

---

## L'astronomie dans le monde

---

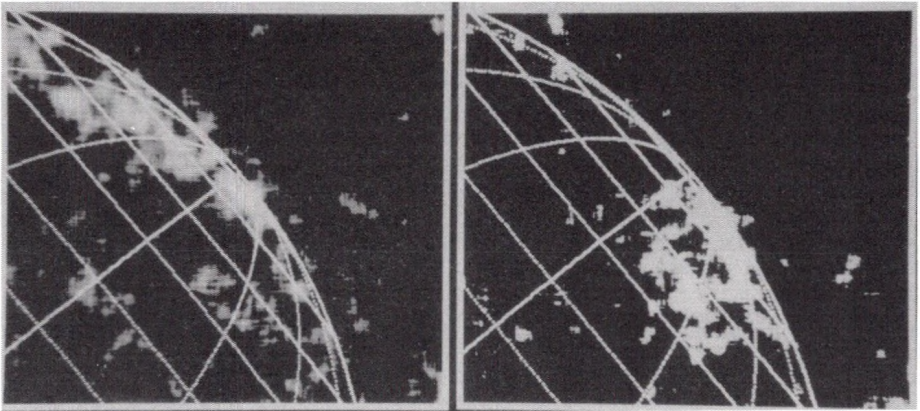
### *Les aurores polaires de Jupiter en images*

*Il y a quelques mois (Le Ciel, septembre 1992, pp 261-262), nous décrivions l'observation, en février 1992, d'une aurore polaire sur Jupiter par une équipe liégeoise (Jean-Claude Gérard et Vincent Dols); observation réalisée au moyen du télescope spatial Hubble, dans la raie Lyman- $\alpha$  de l'hydrogène atomique. Ces travaux ont été poursuivis avec vigueur, et un communiqué de presse vient d'être publié par l'Université de Liège à ce sujet. Ce communiqué, ainsi que les informations complémentaires aimablement communiquées par l'équipe liégeoise, nous permettent de faire le point sur la question :*

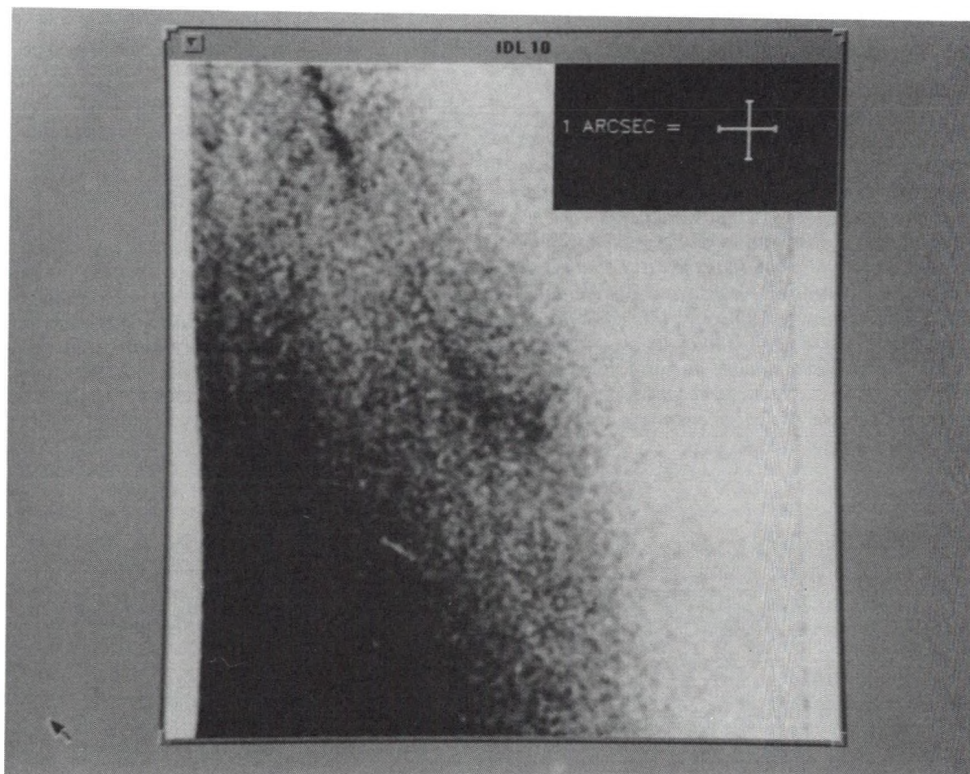
Basé en partie sur le communiqué de presse 181/1992 de l'Université de Liège

Les aurores polaires (dites « boréales » dans notre hémisphère) ne sont pas seulement des phénomènes terrestres. Il en existe sur d'autres planètes du système solaire, celles qui possèdent un champ magnétique intense.

Grâce aux mesures qu'ont pu transmettre, il y a plus de dix ans, les sondes Voyager, on a remarqué qu'il existe dans les zones de haute latitude des planètes géantes des phénomènes assimilables à nos aurores polaires. En d'autres termes, on a pu détecter un rayonnement lumineux dû à certaines particules énergétiques (protons, ions, électrons) déviées par le champ magnétique et interagissant avec l'atmosphère des planètes.



Deux images d'une aurore polaire, obtenues le 9 février 1992 par la caméra FOC (Faint Object Camera) embarquée sur le HST. Un filtre ultraviolet isolait la raie Lyman- $\alpha$  de l'hydrogène atomique, à la longueur d'onde de 122 nanomètres. (Cliché NASA/ESA)



**Image d'une aurore polaire, obtenue le 23 juin 1992 par la caméra FOC (Faint Object Camera) embarquée sur le HST. Ce cliché (présenté ici en négatif) a été pris à la longueur d'onde de 160 nm, et montre l'aurore dans une bande de l'hydrogène moléculaire. (Cliché NASA/ESA)**

Ces aurores, sur des planètes lointaines, ne peuvent être étudiées depuis la Terre, car le rayonnement ultraviolet qui les caractérise est absorbé par l'atmosphère de notre globe. Et, malheureusement, les Voyager, qui avaient pu détecter le phénomène, ne disposaient pas de caméra sensible à l'ultraviolet qui aurait permis de mesurer l'intensité de ces émissions, ou

d'en déterminer la morphologie exacte. Ainsi, si l'existence du phénomène était établie, son origine précise restait incertaine.

Heureusement, la mise sur orbite du Hubble Space Telescope (HST) a changé cette situation, en libérant les astronomes des contraintes imposées par notre atmosphère. A 600 kilomètres de la Terre, et malgré les défauts de son

miroir, Hubble permet de « voir » les planètes géantes avec une excellente résolution grâce à la caméra européenne FOC (Faint Object Camera). Il permet aussi d'avoir accès à l'ultraviolet proche (entre 0,1 et 0,3 micron), domaine interdit aux observatoires terrestres.

En février 1992, pour la première fois, une équipe internationale d'astrophysiciens, parmi lesquels des scientifiques belges de l'Université de Liège, obtenait, à l'aide du télescope spatial Hubble, des images d'une aurore polaire sur la planète Jupiter dans la raie Lyman- $\alpha$  — raie ultraviolette caractéristique de l'hydrogène atomique, à la longueur d'onde de 122 nanomètres (0,122 microns). Depuis lors, plusieurs équipes se sont intéressées à l'imagerie des aurores de Jupiter, principalement dans des longueurs d'ondes représentatives, non plus de l'hydrogène atomique, mais de sa variété moléculaire où deux atomes sont associés selon la formule classique  $H_2$  bien connue des étudiants. En juin 1992, les astronomes liégeois réalisaient à nouveau une première en obtenant, toujours avec Hubble, des images d'aurores à la longueur d'onde de 160 nanomètres, région du spectre où la molécule  $H_2$  est spécialement bien mise en évidence par les bandes de Lyman.

Le Laboratoire de Géophysique et Planétologie de l'université de Liège, dirigé par Jean-Claude Gérard, est connu pour ses compétences en matière d'étude de l'atmosphère terrestre. Il fait partie des rares élus européens à qui fut donnée la possibilité de bénéficier, dès les premiers mois de la mission, des équipements du télescope spatial Hubble.

Dans ce cadre, Jean-Claude Gérard s'est attaché à l'observation de l'atmosphère des planètes joviennes. Avec l'aide des Services de la Programmation de la Politique scientifique, il s'est adjoint un collaborateur, Vincent Dols, pour mener à bien un programme d'imagerie des atmosphères de Jupiter, Io, Uranus et Saturne. Plus de quinze heures d'observation avaient été accordées à son équipe pour ce projet. Suite aux premiers résultats sur les aurores de Jupiter, une dizaine d'heures supplémentaires viennent d'être octroyées aux chercheurs.

Ainsi donc, pour la première fois, des images de l'aurore polaire dans divers domaines ultraviolets ont été obtenues. Transmises sur Terre, elles ont été acheminées vers Liège, où les chercheurs de l'Université les ont analysées, en tentant de répondre à une série de

questions : pourquoi existe-t-il des aurores sur ces planètes, quelle en est l'origine, quelles sont les particules qui les composent, etc.? La précision des images obtenues permet d'analyser finement la structure et l'origine du phénomène.

Outre l'ultraviolet, les aurores ont été détectées aussi dans le domaine infrarouge, ainsi que dans les rayons X (par le satellite ROSAT).

Le Soleil émet des particules chargées, et ce d'autant plus intensément que son activité est importante. Ces particules sont la source des émissions lumineuses caractérisant les aurores terrestres. Mais dans le cas de Jupiter, une source supplémentaire pourrait être à l'œuvre...

En effet, les images fournies par les Voyager montrent que le satellite Io est en proie à une intense activité volcanique. Il expulse dans l'environnement magnétique de Jupiter des particules chargées (protons, électrons, ions de soufre et d'oxygène) qui se répartissent en une sorte de *bouée de plasma* (tore) située dans le plan équatorial magnétique de la planète. Ce tore de plasma constitue une réserve de particules qui interagissent avec la magnétosphère de Jupiter. Ces mécanismes d'interaction sont complexes, mais l'analyse des images obtenues dans l'ultraviolet, ainsi que leur modélisation, suggèrent deux choses. Premièrement, il semble que les particules du tore de plasma subissent une diffusion vers l'extérieur de la magnétosphère. Deuxièmement, ces mêmes particules — qui sont chargées électriquement — suivent les lignes de force du champ magnétique pour finalement exciter les molécules et atomes d'hydrogène qui constituent en majorité l'atmosphère de Jupiter. Ces molécules et atomes se désexcitent en émettant un rayonnement lumineux. C'est ainsi que l'aurore apparaît sous forme d'un arc entourant le pôle nord magnétique de Jupiter, là où les particules guidées par les lignes de force rencontrent la haute atmosphère.

Les spectres ultraviolets analysés à Liège semblent compatibles avec l'excitation de molécules d'hydrogène par des électrons dans la haute atmosphère jovienne (au voisinage de l'homopause) — électrons dont l'origine est encore incertaine. Par contre, les émissions en rayons X semblent indiquer la précipitation d'ions lourds (soufre et oxygène) — provenant probablement de Io.

Obtenir des images de ces spectaculaires aurores est crucial pour en étudier la morphologie et comprendre le rôle relatif des deux mécanismes susceptibles de générer le phénomène. C'est ce à quoi s'attacheront les prochaines observations. Réalisées dans plusieurs gammes de longueur d'onde et à des moments différents, en parallèle avec des satellites X, ultraviolet, ainsi qu'en infrarouge et en ondes radio, ces observations permettront une analyse détaillée multi-spectrale et temporelle du phénomène.

\* \* \*

### *La masse manquante*

Malgré tous les moyens mis en œuvre pour étudier le cosmos, les astronomes sont persuadés que la plus grande partie de la matière existant dans l'univers leur reste invisible, même relativement près de nous! Étoiles, galaxies, planètes, bref, tout ce que l'on observe, ne constituerait que quelques pour cent de la masse de l'univers.

L'existence de cette « masse cachée » ou « manquante » est révélée par une propriété infaillible de la matière, l'attraction gravitationnelle. En observant les amas de galaxies, les astronomes se sont vite rendu compte d'une anomalie flagrante. Les divers membres d'un amas tournent les uns autour des autres dans un ballet compliqué réglé par la loi de Newton. Cette loi énonce que les forces d'attraction sont proportionnelles aux masses. Il en découle que plus les masses sont élevées, plus les mouvements orbitaux doivent être rapides pour éviter l'effondrement de l'amas sur lui-même. De la même façon un satellite doit tourner plus vite autour de la Terre qu'autour de la Lune. Si l'on fait le calcul de la masse des amas, en se basant sur les astres visibles et sur les relations connues entre leur masse et leur luminosité, on obtient des valeurs beaucoup trop faibles par rapport à celles qui seraient nécessaires pour expliquer les vitesses relatives des galaxies. Celles-ci tournent bien trop vite! On ne peut retenir l'hypothèse que les amas ne sont pas liés gravitationnellement, car au cours des milliards d'années de leur existence ils se

seraient totalement dispersés. Seules les très gros « superamas » ont quelque chance de ne pas être « liés » gravitationnellement.

La masse manquante doit aussi être invoquée à une échelle plus petite, pour expliquer la rotation des galaxies spirales. Lorsque l'on s'éloigne du centre de ces galaxies, on s'attend à voir la vitesse orbitale des étoiles diminuer, tout comme dans le système solaire on assiste à une diminution progressive des vitesses des planètes depuis Mercure jusqu'à Pluton. Mais ce n'est pas le cas. Même très loin du centre, là où l'on pensait que l'attraction devait diminuer rapidement, les vitesses stellaires ne marquent pas de ralentissement notable. Autrement dit la masse comprise à l'intérieur d'une sphère centrée sur la galaxie — seule masse intervenant pour l'attraction exercée en un point de la surface de cette sphère — augmente toujours considérablement, en dépit de la rareté de matière visible.

En quoi consiste cette matière invisible? On a proposé toute une série d'astres connus, mais invisibles : comètes, étoiles éteintes, ou très faibles, planètes errantes etc. Mais on dut se rendre à l'évidence, il faut beaucoup trop de tels objets pour rétablir l'équilibre. Les théories cosmologiques prédisent aussi que le Big Bang n'aurait pas pu produire autant de matière « normale », c'est-à-dire constituée essentiellement de neutrons et de protons (« baryons »), sinon les abondances observées du deutérium (hydrogène lourd) et de l'hélium-3 seraient inexplicables. L'hypothèse de matière non baryonique s'est donc peu à peu imposée parmi les astronomes et les physiciens.

Parmi les constituants proposés pour la matière invisible figurent les neutrinos, particules très peu massives et existant en nombre fantastiquement grand. Mais on ne sait pas avec certitude si le neutrino a effectivement une masse. Si celle-ci est nulle, ils ne peuvent expliquer la masse cachée, quel que soit leur nombre. On a alors pensé à des particules exotiques et hypothétiques, les *wimps* (weakly interacting particles) de masse élevée, qui pourraient reprendre le flambeau des neutrinos. D'autres théories encore plus exotiques font appel à des mini trous noirs, et à des particules aussi étranges qu'hypothétiques, interagissant très faiblement, et donc indécétables (axions, photinos, etc.).

Une observation récente par le satellite X ROSAT vient d'apporter de l'eau au moulin des partisans d'une forme exotique de matière manquante. Utilisant ce satellite, des astronomes américains viennent de découvrir un immense nuage de gaz extrêmement chaud entourant une paire de galaxies. Le nuage ne semble pas avoir été produit par une explosion. Il est donc stable ou en contraction. Mais la masse des deux galaxies est bien incapable de retenir ou de faire se contracter un aussi gros nuage de gaz à une température (et donc une pression) très élevée. Les auteurs de l'observation pensent que le déficit de masse est d'un facteur situé entre dix et trente! A ce niveau seule une explication non baryonique de la matière manquante reste défendable.

Tous les spécialistes ne se rallient cependant pas encore à cette hypothèse. Tout en considérant cette observation comme très importante, beaucoup d'astronomes aimeraient la voir confirmée par d'autres exemples dans l'univers.

\* \* \*

### *Le Soleil, étoile variable*

Il y a quelque temps (*Le Ciel*, juin 1991, page 199), nous parlions des mesures de la variabilité de la luminosité solaire au cours d'un cycle complet de taches. Ces mesures, effectuées par le satellite SMM (Solar Maximum Mission), indiquent que la luminosité est corrélée à l'activité photosphérique. C'est lors du maximum d'activité que l'éclat de l'astre du jour est le plus élevé, et cela malgré la présence de nombreuses taches. D'autres satellites, comme Nimbus 7, corroboraient cette analyse.

Il existe beaucoup d'étoiles semblables au Soleil (les astronomes lui attribuent le type spectral G2V, très courant). Il n'y a aucune raison de prêter à celui-ci un comportement particulier, et il est donc intéressant de vérifier si l'observation de ces étoiles jumelles permet de mettre en évidence de semblables variations.

C'est ce qu'ont fait des chercheurs américains au cours d'une campagne d'observation qui a duré 8 ans, et qui visait 33 étoiles de type solaire.

On pourrait se demander pourquoi ce type d'étude n'a pas été fait plus tôt. Un premier problème est que la variation moyenne du Soleil atteint à peine le millième de magnitude et qu'il est impossible de mesurer la luminosité des étoiles avec cette précision. Ensuite, mesurer constamment les mêmes étoiles durant des années, tout en étant persuadé que rien ne se passera, ne constitue pas un projet susceptible de soulever l'enthousiasme des astronomes, et encore moins des comités attribuant au compte goutte le temps d'observation.

Surmontant ces préjugés, l'équipe américaine a pu mettre sur pied une campagne d'observations photométriques au Lowell Observatory. Des observations spectroscopiques enregistrant l'activité chromosphérique de ces mêmes étoiles devaient permettre de corréler les variations de l'activité et de la luminosité de ces étoiles, si l'on décelait quelque chose.

Les résultats sont positifs et, par conséquent, inattendus. Les variations de luminosité sont mesurables, donc plus grandes que prévues. La moitié des étoiles du groupe varient d'année en année avec une amplitude dépassant le millième de magnitude. Certaines étoiles montrent une amplitude totale de près de trois pour cent! Et la corrélation avec l'activité de la chromosphère est indubitable.

On sait que l'activité chromosphérique diminue avec l'âge des étoiles. Ce sont les étoiles les plus jeunes — plus jeunes que notre Soleil — qui montrent les plus grandes variations à la fois de l'activité et de la luminosité. Mais un fait remarquable ressort des données. Si l'on place l'activité du Soleil dans la courbe de corrélation générale avec la luminosité, on s'aperçoit que les variations du Soleil devraient être environ quatre fois plus grande que celles mesurées par Nimbus.

Le Soleil est-il caractérisé par une variabilité anormalement faible de sa luminosité, ce qui en ferait un objet exceptionnel, et heurterait beaucoup de scientifiques? Ou bien le dernier cycle durant lequel se sont faites les observations a-t-il été anormal? Dans ce dernier cas, on pourrait s'attendre, lors de cycles ultérieurs, à observer des variations plus importantes de luminosité. Si l'on sait que de faibles variations

de cette luminosité peuvent avoir une grande influence sur le climat, il est évident que l'étude du problème mérite d'être poursuivie.

\*\*\*

### **Pulsar ou trou noir?**

La supernova qui a illuminé le Grand Nuage de Magellan en février 1987 continue d'intriguer les astronomes. Après avoir renversé ou précisé pas mal de notions concernant le phénomène catastrophique qui marque la mort de certaines étoiles, l'étude de SN1987A aurait dû se conclure par la découverte d'un pulsar. Un pulsar, qui n'est autre qu'une étoile à neutrons, apparaît souvent comme résidu de l'explosion. C'est ainsi que l'on connaît des vestiges de supernovae très anciennes, comme Vela ou le Crabe, renfermant en leur sein un pulsar. Parfois, il n'y a pas de résidu, l'étoile ayant disparu totalement. Dans d'autres cas on estime que les restes, trop massifs, s'effondrent et forment un trou noir.

Qu'en est-il de SN1987A? Lors de l'explosion, un flux très bref de neutrinos avait été décelé indiquant avec quasi certitude la formation d'une étoile à neutrons. Après une première fausse alerte — des « pulses » avaient été observés, mais ils provenaient de l'instrument d'observation, et non de la supernova —, la mesure du flux de SN1987A semblait conclure à la présence d'une source d'énergie cachée, alimentant l'enveloppe de débris en expansion. Il apparaît maintenant que cette source n'existe pas. S'il y avait une étoile à neutrons au centre de l'enveloppe, on s'attendrait aussi à y observer des atomes fortement ionisés, ce qui n'est pas le cas.

Exit donc le pulsar...

La seule possibilité reste donc le trou noir. Ce trou noir continue d'avaler la matière qui l'entoure, émettant ainsi une intense radiation. Mais ce rayonnement est immédiatement absorbé et ne se manifeste pas à nous.

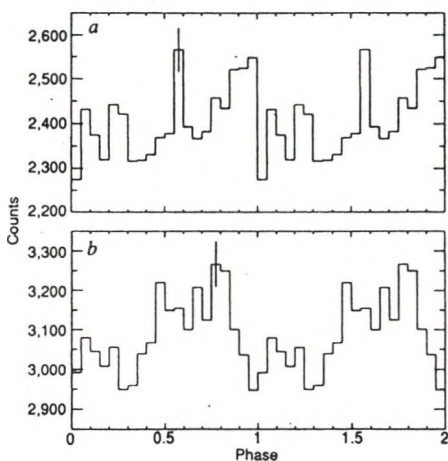
Si les astronomes peuvent regretter de ne pas avoir observé la naissance d'un pulsar, ils se consolent donc en ayant peut-être vu celle d'un trou noir!

### **Pulsar X**

Les pulsars sont caractérisés par des champs magnétiques de très forte intensité. Ils émettent des jets de particules extrêmement énergétiques (électrons et positrons) dans leur magnétosphère, ce qui entraîne des interactions violentes, et l'émission de rayonnement électromagnétique dans toutes les gammes de longueur d'onde, y compris les rayons X et gamma. De plus la surface même des étoiles à neutrons doit être le siège d'émissions de rayons X.

Rares, cependant, sont les pulsars que l'on observe dans les rayonnements durs. Au contraire, la découverte même de ces astres étranges s'est faite dans la gamme des ondes radio, c'est-à-dire les ondes les moins énergétiques. Et seuls quelques pulsars sont connus pour émettre des rayons X ou gamma.

Parmi ces astres, le pulsar de Vela constituait jusqu'à présent une curieuse exception. Ce pulsar est l'un des plus proches de la Terre, et l'un des mieux connus. Mais, si l'on observait bien ses pulsations dans les domaines radio, visible, et gamma, on n'était pas parvenu à les détecter dans les rayons X. Voilà maintenant qui est fait, grâce au satellite ROSAT.



Courbe moyenne d'un pulse X du pulsar de Vela, observée par le satellite ROSAT en avril 1991 (au-dessus) et en décembre 1991.

Les observations ont demandé de longues heures d'intégrations, afin d'obtenir un signal satisfaisant et de l'extraire du bruit de fond. La figure ci-dessus représente la forme du pulse moyen, à deux époques différentes. La structure est assez complexe avec des pics secon-

dares. La fraction de l'émission pulsée représente environ dix pour cent du flux continu.

Outre la source ponctuelle due au pulsar lui-même, la nébuleuse compacte qui l'entoure est également décelée en rayons X.