
L'astronomie dans le monde

Naines blanches

Press release STScI-PF95-23
du 22 mai 1995

C'est avec surprise que les astrophysiciens ont accueilli les observations du Hubble Space Telescope concernant deux systèmes binaires cataclysmiques. Ces systèmes, qui avaient explosé récemment, contiennent une étoile de type naine blanche, et dans les deux cas on a trouvé que la température de cette naine blanche est plus basse que prévu, et que sa rotation sur elle-même plus est plus lente que ce que l'on imaginait.

« Cela demande une révision de nos théories » dit le Professeur Edward Sion de la Villanova University, Villanova, PA. « Alors que l'on connaît ces petites étoiles explosives depuis environ trente ans, le HST permet maintenant de les observer directement et peut ainsi tester les idées des théoriciens. »

Outre la naine blanche (une étoile effondrée, très dense et de la taille de la Terre), les systèmes cataclysmiques contiennent une autre étoile, normale, plus ou moins semblable au Soleil, quoique plus petite. La distance des deux astres est petite si bien que le système double est lui-même très compact (il tiendrait en entier dans notre Soleil), et effectue une révolution toutes les trois heures. L'attraction de la naine extirpe de la matière de l'étoile normale, et cette matière s'écoule vers la naine et s'enroule autour d'elle pour former un anneau. De temps en temps, lorsqu'il devient trop lourd, l'anneau s'effondre sur la naine blanche. L'énergie qui se libère alors est équivalente à cent millions de fois l'énergie combinée de tout l'arsenal nucléaire soviétique et américain aux plus sombres moments de la guerre froide. L'événement est appelé nova naine. Elle n'est en fait que la manifestation de l'énergie cinétique et potentielle du gaz — essentiellement de l'hydrogène. Mais, à force de s'accumuler sur la naine blanche, la pression et la tempé-

rature de cet hydrogène augmentent considérablement, et finissent par atteindre le seuil critique où des réactions de fusion se déclenchent. Se produit alors une explosion gigantesque, dix mille fois plus violente que la nova naine. Cet événement est la nova classique. Le processus de formation d'un nouvel anneau recommence, et l'on comprend que ces explosions ont lieu à répétition, de façon plus ou moins régulière.

Edward Sion et ses co-investigateurs ont étudié deux des plus célèbres variables cataclysmiques, bien connues des amateurs: VW Hydri and U Geminorum. Hubble a été utilisé pour obtenir des observations spectroscopiques des novae naines quelques jours après leur éruption, avant qu'un nouvel anneau de gaz ne se forme et ne vienne voiler la naine blanche.

La plus grosse surprise est cependant la lenteur de la rotation des deux naines blanches: près de quatre minutes pour U Geminorum et environ une minute pour VW Hydri. Les collisions entre le gaz qui provient de l'anneau et la surface de l'étoile doivent alors être très violentes car le disque tourne bien plus vite que la naine blanche. Jusqu'à présent on avait écarté cette hypothèse, car une collision violente porterait le gaz à des températures très élevées, de l'ordre du million de degrés centigrades, et le conduirait à émettre des rayons X. Cela n'a jamais été observé. On en avait donc conclu que la surface des naines blanches tournait aussi vite que l'anneau, si bien que la collision se faisait en douceur. Un autre argument plaidait en faveur de la synchronisation de l'anneau et de l'étoile: l'impulsion du gaz tombant sur l'étoile aurait dû à la longue accélérer celle-ci jusqu'à annuler la vitesse angulaire relative. Les résultats de Hubble contredisent à l'évidence ce scénario. Il doit exister quelque mécanisme, encore mystérieux, qui évacue le moment angulaire de la naine blanche, et ne lui permet pas d'accélérer au-delà d'une certaine limite.

Mais ce n'est pas tout. On croyait que l'explosion en nova échaufferait la naine bien plus considérablement que les quelques milliers de degrés mesurés par Hubble. Là aussi, un mécanisme inconnu dissipe rapidement l'énergie sur toute la surface de l'étoile, alors que l'on pensait qu'elle resterait confinée à l'endroit où le gaz s'accumule.

Un autre sujet d'intérêt est la composition chimique observée de l'atmosphère de ces naines blanches. Elle diffère sensiblement de celle de notre Soleil, et l'on pense que cela est dû à la forte gravité à la surface de ces étoiles. Il est probable que les atomes lourds sont attirés vers le centre et que ce processus de décantation laisse une atmosphère plus riche en hydrogène.

De nouvelles observations d'Hubble auront lieu dans les prochains mois pour en apprendre plus sur ces mystères.

Le Hubble Space Telescope observe une étoile en formation

Le télescope spatial Hubble (HST) a donné les premières images détaillées des phénomènes violents accompagnant la formation d'une étoile. Ces observations donnent une idée de ce qui s'est passé lorsque le Soleil est né il y a 4,5 milliards d'années, et confirment les théories actuelles. La Terre et les autres planètes de notre système se sont condensées au sein d'un disque « circumstellaire » qui tournait autour du (futur) Soleil — ce qui permet d'expliquer pourquoi leurs orbites sont approximativement dans un même plan (l'écliptique), et pourquoi elles tournent dans le même sens. Selon cette théorie, lorsque le Soleil s'est « allumé », son puissant rayonnement a rapidement éjecté les restes du disque circumstellaire, laissant planètes, astéroïdes et autres comètes à leurs ballets respectifs.

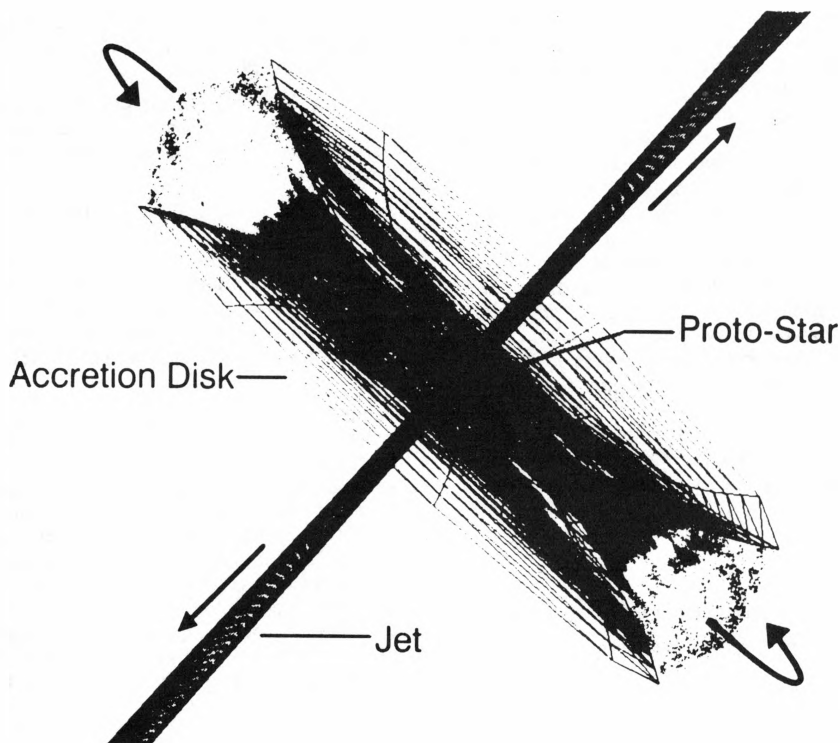
Les éléments clefs révélés par les images du HST sont les suivants :

- Deux jets de matière jaillissent de l'étoile en formation, perpendiculairement au disque, et forment de fins pinceaux;
- L'éjection de matière n'est pas constante; elle a lieu en épisodes successifs, par bouffées, de sorte que l'on voit une série de grains plus épais le long des jets;
- Les jets n'ont pas une direction fixe, mais tournent à la façon de l'axe d'une toupie; ce mouvement de précession est sans doute dû à la présence de compagnons près de l'étoile en formation; cela n'a pas de quoi surprendre puisque l'on sait que le plupart des étoiles naissent sous forme de systèmes multiples.

Comment les théories s'accordent-elles avec les observations? La formation d'une étoile se fait à partir de la condensation d'un vaste nuage de gaz et de poussières. Lorsque celui-ci se contracte, les lois de la mécanique l'obligent à tourner de plus en plus vite sur lui-même. L'effet centrifuge finit par empêcher la contraction vers l'axe de rotation, mais elle peut continuer sans entraves parallèlement à l'axe. Elle se poursuit donc jusqu'à ce que toute la matière se retrouve dans un disque perpendiculaire à l'axe, selon le schéma de la page suivante, relatif à l'objet HH30.

Une partie de la matière centrale du disque finit par tomber sur l'étoile elle-même à condition de réduire sa vitesse de rotation. Ce phénomène se produit non pas de façon continue, mais par vagues successives (à quelques dizaines d'années d'intervalle). Une quantité énorme d'énergie se libère alors et entraîne l'expulsion à grande vitesse d'une certaine masse. L'éjection est confinée vers les pôles à cause de la présence du disque dans les régions équatoriales. On comprend ainsi aisément l'émission successive de paquets de matière, et la structure « perlée » des jets.

L'extrême finesse des jets demande un mécanisme de confinement très efficace, peut-être l'action d'un puissant champ magnétique. Ce point n'est pas encore éclairci et fait l'objet d'intenses débats parmi les théoriciens.

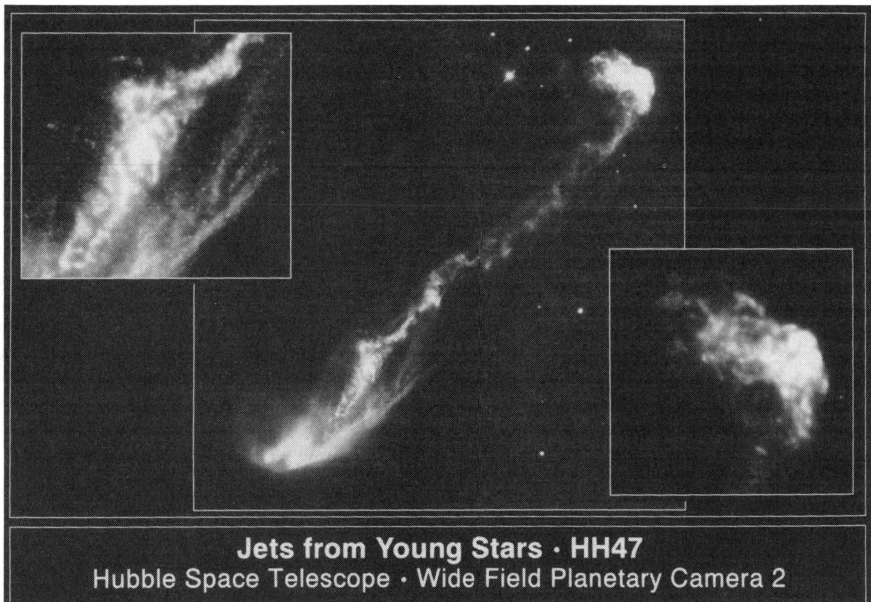
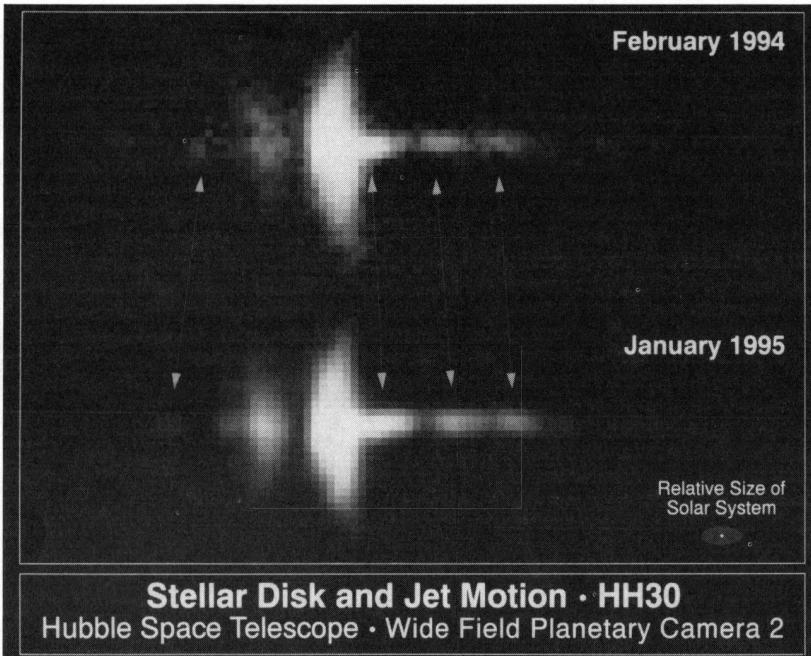


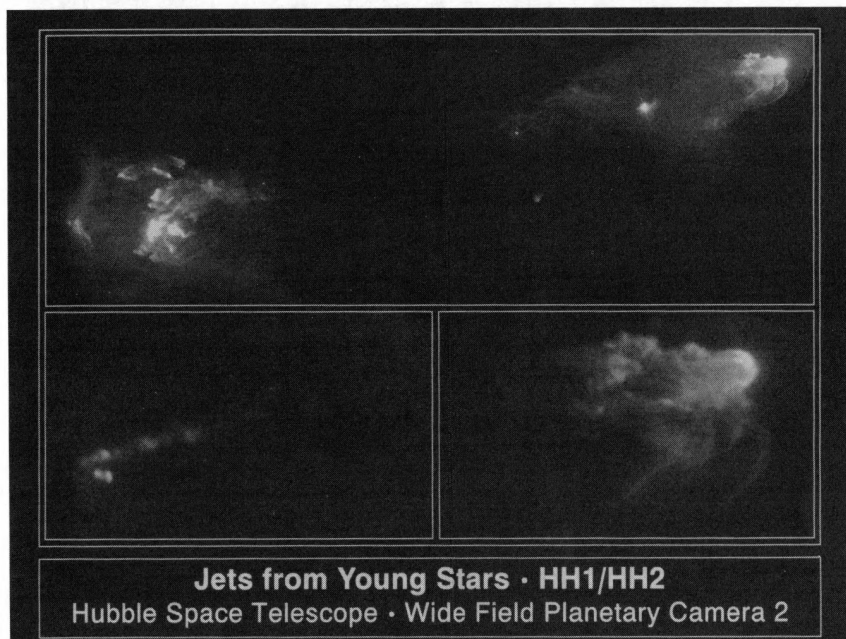
Les images de la page suivante montrent en haut deux aspects de l'objet HH30 (trentième du catalogue de Herbig et Haro) photographié à un an d'intervalle par le Hubble Space Telescope. Les flèches indiquent la position de paquets de matière accélérés le long de deux jets symétriques. On voit la nette progression qui correspond à une vitesse de 800.000 kilomètres à l'heure.

Les jets ont leur origine au centre d'un disque sombre (disposé verticalement sur les images) qui cache l'image de l'étoile. On peut voir que le disque est plus épais loin de l'étoile, ce qui confirme les idées théoriques, mais n'avait jamais pu être observé directement avant Hubble.

Les images du bas représentent quant à elles un autre objet Herbig-Haro (HH47) et correspondent à un phénomène tout à fait semblable à celui de HH30, mais observé de plus loin (1500 années lumière au lieu de 450), à une échelle moins fine. L'astre en formation est tout au centre de l'image du milieu et les jets s'étendent de façon symétrique en haut à droite et en bas à gauche. Une observation attentive montre qu'au lieu de jets bien rectilignes, la matière décrit plutôt une hélice en se tortillant au gré de la précession du système central.

En bout de course, les jets sont arrêtés par la matière interstellaire et forment deux ondes de choc qui sont représentées en gros plan dans les deux encarts.





L'image ci-dessus montre un phénomène analogue à celui présenté par HH47. Le catalogue Herbig-Haro désigne comme deux objets séparés (HH1 et HH2) les ondes de choc des jets émis par une étoile en formation et butant sur le milieu interstellaire. La distance qui sépare les extrémités des deux jets est de plus d'une année-lumière. L'étoile centrale est cachée par un nuage sombre de poussières. L'encart de gauche (en-bas) montre un agrandissement où la structure perlée du jet est apparente. À droite, la structure complexe de l'onde de choc est bien détaillée.

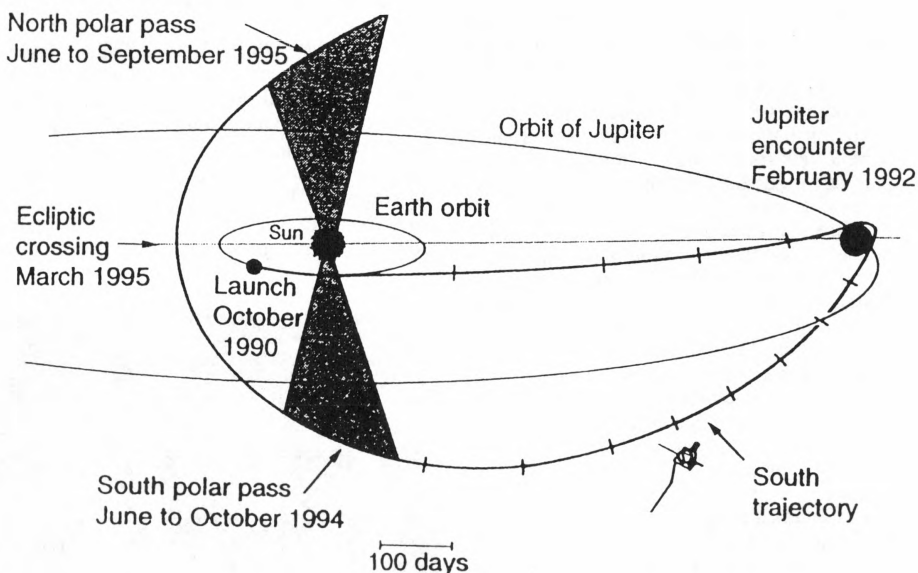
* * *

Ulysse dans le Grand Nord

La sonde Ulysse poursuit son périple qui l'a mené pratiquement à la verticale du pôle austral solaire l'an passé. Le 13 septembre 1994,

Ulysse se trouvait en effet à la latitude héliocentrique de $80,22^\circ$, et à une distance de 2,29 Unités Astronomiques (UA) de l'astre du jour.

Le but de la mission conjointe NASA-ESA est d'observer les phénomènes solaires aux grandes latitudes. L'orbite de la Terre (l'écliptique) et celles des planètes principales sont pratiquement dans le plan de l'équateur du Soleil, et c'est aussi là que la plupart des sondes spatiales restent confinées. Grâce à une manœuvre aussi complexe qu'astucieuse, profitant d'un passage près de Jupiter en février 92, le plan de l'orbite d'Ulysse a été rendu presque perpendiculaire à celui de l'écliptique. Cette orbite dont le Soleil est l'un des foyers est décrite en 6,3 ans. Le périhélie (1,34 UA) a été atteint le 5 mars de cette année lorsque la sonde remontait de son périple austral. Au même moment, elle traversait l'équateur solaire. Le 29 septembre prochain, elle sera à sa latitude héliocentrique la plus boréale, 70° .



Trajectoire d'Ulysse depuis son lancer en 1990; on voit son trajet vers Jupiter (dans le plan de l'écliptique), et la profonde modification de l'orbite après la rencontre avec Jupiter en février 92. Ulysse est maintenant en train de surveiller les latitudes boréales solaires.

Entre février 92 et septembre 94, les astronomes ont ainsi pu investiguer de façon très progressive les phénomènes se produisant à des latitudes de plus en plus australes. Sur un temps aussi long, il est difficile de distinguer ce qui est dû à la variation en latitude, de ce qui peut être une variation temporelle — le cycle solaire de 11 ans peut entraîner de profonds changements en quelques années. Par contre, cette année, en l'espace de quelques mois, Ulysse aura couvert toute la gamme des latitudes, et ce sera véritablement un instantané de l'environnement solaire que l'on aura obtenu.

Dès à présent, la moisson scientifique de la mission Ulysse est très importante. Elle a permis de renverser certaines théories et d'en confirmer d'autres. La structure du champ magnétique est différente de ce que l'on pensait, à savoir que les rayons cosmiques galac-

tiques pouvaient profiter d'un champ faible pour pénétrer sans encombre les zones polaires du Soleil. Il n'en est rien. Tout au plus a-t-on observé une légère augmentation du flux des rayons cosmiques.

La composition chimique du vent solaire s'avère différente aux basses et hautes latitudes. Aux hautes latitudes, le vent solaire est plus rapide (750 km/s) et plus constant que près de l'équateur, où la vitesse typique est de l'ordre de 400 km/s, avec une importante modulation selon la période de rotation du Soleil (26 jours).

Plus que la latitude « héliographique » (c'est-à-dire liée à la rotation du Soleil), c'est la latitude magnétique qui semble influencer le caractère du vent solaire. Les expériences ont révélé que l'équateur magnétique solaire est soumis à un mouvement d'oscillation : son

inclinaison varie au cours du temps. Ulysse a montré que le vent solaire est différent de part et d'autre de l'équateur. Par conséquent, le vent solaire émis dans la zone où évolue la Terre alterne entre deux types différents.

Avec la rotation du Soleil, l'oscillation due au champ magnétique provoque une alternance entre le vent fort des hautes latitudes et le vent plus faible des basses latitudes. Avant que le vent faible ait eu le temps d'atteindre l'orbite terrestre, il est rattrapé par le vent fort, ce qui donne naissance à un « front » de haute pression. Ces fronts, semblables aux fronts climatologiques terrestres, sont en grande partie responsables du « climat » interplanétaire qui est à l'origine des aurores polaires de la Terre, visibles aux hautes latitudes australes et boréales, sous forme de spectaculaires draperies de lumière. Ils produisent aussi les « orages magnétiques » qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur les communications radio et satellite, voire sur les réseaux électriques.

Les champs magnétiques de l'hémisphère nord du Soleil sont « centrifuges », et ils s'imbriquent dans les champs « centripètes » de l'hémisphère sud. L'écliptique (donc notre planète) est traversé alternativement par les particules provenant des régions nord et des régions sud du Soleil. L'observation de ce changement de polarité permet de déterminer de quel hémisphère provient le vent.

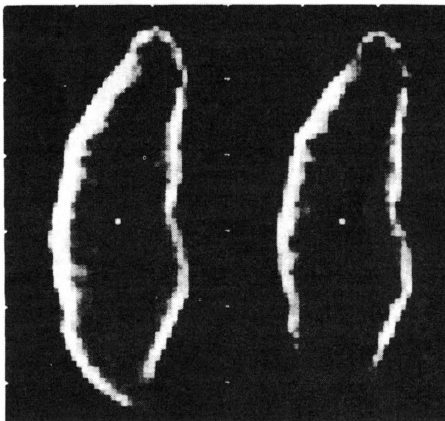
Les relations entre vent solaire et structure magnétique sont très complexes. Les observations d'Ulysse sont la clé pour une meilleure compréhension de ces importants aspects de la physique de notre étoile.

Après ce survol des hautes latitudes nord, Ulysse reprendra son petit bonhomme de chemin. Il se retrouvera près de l'orbite de Jupiter en 1997, mais n'y rencontrera plus la planète géante qui, quant à elle, aura progressé de plus d'un demi tour. Il n'y aura donc pas de modification de trajectoire, et Ulysse repartira pour un second survol du Soleil en 2001. Ce passage sera des plus intéressants car il aura lieu lorsque le cycle d'activité solaire sera à son paroxysme. Espérons que l'équipement scientifique de la sonde sera encore en parfait état.

* * *

Un astéroïde très allongé

En août 1994, l'astéroïde 1620 Geographos est passé à cinq millions de kilomètres de la Terre. Cette proximité a été mise à profit par les astronomes pour étudier par échos radar la forme de la petite planète. Les observations quotidiennes dans la semaine suivant le 28 août montrent une figure très allongée — la plus allongée de tous les objets du système solaire observés jusqu'à présent.



30 August

31 August

Contours de l'astéroïde Geographos les 30 et 31 août 1994. Les indentations sur les bords de l'image sont séparées d'un kilomètre afin de montrer l'échelle.

Les mesures photométriques réalisées depuis le sol lors du passage rapproché d'août 1969 avaient montré une variation très grande d'éclat, suggérant déjà une forme allongée. La période de rotation est de 5,2233 heures.

Geographos fait partie de la famille « Apollo » d'astéroïdes qui coupent l'orbite de la Terre. Les mesures radar ont été réalisées avec l'antenne géante de Goldstone aux USA.