
L'astronomie dans le monde

Aurora

Des pas sur Mars en 2030?

Selon un document ESA

Le programme Aurora a été officialisé par le Conseil de l'Esa au niveau ministériel à Edimbourg à la mi-novembre 2001, et a démarré en 2001 avec un appel à idées de l'ESA. Un groupe de travail a proposé un plan de préparatifs pour des expéditions, avec des équipages, dans le système solaire. La première mission est de faire atterrir un vaisseau habité sur Mars dans les années 2025-2030 (voir page 1 de couverture).

qui ont accepté de financer ce programme « à la carte », ainsi que l'EPAC, scientifique et technique, avec des représentants de l'industrie, de la communauté scientifique — parmi lesquels Roger Bonnet, le précédent Directeur de la science à l'ESA — et du corps des astronautes européens.

« Le conseil d'Edimbourg a décidé une phase préparatoire de trois ans, avec un petit budget de 14 millions d'euros, que financent certains pays dont la Belgique, » explique J.P. Swings¹.



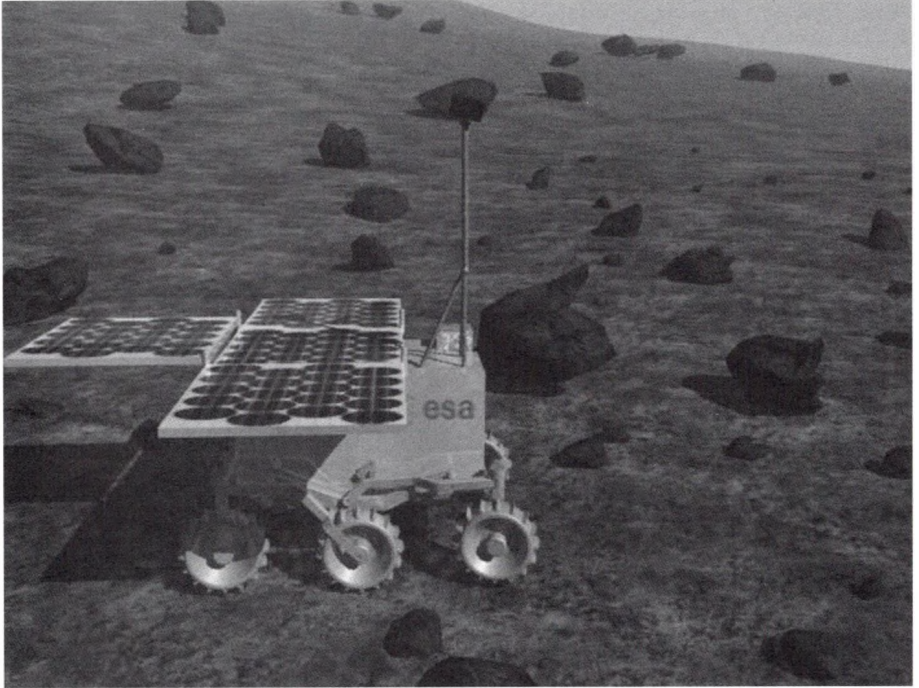
Mars et le grand canyon de Mariner
(© NASA)

Deux comités ont été mis en place et, depuis mars 2002, se sont réunis à diverses reprises: l'ABP (Aurora Board of Participants), politique et administratif, avec les délégués des pays



Représentation artistique d'Aurora

¹ L'astrophysicien Jean-Pierre Swings est chargé de relations internationales à l'IAGL (Institut d'Astrophysique et de Géophysique de Liège) qu'il représente tant à l'ESO (European Southern Observatory) qu'à l'ESA (European Space Agency). La Direction de l'Agence l'a chargé de présider l'EPAC (Exploration Programme Advisory Committee) de l'initiative européenne Aurora dont l'objectif est d'explorer le système solaire tant avec des sondes automatiques qu'avec des missions habitées.



Représentation artistique du rover Exomars

« Elle doit se poursuivre avec des phases de cinq ans. Pour le moment, les comités Aurora élaborent ces différentes phases, en vue d'un programme à long terme, avec une « finalité humaine ». L'idée derrière Aurora est d'envoyer une mission habitée vers la planète Mars à la fin des années 2020. Il s'agit, dans un scénario de compte à rebours, de définir toutes les étapes intermédiaires qui seront des missions réalisées avec des robots. C'est l'occasion pour l'Europe d'aborder des thèmes de recherche technologique qu'il lui faudra maîtriser, comme l'exploration des planètes, le retour d'échantillons et une expédition habitée de longue durée. »

Etendard et Flèche en avant-garde

La chronologie de l'ambitieux programme Aurora se réfère à un scénario en quatre grands temps, chacune d'une durée de cinq années qui permet de franchir de nouvelles barrières :

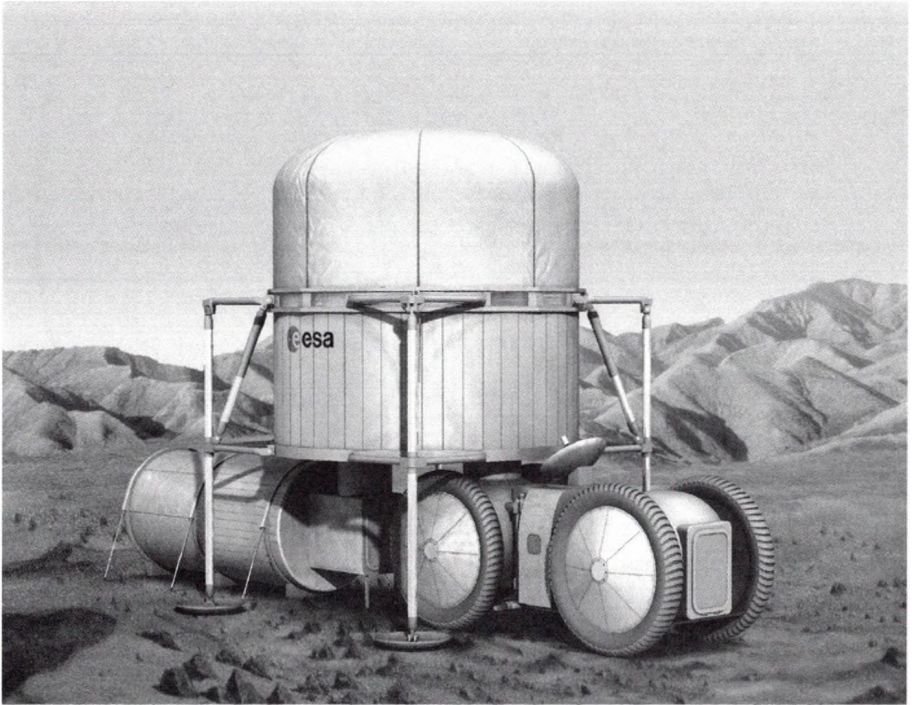
- 2025-2030 : le voyage de Terriens vers et sur Mars!
- 2020-2025 : Avant-poste martien avec des robots, possibilité d'expédition habitée sur la Lune.
- 2015-2020: Décision d'entreprendre un séjour d'hommes sur la Planète rouge et préparatifs en vue de cette opération.

(suite p. 134)

- 2009-2015: Missions automatiques Flagship/Etendard, pour réussir la collecte et le retour d'échantillons de la surface martienne.

« Deux types de missions avec des robots sont envisagés pour baliser l'odyssée martienne, » précise l'astrophysicien liégeois. « Il y a les *Flagship* (Etendard) qui doivent préparer l'arrivée en douceur, des analyses in situ et le retour d'échantillons sur d'autres corps célestes en dehors de l'environnement terrestre. Leur réalisation porte sur cinq ans. Les études de pré-phase A se terminent et les travaux de faisabilité en phase-A ont été

acceptés pour 2003. ExoMars, destinée à une recherche exobiologique, concerne l'arrivée de robots sur la Planète Rouge à la fin de cette décennie. Il servira à étudier sur place l'environnement afin de détecter des éléments d'une vie sous toutes ses formes, y compris à l'état fossile. Le robot que l'Europe prévoit de faire descendre sur Mars s'appellera Pasteur, du nom du célèbre biologiste français. Il sera équipé pour réaliser des forages dans le sous-sol, pour déceler des traces d'eau. L'autre Flagship s'appelle MSR pour Mars Sample Return. »



Hypothétique habitat sur Mars

« Si l'Europe veut être crédible dans l'exploration de Mars, elle doit démontrer sa capacité d'aller sur Mars et d'en revenir. C'est qu'elle joue sa place dans un programme de coopération internationale pour la découverte du système solaire. »

« En parallèle à ces deux missions *Flagship*, il y a deux missions *Arrow* (Flèche) qui sont moins chères, plus rapides à mettre en oeuvre. Réalisées en trois ans, elles serviront à tester de nouvelles technologies, à démontrer l'aérocapture dans le milieu martien et la rentrée d'une capsule dans l'atmosphère. Aurora doit exploiter toutes les possibilités de coopération, comme les travaux du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) dans le cadre de son initiative *Premier* (Programme de Retour d'Echantillons Martiens et Installation d'Expériences en Réseau). La Belgique est déjà impliquée dans le consortium international *Premier*. Pour la capsule de rentrée, l'ESA mise sur la collaboration avec la Russie qui possède un intéressant savoir-faire. »

Priorité à la technologie

L'astrophysicien liégeois, plein d'enthousiasme devant les problèmes à surmonter, tient à préciser: « Aurora a une vocation technologique. L'objectif est de démontrer le savoir-faire européen. La science n'est pas la clef de ce programme. Si on fait de la science, ce sera un bonus. Il ne peut pas y avoir d'interaction ni de concurrence entre le programme scientifique qui est obligatoire et le programme optionnel Aurora à vocation technologique. En fait, Aurora est à mi-chemin entre le programme scientifique et le programme de vols habités. Les expériences qui sont faites au niveau médical pour les séjours spatiaux de longue durée permettent d'en savoir plus sur le comportement humain pour une mission vers Mars. Les simulations *Bed Rest* en 2001 et 2002, avec une cinquantaine de volontaires qui sont restés allongés durant plusieurs semaines, servent à mettre au point des mesures destinées à pallier les effets néfastes d'une présence prolongée dans l'espace. Des tests d'isolement et de confinement vont avoir lieu avec la station *Concordia* en Antarctique pendant l'hiver austral. Il fera noir

dehors. Les cobayes ne pourront pas sortir. Ils expérimentent des processus de recyclage de l'air, des déchets, d'urine... ».

Pari sur la coopération

Le Professeur Swings est conscient de l'ampleur de l'entreprise initiée par Aurora: « Il est clair qu'une expédition de Terriens vers la Planète Rouge ne peut pas se concevoir sans la coopération internationale. L'ESA doit prêter une très grande attention aux recherches que la NASA vient de redémarrer sur les systèmes nucléaires de propulsion spatiale et de production d'énergie. Si l'on veut aller plus vite vers les planètes et en revenir, il faudra des propulseurs différents, plus énergétiques. A la surface de Mars, les modules habitables devront être alimentés en électricité par des générateurs thermiques nucléaires. On ne voit pas comment on pourra y déployer d'immenses panneaux de cellules solaires qui risquent à tout moment d'être recouverts de poussières, car de violentes tempêtes de sable surviennent plusieurs fois pendant l'année. Le nucléaire est un élément critique du voyage martien et l'Europe ne peut pas rester indifférente à cette nouvelle avancée technologique et scientifique. »

NGC 1275

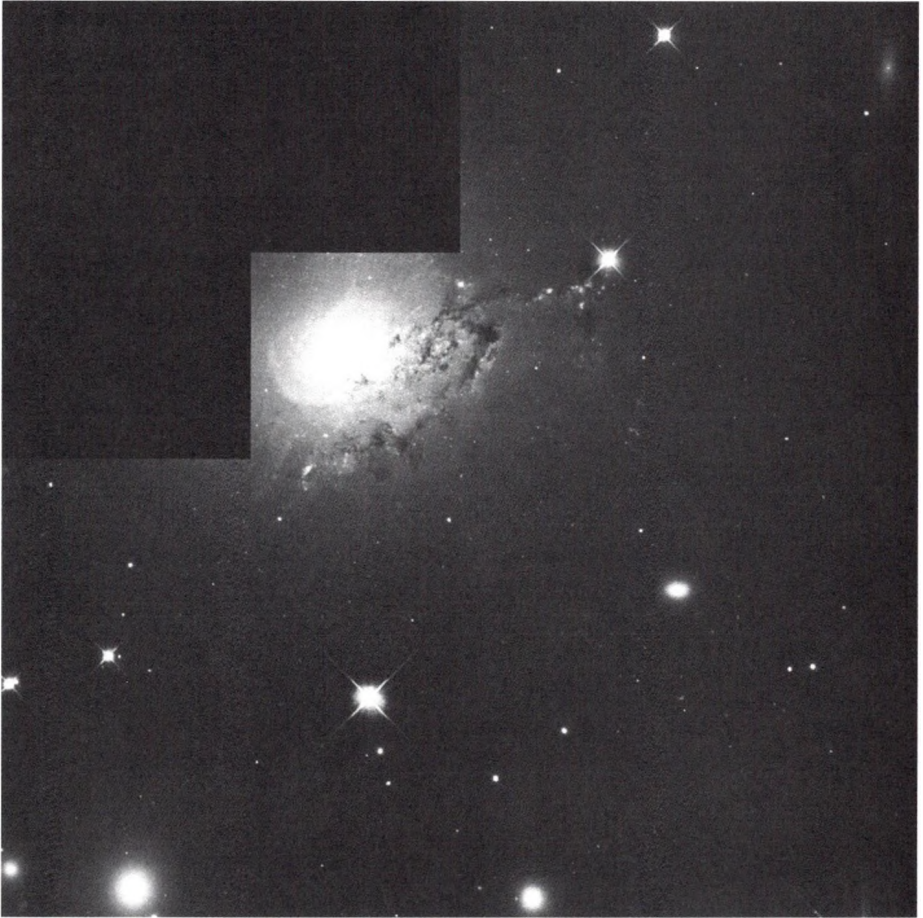
Les images obtenues par le télescope spatial Hubble montrent qu'une galaxie spirale, gorgée de poussières, progresse au travers de la grande galaxie NGC 1275 (voir images ci-jointes et couverture 2).

La caméra à grand champ de Hubble (WFPC2) met en évidence les traînées obscures des nuages de poussières (*dust lanes*, voir images pages suivantes) ainsi que des régions brillantes d'étoiles jeunes ou en formation arrangées en chapelets le long de la structure spirale de l'intruse. Cette spirale est vue sous une forte inclinaison, quasiment par la tranche. Derrière elle on peut voir la galaxie elliptique géante NGC 1275 qui se caractérise par une intrigante curiosité : elle possède elle-même en son coeur une structure spirale très délicate.

Cette collision intergalactique dans la constellation de Persée se passe à une dizaine de millions de kilomètres par heure.

NGC 1275 est distante de 235 millions

d'années lumière. Elle est au coeur même de l'amas de galaxies de Persée, et émet de puissants rayonnements X et radio.

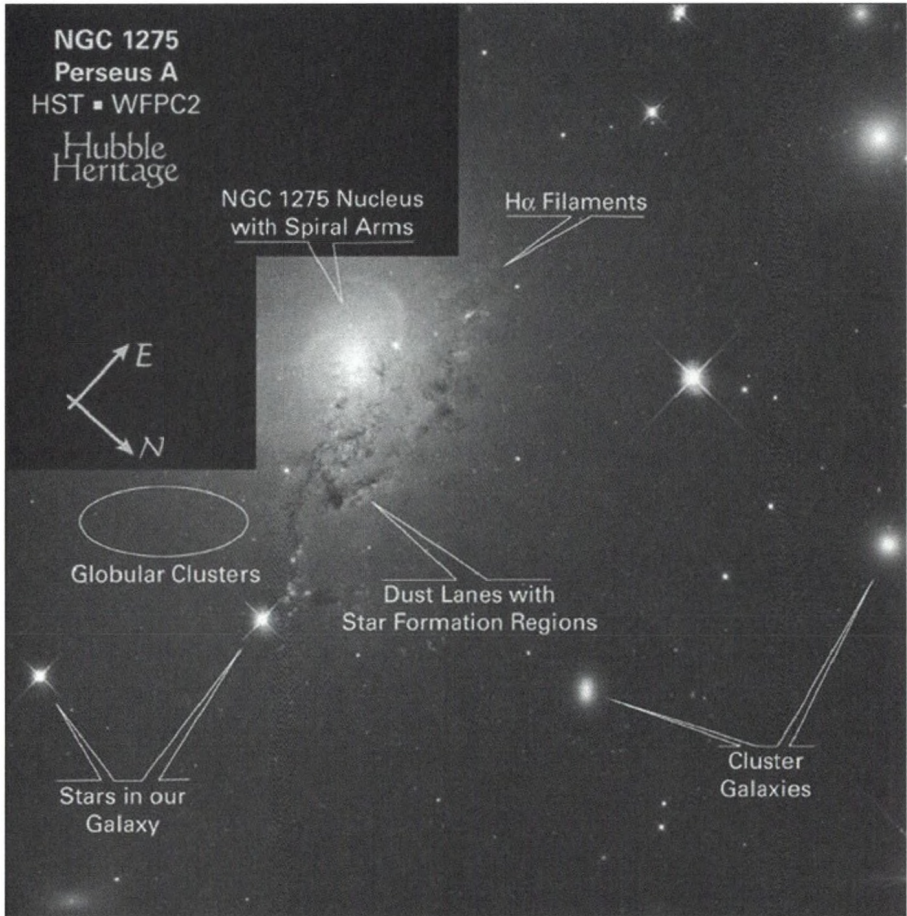


Vue générale de NGC 1275 par le HST.

Cette activité est certainement le fait de la présence d'un trou noir qui aspire la matière renuée par la collision.

Loïn du centre de la galaxie principale et de

son activité chaotique, on peut voir que l'interaction a créé de nouveaux amas stellaires, globulaires ou ouverts.



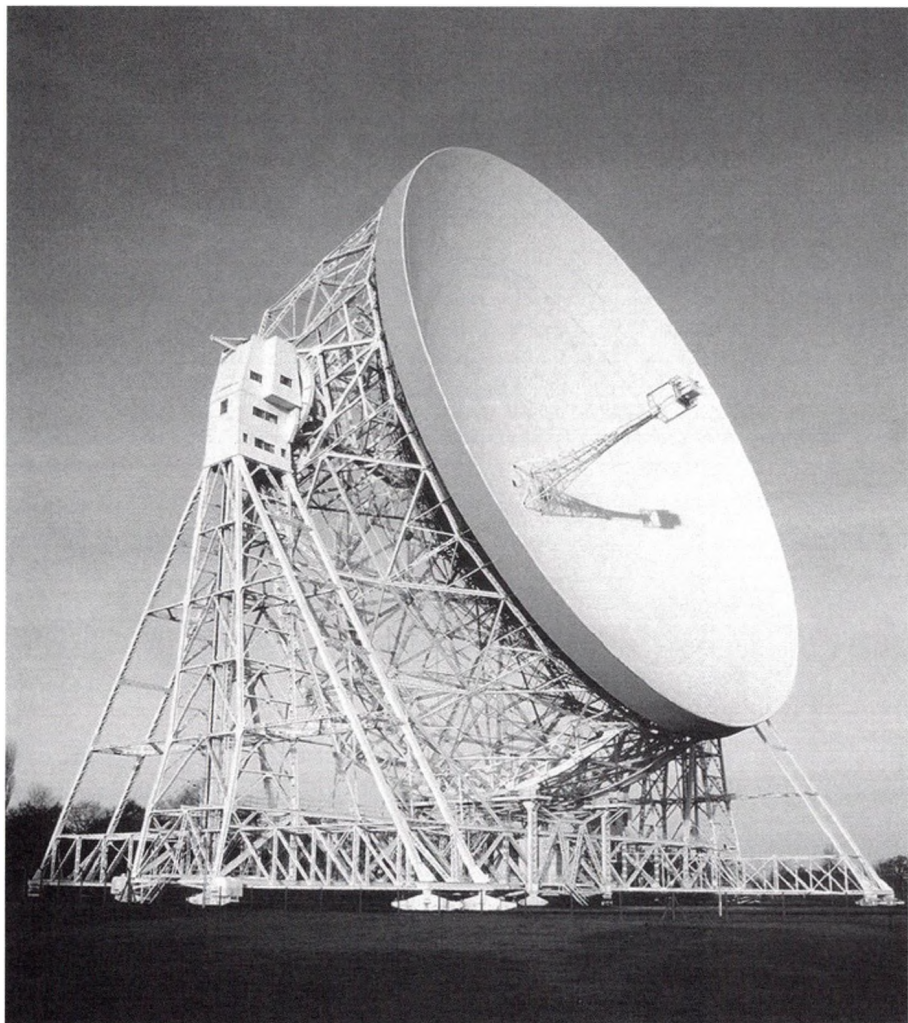
Même vue avec identifications. On peut y voir d'autres galaxies de l'amas de Persée.

Jodrell Bank

Pour des générations d'astronomes, le radio-télescope de Jodrell Bank a été un instrument mythique, en quelque sorte le Palomar de la radio astronomie. Rebaptisé télescope Lovell en 1987, il n'a cessé de rendre de bons et loyaux services. Son rôle a été essentiel dans de nombreux domaines de l'astronomie. Il a

ainsi permis la découverte de la première lentille gravitationnelle, la détection et l'étude d'une nouvelle population de pulsars, etc.

L'antenne géante, de 76 mètres de diamètre vient de faire peau neuve. La couche réfléchissante a été remplacée par une surface de plus haute précision permettant d'observer dans un plus large domaine de fréquence.



Le télescope géant de Jodrell Bank.

Outre son utilisation en solo, le télescope peut être connecté dans le réseau national interférométrique, Merlin (Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network) permettant l'observation à haute résolution. Il en constitue d'ailleurs l'élément-clé.

Travaillant dans le mode interférométrique, Merlin permet d'obtenir des images aussi piquées que celles fournies dans le domaine optique par le télescope spatial Hubble.

A un niveau encore plus large, Merlin et le télescope Lovell peuvent être intégrés à d'autres télescopes en Europe et dans le monde, arrivant ainsi à une résolution inégalée en astronomie.



Le radio-télescope fait peau neuve. Le nouveau revêtement est optimisé pour permettre des observations à des fréquences dépassant 5 GHz.

Le Jodrell Bank Nouveau s'attaquera aux pulsars lointains, aux sites de formation stellaire de notre Galaxie. Il doit entreprendre un recensement profond des radio-sources extragalactiques lointaines ainsi que des radio-étoiles galactiques.

L'atmosphère de HD 209458 b

Basé sur un communiqué de Presse ESA

Des astronomes européens observent pour la première fois l'évaporation de l'atmosphère d'une exoplanète

A l'aide du télescope spatial Hubble, des astronomes ont, pour la première fois, observé une planète extrasolaire dont l'atmosphère s'échappe dans l'espace. L'essentiel de cette planète pourrait finir par disparaître pour ne laisser qu'un noyau solide. Il s'agit d'une planète du type « Jupiter chaud » : ces planètes géantes gazeuses gravitent autour de leur étoile en orbite serrée, comme des papillons de nuit attirés par la lumière.

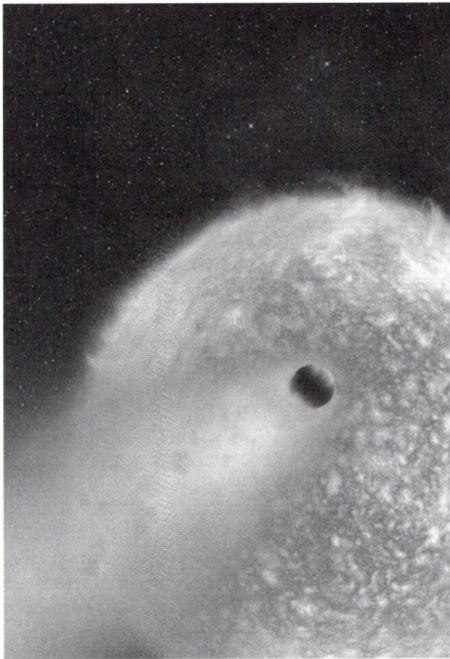
La planète observée, appelée HD 209458b, gravite à « seulement » 7 millions de kilomètres autour de son étoile, qui est similaire au Soleil. A titre de comparaison, Jupiter, la plus proche des planètes géantes gazeuses de notre Système solaire, gravite à 780 millions de kilomètres autour du Soleil. Les observations du télescope spatial Hubble, projet conjoint NASA/ESA, montrent que l'atmosphère d'hydrogène, chaude et dilatée, de la planète s'évapore. Cette gigantesque enveloppe d'hydrogène qui s'étend sur plus de 200.000 kilomètres derrière la planète ressemble à la queue d'une comète. Cette planète gravite autour de son étoile avec une période orbitale très courte de 3,5 jours. Sur Terre, de l'hydrogène s'échappe également de l'atmosphère étendue, mais dans une bien moindre mesure.

Il est assez difficile d'étudier les planètes extrasolaires, en particulier si elles sont très proches de leur étoile, car la lumière stellaire est généralement trop éblouissante. La planète observée était également trop proche de son étoile pour que Hubble puisse la photographier directement. Cependant, les astronomes ont pu l'observer indirectement : lorsque la planète « transite » devant le disque de l'étoile, elle bloque la lumière émise par une petite partie de celle-ci et en affaiblit légèrement l'éclat. La lumière qui traverse l'atmosphère de la planète est diffusée et révèle la présence d'une atmosphère. De la même façon, la lumière du Soleil se colore en rouge lorsqu'elle passe de façon oblique à travers l'atmosphère terrestre au crépuscule. Les astronomes ont utilisé le spectrographe imageur du Télescope spatial Hubble (STIS) pour mesurer la quantité de lumière stellaire filtrée par l'atmosphère de la planète. Ils ont constaté une chute surprenante de l'émission d'hydrogène par l'étoile. Ce

phénomène s'explique probablement par la présence d'une gigantesque atmosphère dilatée autour de la planète.

L'atmosphère extérieure de la planète s'étend et chauffe tellement sous l'influence de la chaleur émise par l'étoile, dont elle est très proche, qu'elle échappe à l'attraction gravitationnelle de la planète. Sous l'effet de la chaleur torride dégagée par l'étoile, l'hydrogène de la partie supérieure de l'atmosphère s'évapore. Il se libère de l'attraction gravitationnelle de la planète, est chassé par la lumière stellaire et se transforme en panache à l'arrière de la planète, comme la queue d'une comète.

Les astronomes estiment que la quantité d'hydrogène gazeux qui quitte l'atmosphère de HD 209458b est d'au moins 10.000 tonnes par seconde, et peut-être bien plus encore. C'est pourquoi cette planète a peut-être déjà perdu une grande partie de sa masse.



Vue d'artiste de la planète devant son étoile.
(© ESA)

Les Jupiters chauds gravitent dangereusement près de leur étoile. Ces planètes géantes gazeuses ont dû se former aux confins glacés du système stellaire puis, en suivant un mouvement de spirale, ont atteint ces orbites proches. Généralement leur orbite n'est pas inférieure à 7 millions de kilomètres, comme c'est le cas pour HD 209458b. La distance la plus faible est de 3,5 millions de kilomètres (voir plus loin, l'article sur OGLE-TR-3). Les Jupiters chauds ont des périodes orbitales courtes, mais pas inférieures à 3 jours. Peut-être l'évaporation de l'atmosphère joue-t-elle un rôle en définissant une orbite minimale pour les Jupiters chauds.

Le diamètre de HD 209458b est 1,3 fois celui de Jupiter, sa masse est égale aux deux-tiers de celle de Jupiter et son orbite représente un huitième de l'orbite de Mercure autour du Soleil. Son étoile est similaire à notre Soleil et la distance qui la sépare de la Terre est de 150 années lumière. On peut la voir avec des jumelles : c'est une étoile d'une magnitude 7 appartenant à la constellation de Pégase. Cette étoile est brusquement entrée au panthéon stellaire en 1999 lorsque la planète extrasolaire HD 209458b est passée devant elle et l'a partiellement cachée. Ce fut la première détection du transit d'une exoplanète. En 2001, Hubble a détecté l'élément sodium dans la partie basse de l'atmosphère de HD 209458b, réalisant ainsi la première observation de l'atmosphère d'une exoplanète.

Plusieurs missions scientifiques de l'ESA ont pour objectif la recherche et l'étude de planètes extrasolaires. Eddington, par exemple, qui doit être lancé en 2007, devrait découvrir un grand nombre de transits de planètes de tous types, dont des Jupiters chauds semblables à HD 209458b. Elles constituent le sujet idéal d'études complémentaires détaillées qui pourront être menées à l'aide de grands télescopes au sol et dans l'espace.

Une exoplanète chauffée à blanc

Basé sur un communiqué de presse ESO

Des spectres obtenus avec le télescope VLT détectent l'exoplanète ayant la plus petite période connue.

Plus de cent planètes ont été trouvées qui orbitent autour d'autres étoiles que notre Soleil. Ces « exoplanètes » montrent toute une panoplie de tailles et d'orbites, celles-ci ayant des excentricités et des dimensions très variées. Certaines planètes sont 5 à 10 fois plus lourdes que la plus massive des planètes du système solaire, Jupiter. La plus légère est, quant à elle, moitié moins lourde que Saturne, ce qui fait malgré tout encore 50 fois la Terre.

Les astronomes ne pratiquent pas la chasse aux exoplanètes simplement pour le sport, mais bien pour comprendre la diversité des systèmes planétaires. L'objectif principal est la découverte d'une planète de type terrestre, mais les télescopes et les instruments actuels ne sont pas encore assez sensibles pour l'atteindre.

En attendant, il est essentiel de répertorier les orbites et les masses des exoplanètes connues, ce qui est très malaisé.

Les masses

La plupart des exoplanètes ont été trouvées de façon indirecte, par la mesure des variations de vitesse radiale. L'attraction mutuelle entre la planète et l'étoile fait que celle-ci se déplace de façon périodique. Plus la planète est massive, et plus important est ce mouvement.

Cette technique progresse rapidement. Le nouveau spectrographe HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher), qui est actuellement en tests au télescope de 3m60 de l'ESO à La Silla, atteint la sensibilité record d'un mètre par seconde. Il devrait pouvoir bientôt observer des exoplanètes quelques fois plus massives que la Terre.

Cependant, les mesures de vitesse seules ne donnent pas la masse véritable de la planète, mais une valeur limite inférieure de celle-ci. Ceci en raison de l'incertitude sur l'inclinaison de l'orbite sur la ligne de visée. La connaissance de cette inclinaison est donc essentielle pour préciser la valeur de la masse véritable.

La méthode du transit

Dans certains cas, cette information est heureusement disponible : lorsque l'on sait que la planète passe parfois devant le disque de l'étoile (ce que l'on appelle un « transit », cf. ci-dessus, l'article sur HD 209458), le plan orbital est nécessairement très peu incliné sur la ligne de visée. Ce phénomène a lieu dans notre propre système solaire pour Mercure et Vénus. C'est aussi le cas des éclipses solaires lorsque la Lune s'interpose entre la Terre et le Soleil.

Durant le transit d'une exoplanète, la luminosité apparente de l'étoile décroît légèrement. Plus la planète est grosse, plus la fraction bloquée est importante, et plus la luminosité décroît. L'étude de la variation de cette luminosité (la « courbe de lumière ») combinée avec les mesures de vitesse radiale permet une détermination complète de l'orbite planétaire, y compris son inclinaison. Cela fournit des informations précises sur la taille de la planète, sa masse, et par conséquent sa densité.

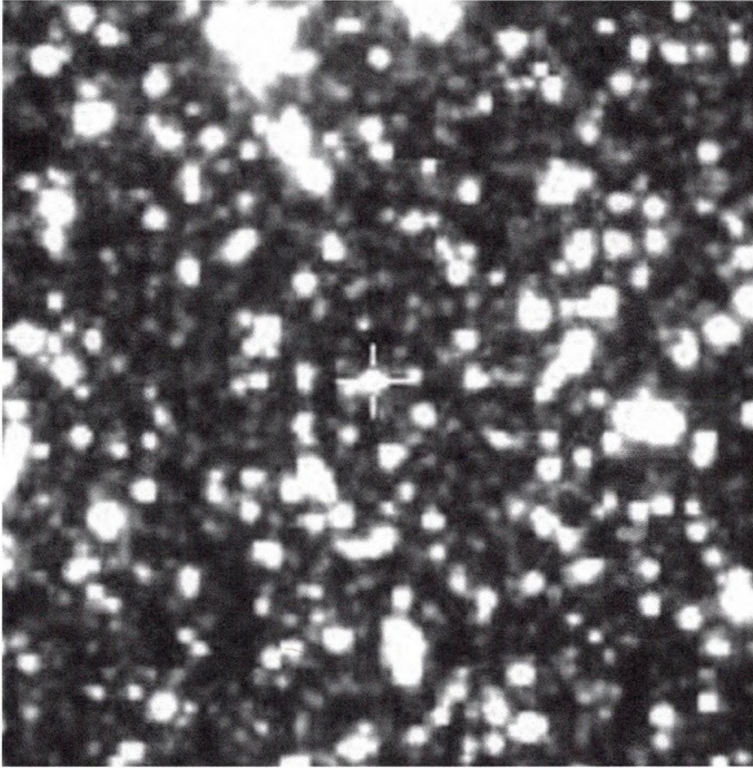
La probabilité qu'une exoplanète donnée passe devant son étoile est petite. Mais l'importance de ce phénomène est telle que les astronomes ont depuis longtemps étudié de nombreuses courbes de lumière pour y déceler la présence éventuelle de petits accidents réguliers qui témoigneraient du transit périodique d'une exoplanète.

La liste OGLE

L'an passé, une liste de 59 étoiles présentant de tels accidents dans leur courbe de lumière a été publiée par l'équipe du projet OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment). Cette liste est le résultat de l'analyse de cinq millions d'étoiles au cours d'un intervalle de 32 jours. L'une des étoiles, OGLE-TR-56, montrait en outre de légères variations de vitesse radiale, indiquant avec une forte probabilité l'existence d'un compagnon planétaire.

OGLE-TR-3

Une équipe européenne vient maintenant d'obtenir des spectres très détaillés d'une autre étoile de la liste, OGLE-TR-3, un astre de magnitude 16,5.

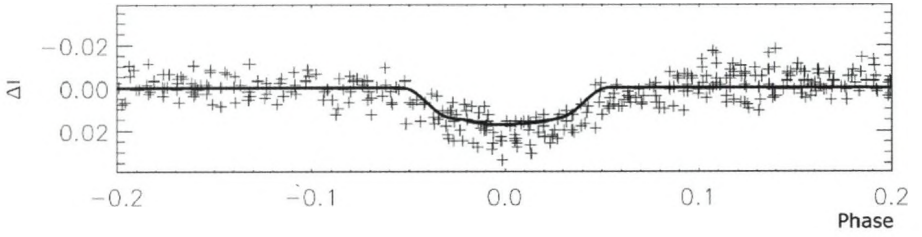


L'étoile OGLE-TR-3, de magnitude 16,5 est située dans la direction du centre galactique. Elle a montré des transits planétaires au cours d'une recherche systématique. Le champ représenté est d'une minute d'arc.

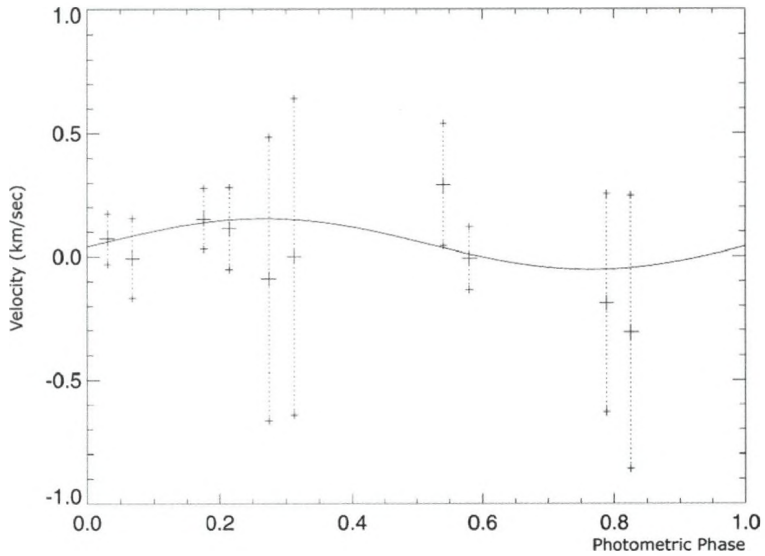
Un examen attentif des dix spectres à haute dispersion obtenus avec le spectrographe UVES du VLT montre qu'il s'agit d'une étoile très semblable au Soleil. Et, beaucoup plus important, l'étoile présente des variations de vitesse radiale atteignant 120 mètres par seconde.

La baisse de luminosité de OGLE-TR-3 est de deux pour cent, et elle se produit toutes les

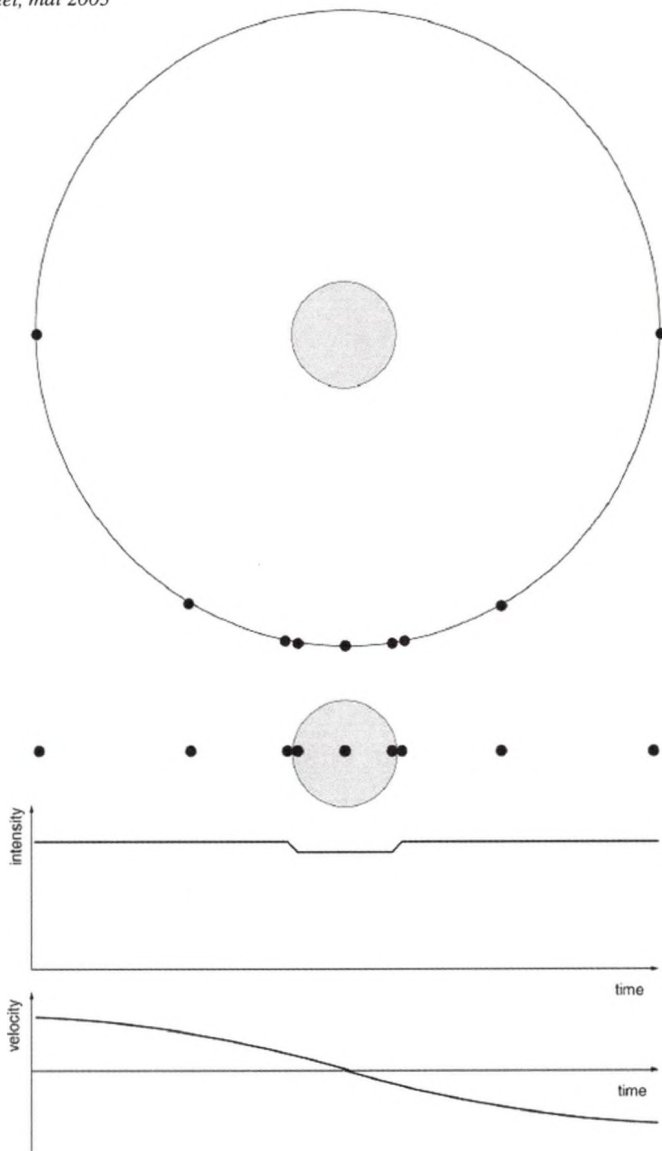
28 heures et 33 minutes. Les variations de vitesse sont en parfait accord avec cette période (voir figures pages suivantes) et indiquent avec un très haut degré de fiabilité la présence d'un compagnon planétaire. Il est exclu que le compagnon soit une étoile car même une naine brune entraînerait des variations de plus de 2 km/s.



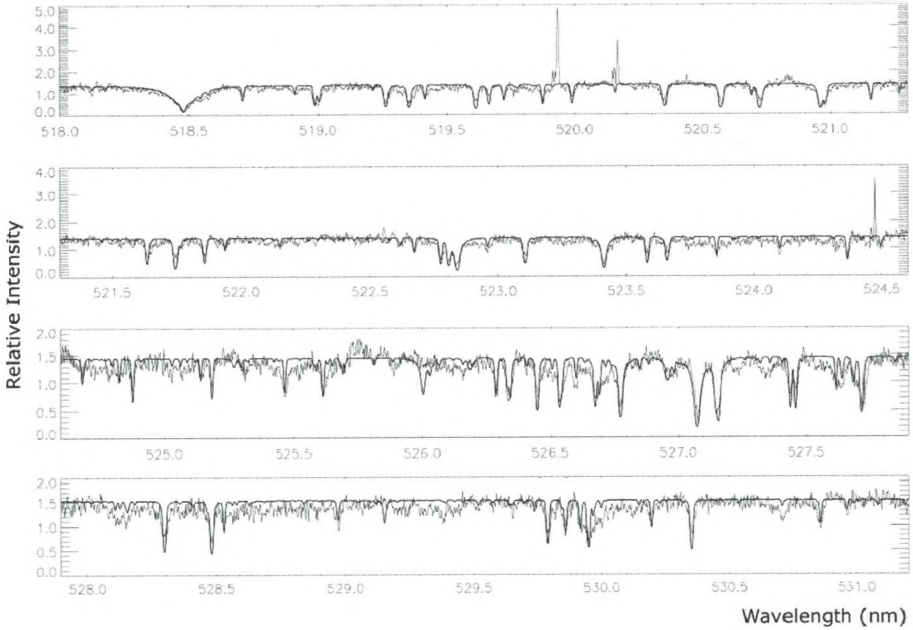
La courbe de lumière de OGLE-TR-3 montre un léger affaiblissement périodique chaque fois que le compagnon passe devant le disque stellaire.



La courbe de vitesse radiale montre quant à elle une variation avec la même période que les transits planétaires.



Relation entre les variations de luminosité et de vitesse engendrées par l'exoplanète transitant devant son étoile. Les positions successives de la planète sont indiquées par des points noirs. Le mouvement est de la gauche vers la droite. Les tailles relatives des astres et de l'orbite sont respectées. En dessous des deux vues de l'orbite, on a représenté la courbe de lumière et la courbe de vitesse. On remarque que la vitesse s'annule durant le transit. La comparaison des données avec ce modèle indique que la taille de la planète est de 200.000 km, soit 1,4 fois Jupiter, et sa masse 0,6 fois celle de notre géante gazeuse.



Petite région du spectre de l'étoile OGLE-TR-3 montrant en gras le meilleur modèle pouvant le représenter. Ceci permet de conclure que l'étoile est de type quasiment solaire.

L'analyse des données indique que la planète est moitié moins massive que Jupiter. Sa densité n'est que le quart de celle de l'eau (soit le cinquième de celle de Jupiter). Elle est donc enflée comme un ballon. La période orbitale est la plus courte connue parmi les exoplanètes et le rayon de l'orbite est très petit, 3,5 millions de kilomètres. La température de la face tournée vers l'étoile doit atteindre les 2000 °C. Il est clair que son atmosphère doit lentement s'évaporer.

La haute température de cette planète fournira peut-être la possibilité de l'observer directement en infrarouge. Des observations en ce sens vont être réalisées incessamment.

OGLE-TR-3 est avec HD 209458 et OGLE-TR-56 la troisième étoile devant laquelle transite une planète, ce qui tend à renforcer l'impression que beaucoup d'étoiles

sont accompagnées de planètes géantes en orbite serrée. Comme indiqué dans l'article précédent, on ne pense pas que la formation de ces planètes ait eu lieu aussi près de l'étoile, mais beaucoup plus loin, et que par suite de processus encore mal élucidés, elles aient migré progressivement vers le centre.

Naine brune en rayons X

C'est en utilisant l'observatoire spatial Chandra de la NASA que les astronomes ont détecté une émission de rayons X en provenance d'une naine brune située dans un système multiple âgé d'à peine douze millions d'années. Cette découverte est un élément clef

pour débrouiller le tableau de plus en plus complexe que présente l'évolution des étoiles naines brunes et, peut-être, des planètes très massives.

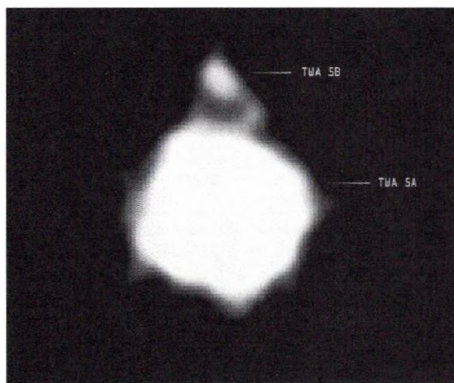


Image X du système TWA 5 A et B.
(© NASA/Chandra)

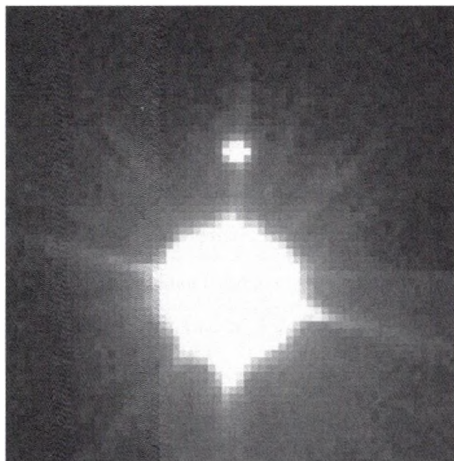
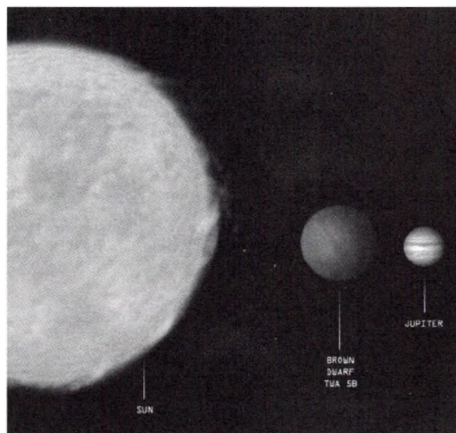


Image optique du système TWA 5 A et B. La naine brune est 200 fois plus faible que la primaire (elle-même une double très serrée). La distance entre A et B est de 2 secondes d'arc.



Dimensions comparées du Soleil, de Jupiter et de la naine brune TWA 5B.

Les observations par Chandra de la naine brune (dénommée TWA 5B), la résolvent bien de la paire serrée d'étoiles de type solaire (TWA 5A). C'est la première fois que l'on réalise une telle performance en rayons X. La distance entre le couple et la naine brune vaut à peine trois fois le rayon de l'orbite de Pluton. Le système, situé dans la constellation de l'Hydre, est à environ 180 années lumière de nous et fait lui-même partie d'un groupement d'une douzaine d'étoiles jeunes.

L'origine des rayons X est le plasma coronal de la naine brune elle-même qui est chauffé à trois millions de degrés Celsius. Il ne peut s'agir des rayons X émis par les étoiles primaires et qui seraient vus par réflexion sur la naine brune car la séparation est trop grande.

On estime que la masse de TWA 5B se situe entre 15 et 40 fois celle de Jupiter, ce qui en fait l'une des plus légères connues, très près de la limite inférieure de 12 masses joviennes qui est généralement admise pour les naines brunes.

Cette petite étoile, cinquante fois moins massive que le Soleil émet autant que lui dans les rayons X. Ceci suggère la possibilité que de jeunes planètes massives pourraient, elles aussi, émettre dans cette gamme de rayonnement.

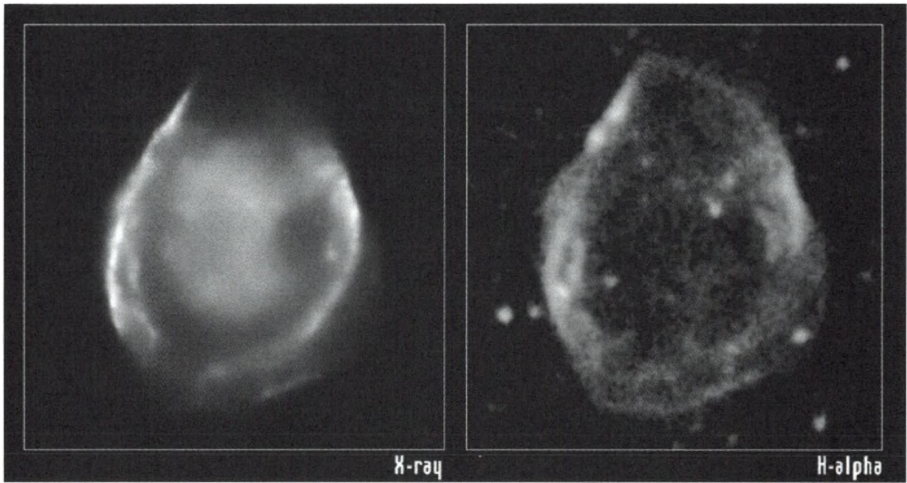
DEM L71

Basé sur un communiqué de presse Chandra

DEM L71 est un cas d'école de la structure en onde de choc double que l'on s'attend à voir apparaître lorsqu'une étoile explose et éjecte de la matière à haute vitesse dans le gaz interstellaire environnant. Les débris en expansion engendrent une onde de choc qu'ils repoussent vers l'extérieur. Cette onde les dépasse rapidement et fonce dans le gaz interstellaire. A l'arrière de l'onde, l'aug-

mentation de pression produit à son tour une onde de choc qui se dirige en sens inverse, vers le centre. Cette onde rencontre les éjecta et les porte à haute température.

L'image obtenue par le satellite X Chandra montre effectivement que le centre de la nébuleuse DEM L71, un reste de supernova, est rempli de gaz très chaud où se mêlent le fer et le silicium. L'enveloppe périphérique est l'onde de choc externe, visible également aux longueurs d'onde optiques.



Le reste de supernova DEM L71 vu par le satellite Chandra en rayons X (à gauche), et dans le domaine visible (image de droite) dans une longueur d'onde de l'hydrogène, H-alpha.

La netteté de la séparation entre la matière « choquée » et les éjecta brûlants visibles dans l'image X du satellite Chandra ont permis aux astronomes d'évaluer la masse des débris expulsés lors de l'explosion de l'étoile. Cette masse s'avère être du même ordre de grandeur que celle de notre Soleil. Cette estimation, ajoutée au fait que le spectre des rayons X indique une forte concentration en atomes de fer par rapport à l'oxygène et au silicium, montre de façon convaincante que les éjecta proviennent de l'explosion d'une étoile de type naine blanche. À partir de la taille et de la température de la nébuleuse on peut estimer que l'explosion de la supernova remonte à plusieurs milliers d'années.

Les astronomes distinguent deux grands groupes de supernovae. Les supernovae de type II sont dues à l'explosion d'une étoile

massive. L'autre grand groupe rassemble les supernovae de type Ia. Dans ce cas une naine blanche explose parce qu'elle accumule de la matière en provenance d'un compagnon trop proche. La masse de la naine blanche augmente progressivement jusqu'à atteindre un seuil critique, de l'ordre de 1,4 fois la masse du Soleil, où l'étoile devient instable et est détruite par une gigantesque explosion thermonucléaire. C'est ce cataclysme qu'a subi DEM L71 il y a quelques milliers d'années.

L'une des motivations principales de l'étude des restes de supernova est de déterminer le type de l'explosion. L'identification de DEM L71 comme le reste d'une supernova de type Ia, donc d'une naine blanche, représente un pas important dans la compréhension de ces phénomènes violents.