
L'astronomie dans le monde

Hipparcos, premiers résultats spectaculaires

Les chercheurs qui analysent les données provenant du satellite de cartographie stellaire Hipparcos de l'Agence Spatiale Européenne viennent de faire part de plusieurs grandes premières dans le cours de leurs recherches. Le Dr. Lennart Lindgren, de l'Observatoire de Lund (Suède), qui dirige le consortium NDAC représentant l'une des trois équipes travaillant sur les données du satellite, a déclaré avoir mené à bien l'un des principaux éléments des travaux d'analyse sur ordinateur qui devraient ouvrir la voie à l'établissement du catalogue d'étoiles le plus précis réalisé à ce jour. Parallèlement, une équipe scientifique de l'Observatoire de la Côte d'Azur appartenant à l'équipe d'analyse de données FAST conduite par le Professeur Jean Kovalevsky vient d'annoncer la découverte de plusieurs centaines de nouvelles étoiles doubles et la détermination avec une très grande précision de la magnitude de quelque 30 000 étoiles.

Le satellite Hipparcos, fleuron du programme scientifique de l'Agence spatiale européenne, a été conçu pour mesurer les mouvements propres les plus infimes de plus de 100 000 étoiles afin d'améliorer la connaissance des distances et des mouvements des étoiles qui constituent notre galaxie. La très haute précision de mesures indispensable ne peut être obtenue du sol puisque l'atmosphère et la pesanteur terrestres perturbent les observations.

La mission Hipparcos a semblé bien mal partie lorsque, après un lancement parfait le 9 août 1989, le moteur destiné à placer le satellite sur un point permanent de l'orbite géostationnaire, à 36 000 km au-dessus de la Terre, a refusé de fonctionner. Les ingénieurs de l'Agence se sont mis à la tâche pour utiliser au mieux la trajectoire du satellite et tirer le maximum de données des expériences embarquées. Le plus grand défi qui leur était

posé était de lui assurer une durée de vie opérationnelle suffisamment longue pour que les scientifiques puissent procéder aux mesures nécessaires. Alors que le satellite entre désormais dans sa deuxième année d'exploitation, les responsables du projet de l'ESA confirment que la qualité des données acheminées à Terre surpasse leur attente initiale.

Les équipes scientifiques multinationales qui travaillent avec l'ESA au programme Hipparcos doivent compiler l'énorme flux de données provenant du satellite pour en tirer un catalogue d'étoiles significatif. La méthode employée se fonde sur les principes dont le Dr Lindgren a été le pionnier il y a plus de 10 ans, méthode dont l'application a exigé plusieurs années de travaux préparatoires et la participation de spécialistes de l'astronomie, de la géodésie et d'autres disciplines scientifiques, sans oublier l'utilisation d'ordinateurs spécialisés de forte puissance pour procéder au traitement complexe des données numériques. Les nouveaux résultats dont fait état le Consortium NDAC, qui travaille sur les méthodes de traitement de données préparées par l'Observatoire royal de Greenwich à Cambridge et l'Observatoire de l'Université de Copenhague, ont été obtenus un an exactement après le début des activités opérationnelles du satellite. C'est en combinant plusieurs semaines de données de satellites que ce consortium a pu établir un système global de positions d'étoiles. Le fruit de ce travail est un catalogue, qui ne contient pour le moment qu'environ 6 000 étoiles, mais avec des positions au moins 50 fois plus précises que celles que l'on tirait traditionnellement des observations faites du sol. Il continuera d'être amélioré à mesure que la mission se poursuivra et révélera progressivement des détails sur davantage d'étoiles, leurs mouvements et leur position. Les responsables des deux autres équipes d'études des données, le Professeur Eric Hoeg de l'Université de Copenhague et le Professeur

ean Kovalevsky de l'Observatoire de la Côte d'Azur (France), ont confirmé la validité des nouveaux résultats en s'appuyant sur leurs propres observations. « C'est là réellement un moment historique pour l'astronomie », a déclaré le Professeur Hoeg.

Alors que son équipe met au point les derniers éléments de sa contribution au système de traitement de données astronomiques le plus important et le plus complexe réalisé à ce jour, en rassemblant au CNES (Toulouse) les logiciels provenant de toute l'Europe, le Professeur Kovalevsky fait écho à la satisfaction qu'éprouvent aujourd'hui les chercheurs de Hipparcos. « Depuis un an, le satellite nous envoie jour après jour 17 heures quotidiennes de données de qualité. Pendant cette période, nous avons acquis plus de 10 millions de mesures de positions d'étoiles. Les résultats que nous avons obtenus à ce jour sur les magnitudes des étoiles sont 10 fois plus précis que ceux que l'on obtient avec des observations au sol. De plus, le satellite a une puissance telle que ce sont plusieurs milliers de nouveaux systèmes d'étoiles doubles ou multiples qui seront découverts en fin de compte. »

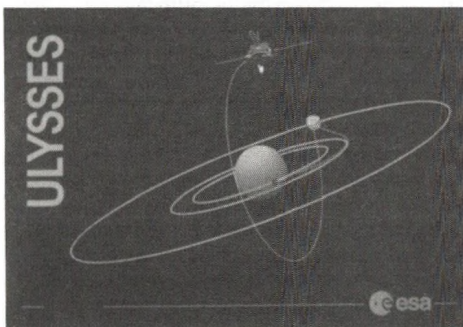
La communication des résultats spectaculaires de la mission Hipparcos coïncide avec la publication du catalogue d'étoiles utilisé pour le programme d'observation scientifique du satellite, catalogue qui a été préparé par une équipe internationale d'astronomes dirigée par le Dr Catherine Turon de l'Observatoire de Paris à Meudon.

(Agence Spatiale Européenne, Note d'Information 1/1991)

Le point sur Ulysse

Ulysse, le véhicule spatial de l'Agence spatiale européenne qui devrait être la première sonde à survoler les pôles du Soleil, est en excellente santé, et est désormais pleinement opérationnelle, nous font savoir les responsables du projet. Le 17 janvier 1991, la sonde se trouvait à 126 millions de km de la Terre, si bien qu'il fallait aux signaux radio plus de six minutes pour atteindre les stations du sol du réseau de l'espace lointain de la NASA.

Ulysse a été lancé par la Navette Discovery le 6 octobre et se dirige actuellement vers la planète géante Jupiter qu'il atteindra en février 1992. Il mettra à profit l'attraction gravitationnelle de Jupiter pour se propulser hors du plan de l'écliptique, plan dans lequel les planètes gravitent autour du Soleil, et faire route vers le pôle Sud du Soleil.

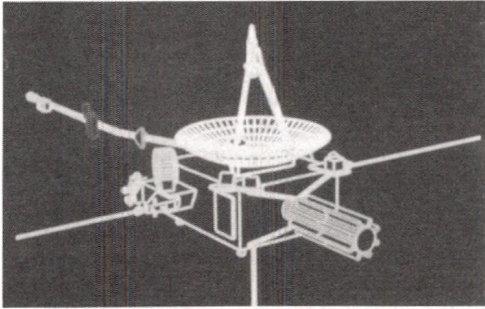


Tous les instruments scientifiques embarqués à bord d'Ulysse sont maintenant sous tension. Les scientifiques et les contrôleurs de l'ESA ont confirmé qu'ils fonctionnaient tous normalement. « La mission Ulysse répond à nos attentes », nous a dit le Professeur R. Bonnet, Directeur du Programme scientifique de l'ESA. « Quelques mois seulement après le lancement, elle nous transmet déjà d'excellentes informations scientifiques ».

Pour assurer sa stabilité dans l'espace, Ulysse tourne sur lui-même à la vitesse de 5 tours/minutes, son antenne à grand gain restant pointée sur la Terre de manière à ne pas interrompre les transmissions. Tout au long de la mission, Ulysse sera en contact avec la Terre huit heures par jour. Pendant les seize heures restantes, les données qu'il recueille sont stockées sur les enregistreurs magnétiques de bord: elles sont « déversées » sur la Terre pendant les huit heures de contact quotidien en plus de la transmission des données en temps réel.

Ulysse est équipé d'un mât rigide et de deux bras flexibles fixés à la partie principale du véhicule spatial.

Le mât radial a été déployé le jour où a commencé la mission et les bras flexibles début novembre. Le plus long est le mince bras filaire qui s'étend de part et d'autre du véhicule spatial sur une longueur totale de 72 mètres. L'autre est le bras axial qui mesure 7,5 mètres de long et est fixé au corps du véhicule spatial, à l'opposé de l'antenne à grand gain. Ces deux bras servent d'antennes à l'expérience intitulée « ondes de plasma et ondes radio unifiées ». En effet, le Soleil émet des bouffées de rayonnements, enregistrés sous forme de signaux radio-électriques, ainsi qu'un plasma fortement magnétisé que l'on appelle le vent solaire. Ulysse observe les ondes qui se créent dans l'espace à l'intérieur de ce plasma.



Début novembre, Ulysse a subi un mouvement « oscillant » qui a été attribué à l'un de ces bras et dont l'amplitude était plus forte que prévu. Dans les deux heures suivant le déploiement du mât axial, le 4 novembre, les contrôleurs du véhicule spatial ont constaté que celui-ci s'était mis à « osciller » autour de son axe de rotation. Ce phénomène, dénommé nutation, est analogue à celui que l'on observe sur une toupie en mouvement. Il arrive que de tels mouvements de nutation se déclarent sur les satellites stabilisés par rotation, notamment après le déploiement des bras.

L'échauffement des bras par le Soleil peut imprimer un léger déséquilibre aux véhicules spatiaux de ce type. A la faveur de la rotation d'Ulysse, le Soleil échauffe l'un des côtés du bras axial et provoque sa dilatation; lorsque l'engin a accompli une demi-révolution, c'est l'autre côté du bras qui est exposé au Soleil, ce qui déclenche une « oscillation », amplifiée

par le mouvement de rotation lui-même. Ce phénomène, techniquement connu des scientifiques sous le nom de précession-nutation, n'a entraîné ici qu'un écart maximal de 3° par rapport au cône de précession. On a pu établir qu'il y avait en outre un léger « battement » au niveau de la fixation du mât au véhicule spatial, qui contribue au phénomène de nutation. Ces mouvements ont heureusement pu être supprimés et les ingénieurs ont mis au point des techniques qui permettraient de corriger le phénomène s'il venait à se reproduire au cours de la mission.

A mesure qu'Ulysse s'éloignera du Soleil, il passera sur des radio-fréquences plus élevées dans la bande X, afin d'augmenter le débit des données émises: il faut pour cela une plus grande précision de pointage en direction de la Terre. L'angle de nutation doit être inférieur à 0,75°. L'effet de nutation, s'il n'était pas maîtrisé, rendrait plus difficile les communications avec la Terre en bande X.

Une équipe d'ingénieurs de l'ESA et de la NASA s'est penchée sur ce problème. Elle regroupe des responsables du projet et des experts de l'ESTEC, de l'ESOC, du GSFC et du Jet Propulsion Laboratory, des contrôleurs au sol de l'ESOC et de la NASA ainsi que des spécialistes travaillant chez DORNIER, Deutsche Aerospace (contractant principal d'Ulysse) et British Aerospace (fabricant du sous-système de commande d'orientation embarqué). Ils saisissent désormais parfaitement les causes de la nutation et ont prévu correctement qu'elle diminuerait d'elle-même puisque le véhicule spatial s'éloigne de plus en plus du Soleil et que l'angle que fait son axe de rotation avec le Soleil diminue progressivement. La géométrie de la trajectoire d'Ulysse est telle que le bras axial est entièrement dans l'ombre de la sonde à partir de la troisième semaine de décembre. L'effet de nutation a maintenant complètement disparu.

Comme beaucoup d'autres véhicules spatiaux stabilisés par rotation dont l'antenne à grand gain doit être orientée avec précision pour les besoins des télécommunications, Ulysse est équipé d'un système embarqué qui accomplit automatiquement cette tâche. Dans le cas d'Ulysse, il s'agit d'un système de balayage conique dit « Conscan ». Bien qu'il soit essentiellement conçu pour repointer

automatiquement le véhicule spatial sur la Terre, il a également une fonction d'amortissement de la nutation, un certain nombre d'essais conduits sur le véhicule spatial ont montré que le système Conscan est très efficace dans ce domaine et réduit la nutation résiduelle à moins de 0,5°. A ce stade ultérieur de la mission, la géométrie de la trajectoire sera telle que le Soleil échauffera à nouveau le bras axial et que la nutation pourra réapparaître, mais à un bien moindre degré que dans le passé. « Les difficultés sont désormais réduites à un niveau acceptable et n'ont pas d'impact sur la mission », selon le Professeur R. Bonnet.

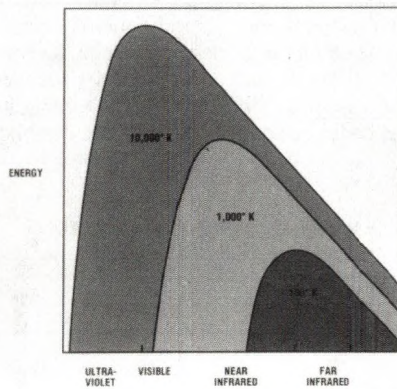
Ulysse entrera dans le champ de Jupiter en février 1992. La sonde utilisera l'attraction gravitationnelle de Jupiter comme une « fronde » pour s'arracher au plan de l'écliptique, qui peut être représenté comme une sorte de « disque » imaginaire dans lequel toutes les planètes du système solaire gravitent sur leurs orbites respectives. Après avoir quitté le plan de l'écliptique, la sonde se déplacera dans un plan pratiquement perpendiculaire au premier afin de viser la région du pôle Sud du Soleil et atteindra une latitude héliographique (solaire) de 80,1°. Cet événement aura lieu en septembre 1994 à une distance de 2,3 UA du Soleil (1 UA, ou Unité Astronomique, est la distance moyenne de la Terre au Soleil, soit environ 150 millions de kilomètres). Partant de ce point, la sonde traversera le plan de l'écliptique pour survoler ensuite le pôle Nord du Soleil à la même latitude. La durée totale de la présence de la sonde au-dessus des régions polaires du Soleil (supérieures à environ 70° de latitude héliographique) sera de 235 jours, soit approximativement 8 mois et demi. On prévoit actuellement que cette mission de cinq ans prendra fin au moment où la sonde tombera au-dessus de 70° de latitude héliographique, près son survol du pôle Nord du Soleil. La date de fin septembre 1995 est prévue.

(Adapté des Notes d'Information de l'Agence Spatiale Européenne, 21/12/1990 et 21/11/1991)

ISO : élucider les mystères de la naissance des étoiles

La naissance des étoiles et des galaxies lointaines se voile depuis toujours d'un profond mystère. Mais voici que l'Agence spatiale

européenne s'apprête à lancer en 1993 un satellite révolutionnaire, l'Observatoire spatial dans l'infrarouge, ou ISO, qui offrira aux astronomes la possibilité d'observations détaillées de l'Univers, des objets proches du système solaire jusqu'aux sources extragalactiques les plus éloignées. ISO observera l'évolution des comètes, dressera la carte des galaxies lointaines, jettera de nouvelles lumières sur les planètes géantes, recherchera des protoplanètes et révélera les secrets de la naissance des étoiles.



Tout objet émet un rayonnement électromagnétique dans toutes les longueurs d'onde, avec une distribution caractéristique de sa température. Les objets chauds, comme le Soleil, rayonnent de la lumière visible, les objets plus froids, comme l'environnement terrestre, les planètes, ou les poussières interstellaires, émettent surtout dans l'infrarouge (cliché Jet Propulsion Laboratory).

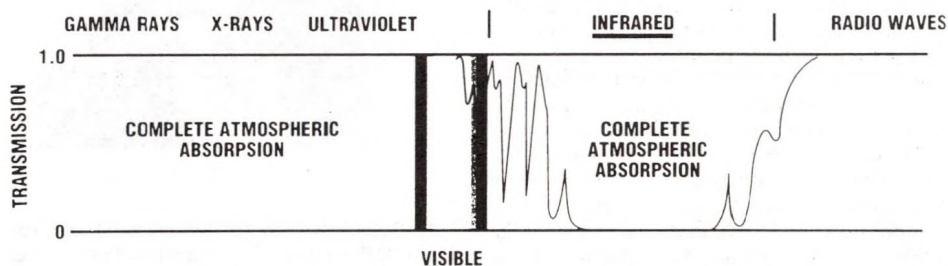
Dans les profondeurs des nuages de gaz et de poussière les plus denses et les plus impénétrables, les berceaux des étoiles ont échappé au regard des astronomes jusqu'au jour où il est devenu possible d'observer la formation des étoiles dans l'infrarouge. Ce domaine du spectre a été découvert voici deux siècles par Sir William Herschel lorsque, constatant une montée de température quand il plaçait un thermomètre en-deçà de l'extrémité rouge de la suite des couleurs résultant de la décomposition de la lumière solaire, le célèbre astronome y vit les effets d'un rayonnement

invisible se situant littéralement en-deçà du rouge, ou « infrarouge ». Le premier rayonnement « invisible » était découvert.

Le spectre électromagnétique embrasse un éventail considérable de rayonnements de longueurs d'onde différentes, se propageant tous à la vitesse de la lumière. Les ondes radio, les plus longues, peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres. Viennent ensuite, par longueur décroissante, les ondes inframillimétriques, l'infrarouge (lointain, moyen, proche), le visible, l'ultraviolet, le rayonnement X et enfin le rayonnement gamma qui recouvre des longueurs d'onde du millionième de millionième de mètre. Dans l'infrarouge, les longueurs d'onde sont plus grandes et les fréquences plus faibles (moins de vibrations par seconde) que dans le rayonnement visible.

Le rayonnement infrarouge peut se déceler sous forme de chaleur, que dégage par exemple un grille-pain avant que ses éléments commencent à rougir. Tout objet de l'Univers rayonne de l'énergie; plus un corps est chaud, plus il émet d'énergie et plus la longueur d'onde du rayonnement émis est courte.

Sir William Herschel présentait déjà l'existence d'une relation entre la naissance des étoiles et les nuages du gaz et de poussière interstellaires, ces nébuleuses qui apparaissent sous forme de taches lumineuses reflétant la clarté des étoiles proches ou bien au contraire sous forme de taches sombres se découpant sur un fond plus clair, lorsqu'il écrivait de la grande nébuleuse d'Orion « qu'elle était plus de nature à produire une étoile par sa condensation qu'à dépendre de l'étoile pour son existence ».



L'astronomie d'aujourd'hui travaille dans toutes les longueurs d'onde du spectre électromagnétique. L'atmosphère de la Terre absorbe la plus grande partie du rayonnement infrarouge ainsi que les rayons gamma, les rayons X et l'ultra-violet. Pour observer ces rayonnements nous devons nous placer au-dessus de l'atmosphère (cliché Jet Propulsion Laboratory).

Mais si la possibilité de l'astronomie dans l'infrarouge a été découverte avant l'existence des autres rayonnements invisibles, c'est dans les domaines radio, X et ultraviolet que l'astronomie avait le plus progressé à la fin des années 70. Un certain nombre de problèmes ont en effet freiné cette branche importante de l'astronomie. Le premier d'entre eux s'est trouvé résolu avec la mise au point de nouveaux détecteurs d'infrarouge de haute sensibilité utilisant les matériaux semi-conducteurs. Ceux-ci, souvent constitués de cristaux de

silicium ou de germanium, produisent sous l'effet d'un rayonnement infrarouge des signaux électriques.

Une autre difficulté provient de l'atmosphère, opaque à l'infrarouge. La réalisation d'observations du haut de sommets très élevés ne résout que partiellement le problème dû au fait que le gaz carbonique et la vapeur d'eau contenus dans l'air absorbent le rayonnement infrarouge. Aux hautes altitudes comme par exemple au sommet du Mauna-Kea, dans l'île d'Hawaï, où domine à 4 200 mètres le plus

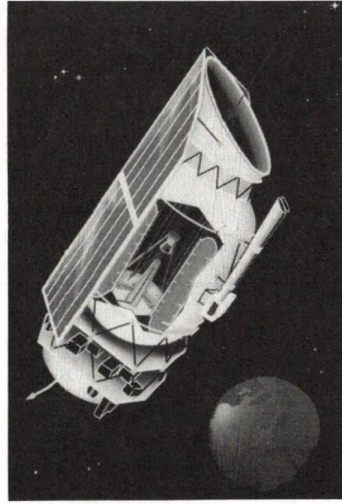
grand télescope infrarouge existant, l'UKIRT du Royaume-Uni, les astronomes disposent d'un certain nombre de fenêtres dans les longueurs d'onde de l'infrarouge proche et moyen; mais l'infrarouge lointain, au-delà de 20 micromètres (μm), reste hors de leur portée si ce n'est à l'occasion de rares et difficiles observations dans la haute atmosphère, à bord de ballons, ou d'observations de durée limitée à bord d'avions évoluant à très haute altitude.

Un nouvel observatoire spatial dans l'infrarouge

Après son lancement de Kourou en Guyane française par une fusée Ariane IV, ISO gravitera sur une orbite elliptique qui le fera bondir de 1 000 à 70 000 km d'altitude, au cours de sa révolution autour de la Terre décrite en 24 heures. Travaillant dans les longueurs d'onde de 2,5 à 200 μm , son œil infrarouge sera doué d'un pouvoir de pénétration unique.

Sortir de l'atmosphère pour observer l'espace résout un problème particulier aux longueurs d'onde de l'infrarouge moyen. L'atmosphère émet en effet en permanence dans cette région du spectre électromagnétique un rayonnement dans ces longueurs d'onde. Et ce n'est pas tout: ce rayonnement n'est pas stable; il scintille sous l'effet du bruit photonique. « Observer du sol dans l'infrarouge équivalait pour les astronomes à travailler de jour, en utilisant des télescopes bordés de feux clignotants » explique le Dr Martin Kessler, le scientifique responsable du projet ISO.

Un problème énorme subsiste malgré tout. Comme le fait observer Hans Steinz, le Chef du projet ISO, « même si le satellite qui gravite autour de la Terre échappe à tous les problèmes liés à l'atmosphère, le télescope lui-même, comme tout autre objet, émet de l'infrarouge ». L'image ou le signal que le télescope doit détecter doivent être extraits de ce « bruit de fond » importun; ISO sera donc refroidi jusqu'à quelques degrés au-dessus du zéro absolu, de façon à éviter que son propre rayonnement thermique ne submerge les faibles murmures venus de l'espace.



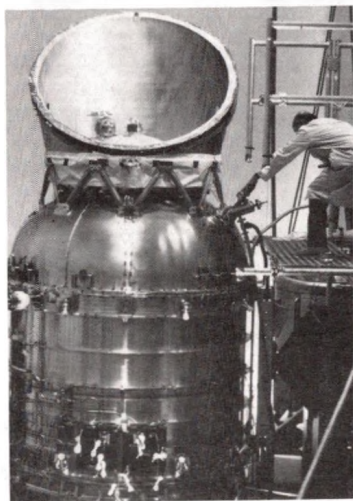
Vue écorchée du satellite ISO en orbite, montrant le module cylindrique de la charge utile et le module de service qui lui est raccordé (cliché ESA).

ISO, bouteille thermos géante de l'espace, utilisera 2 300 litres d'hélium superfluide qui lui assureront une durée de vie en orbite d'au moins dix-huit mois. Le système cryogénique maintiendra les détecteurs à très basse température (environ 3K ou -270°C).

A en juger par la quantité de données apportées par le premier satellite travaillant dans l'infrarouge, IRAS (Infrared Astronomy Satellite), lancé en 1983, dont la durée de vie fut de dix mois, on peut attendre d'ISO une profusion de découvertes spectaculaires.

Doté de détecteurs beaucoup plus perfectionnés que son prédécesseur, ISO est aussi destiné à vivre deux fois plus longtemps. Le télescope du satellite anglo-américano-néerlandais IRAS, conçu pour balayer la totalité de la sphère céleste et dresser le catalogue des sources détectées, a recensé en trois cents jours un nombre suffisant de sources infrarouges, un quart de million, pour dresser une carte complète de l'Univers dans l'infrarouge et nous donner un nouvel aperçu du

centre de notre galaxie, la Voie lactée. IRAS a amélioré d'un facteur 100 les observations faites au sol mais ISO, avec ses détecteurs ultrasensibles et ses durées d'intégration plus grandes, améliorera les observations d'IRAS d'un facteur 1 000.



La conception d'ISO fait appel à une technologie de pointe pour atteindre les objectifs très complexes de la mission. Sur le plan technique, la cryogénie, l'optique, la commande d'orientation et les opérations en vol sont autant de défis que doit relever la technologie spatiale de l'Europe. On voit ici une phase des essais. (Cliché ESA/Aérospatiale).

Bénéficiant d'une plus grande longévité et d'une plus grande sensibilité, manipulé comme un observatoire à l'instar du satellite international d'observation dans l'ultraviolet IUE, ISO ne se bornera pas à balayer le ciel pour dresser le catalogue des sources détectées; il sera pointé sur des objets astronomiques spécifiques pour en faire une étude approfondie.

Des observatoires astronomiques sont, il est vrai, construits depuis les premiers temps de la civilisation en Inde, en Egypte et en Grande-Bretagne par exemple, mais leur lieu de travail idéal est l'espace, où, loin au-dessus des

contingences de l'atmosphère ils échappent aux effets perturbateurs des lumières des villes et des signaux électriques d'origine humaine.

Actionné à distance par télécommande électronique, ISO fonctionnera comme un observatoire terrestre classique. Les deux tiers de son temps d'observation seront mis à la disposition de la communauté scientifique du monde entier: les propositions d'observation soumises seront sélectionnées par des groupes d'experts scientifiques indépendants. L'autre tiers du temps d'observation sera réservé aux groupes fournissant les instruments, aux scientifiques responsables de la mission et à l'équipe de l'observatoire qui sera chargée de l'ensemble des opérations scientifiques.

Le premier appel de propositions d'observation sera adressé aux chercheurs dix-huit mois avant le lancement. Cette invitation se fera par la voie informatique de façon à automatiser le plus possible le système de traitement des propositions, que l'on attend en grand nombre.

Les opérations en orbite du véhicule spatial et de ses instruments seront conduites par une équipe de scientifiques et d'ingénieurs installée au Centre de contrôle d'ISO, à Villafraanca, en Espagne près de Madrid, sur un site actuellement utilisé pour IUE. Pour les observations scientifiques, le satellite ISO sera toujours en contact en temps réel avec le sol, mais ses opérations seront conduites selon un programme pré-établi détaillé afin d'optimiser l'efficacité d'ensemble de la mission.

ISO se présente sous la forme d'un satellite volumineux de 2 400 kg, haut de 5,3 m et large de 2,3 m. Le module de servitude abrite le système de stabilisation triaxiale qui assure une précision de pointage de quelques secondes d'arc, ainsi que les systèmes de télécommunications et de gestion des données. Le système de commande d'orientation assure la stabilité des observations sur des durées pouvant atteindre 10 heures et son calculateur veille à ce que le télescope ne soit jamais pointé sur le Soleil ou sur la Terre. Dans le premier cas, ISO serait instantanément et définitivement mis hors d'usage, tandis que dans le second, le rayonnement thermique de la Terre serait suffisant pour perturber les mesures, le télescope étant aveuglé. La production d'énergie

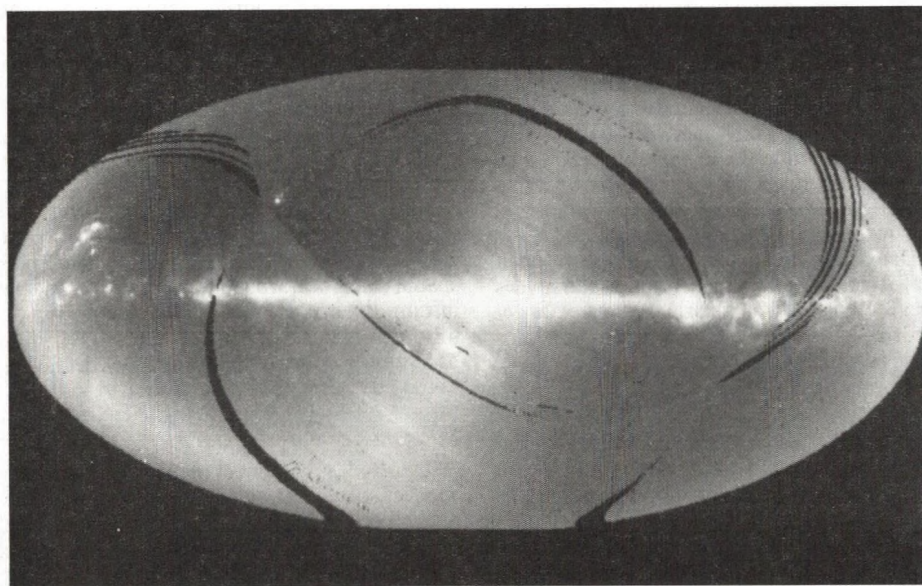
est assurée par un réseau de photopiles monté sur le pare-soleil qui protège le cryostat de la chaleur.

La charge utile scientifique se compose de quatre instruments: une caméra (ISOCAM), un photopolarimètre imageur (ISOPHOT) et deux spectromètres, dont l'un, le SWS, travaille dans les longueurs d'onde de 3 à 45 μm et l'autre, le LWS, dans les longueurs d'onde de 45 à 180 μm .

Le photopolarimètre imageur mesurera l'intensité du rayonnement des sources en 3 et 100 μm . La caméra qui comporte de grands réseaux de détecteurs à semi-conducteurs prendra des images en 3 et 17 μm .

Les astronomes auront la faculté de varier les systèmes détecteurs mis en œuvre au foyer du télescope pour étudier les sources infrarouges sous différents aspects.

Les spectromètres décomposeront le rayonnement infrarouge en ses longueurs d'onde constitutives. Les spectres infrarouges ainsi obtenus apporteront des informations nouvelles sur la composition chimique, la température et le déplacement d'objets cosmiques à rayonnement infrarouge, étoiles lointaines, galaxies ou quasars. ISO sera capable de « voir » un homme situé à une distance de 100 km et de mesurer la chaleur rayonnée par le cube de glace placé dans sa main.



La Voie Lactée dans une image composite aux longueurs d'onde de 60 et 100 μm . L'émission est due aux poussières froides se trouvant dans le plan de notre Galaxie. Les émissions plus faibles traversant toute la figure sous la forme d'un grands S proviennent de notre système solaire. Ce sont les poussières plus chaudes du plan de l'écliptique. L'image est le fruit du travail du satellite IRAS. (Cliché JPL).

Pour le serpent, un monde infrarouge

Peut-être un jour un homme bionique verra-t-il le monde non dans le spectre de la lumière visible mais dans celui de l'infrarouge, sur une longueur d'onde de 10 μm . L'image du monde qui lui apparaîtrait alors serait faite non d'ombres et de lumières mais du rayonnement thermique des objets à température ambiante. L'homme bionique percevrait en fait le monde comme négatif en noir et blanc. Dans la région visible du spectre, un objet est sombre parce qu'il absorbe la majeure partie de la lumière, mais il accumule ce faisant de la chaleur; dans le monde infrarouge, les choses s'inversent et les objets sombres brillent d'un vif éclat tandis que les objets blancs, froids, apparaissent sombres. Le ciel resterait clair, même la nuit, les êtres vivants, humains et animaux, seraient d'une vive clarté. Il ferait par contre trop noir dans le réfrigérateur ouvert pour qu'on y trouve quoi que ce soit.

La nature en sa sagesse a tiré parti de ce monde infrarouge en dotant certains serpents de détecteurs d'infrarouge d'une grande sensibilité qui leur permettent de « voir » leur proie dans l'obscurité. Les serpents étant bien sûr des animaux à sang froid, leur corps ne dégage pas de chaleur risquant de perturber le fonctionnement de leurs récepteurs.

Dans l'espace, la sonde ISO mise au point par l'Agence spatiale européenne « verra » des nuages invisibles de poussière interstellaire et percera les mystères des embryons d'étoiles nichés dans leur cocon opaque et froid.

Explorer l'Univers invisible

« Le passé n'est que le début du début et tout ce qui est et a été n'est que le crépuscule du matin... Un jour viendra où des êtres aujourd'hui latents dans nos pensées, juchés sur la Terre comme sur un escabeau, tendront en riant les mains dans les étoiles », écrivait le célèbre historien et romancier britannique H.G. Wells au début du siècle, plusieurs décennies avant l'aube de l'âge spatial.

L'humanité a depuis lors percé certains secrets du monde invisible. Au cours des quinze dernières années, une batterie de satellites ceinturant la Terre ont révélé différentes régions du spectre électromagnétique. Lancé en 1975, le satellite Cos-B de l'ESA a confirmé le rayonnement gamma des pulsars

et quasars. En 1983, EXOSAT, le premier satellite européen d'étude du rayonnement X, était lancé et aujourd'hui, le satellite IUE de l'ESA, de la NASA et du SERC lancé en 1978 pour étudier le rayonnement ultraviolet des étoiles, quasars et galaxies apporte encore une foison de données. Avec IRAS, en 1983, l'astronomie spatiale dans l'infrarouge a commencé.

ISO s'inscrira dans une nouvelle génération d'observatoires orbiteurs à longue durée de vie, perçant les secrets du cosmos dans toutes les régions du spectre. Comme le pianiste doit pouvoir jouer sur la totalité de son clavier, l'astronome doit pouvoir scruter l'ensemble du spectre. Prenons par exemple les fascinantes novae dont l'éclat, de façon soudaine et imprévisible, s'intensifie à l'extrême: à mesure que cet éclat brusquement apparu décline, au fil des mois ou des années, les novae émettent d'abondants rayonnements dans des longueurs d'onde qui varient au cours du temps. Seules des observations sur tout le registre des longueurs d'onde permettront de voir et comprendre l'ensemble du processus; la fenêtre ouverte par ISO dans l'infrarouge fournira une pièce maîtresse du puzzle.

Plusieurs autres missions importantes suivront dans le cadre du programme Horizon 2 000 de l'ESA, avec FIRST, le télescope spatial dans l'infrarouge lointain et le domaine inframillimétrique, XMM, le télescope miroir dans le rayonnement X et SOHO, l'observatoire solaire héliocentrique destiné à l'étude de l'atmosphère du Soleil.

Naissance et mort des étoiles

Les étoiles naissent et meurent par millions dans les spirales de notre galaxie. Il s'agit d'un processus en cours: notre étoile du jour, le Soleil, commençait à prendre corps lorsque la Voie lactée avait déjà plus de la moitié de son âge actuel. Une étoile se forme lorsqu'un nuage de gaz ou de poussière interstellaire s'effondre sous l'effet de son attraction gravitationnelle propre.

La naissance se fait dans la violence: le nuage de poussière se contractant, sa pression interne croît et sa température centrale s'élève. Lorsque celle-ci devient suffisante pour entretenir des réactions nucléaires, l'étoile nouvelle-née enveloppée de son cocon de

poussière interstellaire opaque et froid échappe encore aux télescopes optiques, car cette poussière absorbe toute lumière visible émanant des étoiles qui se forment en son sein, mais, si dense soit-elle, l'enveloppe de poussière n'est pas imperméable au rayonnement infrarouge des protoétoiles. ISO pourra sonder les chrysalides stellaires de la Voie lactée et en recueillir des images et des spectres propres à élargir considérablement notre compréhension de l'évolution dynamique des étoiles depuis les tout premiers instants de leur vie.

L'agonie d'une étoile s'entoure également d'un nuage de poussière et de gaz. Au cours de la vie de l'étoile, la conversion de l'hydrogène en hélium dont elle est le siège dégage suffisamment d'énergie thermique pour la protéger contre l'effondrement gravitationnel. Mais une fois l'hydrogène épuisé, la gravité l'emporte et l'étoile se contractant sur elle-même se transforme en naine blanche ou en géante rouge ou explose en supernova.

Après cette explosion d'une violence extrême, la supernova se dilate, devenant de plus en plus transparente jusqu'à ressembler à un énorme nuage de gaz. Les mesures dans l'infrarouge révèlent le rayonnement des éléments lourds et chauds engendrés par l'explosion de l'étoile: nickel, cobalt, radioactif et leur par exemple rougeoient doucement au coeur de la supernova.

Nous avons déjà beaucoup appris sur ces événements cataclysmiques, à l'occasion notamment des observations de la supernova 1987 A faite par le satellite IUE. Peut-être ISO nous apportera-t-il les spectres de supernovae se situant à des distances de l'ordre de centaines de millions d'années lumière, venant enrichir notre connaissance des phases finales de la vie d'une étoile. Les supernovae proches sont toutefois des événements rares auxquels un astronome a bien des chances de n'assister qu'une fois dans sa vie.



La nébuleuse d'Orion vue par IRAS. Le champ entier est de 35°, c'est-à-dire beaucoup plus grand que ce que l'on voit habituellement. On se rend compte de l'énorme étendue du complexe d'Orion. Le grand anneau, au centre est une enveloppe de gaz balayée par le gaz en expansion autour d'une jeune étoile chaude. On voit sur toute l'image des cirrus infrarouges qui sont présents dans toute la Voie lactée. (Voir aussi *l'Astronomie dans le monde, Le Ciel*, décembre 1990, p. 331; cliché JPL).

Remonter le cours de l'histoire du système solaire

Les satellites des planètes, les astéroïdes, les noyaux glacés des comètes sont autant d'éléments du présent qui retracent l'histoire du système solaire. Les objets les plus anciens de ce système, les comètes, sont des agrégats primitifs de poussière et de glace constitués voici quelques cinq milliards d'années. ISO nous permettra de mesurer la température et la composition chimique de ces vagabondes aux apparitions éphémères lorsqu'elles s'approchent et s'éloignent du Soleil, nous apportant des informations sur les noyaux mystérieux des comètes.

D'autres étoiles sont-elles entourées de planètes? Les astronomes pensent que les planètes de notre système solaire proviennent du disque d'accrétion entourant le Soleil nouvellement formé. L'étoile naissante éjecte de grosses éclaboussures de shrapnel cosmique. Ces projectiles gazeux peuvent se regrouper à l'intérieur d'un gigantesque disque en rotation, disque d'accrétion, et s'agréger pour former des planètes. La principale difficulté de la recherche de planètes gravitant autour d'une étoile réside dans le fait que si l'étoile est grosse et brillante, la planète est petite et sombre et ne réfléchit qu'une infime fraction de lumière en provenance de son étoile mère; avec ISO, les astronomes pourront étudier les énormes disques de matière tourbillonnant autour d'étoiles proches qui pourraient être à l'origine de la formation du système planétaires.



Comparaison d'images optique (au-dessus) et infrarouge de la galaxie spirale d'Andromède, M31. La structure des bras est plus apparente dans cette dernière image. (Cliché JPL).

Peut-être aussi le nouvel observatoire nous permettra-t-il de découvrir une planète gravitant autour d'une autre étoile. Le Soleil n'est après tout qu'une étoile très ordinaire parmi les milliards d'autres de notre galaxie. L'observation détaillée dans l'infrarouge devrait nous aider à saisir le mécanisme de la formation des planètes.

Des indices sur la masse manquante de l'Univers

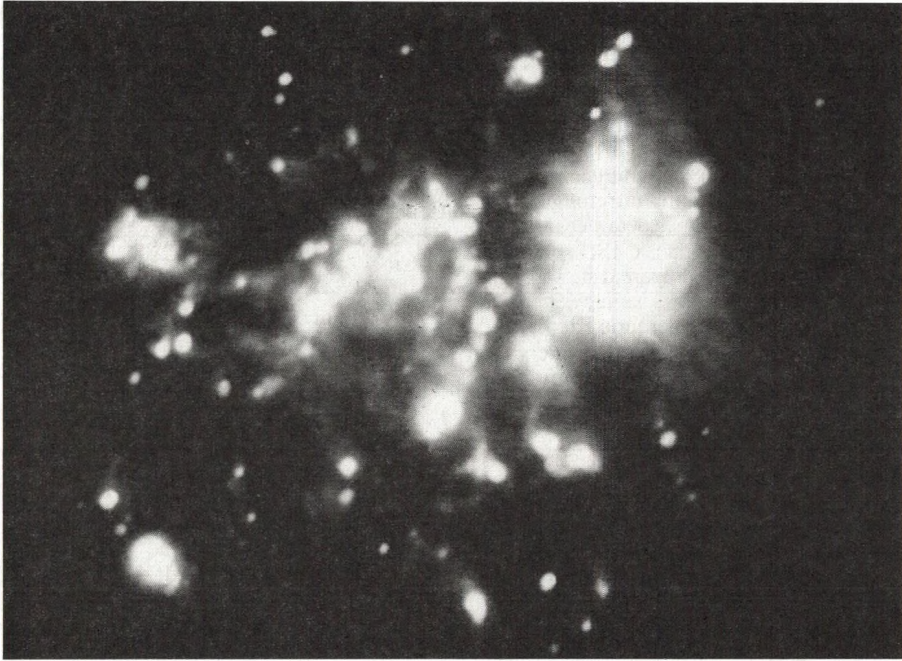
Pour de nombreux astronomes, les étoiles doivent avoir une masse au moins égale à la moitié de celle du Soleil afin d'engendrer une énergie suffisante pour prendre vie: les naines brunes seraient les objets stellaires les plus faibles que leur petite taille aurait empêché de se transformer en étoiles. En raison de leur masse réduite et de leur faible luminosité, leur existence n'a jamais été confirmée et les astronomes rêvent de découvrir s'il existe de tels objets s'insérant entre les étoiles et les planètes. Parce qu'elles seraient incapables d'entretenir les réactions nucléaires prolongées propres aux étoiles, les naines brunes disparaîtraient rapidement.

Il devrait être possible de détecter dans l'infrarouge l'énergie thermique dégagée par le lent refroidissement d'une naine brune. ISO pourrait nous donner les moyens de mesurer le rayonnement cumulé d'un halo galactique de naines brunes. Nous apportant pour la première fois des renseignements sur ces objets cosmiques obscurs.

Les astronomes ont déduit la masse totale de notre galaxie du déplacement des étoiles de la Voie lactée, obéissant à la force gravitationnelle combinée de l'ensemble des objets qu'elle contient. Mais il semble qu'il manque une partie de l'Univers, car les mouvements des étoiles révèlent la présence d'une force gravitationnelle bien supérieure à celle que peuvent expliquer les étoiles, la poussière et le gaz que nous sommes à même d'observer. Pour les astronomes, les déplacements gazeux dans notre galaxie impliquent l'existence d'une abondante « matière obscure » produisant une attraction gravitationnelle.

La question de la masse totale de l'Univers revêt une importance extrême car la réponse nous dira si l'Univers est ouvert ou fermé. Son expansion ne s'arrêtera-t-elle jamais ou bien, cette expansion cessant, l'Univers se contractera-t-il en une nouvelle boule de feu? Au stade actuel de nos connaissances, les deux

possibilités peuvent être envisagées. On pense en outre que d'autres galaxies possèdent de grands halos invisibles renfermant la majeure partie de leur masse. La masse manquante de la Voie lactée et d'autres galaxies prendrait-elle la forme de naines brunes. ISO pourra contribuer à faire la lumière sur cette énigme.



Vue dans l'infrarouge, fournie par le satellite IRAS, du Grand Nuage de Magellan. C'est la galaxie la plus proche de la nôtre. (Cliché JPL).

Le chaînon manquant: les quasars infrarouges

Il existe également dans l'Univers des objets cosmiques incroyablement massifs, d'un niveau énergétique incommensurable: les quasars. Ces sources lumineuses puissantes ressemblent à des étoiles, mais bien que leur volume soit très inférieur à celui de notre Voie lactée, leur émission d'énergie équivaut à celle de centaines de galaxies. En raison de l'expansion de l'Univers, de nombreux quasars s'éloignent de nous à plus de 90% de la vitesse de la lumière; la lumière que nous en recevons

et qui met des milliards d'années à nous atteindre subit un décalage vers le rouge, des longueurs d'onde du visible et de l'ultraviolet vers celles de l'infrarouge.

Cela signifie que les observations dans l'infrarouge nous permettent de remonter le cours du temps et de contempler l'Univers à ses tout débuts.

IRAS a découvert des « quasars infrarouges » qui pourraient être au centre de galaxies infrarouges. On suppose qu'au cœur du quasar, un trou noir massif engloutissant la matière de cet Univers observable dégage une

énergie intense dont le rayonnement submerge la lumière stellaire de la galaxie environnante et donne au « trou noir » l'aspect d'un quasar. Ces quasars infrarouges pourraient constituer le chaînon manquant dans l'évolution entre les galaxies lumineuses dans le domaine infrarouge et les quasars brillants dans le domaine optique.

Sonder toujours plus loin l'espace et le temps

Les galaxies sont les pièces constitutives de l'Univers. IRAS a dressé la carte de la Voie lactée, mais aussi établi les profils énergétiques de milliers de galaxies jusque-là trop faibles pour être perçues du sol dans l'infrarouge. Les instantanés d'IRAS nous apportent un premier aperçu du monde des galaxies infrarouges; ISO nous en donnera des images détaillées.

Les découvertes attendues d'ISO sont d'un intérêt tel que la NASA prépare d'ores et déjà un projet appelé à lui faire suite, dénommé SIRTIF (Space Infrared Telescope Facility).

« S'efforcer de comprendre l'Univers est l'une des très rares choses qui haussent la vie humaine légèrement au-dessus de la farce et lui confèrent un peu de l'élégance de la tragédie » écrivait Steven Weinberg dans les « Trois premières minutes ». D'innombrables êtres humains à l'esprit inquisiteur s'acharnent devant des tableaux noirs, derrière des terminaux d'ordinateurs, sur des sommets froids et obscurs à approfondir leur compréhension de l'Univers. Ces chercheurs entièrement voués à leur tâche progressent à pas de géants et ISO, le premier observatoire spatial dans l'infrarouge, constitue une étape clé pour l'humanité en quête de lumières sur le Cosmos.

Une étoile nouvelle dans le ciel austral

Répondant à l'appel de scientifiques danois observant avec le télescope à rayons-X du satellite russe GRANAT, les astronomes de l'ESO (European Southern Observatory) au Chili ont découvert une étoile très étrange dans la constellation de la Mouche (Musca). Les observations faites avec le télescope de 3m50 NTT (New Technology Telescope) indiquent qu'il s'agit d'une nova, très vraisemblablement

d'une étoile compacte faisant partie d'un système double. Sa brillance s'est accrue un millier de fois.

L'épopée internationale de Nova Muscae 1991

La nouvelle étoile, désignée sous l'appellation *Nova Muscae 1991*, a d'abord été détectée par la caméra à rayons X WATCH, construite par le Danish Space Research Institute en collaboration avec le Space Research Institute de Moscou, et installée sur le satellite russe GRANAT, lancé en décembre 1989. C'est en surveillant continuellement les données recueillies par WATCH que l'on s'aperçut de l'apparition soudaine d'une nouvelle source X. Celle-ci était inhabituellement intense, dépassée seulement par la fameuse nébuleuse du Crabe (vestige actif d'une étoile qui explosa en l'an 1054).

Notant que la déclinaison australe de la source empêchait son observation depuis notre hémisphère, les astronomes danois contactèrent immédiatement l'ESO, pour demander de l'identifier dans le domaine optique. L'erreur sur la position de la source X correspondait à un cercle d'un degré de diamètre.

Une première plaque fut prise avec l'astrographe GPO le 11 janvier, mais sans résultat. La nuit suivante, une pose de 45 min avec le grand télescope de Schmidt ne fut pas plus concluante. Le 13, une plus longue pose, de 90 min cette fois, était obtenue avec le Schmidt. Entretemps le satellite japonais GINGA avait permis de préciser quelque peu la position de l'objet. Malgré cela la zone d'incertitude restait grande et l'on y voyait des milliers d'étoiles.

La « nouvelle » étoile

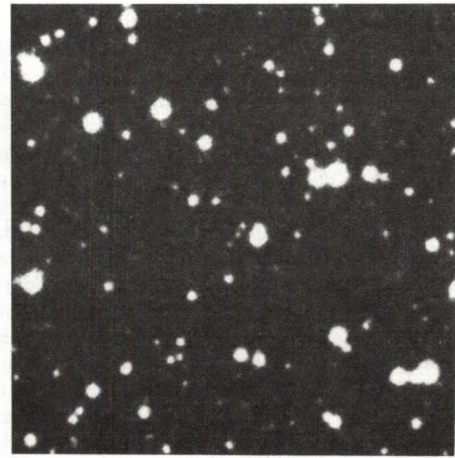
Enfin la comparaison attentive des différentes plaques Schmidt permettait d'identifier la nova le 14 janvier. C'était une étoile de magnitude 16 ou 17, au bord de la zone d'erreur X. Connaissant alors la position précise on pu prendre cette nuit une image CCD au télescope NTT. L'objet avait encore augmenté de brillance, passant à la magnitude 13. Sa couleur bleue indiquait une température élevée. Ces observations montraient que la nouvelle source X était très probablement une nova.

La comparaison avec des plaques Schmidt obtenues en 1976 et 1984 montre le progéniteur de la nova, c'est-à-dire l'étoile avant son explosion. Le nom de *Nova Muscae* était attribué.

La nature de *Nova Muscae* 1991

On observe en moyenne deux novae par an dans notre Voie Lactée, et l'on peut en voir aussi dans des galaxies voisines. La luminosité de ces astres augmente soudainement, en

quelques jours, puis décroît plus lentement, en quelques semaines ou quelques mois. La nova Musca est particulière en cela qu'elle commença à émettre des rayons X avant de se manifester dans le domaine visible. Elle fait partie d'une classe assez rare, dite des *novae* X, dont des membres ont été observés en 1975, 1977, 1980 et 1989. Ces novae émettent mille fois plus de rayonnement X que de rayonnements visibles, alors que les novae plus classiques en émettent dix mille fois moins.



Nova Muscae 1991

La *Nova Muscae* 1991 a explosé dans la constellation australe de la Mouche. La photo de gauche a été obtenue au télescope Schmidt de l'ESO, dans la couleur rouge, en 1976 (pose de 120 min). Celle de droite montre le même champ observé avec le télescope NTT de 3m50, le 15 janvier 1991 (pose de 5 secondes avec un détecteur CCD!). La nova est visible au centre de cette seconde image. Le progéniteur de la nova est faiblement discernable sur la photo de 1976.

On pense que les explosions de novae ont lieu dans des étoiles doubles dont l'une des composantes est un objet compact, étoile à neutrons ou naine blanche. Celle-ci attire la matière qui s'échappe de l'autre étoile. Cette matière s'entasse en une couche dont la densité et la température finissent par devenir telles

qu'une réaction thermonucléaire (de fusion) s'enclenche. La couche explose et s'échappe dans le milieu interstellaire. C'est la luminosité de cette enveloppe en expansion qui produit l'augmentation de brillance observée. Contrairement aux *supernovae*, les novae survivent à ce qui n'est en fait qu'une explosion

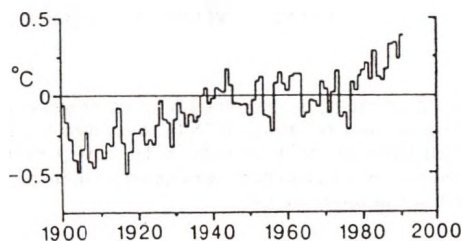
superficielle. On a d'ailleurs observé la répétition du phénomène chez certaines étoiles. On les appelle « novae récurrentes ».

Dans le cas des novae X, comme Nova Muscae 1991, l'objet compact est une étoile à neutrons, extrêmement compacte et dense, aussi massive que le Soleil malgré une taille d'une dizaine de kilomètres. La matière tombant sur l'étoile provoque une *instabilité gravitationnelle*, sans qu'il y ait nécessairement de réaction thermonucléaire. L'évacuation soudaine d'énergie gravitationnelle explique l'augmentation de luminosité, par suite de l'échauffement de la matière. Il ne se forme pas d'enveloppe en expansion.

La nova continuera naturellement à faire l'objet de toute une série d'observations, depuis les satellites X et UV, comme depuis le sol.

1990, l'année la plus chaude

L'Office Météorologique de Grande Bretagne et l'Université d'East Anglia étudient l'évolution de la température moyenne du globe depuis le début du siècle. Pour ce faire, ils se basent sur des données obtenues à la fois depuis des stations terrestres, comme depuis des navires. Comme le montre la figure, les résultats sont clairs et ne laissent guère de doute quant à l'échauffement progressif de la surface d notre planète.

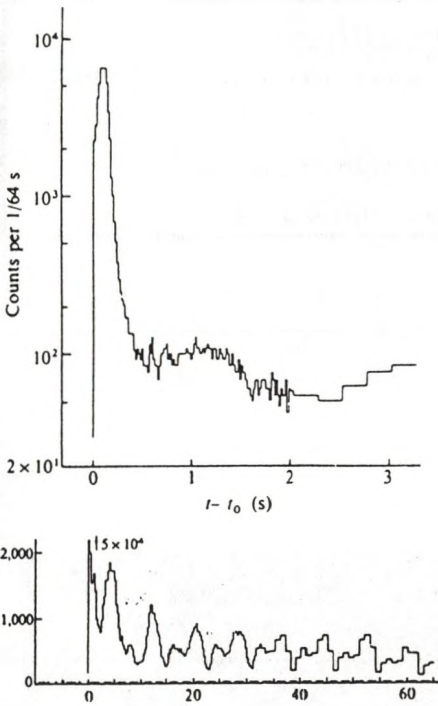


Température moyenne à la surface du globe au cours du vingtième siècle. La température de référence (0°C) est la moyenne des années 1951—1980. (*Nature*)

L'année 1990 est la plus chaude jamais enregistrée, dépassant 1988, l'ancien record, de 0,05°C. Qui plus est, les six années les plus chaudes sont toutes dans la dernière décennie. Bien que ces variations semblent faibles, elles sont pourtant d'une grande importance pour notre planète, et la persistance du phénomène, ou son amplification auraient des conséquences dramatiques.

Rayons gamma

Les astronomes appellent rayons gamma les radiations électromagnétiques de très courtes longueurs d'onde, au-delà des rayons X. C'est l'une des fenêtres que les ballons stratosphériques et les satellites ont ouverte sur l'univers — fenêtre encore peu explorée et riche en énigmes. L'une de ces énigmes qui hante les astronomes depuis 1973, est celle des « sursauts » ou « éclairs » gamma. De temps à autre, on observe l'apparition d'une source très brillante et très éphémère (quelques secondes). Il n'a jamais été possible de relier ces sources à des astres connus et l'origine du phénomène a toujours été mystérieuse. Parmi les hypothèses avancées, on a parlé d'explosions ayant eu lieu juste après le Big Bang, de la chute d'astéroïdes ou de comètes sur des étoiles à neutrons, d'explosions thermonucléaires provoquées par l'accrétion de matière à la surface de ces mêmes étoiles à neutrons (on peut voir là une analogie avec le phénomène de nova X — voir l'article sur la Nova Muscae 1991 dans cette même rubrique), ou encore de l'annihilation de micrométéorites d'antimatière à la frontière du système solaire. Cette dernière hypothèse invoquant des objets, même petits d'antimatière semble des plus farfelues, mais à l'échelle des particules élémentaires, l'antimatière explique effectivement certaines des observations gamma. On observe depuis deux décennies des rayons gamma ayant l'énergie très précise de 511 003 eV (*électron-volt*). Cela correspond exactement à la « raie » d'annihilation de l'électron et de l'anti-électron, ou « positron ». On voit donc que l'origine des phénomènes gamma est parfois assez exotique.



Variation de l'intensité d'un sursaut gamma au cours du temps. On voit, en bas, la forte modulation que l'on attribue à la rotation d'une étoile à neutrons. (*Nature*)

L'explication des sursauts a peut-être été trouvée après de nombreux calculs effectués sur l'accrétion de matière par des étoiles à neutrons (et l'on mentirait en disant qu'elle est tout à fait banale.) Le profil de l'intensité des sursauts (voir figure) au cours du temps montre une modulation avec une période de l'ordre de la seconde, parfaitement compatible avec la période de rotation d'un tel astre compact. L'accumulation lente de matière intrastellaire à la surface d'une étoile à neutrons doit s'accompagner de réactions nucléaires de fusion qui finissent par entraîner une inversion de la densité près de la surface, les couches superficielles étant un peu plus denses que les couches sous-jacentes. La structure ainsi

formée n'est pas stable, elle s'effondre en un formidable « séisme » stellaire, en convertissant d'une manière ou l'autre le trop-plein d'énergie dans les rayons gamma. Le mécanisme peut se reproduire après un certain temps, de nombreuses fois (jusqu'à un million de fois dans la vie de l'étoile) après l'accumulation de nouvelle matière interstellaire.

Les « tremblements » d'étoiles ne sont pas une hypothèse nouvelle. Outre les vibrations globales que nombre d'entre elles présentent (et que l'on enregistre en détail sur notre Soleil), on a attribué les changements de période des pulsars (étoiles à neutrons qui, en tournant à la manière d'un phare, projettent à intervalles régulier un pinceau lumineux vers la Terre) à un réajustement sismique des couches extérieures solides.

On observe aussi des sources de sursauts dans les rayons X, c'est-à-dire dans le domaine d'énergie situé sous celui des rayons gamma. Ce phénomène est dû à des étoiles à neutrons situées dans des systèmes doubles et présentant une accrétion de matière plus importante aux dépens de leur compagnon. Les réactions de fusions se font dans des couches moins profondes, de façon moins violente. On connaît aussi des pulsars X, ne présentant pas de sursauts du tout. Dans ce cas l'explication est que l'accrétion de matière est encore beaucoup plus importante, celle-ci provenant d'un compagnon plus massif.