

L'astronomie dans le monde

EF Eridani

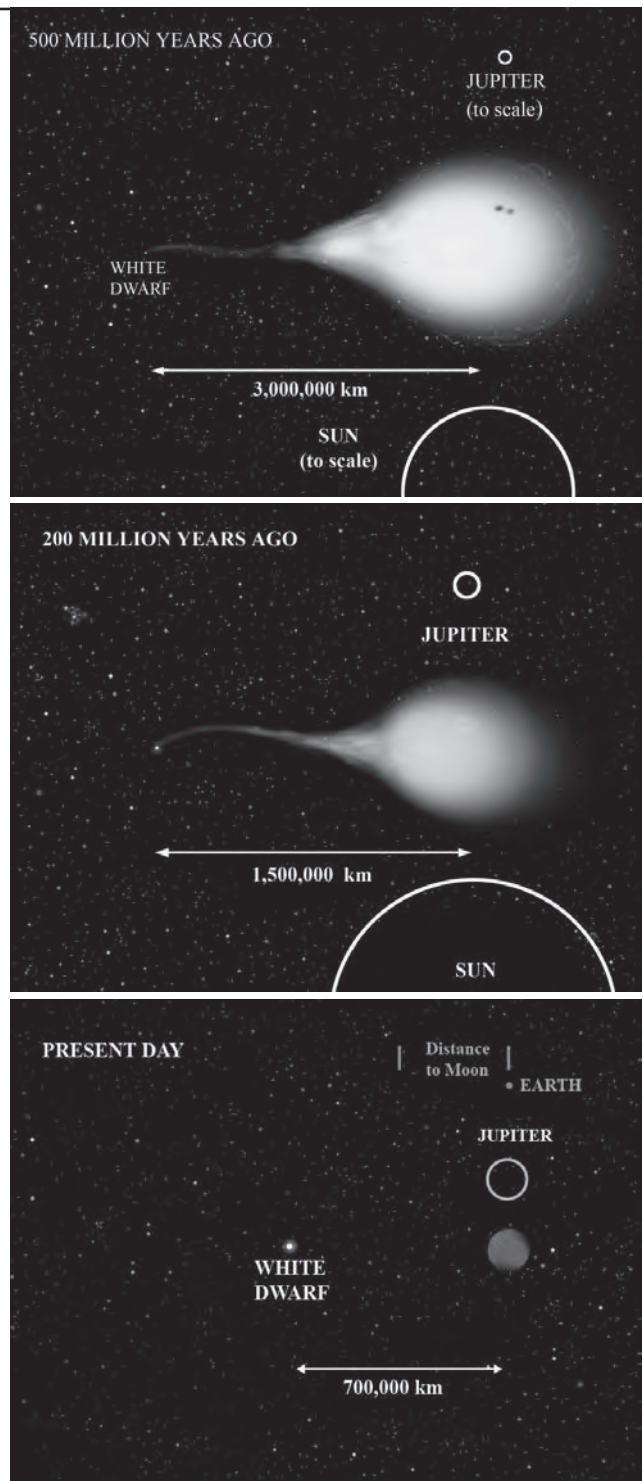
L'étoile faisant partie du système binaire EF Eridanus serait d'un nouveau type. Son compagnon, une naine blanche, lui a arraché tant de matière qu'elle ne peut plus allumer les réactions de fusion nucléaire. Avec une masse vingt fois moindre que le Soleil, elle est trop lourde pour prétendre au titre de super-planète et trop légère pour être une étoile. D'autre part, sa composition diffère de celle des naines brunes. Il n'existait donc encore aucune catégorie pour elle.

Lorsque le processus de transfert de matière a commencé, il y a environ cinq milliards d'années, le compagnon devait être assez semblable au Soleil. La période de révolution du couple devait être de quatre ou cinq heures. L'accrétion par la naine blanche a dû provoquer des explosions répétées de type nova.

La distance entre les deux étoiles a diminué jusqu'à une valeur comparable à la distance Terre-Lune et la période n'est plus que de 81 minutes.



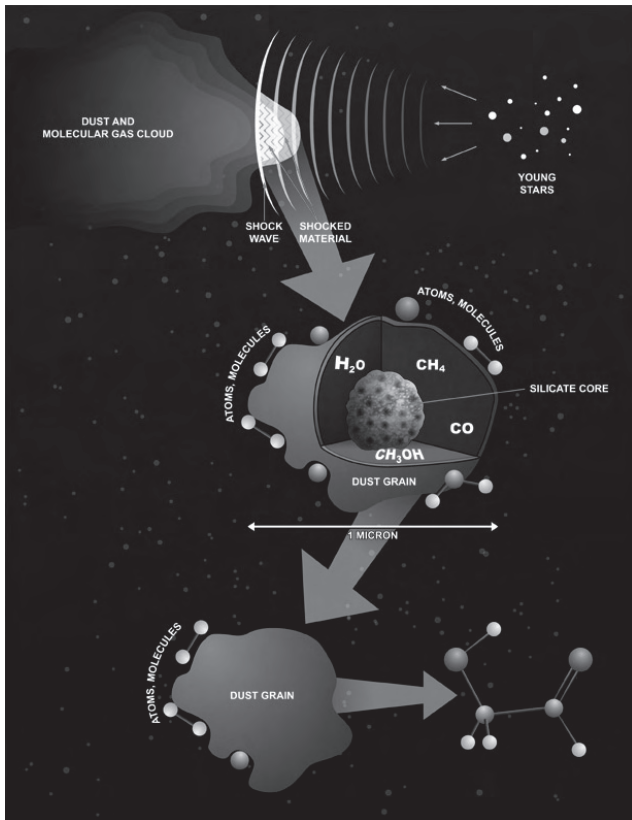
On connaît une quinzaine de systèmes binaires qui pourraient ressembler à EF Eridani. Leur étude est en cours et l'isolement taxonomique de EF Eri pourrait vite être levé



Vues du système EF Eri il y a 500 et 200 millions d'années, et à l'heure actuelle. Dans la première image, le transfert de matière vient de commencer vers la petite naine blanche (étoile de gauche). Les tailles de Jupiter, du Soleil ou du système Terre-Lune sont indiquées à titre de comparaison (Clichés Gemini)

Du sucre dans l'espace

Des astronomes ont découvert du sucre dans un nuage très froid près du centre de notre Galaxie. Ce sucre se serait formé après le passage d'une onde de choc dans le milieu interstellaire. Le type de molécule trouvée, du glycoaldéhyde, est faite de 8 atomes. Elle peut, en se combinant avec d'autres molécules, former du ribose, une des briques de l'ADN.



Processus de formation du sucre dans un nuage interstellaire traversé par une onde de choc (Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF)

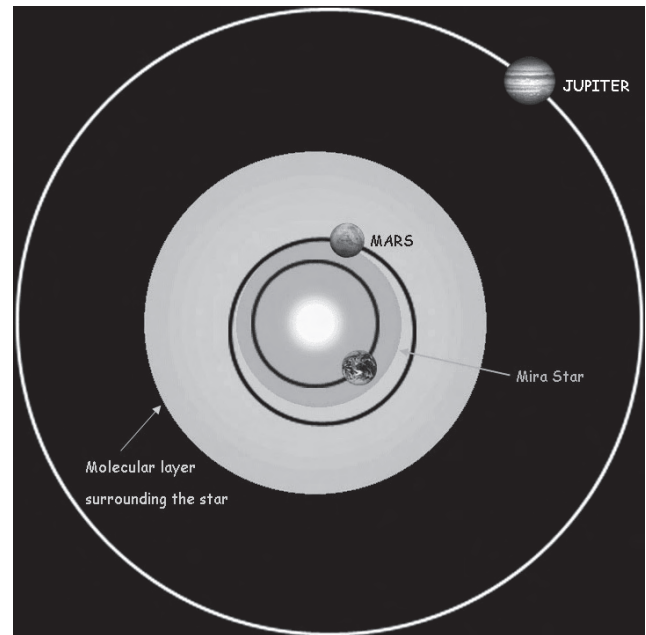
On connaissait déjà la présence de glycoaldéhyde non loin de là, dans une région beaucoup plus chaude. La détection à basse température indique qu'il s'agit ici d'une immense réserve, présente dans un nuage qui pourrait bien un jour donner naissance à des étoiles et des systèmes planétaires. Si c'est le cas, des molécules prébiotiques comme celles-là pourraient être préservées dans des comètes.

Ces boules de glaces seraient donc un peu sucrées. Notons que jusqu'à présent, parmi les nombreuses molécules organiques de l'espace interstellaire, on n'a pas encore découvert de vanille.

Miras à la baisse

Les dimensions des étoiles de type Mira Ceti ont été revues à la baisse suite à des mesures interférométriques effectuées dans l'infrarouge proche. Une enveloppe ténue d'eau et de gaz carbonique empêche d'en distinguer la photosphère.

Les Miras sont des étoiles de type solaire en fin de vie traversant des épisodes chaotiques.



Taille d'une Mira moyenne et de son enveloppe moléculaire comparée au système solaire. Quand le Soleil passera par ce stade d'évolution dans cinq milliards d'années, il atteindra pratiquement l'orbite de Mars, mais son enveloppe s'étendra bien au-delà (Journal Astronomy & Astrophysics)

Eau et méthane sur Mars

Communiqué ESA

La présence d'eau et de méthane aux mêmes endroits sur Mars est-elle un indice supplémentaire d'existence d'une vie ?

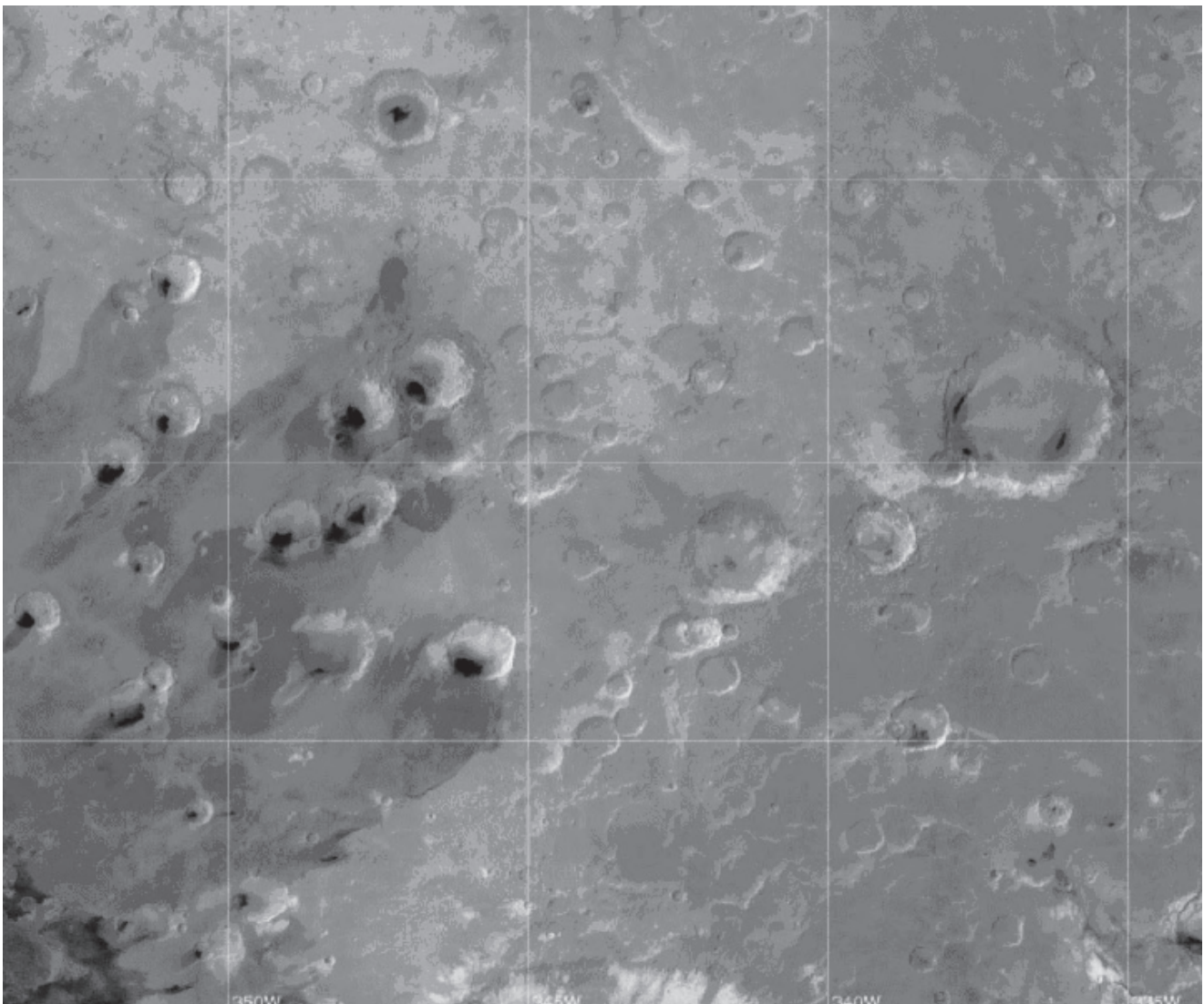
Des analyses récentes exécutées à partir de données fournies par la sonde Mars Express de l'ESA révèlent que, dans l'atmosphère de

Mars, les concentrations de vapeur d'eau et de méthane coïncident de manière surprenante. Ces résultats, provenant de données obtenues par le Spectromètre planétaire à transformée de Fourier (PFS), nous font mieux comprendre les processus géologiques et atmosphériques spécifiques à Mars et ouvrent de nouvelles pistes concernant l'existence actuelle de vie sur la Planète rouge.

Le PFS a observé qu'à une altitude comprise entre 10 et 15 kilomètres de la surface, la vapeur d'eau est présente dans l'atmosphère de manière uniforme et est intimement mélangée à ses autres composantes. Il a aussi constaté, à proximité de la surface, sa présence sous des formes plus concentrées dans trois grandes régions équatoriales : Arabia Terra, Elysium Planum et

Arcadia-Memnonia. Dans ces endroits, cette concentration est deux à trois fois supérieure à celle des autres régions observées. Comme l'indique Vittorio Formisano, responsable de recherche du PFS, ces zones de plus forte concentration de la vapeur d'eau correspondent également à celles où la sonde Odyssey de la NASA a repéré une couche de glace hydrique (glace d'eau) à quelques dizaines de centimètres sous la surface.

De nouvelles analyses détaillées des données fournies par le PFS confirment également que le méthane n'est pas réparti de manière uniforme dans l'atmosphère, mais qu'il se concentre dans certaines zones. L'équipe en charge du PFS a constaté que ces zones de plus forte concentration sont les mêmes que celles où la vapeur d'eau



*Arabia Terra, l'une des zones où l'on a trouvé simultanément de l'eau et du méthane
(Crédits: NASA/JPL/Malin Space Science System)*

et la glace hydrique souterraine sont également concentrées. On peut supposer que cette corrélation spatiale entre la vapeur d'eau et le méthane s'explique par une origine souterraine commune.

Dans un premier temps, on s'est intéressé à cette couche de glace souterraine dont l'existence pourrait s'expliquer par la théorie de la «table de glace», selon laquelle la chaleur dégagée sous la surface entraînerait une remontée de divers matériaux parmi lesquels de l'eau qui gèlerait avant d'atteindre la surface, du fait de la température très basse (plusieurs dizaines de degrés Celsius en dessous de zéro). D'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre les relations entre d'une part cette table de glace et d'autre part la présence et la répartition de la vapeur d'eau et du méthane dans l'atmosphère. En d'autres termes, les processus géothermiques qui «alimentent» la table de glace peuvent-ils également transporter de la vapeur d'eau et d'autres gaz, comme le méthane, vers la surface ? Peut-il y avoir de l'eau liquide sous cette table de glace ? Des formes de vie bactérienne peuvent-elles exister dans l'eau située sous la table de glace, produire du méthane et d'autres gaz, et les libérer vers la surface puis dans l'atmosphère ?

L'instrument PFS a également détecté des traces d'autres gaz dans l'atmosphère martienne. Un rapport à ce sujet est actuellement examiné par des pairs. D'autres études détermineront s'il existe un lien de causalité entre ces gaz et l'eau et le méthane, ce qui contribuera à apporter une réponse aux questions non résolues. Des observations in situ effectuées par de futures missions d'atterrisseurs martiens apporteront peut-être une réponse plus complète à ces énigmes.

L'instrument PFS doit étudier, avec une résolution spectrale sans précédent, les champs de température dans l'atmosphère, la poussière, le cycle de l'eau et du monoxyde de carbone ainsi que ses variations, la répartition verticale de l'eau, les interactions sol-atmosphère et les espèces gazeuses mineures. L'acquisition de ces données (gaz «biomarqueurs» et étude chimique de l'environnement atmosphérique) contribuera à déterminer s'il existe actuellement une vie sur Mars.

Toutatis à l'ESO



La trace de Toutatis laissée sur deux images prises de deux sites différents montre l'effet de parallaxe dû à la proximité de l'astéroïde (Cliché ESO)

Le 29 septembre dernier, le petit astéroïde Toutatis est passé plus près de la Terre qu'il ne l'avait jamais fait depuis l'an 1353, soit à la distance malgré tout respectable d'un million et demi de kilomètre.

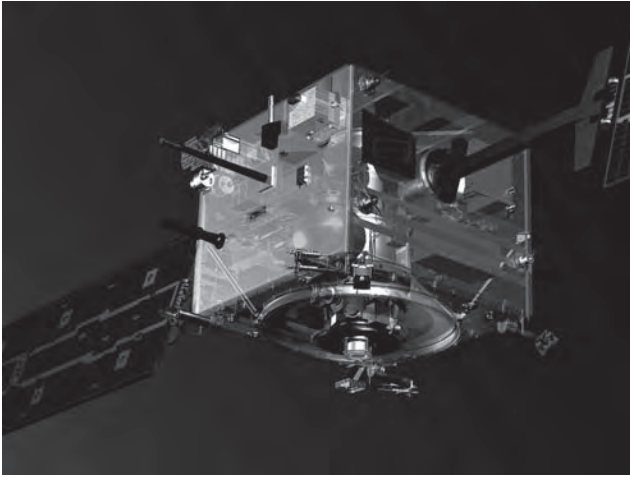
L'orbite de Toutatis l'amène à passer près de la Terre tous les quatre ans. Depuis sa découverte en 1989, il nous a approché en 1992, 1996 et 2000. Les observations radar obtenues au cours de ces brèves rencontres ont montré qu'il a une forme allongée mesurant 4.6 x 2.4 x 1.9 km, et qu'il tourne sur lui-même en 5,4 jours.

L'image ci-dessus montre Toutatis photographié simultanément depuis les deux observatoires de l'ESO au Chili. La faible distance de l'astéroïde permet de mettre en évidence l'effet de parallaxe. Connaissant la position des deux observatoires, distants l'un de l'autre de 513 km, il est possible de déterminer la distance exacte de Toutatis au moment des observations. Elle est en parfait accord avec les prévisions des éphémérides, ce qui permet d'affirmer que Toutatis ne risque pas de nous heurter dans un avenir proche.

SMART-1

Dernière poussée du moteur ionique avant la capture lunaire.

Communiqué ESA



Vue d'artiste de la sonde Smart-1

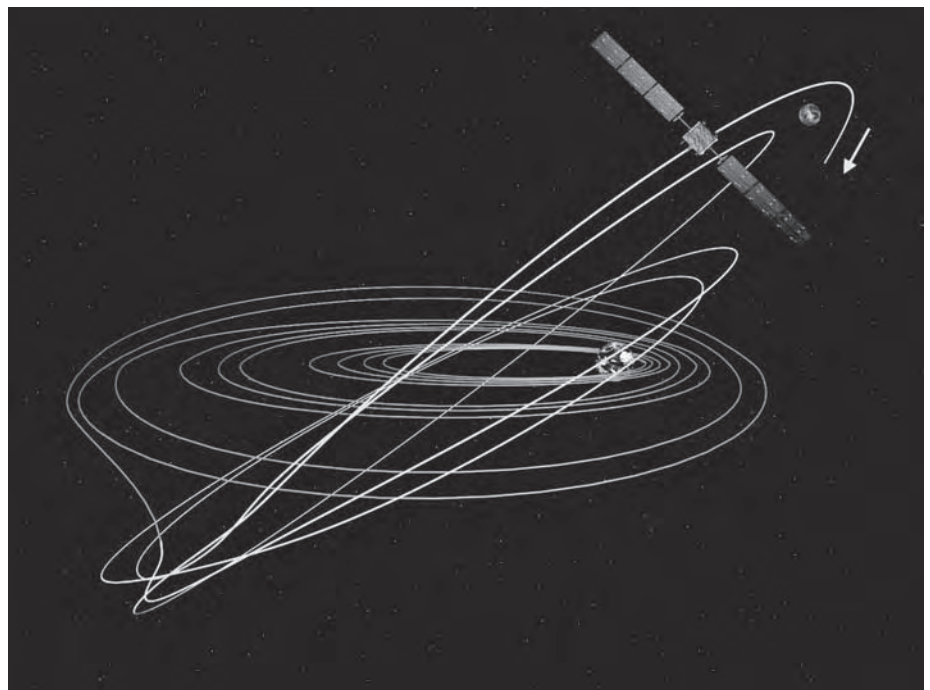
Du 10 au 14 octobre, le moteur ionique de SMART-1 a fourni une dernière longue poussée destinée à propulser la sonde de l'ESA vers son point de capture lunaire, où elle doit arriver le 13 novembre.

SMART-1, en route vers la Lune, a maintenant couvert 80 millions de kilomètres. Son périple a débuté le 27 septembre 2003, jour de son lancement du port spatial de l'Europe à Kourou, en Guyane, à bord d'une fusée Ariane-5. La sonde se trouve depuis lors sur une trajectoire en spirale et décrit des boucles de plus en plus larges autour de la Terre, préluant à sa capture finale par la gravité lunaire et à sa mise en orbite autour de la Lune, qui doivent se produire en novembre. La mission SMART-1 a été conçue pour répondre à deux grands objectifs. Le premier est purement technologique : démontrer et tester de nouvelles techniques spatiales qui seront utilisées par les futures missions interplanétaires d'exploration. Le deuxième est scientifique, axé sur l'étude de la Lune. C'est pour répondre au premier objectif,

de démonstration technologique, et notamment pour réaliser le premier essai en vol d'un moteur ionique européen utilisant la propulsion héliosélectrique comme principal mode de propulsion, qu'a été choisie la trajectoire longue (13 mois) et atypique de SMART-1 vers la Lune.

Cette longue orbite en spirale autour de la Terre, qui mène la sonde de plus en plus près de la Lune, est nécessaire pour tester le fonctionnement du moteur ionique sur une distance comparable à celle des voyages interplanétaires. La mission SMART-1 teste également le comportement d'un satellite doté d'un moteur ionique au cours des manœuvres d'assistance gravitationnelle. Ces manœuvres, utilisées lors des voyages interplanétaires, permettent de tirer parti de l'attraction gravitationnelle d'objets célestes, comme les planètes, afin d'accélérer une sonde et de l'aider à atteindre sa trajectoire finale, tout en économisant ses réserves de carburant.

Dans le cas de SMART-1, l'attraction gravitationnelle de la Lune a été exploitée à l'occasion de trois manœuvres dites de «résonance lunaire». Les deux premières ont eu lieu en août et septembre 2004. La troisième s'est déroulée le 12 octobre, lors de la longue poussée finale fournie par le moteur ionique pendant 5 jours, du 10 au 14 octobre. Grâce à cette dernière poussée,



Smart-1 se dirige vers la Lune selon une trajectoire extrêmement compliquée (ESA)

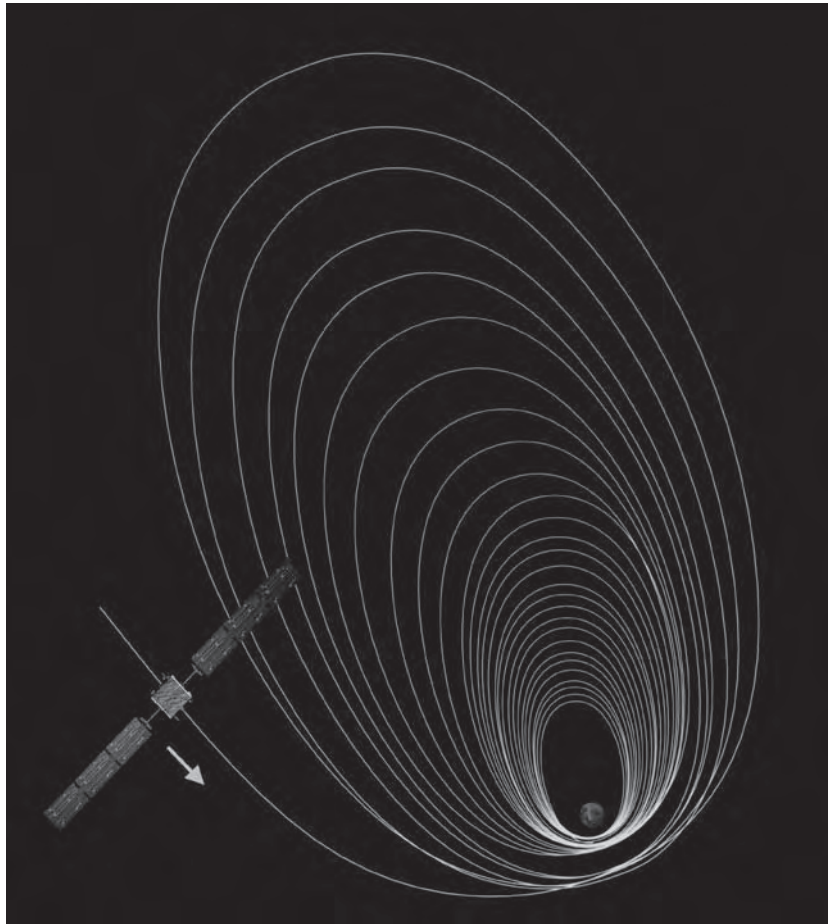
SMART-1 va pouvoir réaliser encore deux orbites autour de la Terre sans intervention du moteur, hormis d'éventuelles corrections mineures de trajectoire. Cette poussée va également permettre à la sonde d'entrer dans la sphère d'attraction naturelle de la Lune et de se mettre en orbite autour de celle-ci à partir du 13 novembre, alors qu'elle sera à 60.000 km de la Lune.

SMART-1 atteindra son premier périlune (distance la plus proche de la surface lunaire) le 15 novembre et le moteur ionique sera alors rallumé pour une première longue poussée en orbite lunaire. La sonde continuera à décrire des orbites de plus en plus rapprochées autour de la Lune jusqu'à ce qu'elle se positionne à la mi-janvier 2005 sur son orbite opérationnelle (son altitude variera entre 3.000 et 300 km au-dessus des pôles lunaires). A partir de cette date et pendant six mois, SMART-1 réalisera la première étude détaillée des éléments chimiques clés présents à la surface lunaire. On attend de cette mission des indices sur la formation de la Lune.

Pollution globale

Sur la base de 18 mois d'observations d'Envisat, une carte atmosphérique mondiale à haute résolution de la pollution par le dioxyde d'azote montre clairement comment les activités de l'homme influent sur la qualité de l'air.

Le satellite Envisat de l'ESA, avec ses dix instruments, a été lancé en février 2002 et est le plus gros satellite de surveillance de l'environnement au monde. Son spectromètre d'absorption avec imageur à balayage pour la cartographie atmosphérique (SCIAMACHY) enregistre le spectre du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère. Ces résultats sont alors soigneusement filtrés pour trouver les « empreintes » d'absorption spectrale des gaz à l'état de trace dans l'air.



Une fois capturé par la Lune, Smart-1 s'en rapproche par des orbites de plus en plus serrées (ESA)

Le dioxyde d'azote (NO_2) est essentiellement produit par l'homme, et une exposition excessive à ce gaz entraîne des lésions pulmonaires et des problèmes respiratoires. Le gaz joue également un rôle important dans la chimie atmosphérique



Le satellite de l'ESA pour la surveillance de l'environnement, Envisat

puisqu'il engendre la production d'ozone dans la troposphère – qui est la couche inférieure de l'atmosphère sur huit à seize kilomètres de hauteur.

Le dioxyde d'azote est produit par les émissions en provenance des centrales électriques, de l'industrie lourde et du transport routier ainsi que de la combustion de la biomasse. La foudre dans l'air produit également des oxydes d'azote, naturellement, tout comme l'activité microbienne dans le sol.

Des mesures localisées du dioxyde d'azote atmosphérique sont effectuées sur des sites dans bon nombre de pays occidentaux industrialisés, mais les sources de données au sol sont, dans l'ensemble, fort peu nombreuses.

Seuls les capteurs spatiaux permettent de réaliser une surveillance globale efficace : la sensibilité des satellites au dioxyde d'azote de la troposphère a été démontrée pour la première fois par l'expérience GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) sur le satellite ERS-2 de l'ESA. Cependant, GOME était seulement un précurseur à échelle réduite de SCIAMACHY financé par l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique et qui a été embarqué sur Envisat.

Même si les deux instruments fonctionnent de la même manière, GOME a une résolution spatiale de seulement 320 x 40 km, à comparer avec la résolution moyenne de 60 x 30 km de SCIAMACHY. En outre, ce dernier observe l'atmosphère sous deux angles différents – vers le bas, en visée au «nadir» tout en faisant des observations de «limbe» dans la direction de

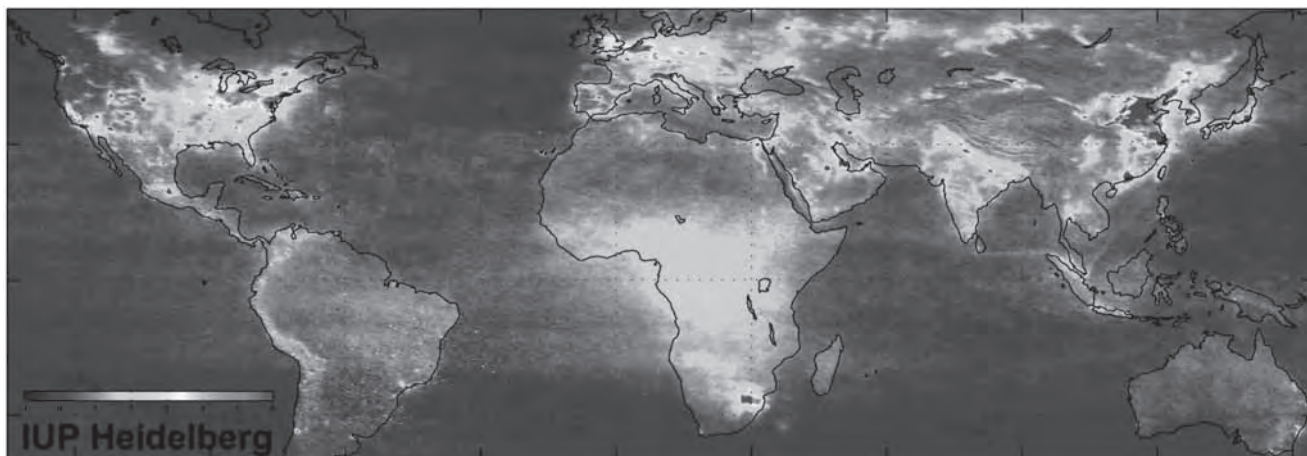
vol – et dispose d'une largeur de spectre nettement supérieure à celle de son prédécesseur.

Des équipes des universités de Brême et d'Heidelberg en Allemagne, l'Institut d'aéronomie spatiale de Belgique (BIRA-IASB) et l'Institut météorologique royal des Pays-Bas (KNMI) ont pu traiter avec succès les données de SCIAMACHY pour produire les cartes les plus fines jamais réalisées des colonnes verticales du dioxyde d'azote troposphérique.

«La résolution spatiale améliorée qu'offre SCIAMACHY signifie que nous voyons beaucoup de détails sur les images globales, y compris l'identification individuelle de villes sources» précise Steffen Beirle de l'Institut de physique de l'environnement de l'Université d'Heidelberg, auteur de la carte présentée ci-dessous.

La répartition de hautes colonnes verticales de dioxyde d'azote correspond aux grandes villes d'Amérique du Nord et d'Europe, ainsi que de la ville de Mexico en Amérique Centrale et des centrales électriques au charbon en Afrique du Sud, nombreuses et concentrées sur le plateau du Highveld.

Il y a également une très forte concentration au-dessus du nord-est de la Chine. De plus, sur l'Asie du Sud Est et une bonne partie de l'Afrique, on peut voir le dioxyde d'azote produit par la combustion de la biomasse. Les routes empruntées par les navires apparaissent en certains endroits : regardez la Mer Rouge et l'océan Indien entre la pointe sud de l'Inde et l'Indonésie. La fumée des cheminées des navires qui empruntent ce trajet rejette de grandes quantités de NO_2 dans la troposphère.



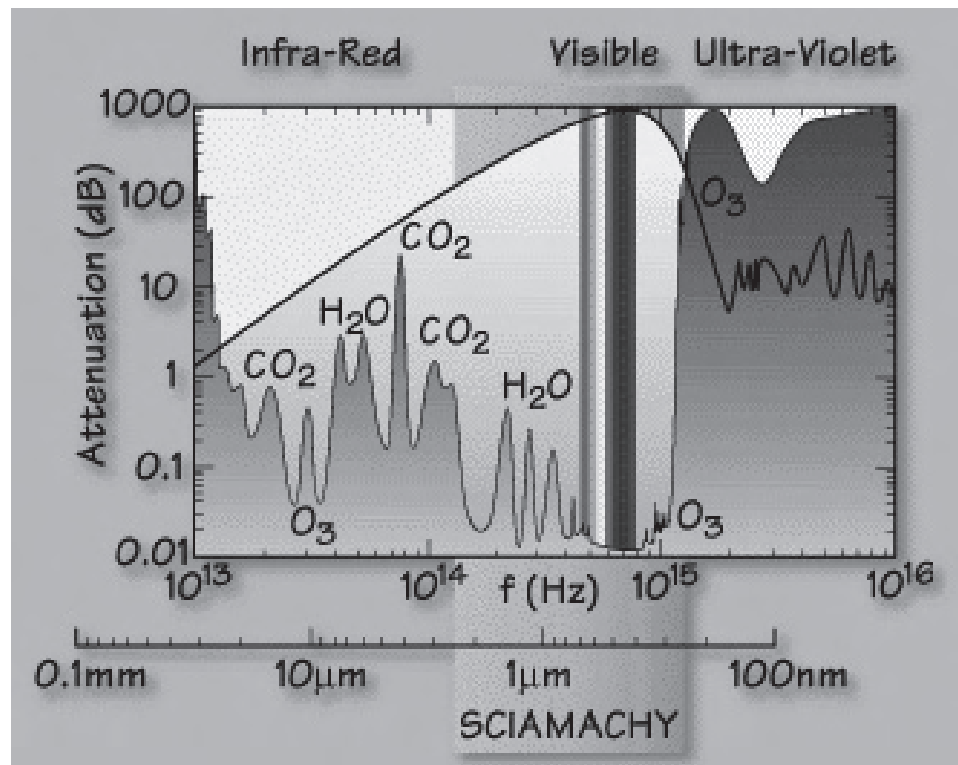
Une carte mondiale de la pollution de l'air a pu être établie grâce au satellite Envisat

Cette carte donne une moyenne établie à partir de toutes les données relevées sur une période de 18 mois. Ceci a pour effet de réduire les variations saisonnières de combustion de la biomasse ainsi que celles qui sont dues aux modifications de l'activité humaine selon les périodes de l'année.

Comme GOME, SCIAMACHY opère en observant les rayonnements ultraviolets visibles et du proche infrarouge réfractés dans l'atmosphère. L'essentiel du travail se fait au sol où les chercheurs s'efforcent d'identifier de très petites manifestations d'absorption des gaz rares sur la totalité du spectre de la lumière rétrodiffusée, un exploit qui rappelle la recherche d'une aiguille dans une meule de foin.

La méthode utilisée s'appelle la spectroscopie d'absorption optique différentielle (DOAS), qui est en fait un processus de filtrage complexe également utilisé par les instruments de prélèvement d'échantillons d'air au sol. Le DOAS supprime le «bruit» spectral dominant dû à la diffusion Rayleigh de la lumière par les particules d'air (c'est ce même phénomène qui fait que le ciel donne l'impression d'être bleu), ainsi que les structures d'absorption des molécules d'oxygène, d'azote et d'eau qui composent l'atmosphère pour l'essentiel.

Ce qui reste après que ces éléments ont été enlevés est le «signal» recherché des structures plus étroites d'absorption des gaz rares, repérées par comparaison avec des profils échantillonnés. Appliquée aux résultats de SCIAMACHY, cette technique est suffisamment sensible pour repérer des colonnes qui contiennent moins de quelques parties de dioxyde d'azote par milliard de particules d'air. Pour donner une idée de l'échelle, au-dessus de grandes aggloméra-

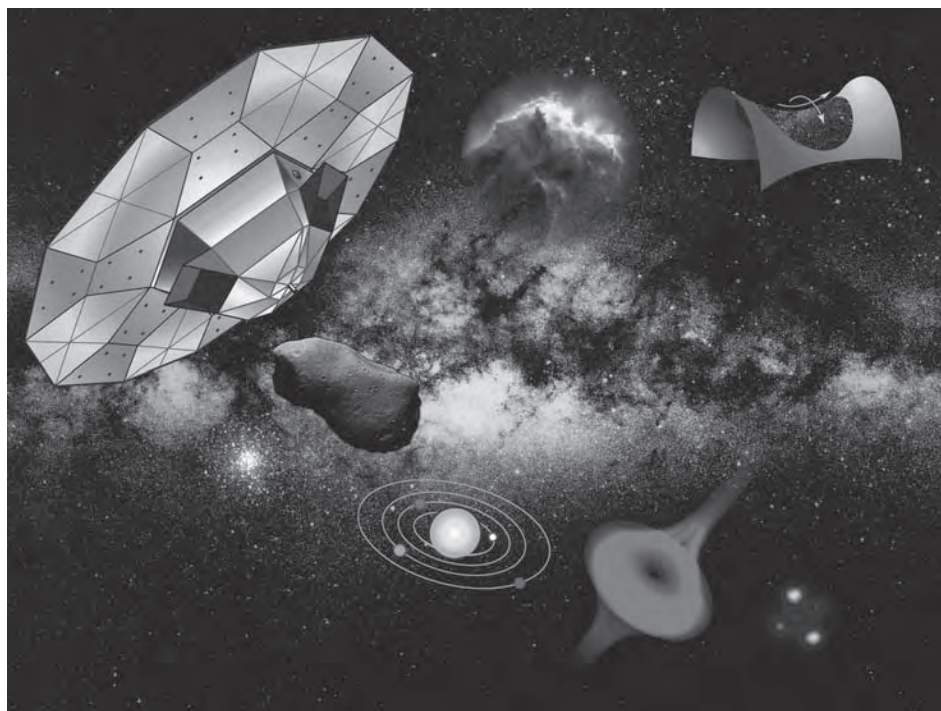


tions très polluées comme Londres, les ratios de présence des particules de NO₂ peuvent atteindre des niveaux de cent parties par milliard.

Les cartes du dioxyde d'azote présentées ici ont été établies à partir de données acquises au nadir : alors que le NO₂ change considérablement d'un endroit à l'autre de la troposphère, il reste uniformément réparti dans la haute atmosphère, la stratosphère. Donc, les niveaux de dioxyde d'azote mesurés au-dessus des zones les plus isolées du Pacifique ont servi à définir une colonne de référence pour le dioxyde d'azote stratosphérique, ces valeurs étant soustraites des données mondiales pour déterminer les résultats des colonnes verticales troposphériques.

«Les résultats fournis par ce capteur et les autres capteurs semblables doivent pouvoir servir à l'avenir à prédire le temps et la qualité de l'air sur des bases chimiques» précise Beirle. «Pour l'instant, nous nous attachons surtout à utiliser les résultats de SCIAMACHY pour quantifier le rôle respectif des différentes sources d'oxyde d'azote – par exemple l'utilisation de combustibles fossiles, la combustion de produits de la biomasse, la foudre – particulièrement parce que l'apport de cette dernière est resté encore très mal connu».

L'Univers en 3D :
symposium Gaia à Paris



La mission Gaia doit générer une moisson de données exceptionnelle (image ESA)

Vers 2010, Gaia entamera la cartographie la plus complète jamais réalisée des étoiles de notre Galaxie. Début octobre, la communauté scientifique s'est réunie à l'Observatoire de Paris pour présenter et préparer la mission.

Poursuivant la mission brillamment accomplie par Hipparcos en 1989-1993, Gaia dressera la carte de la portion de la Voie Lactée qui entoure le Système Solaire, en relevant la position précise - et en trois dimensions - de plus d'un milliard d'étoiles, ainsi que leur vitesse de déplacement. Placée en orbite autour du point de Lagrange L2 - un point de stabilité à 1,5 million de kilomètres de la Terre dans la direction opposée au Soleil - Gaia disposera de trois télescopes pour couvrir l'ensemble du ciel et enregistrer toutes les sources visibles. Au cours de sa mission de 5 ans, Gaia devrait ainsi observer plus d'une centaine de fois chacune des étoiles parmi le milliard qu'elle doit repérer. Au passage, elle devrait en outre fournir des données

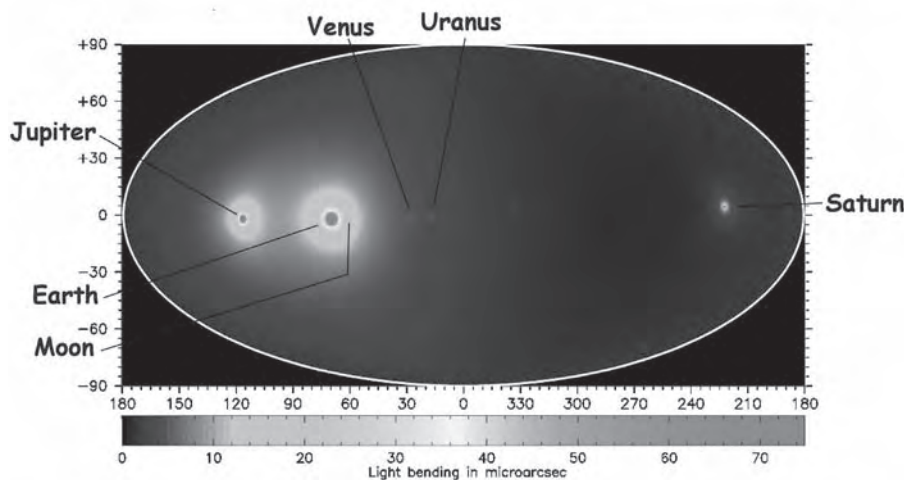
importantes sur la présence de milliers de planètes extrasolaires et découvrir plusieurs dizaines de milliers de nouveaux corps - comètes et astéroïdes - dans notre propre système solaire.

Co-organisé par l'ESA, le symposium qui vient d'avoir lieu à l'Observatoire de Paris a réuni

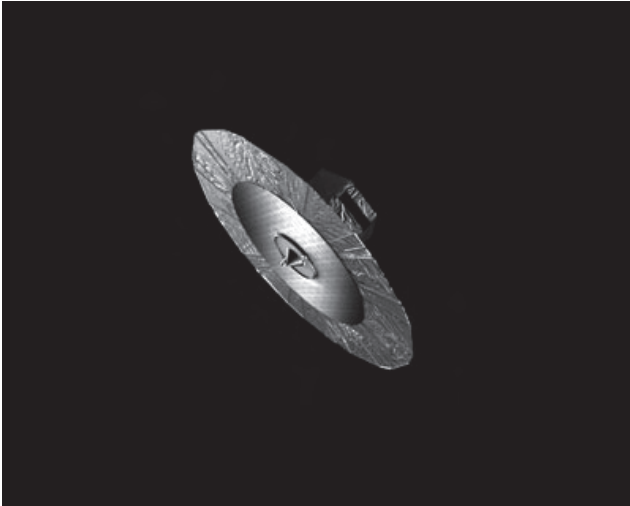
les scientifiques travaillant sur la mission ainsi que la communauté scientifique qui utilisera les données récoltées par Gaia. En tout, plus de 200 délégués se sont rencontrés.

Pendant ces quatre jours, les premiers ont présenté aux seconds l'état d'avancement de la préparation de la mission, l'architecture retenue pour le satellite, ses caractéristiques techniques ainsi que les performances envisagées et les possibilités offertes au niveau scientifique.

Le potentiel extraordinaire de Gaia a été largement illustré et



La distorsion apparente de l'espace sera observée par Gaia. Les intensités reproduites sur la figure ci-dessus donnent l'importance relative de la distorsion de l'espace engendrée par les différents astres du système solaire (image ESA)



Vue d'artiste de Gaia avec son pare-soleil déployé (image ESA)

la question du traitement de la masse considérable de données qui seront collectées a été également abordée. En effet, l'exploitation scientifique des mesures effectuées par Gaia nécessitera le traitement global et itératif d'un million de gigaoctets de données et la communauté scientifique doit d'ores et déjà se préparer à gérer cette opération.

Enfin, les équipes d'Hipparcos et de Gaia ont évoqué le partage de leur expérience acquise lors de la préparation et de l'exécution de ces missions avec les nouvelles générations de scientifiques qui utiliseront ces données. A cette fin, ce symposium était ouvert aux étudiants et aux jeunes scientifiques.

Gaia a été sélectionnée comme une des pierres angulaires du programme scientifique de l'ESA en octobre 2000. Depuis mai 2002, la mission est entrée dans une phase de définition qui doit s'achever à la fin de l'année. Son lancement

pourrait avoir lieu dès 2010.

L'analyse des données collectées par Gaia ne permettra pas seulement de dresser une carte en 3D de la Galaxie, elle permettra une meilleure compréhension des objets qui la constituent, de sa formation et de son évolution. Ces données serviront de référence pour l'étude des autres galaxies.

Enfin, les observations de Gaia permettront de tester avec une précision jamais atteinte les effets de la relativité générale, notamment en étudiant la manière dont le Soleil courbe la lumière en provenance des étoiles de l'ensemble du ciel, ce qui nous donnera un premier aperçu de la structure même de l'espace-temps.

Découverte du plus grand champ de cratères de météorites sur Terre.

A partir d'images satellites radar, qui permettent de visualiser le sous-sol des régions arides jusqu'à quelques mètres de profondeur, des chercheurs du CNRS, au sein d'une équipe franco-égyptienne, ont détecté plusieurs dizaines de structures géologiques circulaires regroupées dans une région de 5000 km² dans le sud-ouest du désert Egyptien.

Une mission sur le terrain, réalisée en février 2004, a permis de vérifier que la plupart de ces structures, dont 13 ont été étudiées en détail, sont des cratères d'impacts de météorites. Leur diamètre varie de 20 m à 1 km et leur profondeur peut atteindre 80 m. C'est le plus grand champ de cratères d'impacts de météorites identifié sur Terre, où on en dénombre seulement 9 autres. Ce



Vue de l'intérieur du cratère GKCF13, de 950 mètres de diamètre (Ph. Paillou / Elsevier / CRAS)

champ de cratères d'impacts résulte vraisemblablement de la fragmentation de plusieurs météorites de grande taille au moment de leur entrée dans l'atmosphère.

Ces résultats sont présentés en exclusivité dans le Journal du CNRS d'octobre 2004. Ils seront publiés prochainement dans les Comptes-rendus Géosciences de l'Académie des Sciences.

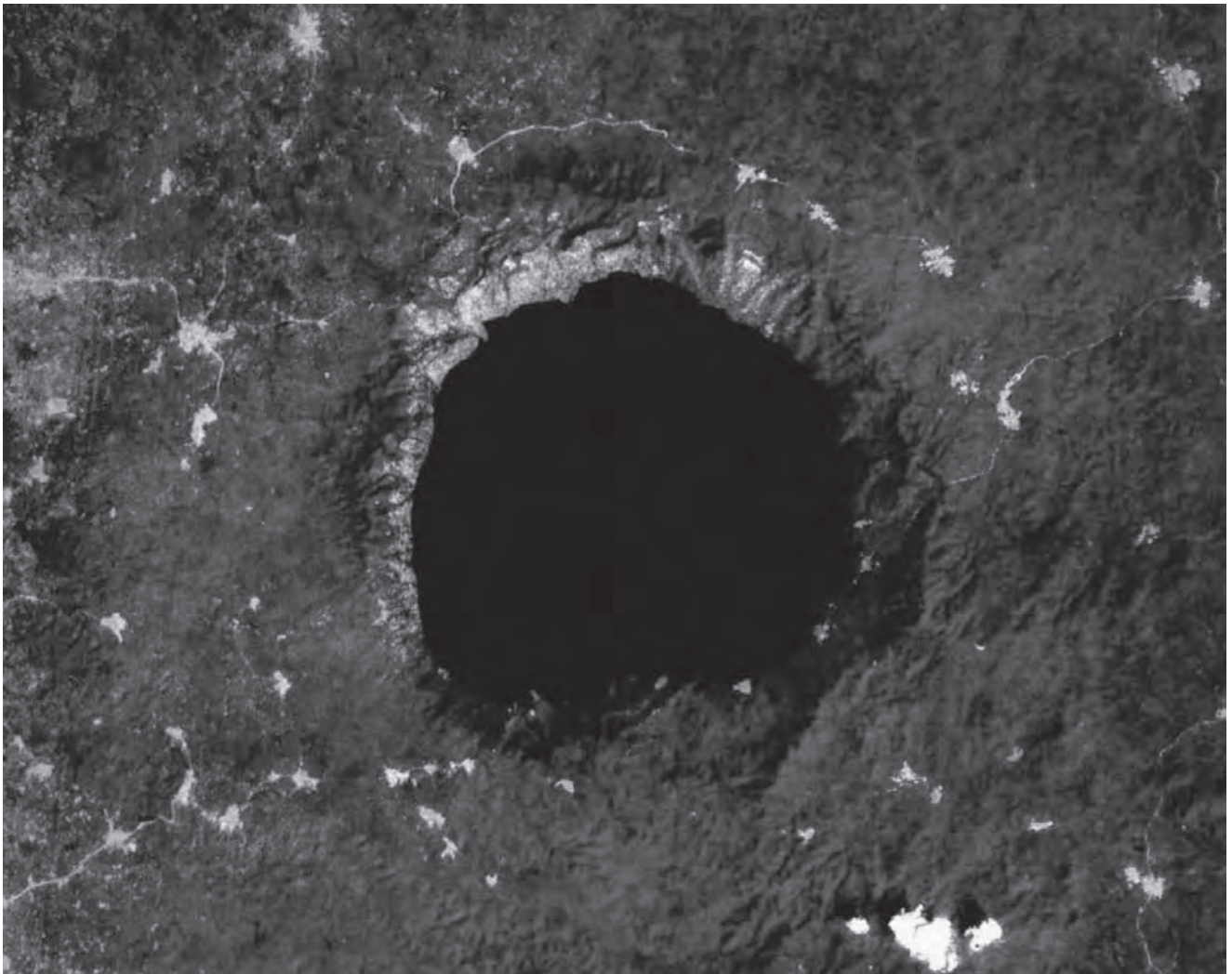
Une nouvelle mission est prévue sur le terrain en décembre 2004, en particulier pour analyser les cratères de plus petite taille, qui pourraient encore contenir des débris de météorites dont la nature reste à déterminer.

Minimum solaire

Il y a un an, le Soleil nous gratifiait de magnifiques aurores polaires. Depuis, il s'est considérablement calmé. Le minimum de l'activité solaire semble même légèrement en avance puisque le Soleil est apparu sans taches à plusieurs reprises en ce mois d'octobre..

Cratère mystérieux

Des forages jusqu'à plus de deux kilomètres de profondeur ont été effectués dans le cratère Bosumtwi au Ghana, un des plus jeunes cratères au monde (un million d'années). Ils révèlent que la couche de roche liquéfiée au moment de l'impact n'est pas aussi épaisse que prévu.



Le cratère Bosumtwi renferme un lac de 8 km de diamètre (Cliché Christian Köberl)