

L'astronomie dans le monde

Le réveil d'Huygens

D'après un communiqué de l'ESA

Après sept ans de voyage, la sonde européenne Huygens, montée sur l'orbiteur Cassini, est parvenue en orbite autour de Saturne. Elle entame désormais son réveil en vue de son largage en décembre à destination de Titan.

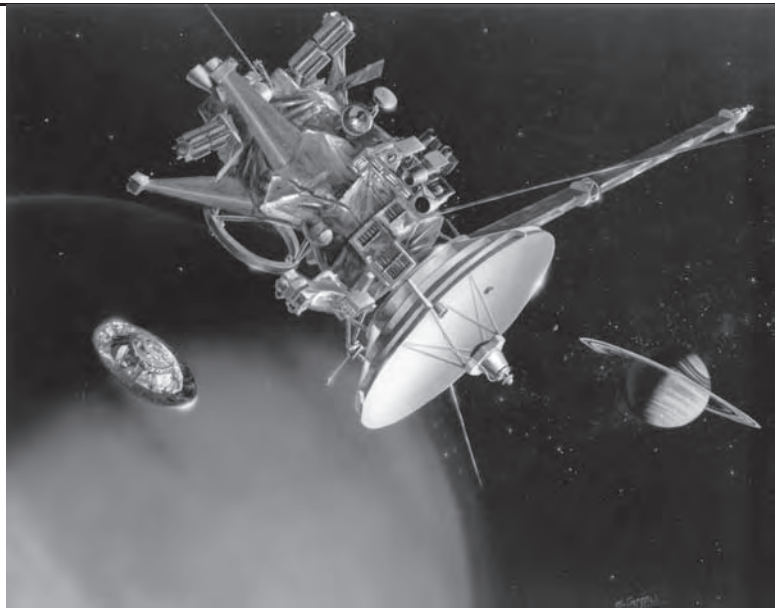
La Côte d'Azur est connue pour attirer les célébrités du monde entier. Ce que l'on sait moins, c'est qu'il lui arrive aussi d'envoyer des ambassadeurs bien au-delà des limites de notre planète. En effet, c'est sur le site d'Alcatel Space à Cannes, à une vingtaine de minutes à pied de la célèbre Croisette, qu'a été conçue la sonde Huygens qui plongera dans l'atmosphère de Titan, la plus grosse lune de Saturne, le 14 janvier prochain.

L'arrivée dans le domaine saturnien, qui était l'une des phases critiques de la mission, avec une mise à feu du moteur principal de Cassini pendant 96 minutes et deux passages dans le plan des anneaux à faible distance de la planète géante, s'est déroulée sans anicroche.

«Nous avons confirmation que la sonde est en parfaite santé, tout est nominal» annonce Jean-Pierre Lebreton, chef de projet scientifique d'Huygens à l'ESTEC, le centre technique de l'ESA à Noordwijk, aux Pays-Bas.

Réactiver les batteries

Les activités importantes du «réveil» de la sonde commenceront en septembre. Cela va passer par une remise en route de tous les équipements de la sonde et notamment par la réactivation des batteries, qui sont restées inertes depuis sept ans. Dépourvue de générateurs solaires, la sonde Huygens a en effet été alimentée jusqu'à présent par l'orbiteur Cassini, qui tire lui-même son énergie de générateurs nucléaires radio-isotopiques. Une fois séparée de Cassini, elle ne pourra plus



compter que sur ses batteries chimiques.

Autre réactivation de grande importance, celle du «minuteur» d'Huygens. C'est lui qui activera les équipements à bord de la sonde vingt jours après son largage et quelques heures avant qu'elle n'aborde l'atmosphère de Titan. Par la suite, ce seront des accéléromètres qui déclencheront les activités automatiques lors de la rentrée proprement dite.

Premier aperçu de Titan

Alors que débute le réveil d'Huygens, les équipes scientifiques européennes et américaines ont commencé à collecter des informations sur Titan avec un premier survol (à 339.000 km) dès le 3 juillet. Les premiers résultats ont été présentés à Paris au cours de l'assemblée du Committee for Space Research (Cospar), le 23 juillet.

A bord de Cassini, le spectromètre infrarouge composite a ainsi mesuré les différences de température dans l'atmosphère australe de Titan. Ces mesures ont permis d'établir une carte de la vitesse des vents dans la haute atmosphère. Des pointes à 500 km/h ont été repérées au niveau de l'équateur. «C'est 10 fois plus vite que Lance Armstrong» plaisante Mike Flasar, du Goddard Space Flight Center (GSFC), responsable des études sur le spectre et les vents de Titan.

En outre, des prises de vues par le spectromètre de cartographie visible et infrarouge ont permis la première détection du rayonnement du méthane dans la haute atmosphère, vers 600 km d'altitude, au-dessus de la face éclairée de Titan. Ces images suggèrent aussi l'existence d'un très gros cratère et d'une vallée de 2.000 km de long, «comparable à Valles Marineris sur Mars» selon Bob Brown de l'Université de l'Arizona à Tucson, responsable de l'imagerie spectrale de l'atmosphère et de la surface de Titan.

«Il ne s'agit encore que de résultats préliminaires qui doivent être confirmés au cours d'un atelier au GSFC début septembre» tempère Jean-Pierre Lebreton, «mais ils correspondent parfaitement à la gamme de valeurs retenues pour la conception d'Huygens, ce qui est plutôt encourageant !»

Dernières consignes de vol

Un prochain survol de Titan, à tout juste 1.200 km de distance, est prévu le 26 octobre.

Toutes ces données vont venir enrichir les modèles d'atmosphère déjà réalisés à partir des observations des sondes Voyager, du télescope Hubble, de l'observatoire infrarouge ISO de l'ESA ou des occultations d'étoiles observées par les télescopes terrestres.

Les ingénieurs peuvent décider d'ajuster l'angle d'entrée dans l'atmosphère de plus ou moins un degré en fonction des dernières mesures. La décision sera prise mi-novembre, un mois avant le largage.

Après la séparation suivront 20 jours de vol balistique et de silence. Le contact ne sera rétabli qu'une fois dans l'atmosphère, lorsque la sonde éjectera son capot supérieur et commencera à transmettre ses mesures. Encore faudra-t-il attendre que celles-ci soient relayées par Cassini.

La mission principale d'Huygens ne durera que 2h30, le temps de traverser, d'analyser et de caractériser l'atmosphère de Titan, qui pourrait être très similaire à celle de la Terre à la veille de l'apparition de la vie. Cassini pourra relayer les émissions d'Huygens pendant 4h30 avant de passer hors de portée, ce qui laisse espérer que des mesures puissent même être transmises de la surface, si jamais Huygens survit à un atterrissage

sur un sol dont aujourd'hui encore on ne sait pratiquement rien.

A la recherche du rayonnement le plus froid

D'après un communiqué de l'ESA

La structure du télescope de Planck, l'observatoire européen du rayonnement primordial de l'univers, entame ses premiers essais à Cannes.

Alors que la chaleur écrase les vacanciers de la Côte d'Azur, à deux pas du front de mer cannois, dans les salles blanches climatisées d'Alcatel Space, les équipes s'activent pour préparer une structure destinée à fonctionner par une température inférieure à 60 K (-213°C).

Le télescope du satellite Planck est conçu pour étudier les infimes variations dans le «bruit de fond» cosmique, ce rayonnement fossile, ultime vestige de la première lumière apparue dans l'univers quelque 380.000 ans après le Big Bang, soit il y a plus de 13 milliards d'années. L'univers était alors mille fois plus petit qu'aujourd'hui et sa température était descendue à 3 000 K, permettant aux premiers atomes d'hydrogène de se former et à la lumière – séparée de la matière - de se déplacer librement.

Ce rayonnement fossile, à une température de 2,725 K (-270,435°C), a été découvert en 1964 et, en 1992, le satellite COBE (Cosmic Background Explorer) de la NASA a dressé une première carte des minuscules variations – l'écart entre maxima et minima n'excède pas 0,002° - qui trahissent les premières accrétions de matière au cours du premier milliard d'années de l'Univers. La NASA a réitéré l'opération en 2002 avec le satellite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) dont la sensibilité atteignait 20 µK et la résolution angulaire 0,3° par pixel.

Planck doit renouveler l'exploit, mais avec une sensibilité décuplée par rapport à WMAP et une résolution angulaire portée à 5 minutes d'arc.

Toujours plus froid

Pour atteindre ce degré de précision, les instruments de Planck devront être maintenus à des températures extrêmes. Les bolomètres de l'Instrument à Haute Fréquence (HFI), développé par l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS) d'Orsay, près de Paris, fonctionneront ainsi à 0,1 K.

Afin d'y parvenir, Planck utilisera une combinaison inédite de refroidissement passif et actif. En premier lieu, tout au long de sa mission, le satellite présentera sa face inférieure – dallée de cellules solaires – au Soleil. De plus, son module de charge utile – sur la face opposée – sera séparé du module de service par trois écrans de protection. Ce concept de refroidissement passif par «effet miroir» est totalement inédit. Néanmoins, il a également été retenu pour le futur télescope spatial James Webb, de la NASA, auquel contribuera l'ESA et qui doit succéder au télescope spatial Hubble.



Les écrans de protection thermique en essai

Ce système devrait permettre d'isoler la charge utile du module de service – dont la température avoisinera les 300 K (27°C) – et de maintenir le télescope entre 50 et 60 K. L'équilibre thermique sera atteint en 10 jours environ.

Pour refroidir les instruments, trois systèmes actifs seront utilisés. Le premier est un refroidisseur à absorption, fourni par le Jet Propulsion Laboratory (JPL) américain. Il permettra de passer de 60 à 20 K, température de fonctionnement de l'instrument à basse fréquence (LFI). Un deuxième refroidisseur, fourni par le Rutherford Appleton Laboratory (RAL) britannique, abaissera la température de 20 à 4 K. Enfin, un refroidisseur à dilution d'hélium permettra d'atteindre

la température de 0,1 K requise pour les détecteurs du HFI.

Essais à Cannes puis à Liège

La conception de Planck représente un grand défi technique, en raison des nombreuses charges thermiques subies et des rejets de chaleur qui devront être réalisés. Il faut en tester la robustesse.

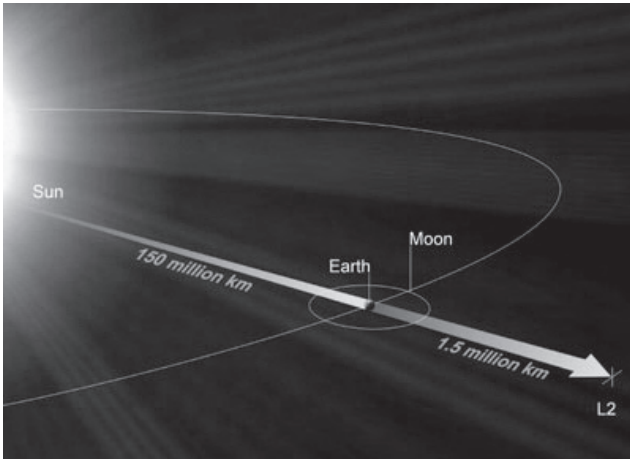
Le modèle de qualification du télescope de Planck a été livré en juin à Alcatel Space, maître d'œuvre du satellite, par la firme suisse Contraves. En fait, il était déjà sur le site depuis plusieurs mois afin de subir des essais thermiques et mécaniques pour le compte du contractant helvétique. Au début de l'été, il a été assemblé sur un modèle représentatif du satellite pour entamer une première série d'essais acoustiques sur le site de Cannes.

Par la suite, les essais cryogéniques se dérouleront à Liège, en Belgique, où l'ESA a fait réaliser le premier simulateur d'environnement spatial refroidi à l'hélium liquide d'Europe. Les autres simulateurs sont refroidis à l'azote liquide, ce qui permet d'atteindre des températures de 90 K. Avec l'hélium liquide, on atteint 4 K sous une enceinte spéciale.

Les réflecteurs du télescope – réalisés par EADS Astrium en Allemagne - sont déjà à l'essai au Centre Spatial de Liège, afin de déterminer leur tenue à 50 K. Il faut s'assurer que les structures en carbone époxy ne se déforment pas et ne créent pas de microstructure susceptibles d'altérer la qualité du télescope en rétrécissant sous l'effet du froid.

Tourner le dos au Soleil

Planck, dont la masse avoisinera 1,8 tonne, sera lancé en 2007 par Ariane 5 en compagnie d'un autre observatoire de l'ESA, Herschel, qui étudiera le ciel dans le domaine infrarouge. Ces deux satellites seront placés en orbite autour d'un des points d'équilibre du système Terre-Soleil, situé à environ 1,5 millions de kilomètres de la Terre dans la direction opposée au Soleil.



Le point de Lagrange L2, où sera basé Planck

Dès son largage, Planck sera stabilisé par rotation et rejoindra son orbite définitive sans avoir à effectuer de manoeuvre majeure. Son télescope, pointé latéralement avec un angle de 85° par rapport à l'axe de rotation du satellite, balayera le ciel, effectuant une couverture globale tous les 6 mois. La mission devrait durer au moins 18 mois, pendant lesquels le satellite opérera de manière autonome, transmettant ses mesures à la Terre une fois par jour.

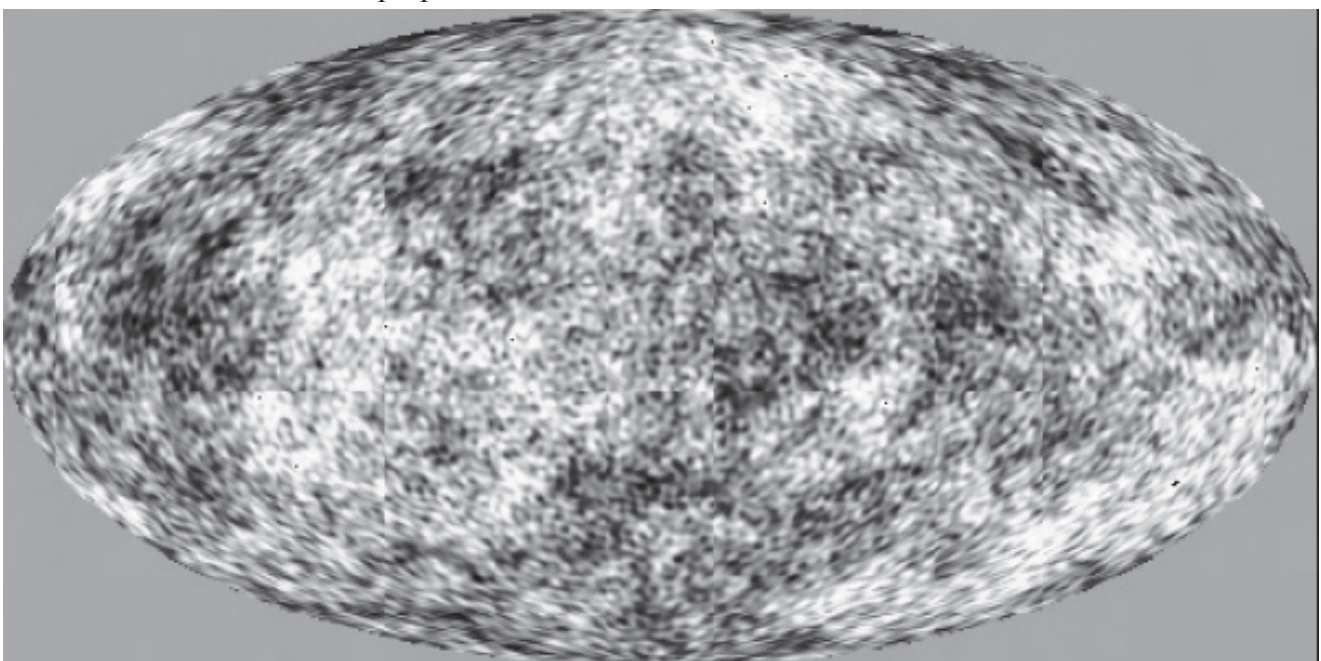
Un spectre qui reste à explorer

La charge utile se situe à mi-chemin entre une antenne et un instrument optique. L'instrument

LFI étudiera le rayonnement cosmique entre 30 et 100 GHz, or 30 GHz c'est la frange haute des hyperfréquences en télécommunications, tandis que HFI travaillera entre 100 et 900 GHz, ce qui nous amène dans l'infrarouge très lointain. Cela constitue ce que l'on pourrait appeler le «no man's land» du spectre électromagnétique.

Ce sera l'occasion de mener également d'autres investigations au-delà de l'étude du seul rayonnement cosmique. En effet, de nombreux objets émettent dans cette gamme du spectre, à commencer par notre propre galaxie. Il faudra donc identifier les «bruits parasites» qu'ils émettent et les éliminer pour obtenir une carte du rayonnement fossile. En pratique, plusieurs des canaux des instruments de Planck serviront essentiellement à cela, ce qui signifie que l'observatoire recueillera entre autres une masse de données sans précédent sur les gaz et les poussières dans notre Voie Lactée et dans les autres galaxies.

Ces informations sur la jeunesse de l'Univers - ainsi que sur la «matière noire», invisible et mal connue, qui en compose l'essentiel de la masse - seront mises à profit pour affiner les modèles cosmologiques et donner la possibilité aux scientifiques de faire un pas de plus vers des réponses aux questions fondamentales sur ses origines et sa structure, mais aussi son expansion et son devenir.



Le rayonnement fossile, tel que le verra Planck

Les vagues monstrueuses qui coulent des navires sont repérées par les satellites radar de l'ESA

D'après un communiqué de l'ESA



Une photo exceptionnelle d'une vague scélérate

Les très gros temps ont fait couler plus de 200 pétroliers géants et porte-conteneurs de plus de 200 m de long ces vingt dernières années. On considère que les vagues scélébrates en sont la plupart du temps responsables.

Autrefois ravalées au rang de mythe marin, les vagues océaniques colossales qui peuvent atteindre la hauteur d'un immeuble de dix étages ont été reconnues comme l'une des principales causes des naufrages de gros navires. Les résultats fournis par le satellite ERS de l'ESA ont contribué à établir sans conteste l'existence courante de ces vagues 'scélébrates' et servent maintenant à étudier leur origine.

Les très gros temps ont fait couler plus de 200 pétroliers géants et porte-conteneurs de plus de 200 m de long ces vingt dernières années. On considère que les vagues scélébrates en sont la plupart du temps responsables.

Les marins qui ont survécu à pareilles rencontres ne manquent pas d'histoires étonnantes à raconter. En février 1995, le paquebot de croisière Queen Elizabeth II a trouvé sur son chemin une vague scélébrate de 29 mètres de haut au cours d'un ouragan dans l'Atlantique Nord que le Capitaine Ronald Warwick a décrite comme «un immense mur d'eau...on aurait dit que nous foncions tout droit dans les 'falaises blanches de Douvres'».

Au cours de la dernière semaine de février 2004, deux bateaux de croisière solides – le Bremen et le Caledonian Star – ont vu les vitres de leurs ponts voler en éclats sous l'effet de vagues scélébrates de 30 mètres dans l'Atlantique sud, le premier bateau s'étant retrouvé à la dérive pendant deux heures en raison de la perte de son système de navigation et de propulsion.

«Ces incidents se sont produits à moins de mille kilomètres de distance l'un de l'autre» préci-

se Wolfgang Rosenthal – responsable de recherche au centre de recherches GKSS Forschungszentrum GmbH de Geesthacht en Allemagne – qui étudie les vagues scélébrates depuis des années. «Toute l'électronique a sauté à bord du Bremen parce qu'il se trouvait parallèle aux vagues et jusqu'à ce que les circuits soient rétablis, l'équipage pensait que sa dernière heure était arrivée».

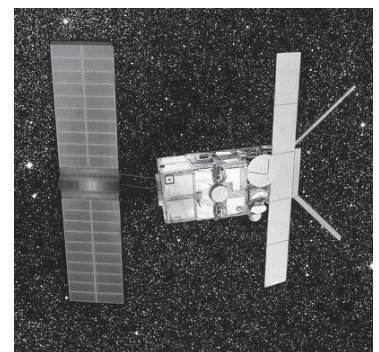
«Le même phénomène aurait pu couler nombre de bateaux moins chanceux : deux gros navires en moyenne coulent toutes les semaines mais la cause n'en est jamais étudiée avec autant de minutie que ce qu'ont fait en cas de catastrophe aérienne. En général on se contente de mettre ça sur le compte du 'mauvais temps'».

Les plateformes offshore ont, elles aussi, été touchées : le 1er janvier 1995, le forage pétrolier de Draupner en Mer du Nord a été frappé par une vague dont la hauteur a été mesurée à 26 mètres par un dispositif laser embarqué, les vagues voisines atteignant 12 mètres.

Les données radar objectives recueillies sur cette plateforme et sur d'autres – des relevés radar sur les champs pétrolier de Goma en Mer du Nord ont enregistré 466 vagues scélébrates en 12 ans – ont définitivement converti les scientifiques, jusque là sceptiques. En effet, sur la base de statistiques, ils considéraient que de telles aberrations par rapport à l'état de la mer avoisinante ne pouvaient se produire que tous les 10.000 ans.

Le fait que les vagues colossales se produisent relativement fréquemment a des conséquences lourdes pour la sécurité et pour l'économie puisque navires et plates-formes actuelles sont conçus pour résister à des vagues de 15 mètres au maximum.

En décembre 2000, l'Union européenne a lancé un projet intitulé 'MaxWave' pour confirmer la réalité et le grand nombre de vagues colossales, modéliser leur formation et examiner ce qu'elles impliquent pour la conception et la construction des



Le satellite ERS

navires et structures offshore. Dans le cadre de MaxWave, les données du radar satellite ERS de l'ESA ont été utilisées pour faire un premier recensement mondial des vagues scélérates.

« Sans la couverture aérienne des capteurs radar, il aurait été impossible de découvrir quoi que ce soit » précise Rosenthal, qui a dirigé le projet MaxWave pendant trois ans. « Tout ce dont nous disposions c'étaient des enregistrements radar collectés sur les plateformes pétrolières. Il était donc intéressant pour nous d'utiliser les données ERS dès le début ».

Les satellites jumeaux de l'ESA ERS-1 et 2 – lancés respectivement en juillet 1991 et avril 1995 – ont tous les deux un radar à ouverture synthétique (ROS) comme instrumentation principale. Lorsqu'il passe au-dessus de l'océan, ce radar prend des images des vagues tous les 200 km. Ces petites images qui représentent un rectangle de 10 km par 5 km, sont alors mathématiquement transformées en répartitions moyennes de l'énergie et de la direction des vagues. Ces spectres, c'est le nom de ces répartitions, sont mis à disposition par l'ESA, ils sont ensuite utilisés par les centres de prévision météorologique afin d'améliorer la précision des modèles de prévision marine.

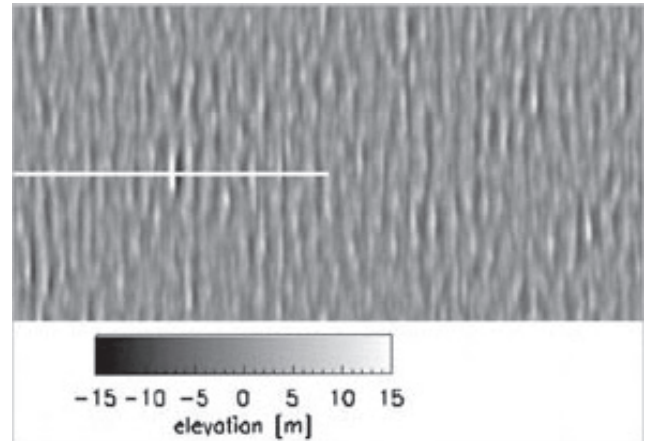
« Les images brutes ne sont pas communiquées mais avec leur résolution de dix mètres nous pensons qu'elles contiennent une mine d'informations précieuses » ajoute Rosenthal. « Les spectres de vagues océaniques fournissent des données moyennes sur l'état de la mer, mais les images décrivent les hauteurs de vagues individuelles y compris les extrêmes qui nous intéressent ».

« L'ESA nous a communiqué des données sur trois semaines – quelques 30 000 images distinctes – choisies au moment où le Bremen et le Caledonian Star ont été touchés. Les images ont été traitées et une recherche automatique a été effectuée pour repérer les vagues colossales au Centre aérospatial allemand (DLR) ».

Malgré la période relativement courte couverte par les données, l'équipe MaxWave a identifié plus de dix vagues géantes de plus de 25 mètres de haut dans le monde.

« Maintenant que l'existence de ces vagues monstrueuses en nombre bien supérieur à ce que quiconque imaginait jusque là, a été prouvée, il

faut voir s'il est possible de les prévoir » poursuit Rosenthal. « MaxWave s'est officiellement terminé à la fin de l'année dernière même si deux séries de travaux issus du projet continuent – l'une étant d'améliorer la conception des navires en comprenant mieux les causes des naufrages et l'autre étant d'étudier plus avant des données satellitaires pour, si possible, faire des prévisions ».



Une vague colossale détectée sur les données d'une imagerie ERS-2

Un nouveau projet de recherche, du nom de WaveAtlas, va utiliser deux ans d'images d'ERS pour dresser un atlas mondial des vagues scélérates répertoriées et effectuer des analyses statistiques. Le Directeur du projet est Susanne Lehner, Professeur associé de la Division de physique marine appliquée de l'Université de Miami qui a également travaillé sur le projet MaxWave lorsqu'elle était à la DLR, avec Rosenthal, comme chercheur associé.

« Regarder les images, c'est un peu finalement comme voler, parce qu'on peut suivre l'état de la mer le long de la visée du satellite » explique Susanne Lehner. « D'autres éléments comme les glaces flottantes, les nappes de pétrole accidentelles ou les navires apparaissent également, il est donc intéressant de les utiliser à d'autres fins d'étude ».

« Seules les données satellitaires peuvent fournir les échantillonnages de données mondiales nécessaires à une analyse statistique des océans, parce qu'elles peuvent être prises à travers les nuages et malgré l'obscurité, ce qui n'est pas possible avec les capteurs optiques. Lors de tempêtes, les images satellitaires sont donc les seules images dont on dispose ».

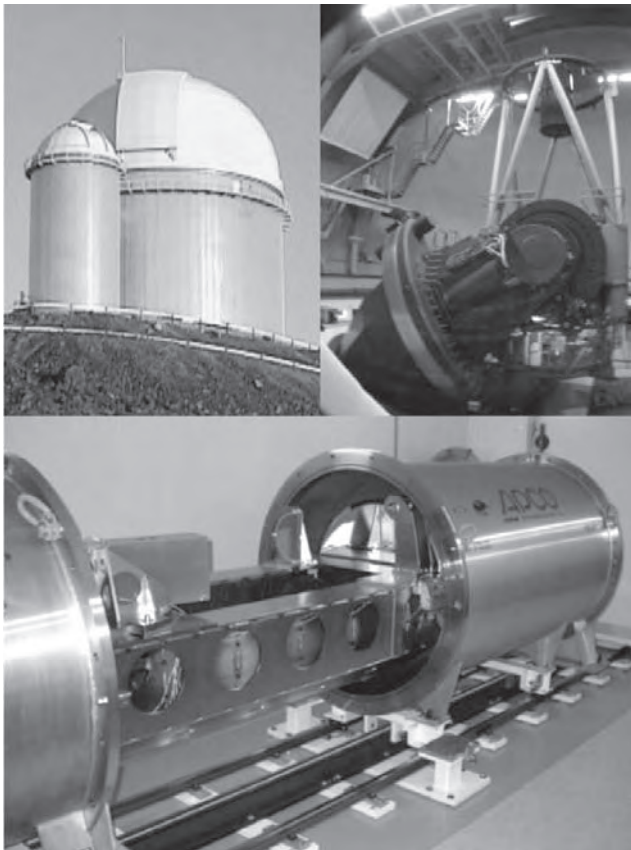
Exoplanètes poids plume

En quelques jours, dans une sorte de course au scoop, trois équipes de chercheurs ont annoncé la découverte d'un nouveau type de planète extrasolaire.

Grâce à un nouveau spectrographe installé à l'observatoire de l'ESO à La Silla, on a découvert la planète extrasolaire « normale » la plus légère. Avec 14 fois la masse de la Terre, elle pèse à peu près autant qu'Uranus, mais son orbite de 9 jours et demi autour de l'étoile mu Arae en fait une planète bien différente. Contrairement à « nos » planètes géantes, celle-ci est probablement aux neuf dixièmes rocheuse, ce qui laisse quand même place à une atmosphère énorme.

Le spectrographe HARPS qui équipe le télescope de 3m60 de l'ESO permet d'atteindre une précision d'un mètre par seconde sur les vitesses radiales mesurées.

Les deux autres nouvelles exoplanètes sont d'un gabarit analogue, de taille comparable à Uranus ou Neptune, et parcourant des orbites très serrées autour de leurs soleils respectifs.

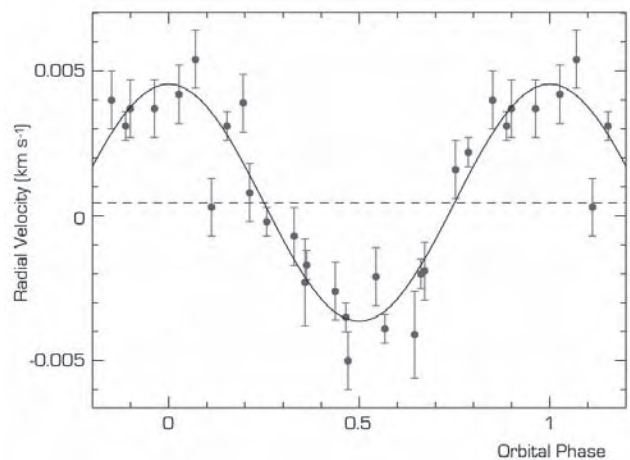


Le télescope de 3m60 de l'ESO à la Silla et le spectrographe HARPS ((c) ESO)

L'une d'elle tourne autour de Gliese 436, une petite étoile froide, en deux jours et demi. Le rayon de son orbite est de 4,1 millions de kilomètres. Elle a été découverte avec l'un des télescopes Keck de 10 mètres, à Hawaii. L'autre exoplanète tourne à 5,6 millions de kilomètres de l'étoile 55 Cancri en un peu moins de 3 jours. C'est la quatrième planète découverte autour de 55 Cancri. Les autres ont des périodes de révolution de 15, 44 et 4520 jours et sont toutes nettement plus grosses.

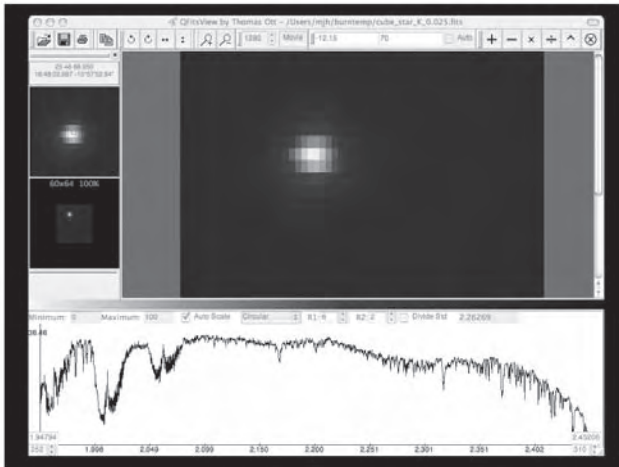
Là encore, les découvertes sont dues à la mise en service d'équipements très performants permettant des mesures de vitesse très fines. Si l'on peut parler d'un nouveau type de planètes, il faut plutôt considérer qu'on est simplement en train d'explorer la gamme des masses et des orbites que permettent les équipements actuels.

À terme, des planètes plus légères et plus lentes, comme notre Terre, devraient pouvoir être détectées par cette méthode. Mais pour observer les mouvements induits par une planète dix fois plus légère il faudra des équipements dix fois plus précis. De même, une vitesse orbitale dix fois plus lente entraîne une nouvelle perte d'un facteur dix. On imagine donc qu'il faudra s'approcher du centimètre par seconde dans la précision des mesures, ce qui est tout simplement prodigieux.



Variations de la vitesse radiale de l'étoile mu Arae dues à la présence de la nouvelle exoplanète. Les variations dues aux deux autres compagnons déjà connus ont été enlevées par ordinateur. ((c) ESO)

Sinfoni à l'ESO



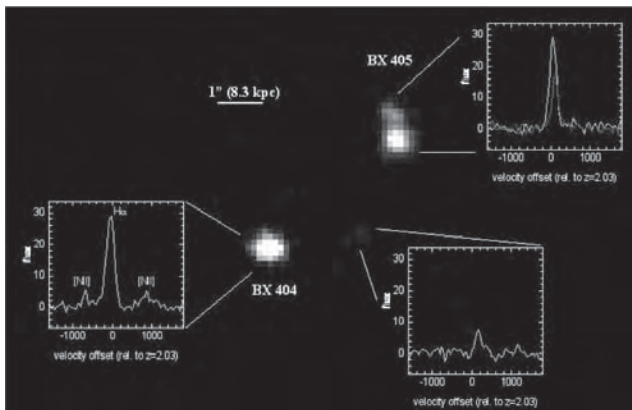
SINFONI "First Light" Spectrum of HD 130163

ESO PR Photo 24/04 (24 August 2004)

© European Southern Observatory

Première image de Sinfoni

L'observatoire européen austral (ESO) vient d'installer avec succès sur l'un des télescopes du VLT un instrument permettant d'exceptionnelles performances en imagerie et spectroscopie de l'infrarouge proche.

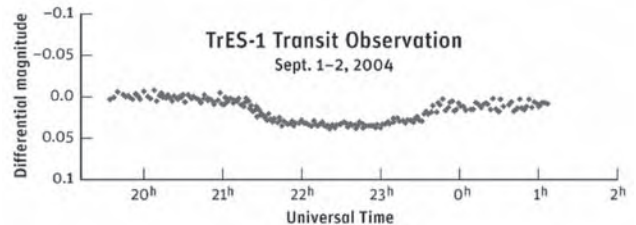


La paire de galaxie BX 404/5 observée avec Sinfoni

TrES 1

L'observation minutieuse de l'éclat de nombreuses étoiles a permis de découvrir une nouvelle exoplanète qui passe devant son soleil tous les 3 jours. Et cela grâce à de petits télescopes à la portée des amateurs.

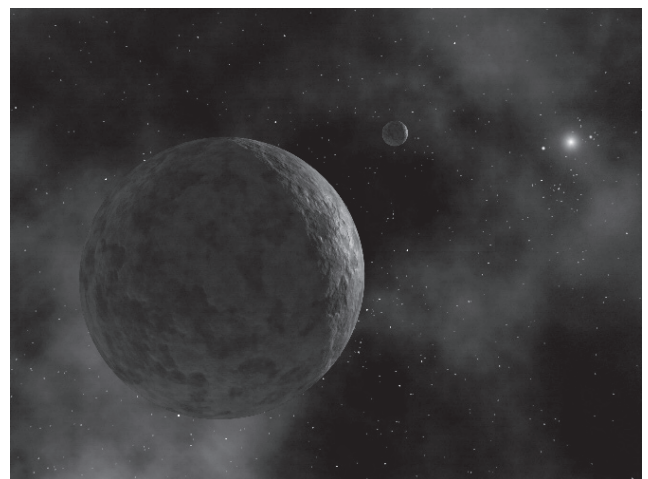
Très vite, d'ailleurs, des amateurs se sont occupés de cette planète, à commencer par la Flandre où Tony Vanmunster, de Landen, utilise un Celestron C-14 et une caméra SBIG ST-7XME pour « voir » les transits de cette planète extrasolaire.



Courbe de lumière lors d'un transit d'après les observations effectuées par Tony Vanmunster le 1 septembre. Le passage de la planète géante devant le disque de l'étoile provoqua une diminution d'éclat d'environ 0,03 magnitude, soit 3 pour cent. (Graphique T. Vanmunster / Sky & Telescope)

Sedna

La lente rotation de l'astre le plus lointain du système solaire pourrait s'expliquer par la présence d'un satellite. Les recherches infructueuses de ce dernier s'expliqueraient par une noirceur exceptionnelle : il serait recouvert de suie. De



Sedna a-t-il un satellite? ((c) Caltech)

nombreux mondes semblables existent peut-être aux confins du système solaire. Seul leur rayonnement infrarouge pourrait les trahir.

Cassiopée A

La nébuleuse Cas A est tout ce que l'on peut encore voir d'une supernova qui a explosé il y a plus de trois siècles dans la constellation de Cassiopée. Cible privilégiée du télescope spatial Chandra dès sa mise en service en 1999, Cas A

vient d'être réobservée en profondeur pendant une pose cumulée d'un million de secondes. On peut voir deux jets symétriques riches en silicium, et d'autres structures riches en fer. Ces dernières proviennent du coeur très chaud de l'étoile. A la place de celle-ci subsiste une petite étoile à neutrons.

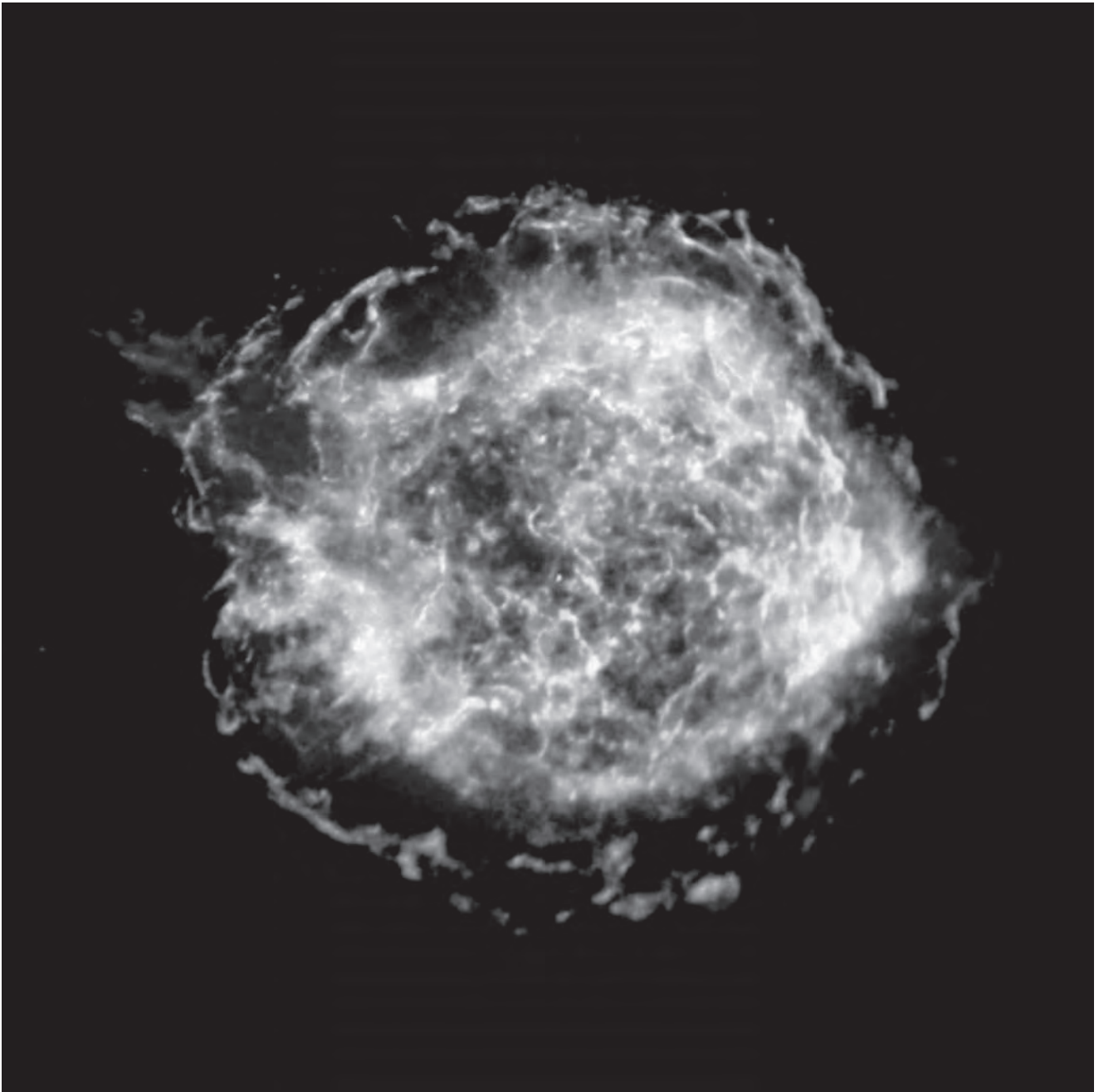


Image X de Cas A ((c) NASA/CXC/GSFC/U.Hwang et al.)