

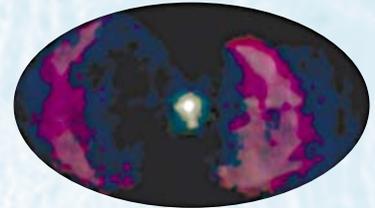
## SON ET LUMIÈRE DANS L'UNIVERS

*Astronome est l'un des plus vieux métiers du monde. L'observation du ciel a commencé il y a plusieurs milliers d'années, d'abord à l'œil nu, puis avec des instruments d'optique de plus en plus puissants. Mais jusqu'à une époque récente, les astronomes ne scrutaient l'univers que par une minuscule fenêtre puisque les photons visibles ne sont qu'une infime plage de l'ensemble du « spectre » des photons. Le champ d'observation s'est petit à petit élargi à d'autres longueurs d'ondes de part et d'autre du visible : aux énergies inférieures avec les ondes radio et l'infrarouge, et supérieures avec l'ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma.*

*Ces photons sont émis depuis la nuit des temps par toutes sortes d'objets cosmiques. Ils sont émis dans toute la gamme des longueurs d'onde. Les processus d'émission dépendent de la nature des émetteurs. Détecter et analyser les photons émis est une mine d'informations sur ces processus et sur les émetteurs eux-mêmes : astres, nuages interstellaires, particules de rayons cosmiques, trous noir etc.*

*En médecine, pour examiner un corps vivant, on a les rayons X (photons), l'échographie (ultrasons), l'IRM (ondes radio « hyperfréquences »). La meilleure observation, la plus fine, la plus riche d'enseignements s'obtient par la synthèse des trois précédentes. En astrophysique, c'est un peu la même chose. On connaîtra mieux un corps céleste en l'observant sous plusieurs « éclairages ».*

*Le télescope Hubble donne de merveilleuses images avec des photons visibles. Mais il manque tout ce qui est caché derrière les nuages cosmiques. Alors les rayons infrarouges arrivent à la rescousse, capables de percer ces rideaux de gaz et de poussières. Ainsi, le détecteur Visir a pu voir le centre de notre galaxie et bien d'autres objets avec une précision sans précédent.*



La nébuleuse planétaire Mz-3 vue par Visir

*Pour observer des objets aux confins de l'univers, ou pour décortiquer les processus physiques en jeu dans les sources cosmiques les plus puissantes, ou encore pour détailler certains rayonnements galactiques ou extragalactiques, on fait appel aux rayons gammas. Ainsi, Intégral, et sa caméra Isgri, un pur produit Dapnia, vient de percer un vieux mystère, celui du « fond diffus » du centre de la Voie lactée. Là où auparavant on ne voyait qu'une sorte de brouillard rayonnant, Isgri a vu que ce rayonnement venait en réalité de 91 sources ponctuelles.*

*Et l'échographie dans tout ça ? En tant qu'analyse par ondes acoustiques, elle a un rapport lointain mais certain avec l'étude du Soleil. En effet, les « héliosismologues » étudient l'intérieur du Soleil en délabrynthant la multitude de sons qui émergent de notre étoile. Comme ces sons ne se transmettent pas dans le vide, on « écoute » le soleil en le regardant en mesurant les déplacements de la surface solaire agitée par l'émergence de ces ondes. Parmi ces ondes, il en est qui renseignent sur le cœur profond de notre étoile. Mais elles sont effroyablement difficiles à capter et à analyser. Ce sont les ondes de gravité. L'appareil Golf embarqué sur le satellite SoHO vient vraisemblablement de détecter de telles ondes pour la première fois.*

*Ce numéro de ScintillationS se penche sur ces trois « premières » astrophysiques où le Dapnia, en particulier le SAp et maints services d'instrumentation, jouent un rôle majeur.*

*Novateur dans tous ses domaines d'activités, le Dapnia vient de s'illustrer dans la saga d'une nouvelle particule : un étrange et gros baryon gorgé de cinq quarks au lieu des trois habituels (ce sera dans notre numéro 64). L'existence de cet abracadabrantique pentaquark, prévue par des Russes, a été prouvée expérimentalement par des Japonais d'Osaka, en 2003. Elle vient d'être confirmée de façon plus fiable par d'autres laboratoires, dont le laboratoire Jefferson en Virginie, par une équipe internationale à laquelle participe très activement le Dapnia..*



*Souhaitons lui longue vie car tant d'énigmes demeurent ! Ainsi, certains rayonnements cosmiques restent complètement inexplicés. Les hypothèses les plus originales fleurissent. Et s'ils venaient de la matière noire ? Et si des particules inconnues étaient la clé de l'énigme ?*

*Cherchons de nouvelles particules. Elles contribuent peut-être à « cette obscure clarté qui tombe des étoiles »...*

# La première lumière de Visir

*L'infrarouge des poussières cosmiques*

**Installé avec une impressionnante facilité, sans la moindre anicroche, au foyer de « Melipal », l'un des quatre télescopes géants<sup>1</sup> de l'Observatoire européen austral (ESO), au Chili, Visir, entièrement conçu et réalisé par le Dapnia (SAp et SIS) et Astron, un institut néerlandais<sup>2</sup>, vient de livrer ses premières images.**

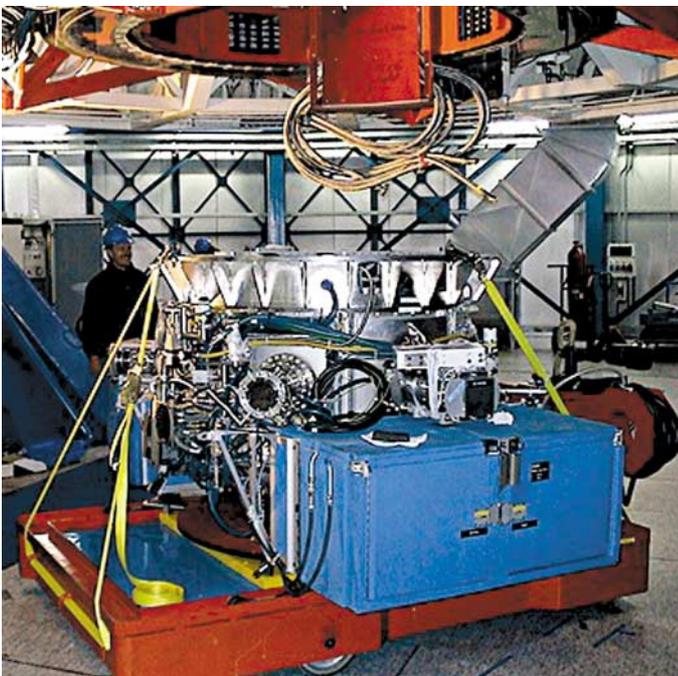


Saturne vu en infrarouge ©ESO/SAP

Voué à l'observation des poussières cosmiques et à l'analyse de leurs émissions de lumière infrarouge (*encadré*), Visir est un double instrument, « imageur » et « spectromètre ». Imageur par ses caméras ultra sensibles et d'une précision exceptionnelle dans cette gamme d'observation. Spectromètre, car, comme dans un arc-en-ciel, il décompose la lumière en ses différentes longueurs d'onde et mesure leurs intensités respectives. Il peut en outre détecter des éléments chimiques du cosmos en analysant leurs « raies d'émission » avec une très grande finesse de résolution. Capable de distinguer deux raies qu'un autre appareillage verrait confondues, Visir possède un pouvoir d'analyse chimique particulièrement remarquable.

Ce « don de double vue » est fantastiquement magnifié par Melipal, télescope géant de 8,2 mètres de diamètre au foyer duquel Visir observe et mesure. Une exceptionnelle sensibilité et une très grande finesse de résolution alliée à un énorme grossissement, telle est donc l'originalité du couple Visir-Mélpal. Les astrophysiciens en attendent une foultitude d'informations inédites, dans des domaines aussi variés que les queues de comètes, la formation des étoiles et des planètes, ou l'analyse des rayonnements issus des noyaux actifs de galaxies.

Contact SAp : Pierre-Olivier Lagage (01 69 08 39 12) et Éric Pantin (01 69 08 61 30)



Visir ©ESO/SAP



Visir au foyer de « Melipal » ©ESO/SAP

- (1) En anglais : Very Large Telescope (VLT, pour les intimes), ensemble de quatre énormes télescopes de 8,2 mètres de diamètre.
- (2) Visir (acronyme de « VLT Imager and Spectrometer in the InfraRed » ou « Imageur et Spectromètre InfraRouge pour le VLT », voir *ScintillationS* n° 20 et 32), est le fruit d'un consortium sous contrat avec l'ESO qui comprend le Dapnia et Astron, la Fondation néerlandaise pour la recherche en astronomie de Dwingeloo, aux Pays-Bas. Le SAp est maître d'œuvre et responsable scientifique. Le SIS a assuré une part essentielle du développement du mécanisme cryogénique original conçu au SAp. Astron a réalisé le spectromètre.
- (3) Les étoiles se forment à partir de molécules de gaz et de poussières interstellaires qui s'agrègent par attraction mutuelle due à la gravitation. Étudier ces nuages de poussières et de gaz, c'est en savoir plus sur ces véritables cocons d'étoiles. *Idem* pour les planètes enfantées dans les disques de poussières entourant un « soleil ».

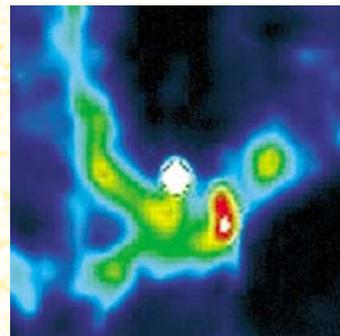
## Voir infrarouge pour traverser le rideau de poussières

On peut voir clair la nuit avec des « lunettes infrarouge », sensibles au rayonnement émis par la chaleur des objets. En astronomie, c'est quelque peu différent, mais le principe est le même. Pointez un télescope sur le centre de la Galaxie, par exemple. Si vous l'observez en lumière visible (du violet au rouge\*), aussi puissant soit votre télescope, vous ne verrez qu'un rideau de fumée ou plutôt de poussières et de gaz interstellaires bouchant la vue du centre galactique. Mais si vous remplacez votre œil par un appareil photo ou une caméra sensibles aux rayonnements de plus grande longueur d'onde, donc de plus faibles fréquence et énergie que le rouge (d'où le nom d'« infrarouge »), le rideau continue de faire écran, mais l'écran révèle des détails invisibles en lumière visible.

Cela vient d'une succession de phénomènes : la poussière cosmique absorbe le rayonnement des objets alentour et s'échauffe. Puis elle se refroidit en émettant un rayonnement infrarouge dont les caractéristiques dépendent étroitement des poussières elles-mêmes (taille et nature des grains) et des conditions de leur irradiation. Ces conditions dépendent elles-mêmes étroitement de la nature des sources irradiantes. Ainsi, plus finement on analysera ce rayonnement infrarouge, plus on en saura sur les poussières elles-mêmes (et sur les gaz interstellaires), mais aussi sur les objets qu'elles masquent.

Les caméras de Visir captent la lumière dans l'« infrarouge moyen » de longueur d'onde comprise entre 8 et 28 micromètres (8 à 28  $\mu\text{m}$ \*\*). Ce domaine est particulièrement intéressant pour étudier la poussière « chaude » portée à des températures comprises entre -200 et 300 °C. Cette poussière est présente autour de nombreux astres, objets proches liés à notre système solaire (planètes et comètes), ou objets extrêmement lointains comme certains quasars. Elle abonde aussi dans les régions où se forment les étoiles (Voir aussi *ScintillationS* n° 58).

Joël Martin (SPHN)



©ESO/SAP



©ESO/SAP

Invisible en lumière ordinaire qu'absorbent les poussières qui l'entourent, voici le centre de notre Galaxie vu par le radiotélescope du Very Large Array (VLA) (en haut) à la longueur d'onde radio de 3.6 cm, et par Visir (en bas). Le côté de chaque carré pris à une distance de 32 000 années-lumière est de 5 années-lumière.

\* La lumière est visible quand sa longueur d'onde est comprise entre 0,4  $\mu\text{m}$  (violet) et 0,75  $\mu\text{m}$  (rouge).

\*\* Plus précisément, Visir travaille sur deux « bandes » : 8-13,5  $\mu\text{m}$  et 17-28  $\mu\text{m}$ . C'est parce que l'atmosphère est particulièrement transparente aux infrarouges ayant ces longueurs d'ondes. Ainsi, malgré l'écran atmosphérique handicapant tout appareil au sol (envers de la médaille, le gigantesque VLT est trop lourd pour être satellisé), le couple Visir-Melipal réussit l'exploit de fournir des images souvent plus précises que bien des équipements satellisés. Ainsi se complètent observations en orbite et au sol. Un autre handicap pour un détecteur infrarouge, c'est la « pollution » du rayonnement dû à la chaleur de tout ce qui l'entoure. Visir s'en affranchit en grande partie car il est refroidi à 23 degrés au dessus du zéro absolu (23 kelvins), et même à 5 K pour les caméras. Le SIS a, pour cela, développé des dispositifs cryogéniques originaux.

## Intégral dissipe le brouillard gamma

Et découvre de nouvelles sources dans la Voie lactée

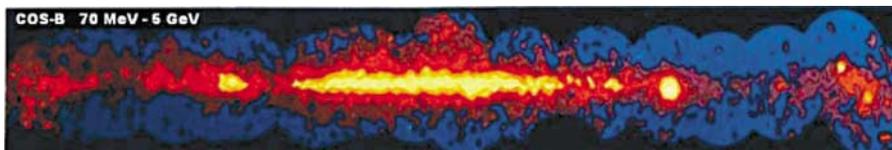
Un peu plus d'un an après son lancement, le satellite Integral (voir *ScintillationS* n° 13, 41, 52) vient de résoudre une énigme concernant l'émission gamma de notre Galaxie, la Voie lactée. Il y a près de trente ans on découvrait que le disque de notre galaxie émettait une énorme quantité de rayons gamma, sorte de super-lumière. Mais on n'avait pas pu en déterminer l'origine. On pensait que les rayons gamma se répartissaient de façon diffuse, comme un brouillard, et provenaient peut-être d'interactions de particules rapides avec le milieu interstellaire. Mais aucune théorie n'expliquait la très forte intensité de ce rayonnement.

Integral vient de percer le mystère grâce à la puissance et à la précision de sa caméra Isgri, entièrement réalisée au Dapnia. Une équipe de neuf laboratoires européens dirigée par François Lebrun (SAP) vient de prouver que ce brouillard gamma était une illusion : les images d'Isgri révèlent que près de 90% de l'émission gamma provient en réalité de 91 sources ponctuelles, pour la plupart inconnues jusqu'alors.

### Une énigme vieille de 30 ans

Il y a plus d'un demi-siècle, des astrophysiciens prédisaient déjà que les interactions entre le gaz interstellaire et le rayonnement cosmique, ce flot continu de particules très rapides qui sillonnent notre Galaxie, produisaient un fort rayonnement gamma. Mais il fallut attendre les années 1970 pour que le satellite scientifique européen COS-B fournisse la première carte du rayonnement gamma de la Voie lactée. Les rayons gamma les plus énergiques, frisant ou dépassant les cent millions d'électronvolts<sup>1</sup> (voir *ScintillationS* n° 62), proviennent de façon diffuse du disque de la Galaxie où se concentre le gaz interstellaire, comme le prévoient les astrophysiciens (*photo 1*). Mais la situation se révèle bien plus complexe aux énergies frontière entre les rayonnements X et gamma (d'une dizaine de milliers à quelques centaines de milliers d'électronvolts).

**Photo 1** – Répartition de l'émission par la Voie Lactée de rayons gamma d'énergie supérieure à 70 MeV obtenue en 1981 par le satellite européen COS-B. L'émission est concentrée sur le disque horizontal de la galaxie (diché ESA).



(1) Un électronvolt (1 eV) est l'énergie communiquée à un électron soumis à une tension de 1 volt. Il est égal à  $1,6 \cdot 10^{-19}$  joule, unité d'énergie du système international (SI). Les rayons (ou photons) de lumière visible ont une énergie de l'ordre de l'eV. Les rayons X vont de quelques dizaines à quelques dizaines de milliers d'électronvolts et les rayons gamma s'étendent au delà.

En 1986, l'expérience française *Sigma*, le premier télescope capable de produire des images dans ce domaine d'énergie, révéla en effet une dizaine de sources en direction des régions centrales de la Voie lactée, toutes associées à des systèmes doubles d'étoiles contenant un astre compact (trou noir ou étoile à neutrons). Mais l'ensemble de ces sources produisait seulement la moitié du flux total observé. Pendant des années, des études théoriques se sont succédées tentant d'attribuer au milieu interstellaire cette mystérieuse émission. Toutes se sont heurtées à de graves difficultés car l'émission gamma est si énergétique qu'elle requiert l'interaction de particules cosmiques d'énergie supérieure au milliard d'électronvolts. De telles particules devraient être source d'ondes radio intenses, qui n'ont jamais été observées<sup>1</sup>.

### Une sensibilité et un piqué inégalés

Le mystère était donc enfin fin 2002 lorsque le satellite *Integral* a été mis en orbite. Cet observatoire européen, voué à

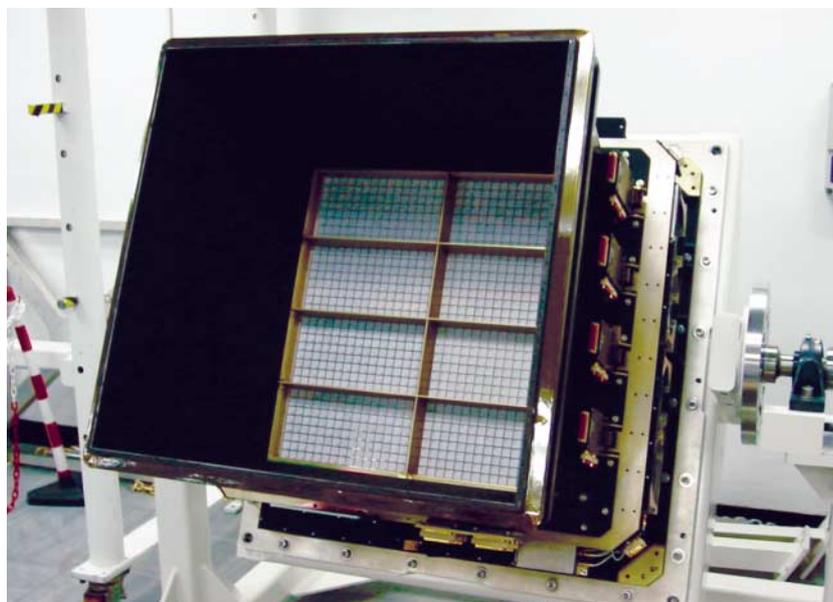


Figure 1. La caméra Isgri (en blanc) au fond de son blindage de tungstène (en noir) prise avant qu'on ne l'intègre à Ibis.

l'observation de l'émission gamma de basse énergie du ciel, emporte le télescope à masque codé *Ibis*, héritier de *Sigma*, dont l'élément clef est la caméra *Isgri*<sup>2</sup> - première mondiale - car elle est faite de détecteurs semi-conducteurs en tellure de cadmium non refroidis.

Cette caméra de nouvelle génération donne à *Ibis* une exceptionnelle sensibilité pour détecter des sources très faibles et une finesse d'image sans précédent, avec des temps de pose 100 fois plus courts que ceux de *Sigma*. *Isgri* offre un champ de vue quatre fois plus grand (19x19 degrés carrés soit près de 40 fois le diamètre du Soleil). Mais l'atout principal d'*Isgri* est sa haute résolution lui permettant de distinguer deux sources que séparent seulement 13 minutes d'arc (un peu moins de la

moitié du diamètre du Soleil vu de la Terre). Bien que modeste par rapport aux résolutions obtenues en lumière visible ou en rayons X (1 seconde d'arc soit moins d'un millième du diamètre solaire), cette résolution, deux fois plus fine que celle de *Sigma* et plus de dix fois meilleure que celles des instruments antérieurs, est un record en astronomie gamma.

Ces performances allaient créer la surprise...

### Un faux brouillard

*Integral* a observé une vaste région autour du centre de la Galaxie durant le printemps et l'automne 2003, pendant environ deux mois. La mosaïque des images réalisées par *Isgri* a permis de dresser une carte complète du rayonnement gamma de basse énergie dans une région d'environ 100°x70°. Et là, surprise : aucune trace du brouillard gamma attendu ! À sa place, une myriade de points lumineux, comme si on regardait à travers une vitre dont on a fini d'effacer la buée. Pas moins de 91 sources différentes ont pu être isolées, responsables d'environ 90% du rayonnement total reçu par la caméra.

### L'énigme des nouvelles sources

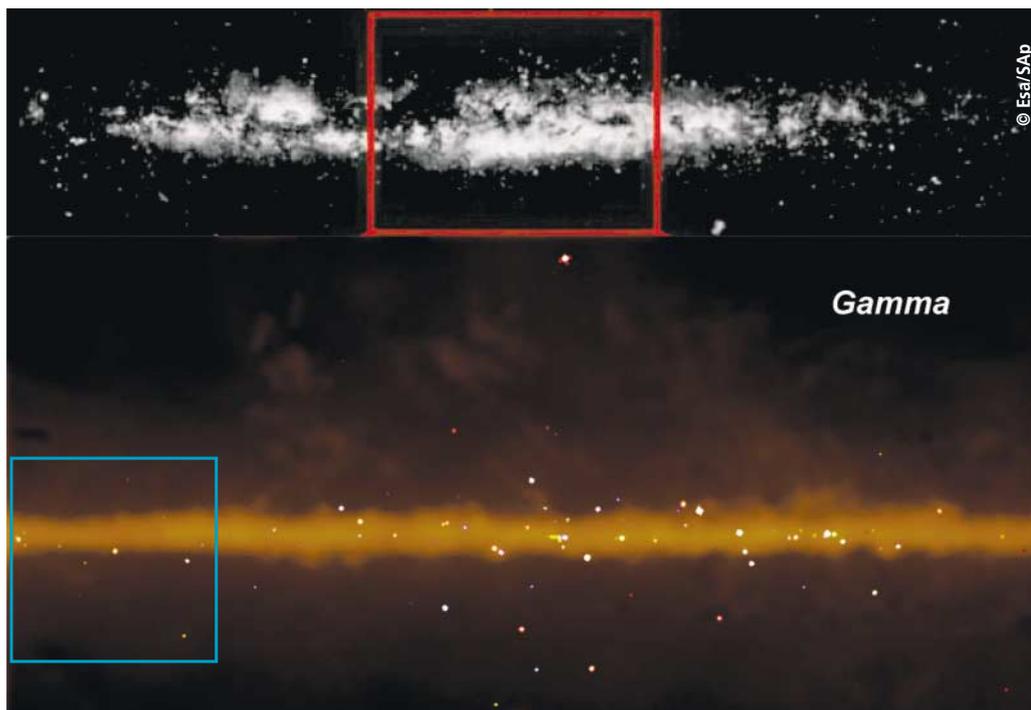
L'équipe de chercheurs se retrouve donc aujourd'hui dans la même situation que Galilée découvrant, grâce à sa lunette astronomique, que la Voie lactée n'était pas un nuage cosmique ressemblant à une traînée de lait, mais une agglomération de milliards d'étoiles. La situation est complexe car sur les 91 sources qu'*Isgri* a débusquées, 54 seulement ont pu être identifiées à des objets de type connu : 47 étoiles binaires avec une étoile à neutrons ou un trou noir, 3 pulsars (étoiles à neutrons en rotation rapide), un « magnétar » (étoile à neutrons fortement magnétique), deux vestiges<sup>3</sup> chauds d'explosions d'étoiles et une galaxie active dite de Seyfert<sup>4</sup>. Les 37 sources restantes sont de nature inconnue et 26 d'entre elles n'avaient jamais été observées.

De quelle nature sont-elles ? S'agit-il d'une nouvelle population d'objets dans la Galaxie ? Les scientifiques ont l'embarras du choix. Il pourrait s'agir de systèmes binaires jusqu'ici en sommeil ou bien indétectables car enfouis au sein de nuages de gaz et de poussières. Des sources de ce type viennent d'être découvertes par *Integral*. Elles pourraient être nombreuses dans notre galaxie. En raison de la résolution encore limitée à ces énergies, il est possible enfin que certaines de ces sources soient en réalité non pas ponctuelles mais étendues comme c'est le cas pour les vestiges des supernovae. L'inventaire total reste à faire mais le brouillard gamma s'est désormais dissipé et avec lui l'énigme de son origine.

Contact : François Lebrun (SAp) 01 69 08 35 69

- (1) Les rayons gamma peuvent être produits lorsque des électrons de très haute énergie (vers le milliard d'électronvolts) percutent des photons lumineux. Mais ces électrons, dont la charge électrique interagit avec le champ magnétique de la Galaxie, devraient également produire un fort rayonnement radio, dit « synchrotron ». Or, nulle trace de ce rayonnement. Les rayons gamma peuvent aussi provenir d'électrons de plus basse énergie (cent mille électronvolts), freinés par le champ électrique des noyaux d'atomes du gaz interstellaire. Mais tous ces électrons dissocieraient les molécules et ioniseraient les atomes du gaz galactique dans des proportions qui n'ont jamais été observées.
- (2) La caméra *Isgri* (Integral Soft Gamma-Ray Imager) a été réalisée par le Dapnia à Saclay sous maîtrise d'œuvre du SAp avec le soutien du Centre national d'études spatiales (Cnes). Elle est constituée de 16 000 microdétecteurs de tellure de cadmium (CdTe), couvrant une surface de 2 600 cm<sup>2</sup> (voir *ScintillationS* n° 45, 52, 60).
- (3) Il ne s'agit pas forcément de vestiges de fer (*ndlr*)
- (4) Galaxies portant le nom de leur découvreur, en 1943, Carl Seyfert. Leur noyau est extrêmement brillant. Environ 2% des grandes galaxies en sont.

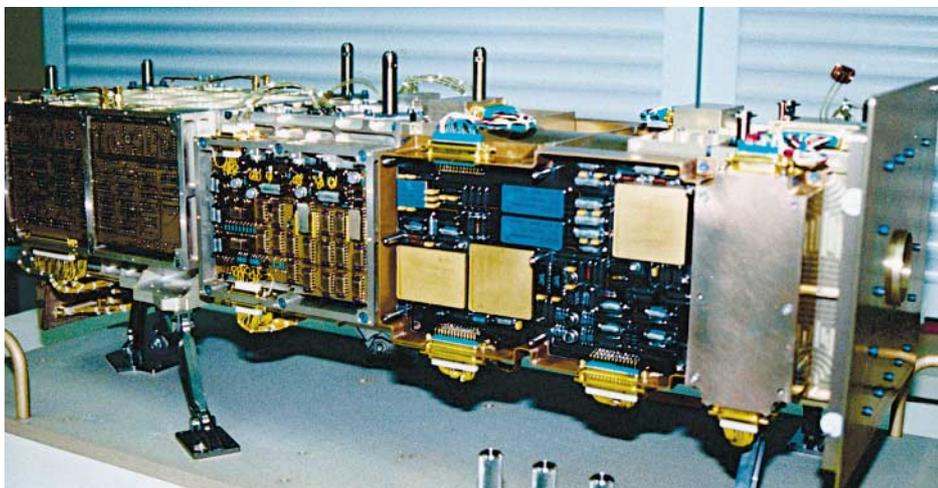
Figure 2- Carte des régions centrales de notre galaxie, établie par le télescope Ibis/ISGRI dans la gamme d'énergie 20-60 milliers d'électronvolts. Plus de 90 sources sont visibles sur l'image gamma, représentées en couleur (du rouge au bleu), selon la quantité croissante de rayons gamma qu'elles émettent. L'image ISGRI (points lumineux) est superposée à la carte de la répartition du gaz d'hydrogène dans la Galaxie (nébulosité rouge) qui trace le disque galactique. La région couverte, d'une dimension totale de 100x70 degrés carrés, correspond au rectangle rouge sur la vue d'ensemble de la galaxie en lumière visible (en haut). Le carré bleu indique le champ d'une seule prise de vue (19x19 degrés carrés), à la même échelle que la vue totale.



## Voyage au centre du Soleil

*Des ondes de gravité solaires détectées pour la première fois ?*

Dignes émules de Jules Verne et de son « Voyage au centre de la Terre », les astrophysiciens plongent au coeur du Soleil grâce à l'héliosismologie (voir *ScintillationS* n° 50), qui permet d'« écouter » l'astre du jour. Cette technique, apparue il y a une trentaine d'années, détecte et analyse les « tremblements de soleil ». Au sein de notre étoile naissent de multiples vibrations dont la plupart se propagent comme des ondes acoustiques. Lorsque ces millions d'ondes qui se mélangent émergent hors du Soleil, elles provoquent d'innombrables mouvements de surface que les héliosismologues s'efforcent de détecter et d'analyser. L'étude des ondes acoustiques a déjà permis d'avoir une vision très nouvelle de l'intérieur solaire. En particulier, il a été possible d'estimer précisément la température centrale moyenne et le flux de neutrinos émis par le Soleil. Mais, dans ce foisonnement de mouvements superficiels, certaines ondes sont particulièrement difficiles à détecter. Elles sont pourtant les seules capables de nous renseigner sur la densité, la répartition de masse et la dynamique qui règnent au centre même de la chaudière Soleil, là où se déroulent les réactions nucléaires qui produisent toute l'énergie. Ce sont les « ondes de gravité » (*encadré page suivante*). Jusqu'alors insaisissables, elles pointent enfin le bout du nez grâce à l'instrument Golf (Global Oscillations at Low Frequencies) à bord du satellite SoHO (Solar and Heliospheric Observatory). Les dernières observations dûment analysées viennent d'être publiées par une équipe internationale que dirige Sylvaine Turck-Chièze, du Dapnia/SAP.



L'instrument Golf, tel qu'on peut le voir à la Cité des Sciences, Porte de la Villette, à Paris

La chasse aux ondes de gravité bat son plein à bord du satellite Soho grâce à ses trois instruments d'héliosismologie<sup>1</sup> et elle se poursuivra jusqu'aux dernières mesures, en 2007.

En attendant, un premier résultat est là : au bout de 1290 jours d'observations réalisées entre avril 1996 et octobre 1999, on a enfin détecté des « candidats » à l'appellation d'ondes de gravité. Les astrophysiciens en sont sûrs à plus de 90% (ils parlent de « plus de 90% de confiance »). Mais un doute subsiste à cause de l'activité solaire qui a pollué l'information à partir de 1999.

(1) Golf, le MDI (Michelson Doppler Imager), instrument américain qui mesure avec une haute précision les déformations plutôt proches de la surface, et Virgo (Variability of solar iRadiancy and Gravity) voué à la mesure de l'intensité des oscillations.

## Les ondes de gravité au cœur du Soleil

Comme leur nom l'indique elles sont engendrées par la gravité de notre étoile, contrebalancée par la poussée d'Archimède due à des différences locales de densité. Ces ondes – qui n'ont rien à voir avec les ondes gravitationnelles, houles de déformations de l'espace-temps – oscillent très lentement : une oscillation complète dure plus d'une heure et le mouvement de la surface du soleil qu'elle induit ne dépasse pas une vitesse de quelques millimètres par seconde\*. En outre, les ondes de gravité ont le plus grand mal à s'extraire de la zone interne du Soleil, la zone radiative, tant elles sont amorties en passant dans la zone convective externe (figure 1). Enfin, ces minuscules oscillations sont noyées dans d'autres mouvements qui secouent en permanence la surface solaire à des vitesses pouvant atteindre plusieurs mètres par seconde, mille fois plus élevées que celle des ondes de gravité, et à des fréquences de quelques cinq minutes, à comparer à quelques heures. Autant détecter à 150 millions de kilomètres une mini marée méditerranéenne pendant une grosse tempête.

Mais voilà, ces ondes de gravité sont un moyen privilégié de connaître beaucoup plus en détail le cœur de notre étoile. Alors, on a traqué ces ondes insaisissables dès les débuts de l'héliosismologie (1975). En vain, jusqu'à l'arrivée de Golf, instrument d'une sensibilité sans précédent, qui a enfin permis d'entrevoir, dans la tempête qui agite en permanence la surface de notre astre, de minuscules et très lentes oscillations jusqu'alors imperceptibles. S'il se confirme que ces oscillations sont bien des ondes

de gravité, on aura grandement progressé dans la connaissance du cœur central du Soleil car les mesures de Golf indiquent qu'une partie du cœur solaire, la plus centrale, tournerait plus vite\*\* et autour d'un axe différent du reste de l'étoile. Vestiges de ce que fut le Soleil jeune ?

Joël Martin (ScintillationS)

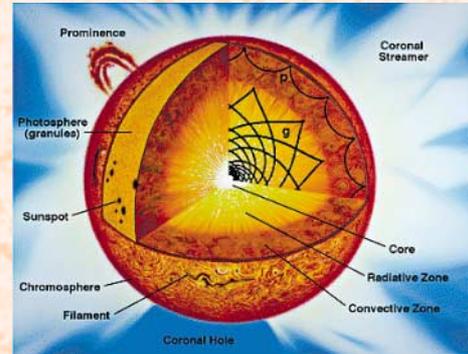


Figure 1 – Coupe schématique de l'intérieur solaire. Si les ondes acoustiques (ou ondes p, comme pression) sont peu influencées par le centre du Soleil, les caractéristiques des ondes de gravité (ou ondes g) dépendent fortement de ce centre.

\* Des détails sur les techniques de mesures de vitesses aussi minuscules à une si grande distance sont fournis dans l'encadré « Mesures des vitesses par décalage Doppler de raies spectrales », page 2 de ScintillationS n° 50.

\*\* Chaque onde émergeant de la surface solaire n'apparaît pas comme un « pic de fréquence » unique, mais se décompose en  $2l+1$  pics (« l » étant le nombre de réflexions de l'onde à la surface du Soleil, ou, en jargon de spécialistes, le degré du mode). Ces pics sont d'autant plus écartés les uns des autres que la matière où naissent et se propagent ces ondes est en rotation plus rapide. Et comme les ondes de gravité ne font que s'amortir une fois hors du cœur du soleil, leurs caractéristiques mesurées en surface donnent des informations exclusivement sur cette partie centrale. Les ondes de gravité sont les messagères évanescentes et exclusives du cœur de notre étoile.

L'activité magnétique solaire, qui a eu son maximum aux alentours de 2001, perturbe l'équilibre de notre étoile et engendre de violents mouvements de surface qui masquent les très faibles fluctuations que sont les ondes de gravité. Certains « candidats » détectés en « Soleil calme » demeurent candidats. Mais leur apparence est différente de ce que la théorie simple prévoyait : des modes d'oscillation de durée de vie très grande et donc très stables. Les caractéristiques de ces ondes impliquent une structure plus complexe que prévue, soit liée à la déformation superficielle, soit liée à des variations internes de la tachocline<sup>1</sup>, associée au champ magnétique interne, soit liée au cœur lui-même. Ces ondes de gravité donnent une nouvelle image de notre Soleil beaucoup plus complexe (encadré). Les scientifiques sont très impatients de confirmer que Golf a détecté pour la première fois des ondes de gravité.

Ils attendent désormais la prochaine période de Soleil calme, dès 2005, pour poursuivre leurs études à bord de SoHO. Ils comptent aussi sur un nouvel instrument qui améliorerait encore leur capacité d'investigation. Cet instrument est en préparation dans un cadre international. Les principaux acteurs œuvrent au Dapnia, au sein d'une collaboration SAp, Sédi, SIS. Le projet s'appelle Golf-NG (NG : nouvelle génération). Il devra combattre le bruit induit par le Soleil lui-même, qui est le principal responsable de la limitation (toute relative) de détection des modes de gravité.

Montesquieu écrivait : « La gravité est le rempart de la sottise. » Le Soleil cache les manifestations de sa gravité derrière ses propres remparts, défi à l'intelligence des astrophysiciens. Le défi est en passe d'être relevé.

Contact : Sylvaine Turck-Chièze (SAp) 01 69 08 43 87

### Pour en savoir plus sur Golf, et scruter les « candidats » sous toutes leurs coutures :

N° 49 de *Clefs CEA* et le numéro spécial de *La Recherche* sur le Soleil <http://www.larecherche.fr/special/hs/somhs15.html>  
On trouve des détails sur l'instrument Golf à l'adresse <http://www.medoc-ias.u-psud.fr/golf/instru.html>

(1) La tachocline est une couche d'environ 3 000 kilomètres d'épaisseur – une pelure d'oignon à l'échelle du Soleil – séparant la zone convective périphérique, où des couches de latitude différentes tournent à différentes vitesses, de la zone radiative plus profonde, quasi rigide, qui colle à la rotation équatoriale de la surface du Soleil. Elle est le siège de turbulences qui pourraient expliquer de brusques changements de composition chimique entre les deux zones et aider à mieux comprendre le magnétisme solaire.

## Anti gluons d'honneur

Trois anti gluons sont décernés ce printemps à trois ardents défenseurs de la recherche fondamentale venant d'époques et d'horizons différents.

« *Les vraies conquêtes, les seules qui ne donnent aucun regret, sont celles que l'on fait sur l'ignorance. L'occupation la plus honorable comme la plus utile, c'est de contribuer à l'extension des idées humaines. La vraie puissance de la République française doit consister désormais à ne plus permettre qu'il existe une seule idée nouvelle qui ne lui appartienne.* » (Pour la Science, n° 317, mars 2004). Transmis à nos actuels gouvernants, agrémenté d'une constatation de l'auteur de l'article, Eric Sartori, concernant le responsable de la citation précitée « *Napoléon connaît trop bien les sciences pour négliger la recherche fondamentale. Son discours à l'Institut lors de son élection témoigne d'une ambition peu commune pour un dirigeant politique.* » Sentence à méditer sérieusement du côté de nos hautes sphères...

« *Une bonne partie des mathématiques devenues utiles se sont développées sans aucun désir d'être utiles, dans une situation où personne ne pouvait savoir dans quel domaine elles deviendraient utiles. Il n'y avait aucune indication générale qu'elles deviendraient utiles. C'est vrai de toute science.* » C'est de János von Neumann (1903-1957), illustre mathématicien et l'un des pères des ordinateurs. On peut donc faire des maths, mu par la seule motivation de les développer, sans pour autant considérer l'accroissement des connaissances comme une fin en soi. Neumann, matheux pur, puis architecte informatique, en est un magnifique exemple.

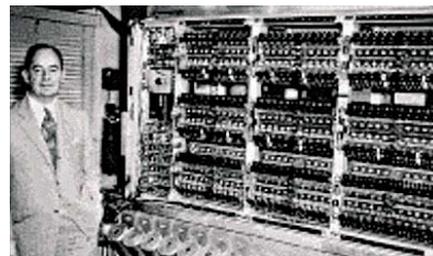
« *Au début des années 60, les spécialistes de la fusion voulaient faire de l'énergie, pas de la science. L'avenir leur a montré qu'ils devaient d'abord faire des recherches fondamentales sur les plasmas pour parvenir à la fusion* » raconte Michel Chatelier, adjoint au chef du Département de recherches sur la fusion contrôlée (DRFC), au centre CEA de Cadarache (*La Recherche*, Hors-série n° 15 « Le Soleil »). Michel Chatelier est aussi co-auteur d'un très bel article dans le spécial Soleil de *Clefs CEA* n° 49.



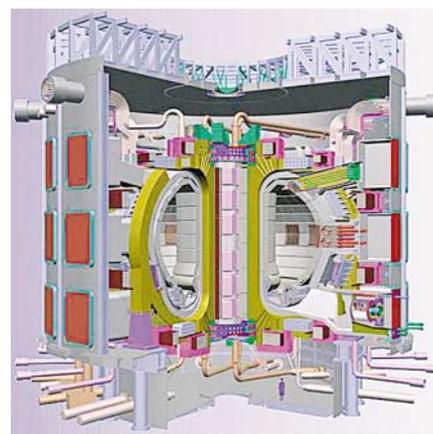
Michel Chatelier



Napoléon Bonaparte



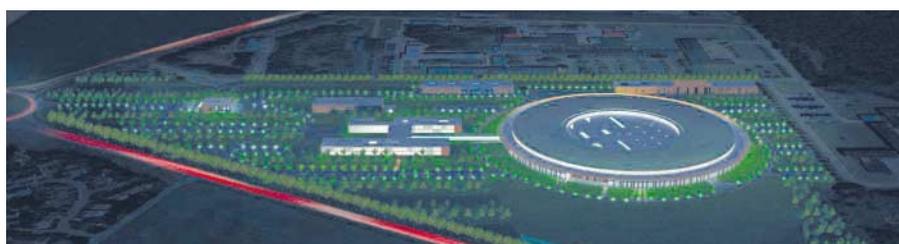
János von Neumann devant un ancêtre de vos Mac et autres PC



Iter, vue d'artiste

## Les gluons d'honneur

Le premier est décerné à Sophie Bécherelle, chroniqueuse scientifique à Radio-France pour cette affirmation énoncée sur France Info le 18 mai dernier à l'heure de la digestion de midi : « *Dans le synchrotron Soleil, on fait tourner les photons.* » Cela fait penser au canular du laser polarisé circulairement pour usiner les pas de vis. Plus sérieusement, ce sont des électrons qui sont accélérés et qui tournent. Ce faisant, ils émettent des photons, lesquels, en gros, prennent la tangente et filent tout droit en emportant de l'énergie comprise entre zéro et l'énergie cinétique des électrons. Les utilisateurs disposent donc de photons qui vont de l'infrarouge aux gammas en passant par le visible, l'ultraviolet, les X. De quoi faire, entre autres, de la biologie, de la chimie, des études de matériaux, de la physique atomique, de la physique nucléaire et ainsi rassurer (peut-être) Claude Allègre sur l'utilité de ce pluridisciplinaire et magnifique instrument...



Le Soleil de minuit © Cabinet d'architectes Chaix & Morel et associés

Les gluons suivants vont tomber en pluie serrée sur le même Allègre, lequel, dans son ouvrage *Un peu de science pour tout le monde*, paru chez Fayard en 2003, les accumule. Ce sera le feuilleton de l'été dans *ScintillationS*, et peut-être même de l'automne voire de l'hiver, si la place le permet. Voici un premier gluon de toute beauté. On lit en effet, au début du troisième paragraphe de la page 172 de l'édition de novembre 2003, ceci : « *Le joule est le travail (donc l'énergie exprimée) effectué par le déplacement vertical d'une masse de 1 kilogramme sur une distance de 1 mètre.* » Or la définition « légale » du joule est la suivante : c'est le travail produit par une force de 1 newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force. La force d'Allègre, c'est le poids de la masse de 1 kilogramme, c'est à dire cette masse multipliée par l'accélération de la pesanteur,  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ , soit : 9,81 newtons. Le travail d'Allègre vaut donc 9,81 joules et non 1 joule. Recalé, Allègre ! On se perd facilement dans la jungle des différents systèmes d'unités. Allègre, à ce propos, six lignes plus haut, énonce doctement : « *Voilà une source de confusion qui perdure parce que les habitudes ont la vie dure.* ». Eh oui !

## Pan ! sur le Becquerel

Dans notre numéro 62, le porte-parole en proie à de périodiques égarements dans son disque mou (organe qu'à la DSV on appelle « encéphale ») a virtuellement muté au SPP les astrophysiciens gamma Michel Cassé et Jacques Paul. Qu'ils soient rassurés, ils demeurent au Sap. Le coupable plaide les circonstances atténuantes puisque Michel et Jacques restent dans la grande famille du Dapnia, et leur présente ses plus vives excuses. Pour le suivi psychologique post-traumatique, les bouteilles réglementaires attendent les victimes pièce 160 dans le bâtiment d'en face.

## Va et vient

**Mars 2004** – Martine Baldini arrive à Dapnia/DIR en provenance du Service des technologies de l'information du Département patrimoine et infrastructures. Bienvenue à cette courageuse qui quitte le pilier « TIS », qui a le vent en poupe, pour le Dapnia qui l'aurait plutôt dans l'autre sens... Bienvenue aussi à Patrice Guiho, recruté au SIS. Alfred Leprêtre prend une retraite bien sûr méritée. Tu as le bonjour, Alfred !

**Avril 2004** – Yolande Guillaume quitte le Sap pour la DSV (précisément au Service de biochimie et génétique moléculaire du Département de biologie Joliot-Curie). Jean-Yves Gérard (Sédi) et Luigi Mosca (SPP) partent en retraite. Adelino Gomes (Sédi) passe annexe 1 « sur diplôme ». Pascal Contrefois est recruté au SIS. Par ordre d'entrée en scène : bonne chance à la mutée et congratulations aux heureux bénéficiaires de cette mutation : Ce peut être agréable de faire muter ses agents... ; bon épanouissement dans leur nouvel horizon aux vaillants retraités ; félicitations au récent diplômé et bienvenue au petit nouveau.

**Mai 2004** – Jeanine Meunier (Dapnia/DIR) prend sa retraite. Jacques Bissirix (SACM) nous quitte en « départ négocié ». Olivier Bésida nous revient après un congé sans solde. Bon vent à tous trois dans le sens des deux départs comme dans celui de la réintégration. Depuis quelque temps, cela souffle hélas plus fort dans un sens que dans l'autre.

## Lauriers du Dapnia

Le 24 mai dernier au château du CNRS de Gif-sur-Yvette (Essonne), Michel Spiro, ancien chef du Dapnia et actuel directeur de l'IN2P3, a remis à Vanina Ruhlmann-Kleider (SPP) sa médaille d'argent du CNRS (voir *ScintillationS* n° 62), en présence de personnalités scientifiques parmi lesquelles Jean Zinn-Justin, chef du Dapnia. Dans son discours, Michel a rendu hommage aux nombreuses qualités scientifiques et humaines de la récipiendaire (ne rougis pas, Vanina !), et à la magnifique physique à laquelle elle a contribué de façon éminente auprès du détecteur Delphi, au LEP (grand collisionneur d'électrons et de positons du Cern). Dans sa réponse (émue), Vanina a souligné que le mérite de cette médaille revenait aussi au Dapnia tout entier. Elle a également relevé que ladite médaille témoignait de l'excellence de ce qui se faisait dans notre département et plaidait en faveur de son intégrité et de sa pérennité sur lesquelles planent les lourdes menaces que l'on sait.

Cette médaille, c'est au moins de l'argent qu'on n'enlèvera pas au Dapnia.



Vanina Ruhlmann



Une autre récompense honore le Dapnia. Il s'agit du « 2003 SURA Thesis Prize competition », autrement dit, le prix du concours des thèses « SURA » soutenues en 2003. SURA (Southern Universities research Association) est un consortium d'universités qui gère le laboratoire Jefferson (JLab), en Virginie aux États-Unis. Compétition extrêmement relevée entre huit excellentes thèses menées auprès de l'accélérateur Cebaf. Et c'est Ludyvine Morand, ex-SPhN, qui remporte le prix pour sa thèse, menée sous l'égide de Michel Garçon (SPhN) : *Mesure de l'électroproduction de mésons oméga à grand transfert d'énergie-impulsion*. Le prix s'agrèmente d'une somme de 1000 dollars (tiens, aussi de l'argent !) et d'une plaque murale perpétuant l'événement. Bravo Ludyvine ! Saclay fut pionnier de la physique hadronique avec l'ALS et Saturne. La suite se passe ailleurs, mais les

physicien(ne)s du Dapnia portent haut le flambeau puisque il y a quelques années, une autre docteur « SPhN », Maud Baylac, a obtenu, le prix SURA 2000 pour sa thèse faite à Cebaf. Au Dapnia, on n'a plus d'accélérateurs, mais on a toujours des idées !

## Dernière minute

La SFEN, Société française d'énergie nucléaire, décerne un prix récompensant une information de qualité sur le nucléaire, le Prix du forum atomique français (FAF). Le lauréat est le site Internet sur la radioactivité [www.laradioactivite.com](http://www.laradioactivite.com), créé par Christian de la Vaissière, directeur de recherche au CNRS, physicien au LPNHE (Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies) de l'université Paris 7, Yves Sacquin, physicien au SPP et Jeanne Laberrigue-Frolow, directeur de recherche émérite au CNRS. Le prix a été remis aux lauréats le jeudi 10 juin 2004, sous la présidence de notre haut-commissaire Bernard Bigot. Toutes nos félicitations !

Le prix spécial 2004 du 20<sup>e</sup> festival d'Astronomie des villages de Maurienne (en Savoie) vient d'être décerné à Roland Lehoucq (SAP) et Robert Mochkovitch (de l'Institut d'astrophysique de Paris) pour *Mais où est donc le temple du Soleil ?* (Enquête scientifique au pays d'Hergé), paru chez Flammarion, avec la mention : « Le jury a voulu saluer l'idée originale de deux scientifiques éminents qui ont su se porter vers le grand public pour le prendre par la main et le mener vers l'astronomie. Il a accessoirement apprécié l'invitation qui lui est faite du même coup de relire Tintin d'un œil neuf. » Dans notre prochain numéro, le tintinologue bien connu Alain Milsztajn (SPP) dira tout le bien qu'il pense de cet ouvrage d'archéologie astromico-amazonienne.

### CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Jean ZINN-JUSTIN  
COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole), Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi CHIPPAUX, Philippe CONVERT, Françoise GOUGNAUD, Christian GOUIFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTJAIN, Xavier-François NAVICK, Angèle SÉNÉ, Didier VILANOVA  
MAQUETTE : Christine MARTEAU  
MISE EN PAGE : GRAPHOTEC  
CONTACT : Joël MARTIN - Tél. 01 69 08 73 88 - Fax: 01 69 08 75 84 - E.mail: jmartin@dapnia.cea.fr

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

Dépôt légal juin 2004

2!