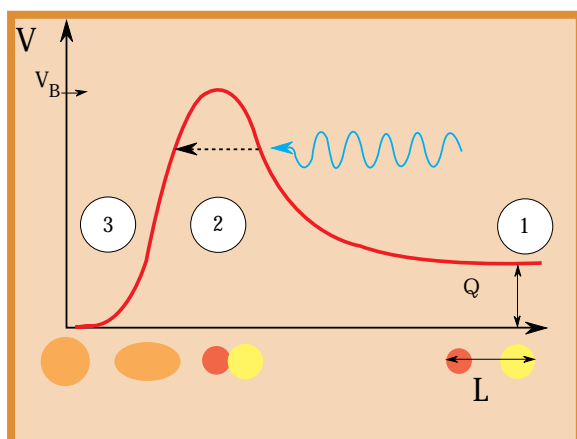


Fig. 1 - Evolution du potentiel en fonction de la distance noyau-noyau dans le cas d'un choc frontal  
Zone 1. Les deux noyaux sont loins l'un de l'autre et se repoussent électriquement. Potentiel purement coulombien.  
Zone 2. Les deux noyaux sont proches. L'attraction nucléaire contrebalance la répulsion coulombienne.  
Zone 3. Les deux noyaux ont fusionné en un noyau composé. Cette partie correspond au potentiel du noyau final.

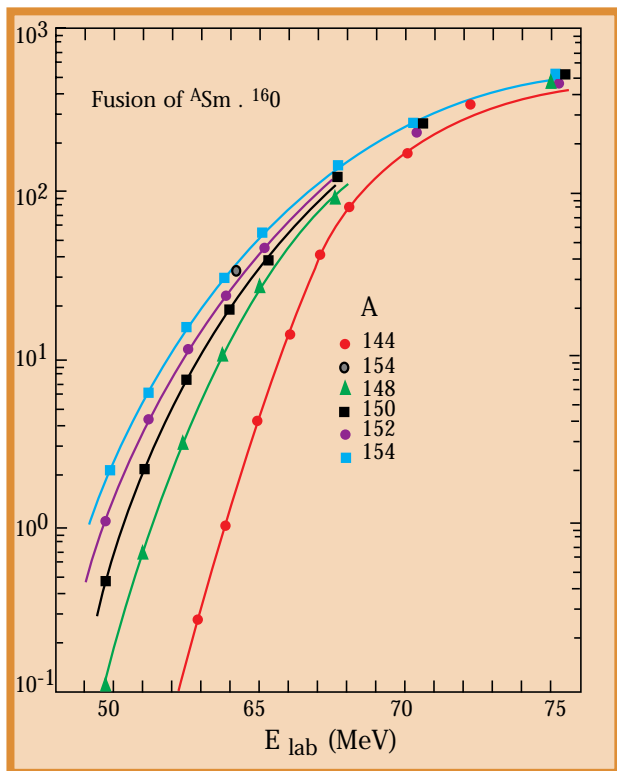


Fig. 2 - Section efficace (probabilité) de fusion de différents isotopes pairs du samarium avec  $^{16}\text{O}$  en fonction de l'énergie cinétique du projectile

Afin de mieux comprendre ce processus et maîtriser les interactions nucléaires, nous voulons nous focaliser sur les noyaux qui présentent les structures les plus différentes possibles de celle des noyaux stables. Notre choix s'est porté immédiatement sur les noyaux à halo. La faible énergie de liaison du ou des derniers neutrons entraîne une distribution de matière diffuse pour ces noyaux.

Le programme EFFE (Etude de la Fusion avec des Faisceaux Exotiques), développé auprès du Ganil, allie ainsi l'improbable à l'inconcevable. Improbable car le processus étudié, la fusion à des énergies sous-coulombiennes, ne peut être réalisé que par effet tunnel. Inconcevable, parce qu'il y a cinq ans, encore, personne ne prédisait qu'un noyau léger puisse s'étendre jusqu'à une dizaine de fermi ( $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ ). Cette taille peut vous sembler petite. Elle est en fait considérable car un noyau qui posséderait naturellement un nucléon jusqu'à cette distance en contiendrait plus de 600 (la nature s'arrête à 238)! La notion d'inconcevable varie avec le temps et aujourd'hui, nous comprenons ce phénomène même si son étrangeté subsiste. Nous avons choisi de ne présenter que succinctement ces noyaux dits à halo, car la communauté scientifique en a largement fait écho (Nicolas Alamanos et Françoise Auger dans

"ScintillationS" n° 13, Dominique Guillemaud-Müller dans "La Recherche" de mars 1994, séminaire du DAPNIA de Gregers Hansen...).

La première expérience réalisable au GANIL concerne les systèmes constitués des isotopes de béryllium - dont l'isotope 11 présente un halo de un neutron - comme projectiles sur une cible d'uranium. Une quelconque réaction nucléaire entraîne la fission. La détection des fragments de fission fournit la section efficace de réaction, somme des sections efficaces de fusion et des réactions de transfert. Afin de distinguer entre ces deux types de réactions, il suffit de remarquer que, dans le cas d'un transfert, il existe un résidu du projectile. La détection dans tout l'espace de ce résidu permet la distinction.

Le détecteur "F. U. S. ION", Fusion Utility for Secondary Ions, développé au DAPNIA, a été conçu pour détecter avec une grande efficacité les fragments de fission émis à  $180^\circ$  l'un de l'autre et le résidu du projectile (appelé aussi "quasi-projectile"), dans le cas d'une réaction de transfert. Les faibles taux de comptage, dus à la faible intensité des faisceaux secondaires ( $10^5$  à  $10^6$  particules par seconde) et au processus étudié, nécessitent que les fragments de fission soient détectés avec une grande ouverture angulaire, proche de  $4\pi$ , c'est-à-dire dans presque toutes les directions de l'espace.

Les deux types d'ions, produits de fission et quasi-projectiles, ont des

masses, charges et vitesses très différentes. L'utilisation de ces différences nous a permis une discrimination redondante entre ces ions.

Le détecteur FUSION est constitué d'un ensemble de deux cubes entourant la cible dont chaque face est une juxtaposition de détecteurs à plaques parallèles, sensibles aux produits de fission mais laissant passer les quasi-projectiles, et de scintillateurs plastiques arrêtant les ions légers (fig. 3 et photo).

Les plaques parallèles mesurent la perte d'énergie, le temps de vol et la position des particules. Ces paramètres nous fournissent leurs vitesses qui permet la meilleure séparation entre les différents types de particules.

Ces détecteurs à plaques parallèles ont une surface utile de détection de  $290 \times 290 \text{ mm}^2$ . La résolution spatiale est de 5 mm et la résolution temporelle de  $10^{-9}$  seconde (1 ns). La structure interne de la partie active du détecteur est composée de trois électrodes en Mylar® de 1.5 micromètres, métallisés à l'or. Deux de ces électrodes forment les anodes ; elles sont constituées de 57 bandes métallisées, au pas de 5 mm.

Le faisceau est symbolisé par la flèche venant de la gauche vers la droite. Il rencontre la cible au centre des deux cubes. Dans le cas d'une réaction de transfert, deux fragments de fission sont détectés et arrêtés dans les plaques parallèles (coque intérieure). Les quasi-projectiles traversent les plaques parallèles et sont détectés dans les plastiques scintillants (coque extérieure).

La troisième, métallisée sur toute la surface et sur les deux faces, forme la cathode. Les deux anodes, dont les bandes sont disposées orthogonalement, sont montées de part et d'autre de la cathode à une distance de 3 mm. Des lignes à retard sont disposées entre les bandes. La différence de temps d'arrivée aux extré-

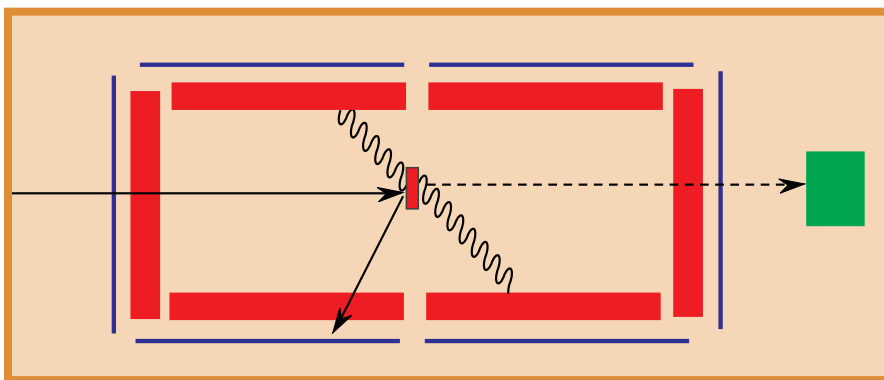
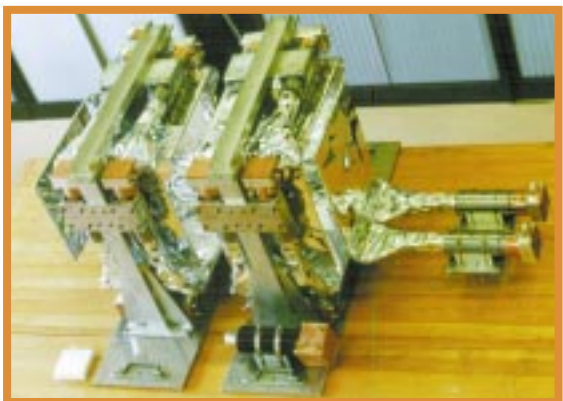


Fig. 3. Schéma du détecteur FUSION et d'un événement correspondant à une réaction de transfert.



Détecteur pour EFFE (la partie cubique fait 90cm de côté).

mités de ces lignes permet la localisation. Cet ensemble est situé dans un corps en polymère fermé par deux fenêtres où circule de l'isobutane à basse pression.

La disposition en cube des détecteurs nécessite que le faisceau traverse les détecteurs extrêmes. Pour cela, on inactive les plaques parallèles en ne métallisant pas le centre de la cathode. L'efficacité est ainsi rendue essentiellement nulle dans cette zone.

La grande surface utile de ces détecteurs a entraîné un soin particulier dans la réalisation des fenêtres. Celles-ci sont très minces (mylar de 2.5 microns d'épaisseur), afin de minimiser leur interaction avec les ions. Elles doivent cependant résister à la pression permanente du gaz et aux variations transitoires lors des mises sous vide et entrées d'air dans la chambre à réaction. Par ailleurs, cette grande surface entraîne une capacité interne élevée qui a exigé une adaptation de l'électronique d'acquisition.

La métallisation des cathodes a été réalisée avec une entreprise extérieure par une technique de pulvérisation cathodique. Cette technique, bien maîtrisée pour des supports rigides, était méconnue pour des feuilles en mylar de 1.5 mm tendues sur un cadre. Notre collaboration a permis à cette entreprise d'acquiescer cette technique.

Les scintillateurs plastiques en NE102 épais de 8 mm permettent la mesure du temps de vol et de l'énergie des quasi-particules. Ils ont été réalisés avec

une technologie classique. La réalisation d'un générateur de lumière à impulsions rapides a permis le contrôle simultané de l'ensemble des détecteurs.

La première prise de données a eu lieu en juillet 1993. Une analyse partielle indique un accroissement sensible de la probabilité de réaction pour l'isotope avec le halo par rapport à l'isotope stable. Nous n'en dirons pas plus pour l'instant, en attendant une analyse définitive.

Ces résultats ont été obtenus avec la collaboration des services techniques du DAPNIA. Nos remerciements vont à tous ceux qui se sont impliqués pour que ce projet réussisse, et plus particulièrement : Emmanuelle Bougamont, Serge Hervi, Edouard Mahi, Claude Mazur, André Mougeot, Roland Muller, Marc Riallot, Jean-Pierre Robert, Roger Treillard et Gérard Zaffanella du SED, Bruno Cahan, Pascal Le Bourlout, Olivier Maillard et Jean-Pierre Passerieu du SEL., Jean-Philippe Mols et Jean Vergnaud du SGPI, Jean-Marc Brand, André Cosban, Patrick Lamare, Patrick Magnier et Philippe Seguier du SIG.

Xavier Charlot (SED) et  
Jean-Luc Sida (SPhN)

## COMMENT ÇA MARCHE

### Quantum d'action, probabilité de présence, effet "Tunnel"

Nous avons tous appris à l'école ce qu'est la trajectoire d'un corps en mouvement, par exemple, celle de la boulette de pain que nous envoyions au réfectoire sur un petit camarade. Pour bien viser, il faut maîtriser la trajectoire - qui n'est autre que l'ensemble des positions successives occupées par le projectile au cours du temps - afin qu'une de ces positions recouvre celle du nez de la victime. Mais il faut bien voir pour bien viser. L'expérimentateur énoncera qu'il est indispensable d'éclairer le mobile pour observer, évaluer, mesurer sa trajectoire. Or, la lumière a une action mécanique sur l'objet éclairé. C'est la pression de radiation. Elle est infime sur des objets ordinaires, planète, ballon de foot, boulette de pain ou même poussière de tabac. Mais sur une particule, elle peut être énorme, au point de l'envoyer au diable vauvert. Le dilemme est alors le suivant : on éclaire la particule et on perturbe sa trajectoire ; ou on ne l'éclaire pas et on ne sait rien. Et c'est le physicien qui est perturbé.

Il essaie alors la méthode douce : n'éclairer qu'à l'instant de la mesure. Or, s'il veut une bonne précision sur la position du mobile, il devra mesurer un nombre suffisant de points de la trajectoire, donc envoyer autant d'éclairs qu'il y a, hélas, bousculeront le mouvement. Il devra alors

réduire l'intensité de chaque éclair s'il veut que la somme des perturbations reste inférieure à la marge d'erreur de sa mesure. Mais il ne pourra réduire cette intensité autant qu'il le veut, même si son appareillage est de sensibilité infinie. En effet, la nature est ainsi faite qu'il existe (comme pour la charge électrique et bien d'autres grandeurs physiques) une quantité élémentaire indivisible, un "quantum" de rayonnement. Ce quantum (mot latin d'où dérive l'adjectif "quantique"), appelé photon, est le grain élémentaire de lumière et plus généralement de rayonnement électromagnétique dont la lumière n'est qu'une des formes. C'est l'éclair minimum. Ainsi, toute observation transfère une perturbation minimale, un **quantum d'action** (sa valeur sera précisée plus bas), qui entache la mesure d'une "imprécision minimale obligatoire" et, par là même, rend floue dans le monde des atomes et des particules la notion de trajectoire si fructueuse en Mécanique "classique". Résumons : mieux on veut mesurer la position d'un mobile, plus on doit faire de mesures. Cela impose d'envoyer plus d'éclairs dont chacun transfère au corpuscule une impulsion, une "quantité de mouvement" au moins égale à celle du quantum de lumière. Conséquence : plus la quantité de mouvement de la particule (sa masse multipliée par sa vitesse) est modifiée. La nature ajou-

te une autre contrainte : un détail ne se distingue bien qu'"éclairé" avec un rayonnement de longueur d'onde (distance entre deux ondulations successives) comparable à sa taille. Plus le détail est petit, plus courte doit être la longueur d'onde ; mais alors plus le quantum de "lumière" transfère de quantité de mouvement à l'objet car il transporte d'autant plus d'énergie que sa longueur d'onde est petite. Il y a donc conflit : réduire l'indétermination sur la position augmente celle sur la vitesse et vice-versa. On ne peut avoir à la fois le beurre et l'argent du beurre, la vertu de la crème et le sourire du crémier.

Le physicien allemand Heisenberg a montré que le produit de ces indéterminations, véritables flous quantiques obligatoires, sur la position et la vitesse d'un objet, est constant et qu'il ne peut être inférieur au quotient d'une constante universelle, la *constante de Planck* (notée traditionnellement  $h$ ) par la masse de l'objet.

Cette constante de Planck n'est pas un "nombre sans dimension". C'est une grandeur physique bien définie, produit d'une longueur et d'une quantité de mouvement, ce qui équivaut à une énergie multipliée par un temps. Cette grandeur physique, c'est l'action. La constante de Planck n'est

La démarche d'Heisenberg fut en (très) gros la suivante : le choc du quantum "éclairant" avec l'objet observé introduit sur la quantité de mouvement  $mv$  de ce dernier une incertitude  $\Delta(mv)$  de l'ordre de la quantité de mouvement du quantum. Cette quantité est égale à la constante de Planck  $h$  divisée par la longueur d'onde  $\lambda$  de "l'éclairage" :

$$\Delta(mv) = h/\lambda$$

Par ailleurs, l'incertitude  $\Delta x$  sur la position de l'objet est, on l'a vu, comparable à la longueur d'onde  $\lambda$ . Le produit des deux incertitudes est donc au moins :

$$\Delta(mv) \cdot \Delta x \geq h$$

C'est l'une des célèbres "Relations d'incertitudes" d'Heisenberg (au terme historique d'incertitude, on peut préférer le mot "indétermination"). Elle s'écrit aussi, si l'on connaît sans erreur la masse de l'objet :

$$\Delta v \cdot \Delta x \geq h / m$$

**Le produit des "flous quantiques" sur la vitesse et la position d'un objet est au moins de l'ordre de la constante de Planck divisée par la masse de l'objet. Il est d'autant plus grand que l'objet est léger.**

autre que l'action élémentaire indivisible, c'est le fameux quantum d'action. Elle vaut, dans l'unité internationale d'action, le joule.seconde :

$$h = 0,000663$$

$(h = 6,63 \cdot 10^{-34})$

C'est minuscule et les flous quantiques sont rigoureusement imperceptibles dans la vie de tous les jours, par exemple sur la boulette de pain. Même la poussière la plus impalpable, d'une masse de l'ordre de  $10^{-10}$  kg, y est insensible. En effet, les moyens les plus sophistiqués actuellement disponibles ne permettent pas de la localiser à mieux qu'un angstrom ( $10^{-10}$  m), en gros la taille d'un atome. Le flou quantique sur sa vitesse est alors inférieur à  $10^{-13}$  m/s. Ce n'est pas mesurable.

Par contre, sur un électron dont la masse est de  $10^{-30}$  kg, les conséquences sont spectaculaires : prenons un atome avec son noyau et ses électrons ; la vitesse d'un électron d'un atome doit être inférieure à celle qui lui permet d'échapper à l'attraction du noyau de l'atome, sinon l'atome n'est plus. Cette vitesse est de l'ordre du million de mètres par seconde. L'incertitude sur la vitesse de

cet électron est donc au plus égal à cette valeur de  $10^6$  m/s. Le flou sur sa position est donc au minimum de l'ordre de  $10^{-10}$  m. C'est à dire la taille de l'atome ! *L'électron peut se trouver n'importe où dans le volume de son atome !* On ne peut évidemment plus parler de la trajectoire de l'électron, de son "orbite", mais uniquement de sa **probabilité de présence** à l'intérieur de l'atome.

Le savant russe Gamow (voir "ScintillationS" n° 19), que beaucoup considèrent comme un des grands de la vulgarisation a, dans un merveilleux petit bouquin : "*M. Tompkins au pays des merveilles*" (Dunod), dont s'inspire largement ce texte, imaginé un "monde quantique" où la constante de Planck est  $10^{27}$  fois plus grande, ce qui soumet aux lois quantiques tous les objets quotidiens. Il n'y a que des "*bouillies de trajectoires*", une boule de billard n'est plus vue comme une seule boule mais comme "*un grand nombre de boules qui se pénètrent partiellement, et qui sont surtout à un endroit et en partie ailleurs*". Il arrive même que l'on



ne sache pas très bien de quel côté de la porte de son garage se trouve une voiture, tant on a l'impression qu'elle passe au travers sans la casser. Ce phénomène de passe-muraille, hautement improbable dans notre monde ordinaire puisque seuls les fantômes, dit-on, en sont capables, est courant dans le monde corpusculaire. De nature purement quantique, il porte le nom **d'effet tunnel...**

L'article de Jean-Luc Sida, voir page 2,3 et 4, en donne un superbe exemple : la fusion sous-coulombienne. Deux noyaux atomiques peuvent fusionner même si leur vitesse relative est inférieure à celle qui leur est nécessaire pour vaincre la répulsion qu'ils exercent électriquement l'un sur l'autre et qu'on appelle la "*barrière coulombienne*". En physique classique, c'est évidemment impossible. Pour franchir l'ondulation d'un tapis et choquer la bille qui est derrière,

une bille doit avoir une vitesse suffisante, sinon elle n'atteint pas la crête, redescend et repart dans l'autre sens. Elle a rebondi contre la barrière. Mais ces billes quantiques que sont les noyaux atomiques n'ont pas une extension spatiale parfaitement définie comme une bille classique. Ils se caractérisent, comme tout objet quantique, par une "*distribution de probabilité de présence*". C'est ce qui permet à Gamow, qui simplifie bien-sûr énormément, d'écrire que les billes quantiques sont "*surtout à un endroit et en partie ailleurs*". Un noyau dont la vitesse est un peu faible pour franchir la barrière - on dit alors que son énergie cinétique est "*sous-coulombienne*" - rebondit en partie, mais "*une partie de son extension spatiale déborde à l'intérieur de l'obstacle*" (Balibar et Lévy-Leblond dans "Quantique, rudiments", éditions du CNRS). Et finalement, la bille quantique se retrouve de l'autre côté de la barrière. Elle l'a traversée comme par un tunnel. Le don d'ubiquité partielle des objets quantiques leur permet de se transporter là où, classiquement, on ne les attend pas.

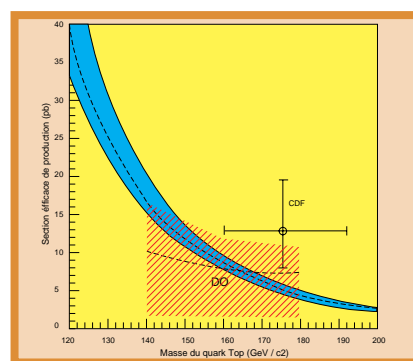
L'effet tunnel est omniprésent dans les phénomènes physiques mettant en jeu atomes, électrons, noyaux et autres bestioles quantiques. Un exemple bien connu est la radioactivité  $\alpha$  qui n'est autre que l'émission de noyaux d'hélium 4 (agrégats de deux protons et deux neutrons, appelées aussi particules  $\alpha$ ) par un gros noyau ; c'est l'effet tunnel qui permet à ces particules  $\alpha$  de s'évader malgré l'attraction que leur impose leur "noyau d'attache". Dans une toute autre discipline, l'électronique, de nombreux dispositifs sont basés sur la possibilité pour un électron de franchir, par effet tunnel, des zones interdites par la physique classique, la probabilité du franchissement étant étroitement liée aux caractéristiques des dites zones. Il existe même un microscope électronique extrêmement performant fonctionnant sur le principe de l'effet tunnel. Paradoxe : les lois quantiques, qui imposent le flou, permettent pourtant de voir encore plus net ! C'est beau, la Physique... Enfin, n'oublions pas la rencontre Mitterrand-Thatcher dans le tunnel sous la Manche, contact historique mais que beaucoup jugèrent hérétique : au départ, la répulsion était de taille. Alléluia! Chantons un quantique d'espoir!..

Joël Martin (SPHn)

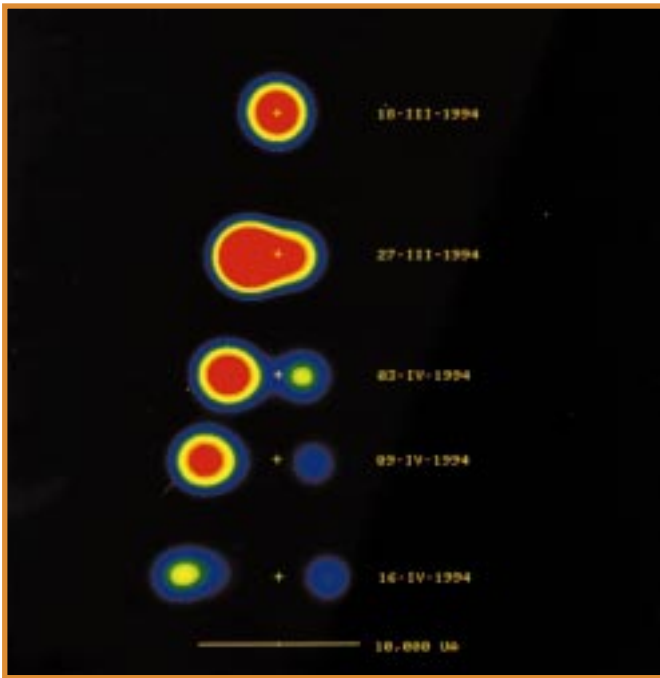
## LE FILET SE RESSERRE SUR LE QUARK TOP

Depuis le numéro 19 de "ScintillationS", la situation concernant la découverte éventuelle du quark top a légèrement évolué. La collaboration D0 (à laquelle participe le DAPNIA) qui alors n'était pas en mesure de confirmer les résultats présentés comme positifs par la collaboration CdF, a procédé à une nouvelle analyse de ses mesures et présente maintenant un résultat compatible avec une observation du quark top. La situation, telle qu'elle se présentait lors de la conférence internationale de Glasgow de l'été dernier, est représentée sur le diagramme de la figure qui représente la section efficace (reliée à la probabilité) de production du quark top en fonction de sa masse. Il y apparaît que la théorie, les résultats de CdF et ceux de D0 ne sont pas incompatibles. A suivre ...

Gilles Cohen-Tannoudji (SPP)



## UN RECORD DE VITESSE GALACTIQUE



Images successives (du 27 mars au 30 avril) du déplacement apparent des boules de matières éjectées par GRS 1915+105. La boule de gauche se rapproche, celle de droite s'éloigne dans la direction opposée. L'angle avec la ligne de visée est de l'ordre de 70°. La distance entre les deux boules du bas de la photo est d'environ 2,5 mois-lumière, soit environ 780 milliards de kilomètres ou encore 5000 fois la distance Terre-Soleil.

**Fin mars début avril 1994, Félix Mirabel, du SAp et Luis Rodriguez, de l'Observatoire National de Radio-Astronomie des Etats-Unis, ont, pour la première fois, grâce au grand radiotélescope interférométrique VLA de Socorro (Nouveau Mexique), observé en action, au sein de la Voie Lactée notre bonne vieille Galaxie, à "seulement" 40.000 années-lumière, un de ces objets massifs cracheurs violents de matières cosmiques que les astronomes n'avaient jusqu'ici détectés qu'aux confins de l'univers.**

Un beau jour de printemps, donc, nos deux observateurs qui surveillent de près cet objet, décelé en août 1992 par le satellite franco-russe GRANAT équipé du télescope SIGMA (dont la caméra à rayonnement gamma a été réalisée au SAp), et baptisé du doux nom de "GRS 1915+105", le "voient" éjecter dans deux directions opposées deux énormes boules de feu (un tiers de la masse de la Lune) à une vitesse abracadabrante : un mois plus tard, une des deux boules, celle qui se rapproche de nous, semble se trouver à 1,25 mois-lumière de son

point de départ. Or, par définition, la lumière met un mois pour parcourir un mois-lumière. Doit-on en conclure que cette boule voyage à 1,25 fois la vitesse de la lumière, soit 375.000 kilomètres par seconde? Einstein va-t-il se retourner dans sa tombe, lui qui, dans sa célèbre théorie de la Relativité ( $E=mc^2$  et le toutim) a établi qu'aucun objet possédant une masse ne peut dépasser ni même atteindre la vitesse de la lumière?

Rassurez vous, âmes sensibles, le génial Albert ne sera pas inquiet : il ne s'agit pas d'un poisson d'avril co(s)mique mais d'une illusion (voir le glossaire). La vitesse réelle est tout de même considérable : 92% de celle de la lumière, soit 276.000 km/s. C'est le record de vitesse dans notre Galaxie (si on excepte certains rayons cosmiques et, naturellement, les photons). Ce phénomène rarissime met en jeu des énergies inimaginables, de l'ordre de celles de cent millions de soleils!

Quel objet cosmique est capable d'une pareille débauche d'énergie? L'hypothèse actuellement retenue est celle d'un système double : une étoile très massive, (étoile à neutrons?) ou un trou noir, en train de phagocytter petit à petit une autre étoile qui a le malheur d'être sa voisine. Mais ce boulimique a une digestion difficile et sporadiquement, en de monstrueux hoquets, il recrache ce qu'il n'a pu avaler, avec une violence telle que les débris sont propulsés à des vitesses quasi-luminiques.

Il s'agit là d'une observation capitale. GRS 1915+105 a eu, pour la deuxième fois en deux ans les honneurs de la prestigieuse revue "Nature", et de sa page de couverture (que reproduit "ScintillationS", grâce à la bienveillance de Félix Mirabel). C'est une fabuleuse aubaine pour les astro-

physiciens que d'avoir quasiment sous la main un tel "éjecteur relativiste". Ils vont pouvoir le scruter sous toutes ses coutures avec le vif espoir d'élucider grâce à lui une des énigmes cosmiques majeures : la provenance des fameux "sursauts gamma", mystérieuses et soudaines bouffées de photons dont l'énergie dépasse le million d'électron-volt. Ils espèrent aussi que ces chauffards de l'espace vont provoquer quelques belles collisions cosmiques riches d'observations potentielles et d'enseignements, permettant de vérifier voire de peaufiner bien de leurs théories.

**GLOSSAIRE** - Les observateurs terrestres voient le 30 mars, une boule en un point précis de l'espace ; le 30 avril, ils voient la même boule à 1,25 mois-lumière de ce point. Ils ont reçu deux images successives de la boule à un mois d'intervalle. Mais cette durée n'est qu'apparente : un observateur voyageant sur la boule aurait vu réellement émettre ces deux mêmes images à plus d'un mois d'intervalle. Cette différence entre cadence de réception et cadence d'émission paraît aberrante, mais s'explique par le fait que la source émettrice (la boule) se rapproche du récepteur. Imaginons un stade. Un joueur lance une balle toutes les secondes, toutes à la même vitesse, à un partenaire immobile vers lequel il court. Au temps zéro, le joueur lance sa première balle et s'élanche. L'autre la reçoit au bout de, mettons, 10 secondes. Lorsque part la deuxième balle une seconde après la première, le lanceur s'est rapproché de son compère. La balle a moins de chemin à faire, elle le parcourt en moins de 10 secondes, et donc le réceptionniste l'attrape moins d'une seconde après la première. Deux balles émises à une seconde d'intervalle sont ainsi reçues à moins d'une seconde d'intervalle. C'est en gros ce qui est arrivé à nos astronomes qui n'ont pas eu la berlue : l'intervalle de réception d'un mois correspond à un intervalle d'émission de plus d'un mois. Conséquence : la boule a mis plus d'un mois, exactement 1,359 mois, pour parcourir 1,25 mois-lumière. Elle va donc moins vite que la lumière. Dors en paix, grand Albert!

(Joël Martin, porte-parole de "ScintillationS")

## BRÈVES ... BRÈVES ...

## DIX ANS DE BONS ET LOYAUX SERVICES

Après un peu plus de dix années de fonctionnement quasiment ininterrompu, l'aimant supraconducteur construit par l'ex-STIPE pour le spectromètre médical installé au SHFJ (Service Hospitalier Frédéric Joliot-Curie), à Orsay, vient d'être arrêté en septembre 1994.

C'est au premier trimestre 1984 que cet aimant a été mis à la disposition de ses utilisateurs ; ses principales caractéristiques : un champ magnétique de 2 teslas dans une ouverture chaude de 530 millimètres sur une longueur d'environ 2 mètres. Grâce à la présence de plusieurs enroulements de correction supraconducteurs et à un fonctionnement de tous les enroulements en mode persistant (ils sont chacun bouclés sur eux-mêmes par un court-circuit supraconducteur), cet aimant possède une très grande homogénéité de champ magnétique (de l'ordre de  $10^{-7}$  dans un diamètre de 20 mm). Une des grandes qualités que lui ont reconnues ses utilisateurs, outre sa fiabilité, est sa très grande stabilité ( $1,2 \cdot 10^{-6}$  sur 30 jours), largement supérieure à celle des aimants industriels aujourd'hui.

Pendant sa période de fonctionnement, cet appareil a permis l'étude du métabolisme du glycogène et des maladies musculaires et métaboliques, essentiellement à partir du carbone 13 des muscles et du foie, et du phosphore musculaire.

Maintenant dépassé en champ et en ouverture par le nouvel aimant dont dispose le SHFJ, l'ancêtre est cependant toujours disposé à reprendre du service si besoin est.

*Jacques Pérot (chef du STCM)*



## VA-ET-VIENT

**1er juillet 1994** - Christophe Royon est recruté au SPP.

**1er août 1994** - Embauches d'Arnaud Claret au SEA et de Thierry Pussieux (voir n°20 p. 8) au SPhN

Patrick Davignon et Jean Pape quittent le SIG. Le premier pour Cadarache (DRS/Dir), le second pour la DC/CSCE/SRI, Saclay.

Joseph Jouannic (DAPNIA/Dir) part en retraite.

**1er septembre 1994** - Odile Lebey (DAPNIA/Dir), notre si efficace et disponible documentaliste prend sa retraite qu'on présume pleine d'excellentes lectures. Pour beaucoup d'entre nous, Odile reste une idole... Elle est remplacée par le non moins talentueux et sympathique Jean-Claude Scheuer, le roi du W3 (membre du comité éditorial de "ScintillationS", il prépare un article sur ce merveilleux outil informatique)

Dominique Lucius quitte le SEI pour l'IPSN/DPEI/SERAC

Danièle Pénicaud passe de DAPNIA/Dir à la DSM.

## PAN ! SUR LE BECQUEREL !

Une malheureuse bévue a transformé en frais émoulu embauché le chevronné André Lameule (STCM), parti le 1er juin dernier jouir d'une retraite bien méritée. Outre ses plus plates excuses, le coupable tient une bonne bouteille, bâtiment 703, pièce 6, à la disposition de sa victime.

## NOMINATIONS

A compter du 1er novembre 1994, Catherine Césarsky, qui précéda Laurent Vigroux aux commandes du SAP est nommée à la tête de la DSM. Cette nomination porte à quatre le nombre des directeurs féminins au CEA. Mais gageons que la directrice Catherine Césarsky continuera de suivre l'expérience "MACHO. Et, bien-sûr, ISO-CAM et les autres... Elle remplace Robert Aymar qui retourne à temps plein à ses premières amours : la fusion thermonucléaire contrôlée (il fut chef du projet Tore-Supra). En effet, il succède à un autre Français, Paul-Henri Rebut, comme directeur du projet quasi-planétaire ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) porté par les États-Unis, le Japon, la CEI et 14, bientôt 15 pays d'Europe auxquels est associé le Canada. Son intérim était assuré depuis le 15 septembre 1994 par Pierre Bergé, chef du DRECAM.



Philippe Leconte a quitté ses fonctions de chef du SGPI le 1er novembre 1994 et devient l'un des directeurs de l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble. Il est remplacé par Bernard Peyaud (SPP), porte-parole de l'expérience "NA48" (voir la plaquette du DAPNIA). Bonne chance à tous les deux

*(Sabine Cantet, SGPI)*



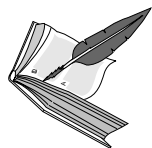
## VISITES DE LABOS

Le SGPI a organisé pour ses agents une visite du Ganil le 27/09/94 à Caen. Quarante quatre d'entre eux ont pu voir l'accélérateur et les salles d'expérimentation, notamment le spectromètre à haute résolution SPEG et le détecteur INDRA, sous la houlette de MM. Thirel et Fournier, du Ganil. Un grand merci, ainsi qu'à nos guides MM. Gudewicz, Lécorché et Sénécal pour leur gentillesse et leur compréhension.

(Sabine Cantet, SGPI)

## REMERCIEMENTS

L'équipe de la plaquette "DAPNIA 93-94" adresse ses remerciements émus aux nombreuses personnes qui ne tarissent pas d'éloges sur cette réalisation. Il est doux de voir nos efforts ainsi récompensés. Cette plaquette est appelée à des réactualisations périodiques. Toutes les critiques et suggestions pour l'améliorer sont bien-sûr vivement souhaitées. Elle comporte hélas quelques coquilles que nous corrigerons dans le prochain numéro de "ScintillationS".



## - LES PLUMES DU DAPNIA .....

Le 8 décembre 1993, se tenait au Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, rue Descartes, la première d'une série de rencontres "*Physique et Interrogations Fondamentales*" qu'organise la Division Champs et Particules de la Société Française de Physique (SFP), parrainées par ledit Ministère, les revues "Ciel et Espace" et "La Recherche" ainsi que "Libération". Thème de cette première rencontre : "*Le Temps et sa flèche*". Sont intervenus des physiciens, bien sûr, mais aussi des biologistes, des philosophes. Deux conférenciers représentaient le DAPNIA : Gilles Cohen-Tannoudji (SPP) qui, avec Maurice Jacob, s'est penché sur "le temps des processus élémentaires", et Marc Lachièze-Rey (SEA) à la recherche du temps cosmique (c'est d'ailleurs le titre de sa conférence). Il était tentant de prendre le temps de rassembler leurs interventions dans un livre. C'est chose faite. Même si votre temps est compté, prenez celui de le lire, vous ne le gaspillerez pas : c'est un bouquin épatemps...

**"Le Temps et sa Flèche"**  
(édité par Etienne Klein et Michel Spiro)  
Editions Frontières

On peut acheter ce livre pour la modique somme de 0,13 Kf en contactant Maryline Albéra (Bât. 703, Pièce 162, tél. 82 78) où des exemplaires sont déposés par l'éditeur.

Le 27 octobre est paru chez Flammarion, dans la collection "Dominos", un essai des astrophysiciens Marc Lachièze-Rey (SAP) et Jean-Pierre Luminet (Observatoire de Meudon), auteurs avec Laure Delesalle du film "Infiniment courbe" :

### "La Physique et l'Infini"

L'Infini, l'infini des profondeurs insondables, l'infini de l'Eternité, l'infini du Néant effraye les métaphysiciens... Pour les physiciens, l'infini, être mathématique à manipuler avec précautions, est au centre de leurs préoccupations. Nous le savons bien, au DAPNIA, avec notre fameuse trinité de l'infiniment petit, l'infiniment grand, l'infiniment complexe. Par de judicieuses et savantes approximations, les théoriciens éliminent sans cesse et sans fin l'infini de leurs calculs et de leurs modèles. Mais, disent les auteurs, "*Tel le Phénix, l'infini ne cesse de renaître de ses cendres*". On n'en a jamais fini avec l'infini!

Roy Aleksan (SPP) est nommé porte-parole adjoint de l'expérience "Babar" (voir la plaquette). Comme le PS, notre département a aussi ses éléphants...

## LA PHYSIQUE AUTOUR DE RENÉ TURLAY

Jeudi 24 novembre 1994, de 9 heures à 13 heures, le DAPNIA organise un Symposium en l'honneur de René Turlay.

Expérimentateur en physique des particules élémentaires, participant actuellement à l'expérience NA48 au CERN (voir la Plaquette et le n° 13 de "ScintillationS"), René Turlay a été le chef du DPhPE de 1983 à 1991, puis a été le premier à assurer la direction du DAPNIA lors de la création de notre département.

Au cours de ce symposium auquel tous les membres du DAPNIA sont invités, des personnalités scientifiques parmi lesquelles figure James W. Cronin, prix Nobel de physique, évoqueront divers développements de la physique des particules qui se rattachent aux travaux d'André Turlay.

Jacques Haissinski (DAPNIA/DIR)

## SUPPLIQUE

Gentils auteurs, n'attendez pas le dernier moment pour livrer vos œuvres, photos et légendes, et ce directement au porte-parole, Joel Martin B<sup>t</sup> 703, Tel : 7388.

## Ecrivez...

## Ecrivez...

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

### CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

#### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques Haissinski

#### COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël Martin (porte parole),  
Claire Antoine, Françoise Auger, Pierre Besson,  
Daniel Bonnerue, Michel Bourdinaud,  
François Bugeon, Gilles Cohen-Tannoudji,  
Bertrand Cordier, Pierre Lamare,  
Claude Lesmond, Elizabeth Locci,  
Marc Sauvage, Jean-Claude Scheuer

#### RÉDACTION :

Maryline Albéra

#### MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Henry de Lignières  
Sandrine Gregoire

Dépôt légal : novembre 1994