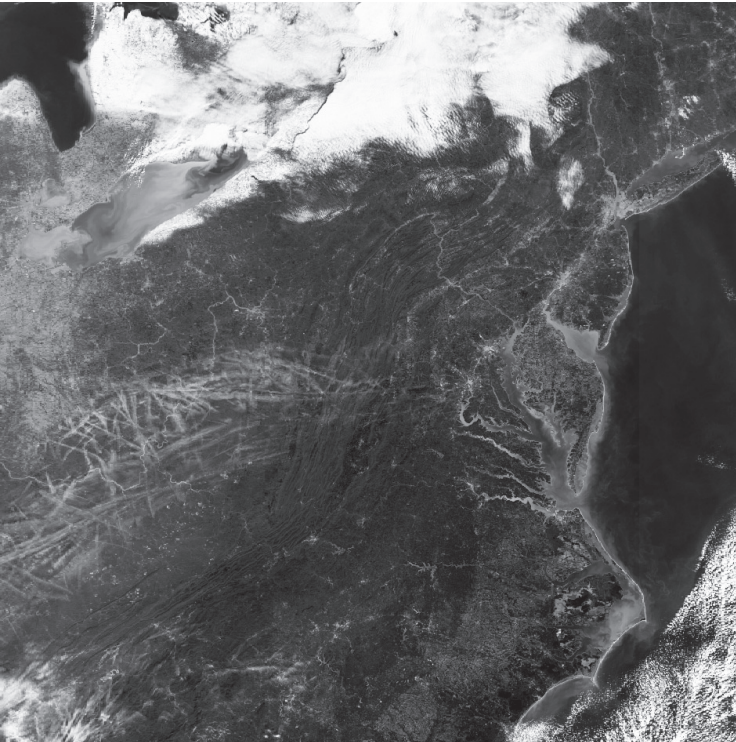

L'astronomie dans le monde

Contrails

Les « contrails » (contraction de « condensation trails ») sont les traînées laissées par les avions dans certaines circonstances atmosphériques. Ces circonstances se rencontrent souvent en Belgique au grand dam des observateurs qui voient ainsi ruinées une bonne partie des soirées claires. L'image ci-dessous, fournie par le satellite Envisat de l'ESA, montre un réseau serré de contrails, non pas chez nous, mais aux USA. La zone photographiée s'étend de la frontière canadienne aux monts Appalaches au sud, et de l'Ohio à l'ouest jusqu'aux états de New York, New Jersey, Delaware et Maryland. Les contrails se concentrent entre Cincinnati,

Réseau de contrails photographiés par Envisat (© ESA)



Columbus et Pittsburgh.

Les émissions des avions contiennent de grandes quantités de vapeur d'eau. Les conditions atmosphériques peuvent entraîner la condensation de cette eau sous forme de cristaux de glace. Ceux-ci constituent des noyaux de condensation autour desquels la glace vient s'accumuler. Le résultat est ce ruban blanc bien caractéristique qui se déroule en travers du ciel. Parfois le contrail disparaît rapidement mais le plus souvent, dans nos régions, il entame une vie propre, se déplace et se déforme au gré des vents, s'épaissit entraînant la condensation de plus grandes quantités de vapeur.

Les contrails qui se développent de la sorte peuvent avoir une incidence sur le climat puisqu'ils forment des cirrus artificiels.

L'ESA a dans ses cartons le projet d'un programme de surveillance de ces nuages par satellite au-dessus de l'Europe et de l'Atlantique nord, zones d'intense trafic aérien.

Un télescope géant en quête de rayons cosmiques

L'Observatoire Pierre Auger vient d'être inauguré dans la Pampa argentine

Selon un communiqué du CNRS

Le plus grand observatoire de rayons cosmiques du monde, l'Observatoire Pierre Auger vient d'être inauguré en Argentine, treize ans après sa naissance sur le papier, et on lui doit déjà des résultats prometteurs.

Implanté au pied des Andes, à 1500 mètres d'al-

titude, grand comme trente fois Paris, il est composé d'un réseau de télescopes à fluorescence et de détecteurs à eau. Sa mission consiste à tenter de résoudre ce qui reste l'une des grandes questions de l'astrophysique depuis un demi-siècle : d'où vient le rayonnement cosmique d'énergie extrême? Avec à la clé, peut-être, la remise en question des lois fondamentales de l'univers.

Bien qu'observés pour la première fois par le physicien Hess en 1910, les rayons cosmiques n'ont cessé de rester une énigme : formés de particules stables de tous types à basses énergies, et de composition inconnue aux hautes énergies, on n'en sait rien ou presque. Ils ont été mesurés à l'aide de compteurs Geiger, notamment par le français Pierre Auger dans

les années 1930, avant d'être étudiés à partir de 1960 aux énergies élevées. Mais on ignore leur provenance. Sont-ils le produit de phénomènes astrophysiques violents, comme l'explosion de supernovae? Viennent-ils du noyau des galaxies? S'agit-il d'un reliquat du big-bang?

Seule certitude, ils peuvent être extrêmement énergétiques : jusqu'à – et même au-delà de – 10^{20} eV (100 milliards de milliards d'électron-volts), soit plusieurs dizaines de joules. Une grandeur exceptionnelle, cent millions de fois supérieure à celles atteintes par les accélérateurs de particules les plus performants. Mais

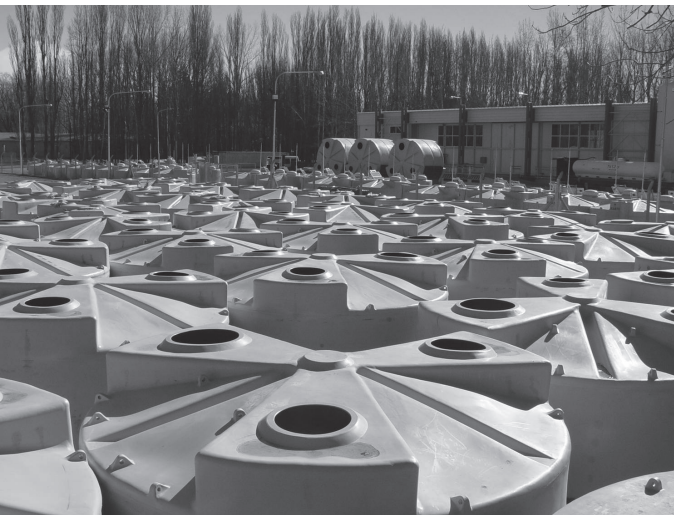
Une des stations de surface de l'observatoire Auger, avec l'impressionnante cordillère des Andes en arrière-plan.





Les techniciens s'affairant auprès d'une des stations de surface ont attiré l'attention d'observateurs inattendus.

Les détecteurs de surface attendent leur installation



aussi un mystère, car aucun mécanisme astrophysique connu ne semble capable d'accélérer des particules à de tels niveaux.

Les rayons cosmiques sont également très rares dans le domaine des plus hautes énergies : un par km² et par siècle. Au cours des dernières décennies, seule une vingtaine ont pu être observés par une demi-douzaine de détecteurs. Toujours est-il qu'ils n'atteignent la Terre qu'après un périple de plusieurs dizaines de millions d'années lumière. Leur meilleure connaissance pourrait donc permettre de comprendre des phénomènes violents et lointains, et même de remonter aux origines de l'Univers.

24 télescopes et 1600 détecteurs au sol

De cet enjeu et des difficultés d'observation est née l'idée de créer l'Observatoire Auger. Lorsqu'un rayon cosmique pénètre dans l'atmosphère terrestre, il déclenche une réaction en chaîne appelée « gerbe atmosphérique » donnant naissance à des milliards de particules « secondaires » qui ionisent l'atmosphère et produisent des photons de fluorescence. L'analyse de ces particules peut se faire lors de leur traversée de l'atmosphère à l'aide de télescopes à fluorescence, ou au sol lorsque qu'elles atteignent la surface de la Terre. On en déduit les propriétés du rayon cosmique primaire : sa nature, son énergie et sa direction.

Lancé en 1992 par une petite équipe qui s'est transformée au long des années en une vaste collaboration internationale (plus de 370 scientifiques et ingénieurs de 60 laboratoires de 16 pays), l'Observatoire Auger, outre sa



Alignement de détecteurs. Ceux-ci sont séparés de 1500 mètres en un vaste réseau triangulaire.

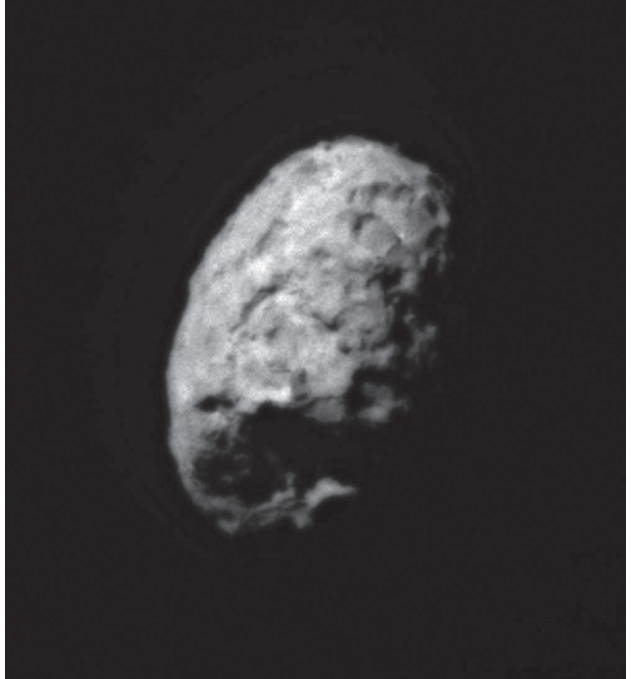
taille exceptionnelle, est le seul qui exploite simultanément les deux méthodes de détection. En cours d'achèvement mais déjà le plus grand du monde, il combine en effet des télescopes et des détecteurs à eau, rassemblant ainsi des techniques de mesure jusqu'ici utilisées séparément entre autres par des équipes japonaises et américaines. Le dispositif comprendra en tout 1600 détecteurs contenant chacun 12 tonnes d'eau (le réseau de surface), répartis sur une superficie de 3000 kilomètres carrés dans la province argentine de Mendoza, au pied des

Andes, soit l'équivalent de 30 fois la superficie de Paris intra-muros. Sa périphérie est plantée de télescopes à fluorescence (il y en aura 24 au total). Le tout est relié par un gigantesque réseau informatique local, sorte de Wi-Fi à grande échelle.

Ce dispositif hybride apporte des informations complémentaires et plus précises aux chercheurs. En outre, sa grande étendue permet d'observer plusieurs dizaines d'événements par an alors que l'ensemble des détecteurs précédents n'ont pu en accumuler que quelques dizaines en plus de 40 ans.

Les premiers résultats

D'ores et déjà les premiers résultats scientifiques tombent. D'une part, contrairement à ce que pouvaient affirmer les études de l'observatoire Agasa, les rayons cosmiques extrêmes ne viendraient pas de manière privilégiée du centre de notre Galaxie. Ils ne seraient probablement pas non plus des vestiges du big-bang ! La proportion relativement élevée de photons parmi les particules dans ce domaine d'énergie s'accorde avec certaines théories prédisant une origine exotique pour ce rayonnement cosmique. D'autre part, alors que les scientifiques se contredisent à propos du spectre énergétique, aucun des résultats obtenus à Mendoza n'interdit en l'état actuel des choses d'imaginer l'existence de rayons au-delà de la limite des 10^{20} eV.



La comète Wild 2 vue par Stardust

Si le rayonnement cosmique ne trouve pas sa source au sein d'objets tels qu'étoiles et galaxies, si des « événements » peuvent se produire très au-delà de cette limite des 10^{20} eV, ce n'est pas dans l'astrophysique qu'il faut en chercher l'origine, mais dans la cosmologie ou dans de nouvelles formes d'interactions fondamentales.

La « collaboration Auger » se propose d'édifier un observatoire similaire dans l'hémisphère nord, au Colorado (États-Unis), peut-être dès 2007. Ainsi, avec un observatoire dans chaque hémisphère, elle pourra disposer d'une couverture totale du ciel et donc d'une vision complète de l'univers.

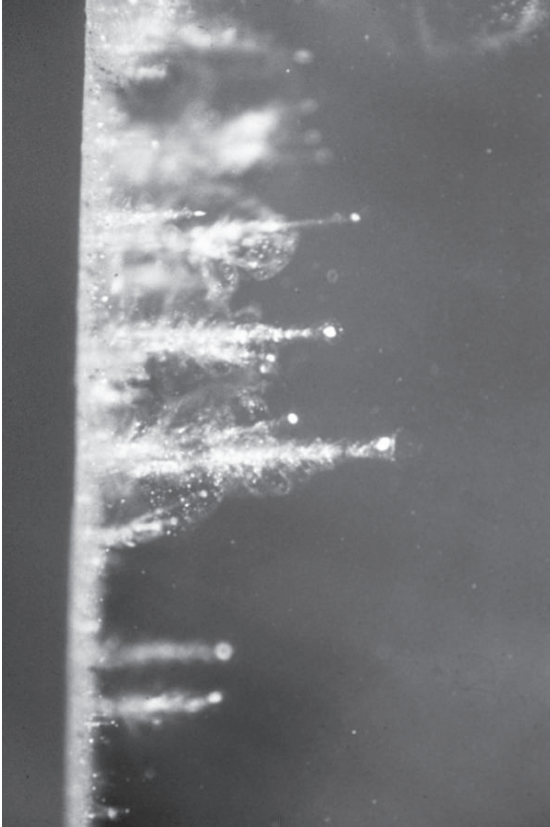
Les pays actuellement représentés dans cette collaboration sont : Argentine, Australie, Bolivie, Brésil, République tchèque, France, Allemagne, Italie, Mexique, Pays-Bas, Pologne, Slovénie, Espagne, Royaume-Uni, États-Unis, Vietnam

Stardust

La sonde Stardust s'est distinguée par son passage à proximité (240 kilomètres) de la comète Wild 2 le 2 janvier 2004. Elle entamait ensuite un voyage de retour de 1.140 millions de kilomètres qui l'amènera ce 17 janvier 2006 au-dessus du désert de l'Utah, à l'endroit même où l'on avait tenté en vain de récupérer en vol la capsule Genesis. Les techniciens espèrent éviter ce sort funeste à Stardust, même s'il semble possible de tirer profit des débris récoltés sur les lieux du crash.

La caméra de navigation du vaisseau spatial avait obtenu les meilleures photos d'une comète avant les exploits de Deep Impact. Mais le plus important était la récolte de particules de poussières lors de la traversée de la coma de Wild 2. Ces particules ont été recueillies dans de l'aérogel, un substrat extrêmement léger assurant une décélération progressive. L'analyse de ces poussières devrait conduire à

(suite p. 28)



Traces laissées par des particules projetées dans un bloc d'aérogel. Les particules se retrouvent plus ou moins intactes au fond de chaque tunnel.

(suite de la p. 21)

une meilleure connaissance de ces voyageuses interplanétaires que l'on présente souvent comme reliques de la formation de notre système solaire. En tête de liste des résultats attendus figurent la composition des composés carbonés et les rapports isotopiques des divers éléments.

Un premier résultat avait été obtenu dès le passage dans la coma. Au lieu d'un nuage de plus en plus dense au fur et à mesure que l'on s'approchait du noyau, la sonde avait traversé des rideaux de poussières, montrant ainsi la nature discrète des sources d'éjectas.

Titan, 10 mois après l'atterrissage réussi de la sonde Huygens

*Basé sur un communiqué
de l'Observatoire de Paris*

Le 30 novembre 2005, la revue *Nature* a mis en ligne un numéro spécial consacré aux résultats de la sonde européenne Huygens qui s'est posée sur Titan le 14 janvier 2005. Huygens fait partie de la mission Cassini/Huygens, coopération entre l'ESA et la NASA. Les premières analyses des données recueillies apportent quantité d'informations uniques sur la surface et l'atmosphère de Titan, nous révélant un monde complexe et fascinant.

DISR

Le « Descent Imager / Spectral Radiometer » (DISR) est l'instrument de spectro-imagerie de Huygens. Tout au long de la descente et après l'atterrissage, le DISR a enregistré des spectres et des images de l'atmosphère et de la surface. Les mesures spectrales montrent que la distribution des aérosols atmosphériques est continue jusqu'à la surface, avec des concentrations de quelques dizaines de particules par cm^3 . Produites par la photochimie du méthane, ce sont des grappes irrégulières de quelques centaines de monomères de 0,05 micron de rayon. L'analyse des images de la surface, visible à partir d'une altitude de 55 km environ, a permis de reconstituer la trajectoire de la sonde et donc de caractériser les vents. Ceux-ci soufflent vers l'est au-dessus de 10 km, ce qui confirme la « super-rotation » de l'atmosphère prédite par les modèles de circulation générale. Vers 7 km, la direction s'inverse, la sonde pénétrant probablement dans la couche limite atmosphérique, plus turbulente. Le DISR n'a pas vu d'étendues liquides, mais les traces d'écoulement sont très nombreuses. Ainsi, on voit sur la Figure 1 un vaste plateau clair creusé de chenaux qui se déversent dans une étendue sombre située en contrebas. Les chenaux sont profonds (50 à 100 m), très ramifiés, et ont vraisemblablement été creusés par

des pluies de méthane liquide. Un réseau constitué de canaux plus courts et rectilignes pourrait avoir été alimenté par des sources souterraines. Le site d'atterrissage évoque un lac asséché, jonché de galets de 10 à 15 cm, sans doute faits de glace d'eau et qui reposent sur un substrat granulaire ressemblant à du gravier. À 700 m d'altitude, le DISR a allumé une lampe pour s'affranchir de la forte absorption de la lumière solaire par le méthane atmosphérique. Ceci a permis de mesurer l'abondance de ce gaz dans la basse atmosphère (5%) et d'analyser spectralement la surface (Figure 2). Celle-ci est sombre, réfléchissant au maximum 15 ou 20% de la lumière vers 830 nm de longueur d'onde. Le spectre visible ressemble à celui des tholins qui sont des composés solides organiques que l'on sait synthétiser en laboratoire. Au-delà, dans l'infrarouge, la réflectivité décroît avec la longueur d'onde, ce qui ne correspond à aucun matériau

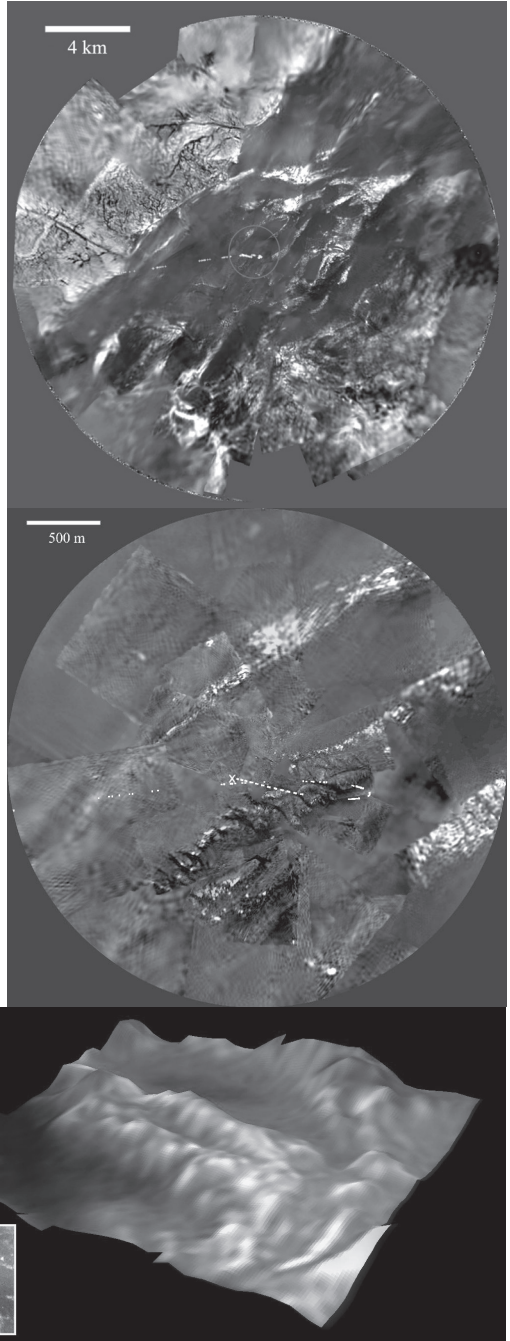


Figure 1. Panoramas de la surface composés d'images enregistrées par Huygens/DIRS entre 17 et 8 km d'altitude pour le premier, entre 7 et 0.5 pour le deuxième. Des chenaux étroits entaillent un plateau plus clair et se déversent dans une plaine sombre en contrebas, peut-être constituée de lacs asséchés. La topographie ressemble à celle d'un désert terrestre avec des traces d'écoulements passés. Le site d'atterrissage est quasiment au centre de cette image.

La troisième image est une vue en perspective d'une région située près du site d'atterrissage de Huygens. On y voit des plaines recouvertes de matière sombre et, en bas à droite des signes d'écoulement et d'érosion.
(© ESA/NASA/JPL/University of Arizona)

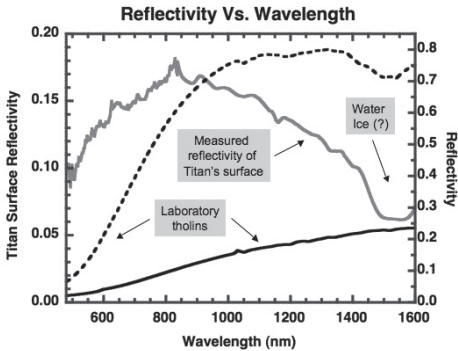


Figure 2. Réflectivité de la surface mesurée sur le site d'atterrissage avec la lampe de DISR allumée (courbe qui démarre à 0.10). La partie visible du spectre ressemble à celle de tholins produits en laboratoire et analogues des particules photochimiques de Titan (courbes qui démarrent près de 0.00). La glace d'eau est vraisemblablement responsable de l'absorption à 1500-1600 nm. La décroissance de la réflectivité avec la longueur d'onde au-delà de 830 nm est due à un matériau non identifié.

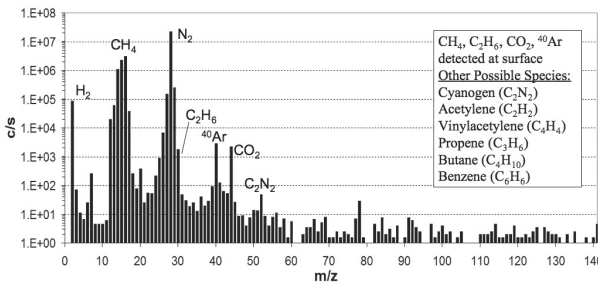


Figure 3. Spectrogramme enregistré par les GCMS à la surface de Titan. Le signal est porté en fonction du rapport masse m sur charge z du constituant considéré. Le GCMS ionise le constituant, une fois, deux fois, etc. ; (ou éventuellement le fractionne). Par exemple, N₂, ionisé une fois, est à 28. Ionisé 2 fois, il est à 14.

organique mesuré en laboratoire. Une absorption présente vers 1540 nm peut être attribuée à la glace d'eau. La surface serait donc constituée de glace d'eau « sale », recouverte d'un dépôt de particules photochimiques et mélangée à un matériau sombre non identifié.

GCMS

Le Spectromètre de Masse et Chromatographe en Phase Gazeuse (GCMS) est un instrument principalement construit aux Etats-Unis, avec la participation de la France, de l'Allemagne et de l'Autriche. Le Principal Investigateur du Goddard Space Flight Center avait déjà construit le spectromètre installé à bord de la sonde Galileo qui a longuement étudié Jupiter et son système. Un exemple de spectre de masse mesuré par le GCMS (dans ce cas, à la surface de Titan) est montré sur la Figure 3.

Un premier résultat spectaculaire est la détermination du rapport isotopique ¹⁴N/¹⁵N dans l'azote moléculaire N₂ qui est le constituant principal de l'atmosphère de Titan. La valeur trouvée, 0.67 fois le rapport terrestre,

est interprétée comme résultant de l'échappement préférentiel de ¹⁴N, plus léger, par rapport à ¹⁵N. Sur cette base, les modèles suggèrent qu'une quantité équivalente à 2 à 5 fois la masse initiale d'azote a disparu de l'atmosphère de Titan depuis sa formation, il y a 4,5 milliards d'années. Le GCMS a aussi mesuré le rapport isotopique ¹²C/¹³C et l'a trouvé égal à 82.3+/-1, soit un peu moins que la valeur terrestre de 90. Cette différence n'a pas encore été interprétée. En tout cas, elle n'est certainement pas due à une activité biologique (comme trouvée sur la Terre dans les organiques liés au vivant) car alors ¹²C/¹³C aurait été plus élevé que 90. Finalement, le GCMS a mesuré les isotopes ⁴⁰Ar et ³⁶Ar de l'argon. La détection de ⁴⁰Ar, qui provient de la désintégration radioactive du potassium (⁴⁰K) contenu dans les silicates, implique une communication, au moins épisodique, entre l'intérieur de Titan et l'atmosphère. ³⁶Ar, quoique en très petite quantité, fut probablement piégé dans les glaces contenues dans les planétésimaux qui formèrent Titan. Cet isotope est primordial, c'est-à-dire qu'il fut formé dans le Soleil. Une mesure intéres-

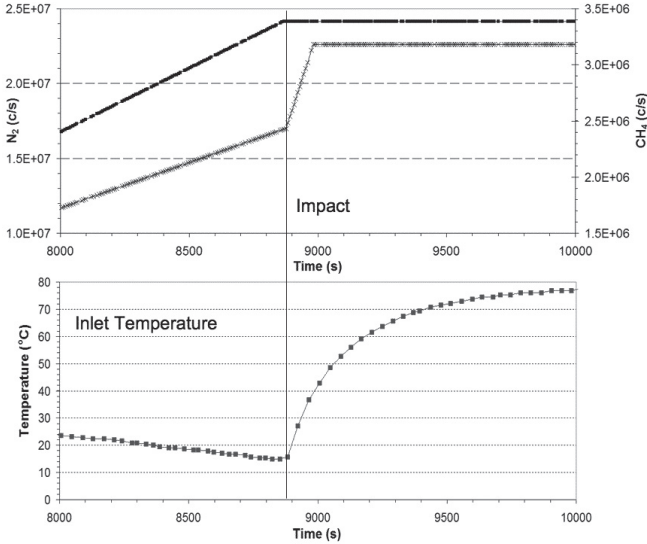


Figure 4. En haut: Emission à la surface de N_2 (courbe supérieure) et de CH_4 (courbe inférieure), en fonction du temps, en secondes. Le moment de l'impact est indiqué par la ligne verticale. En bas: Température de l'entrée (inlet) du GCMS en fonction du temps

sante est celle de la variation avec l'altitude, en dessous de 140 km d'altitude, du rapport de mélange du méthane par rapport à l'azote. Constant dans la stratosphère de Titan, ce rapport de mélange croît dans la troposphère en dessous de 32 km d'altitude jusqu'à 8 km, et ensuite reste constant jusqu'à la surface. Ce

comportement suggère que le méthane est saturé à 8 km, altitude où il pourrait se condenser en brume. Un phénomène remarquable a été observé à la surface. Deux minutes après l'impact, le rapport de mélange du méthane s'est accru brusquement de 40% (Figure 4). Ceci est corrélé avec l'augmentation de la température de l'entrée du GCMS (« inlet ») pouvant entraîner un dégazage. D'autres espèces ont dégazé (Figure 4) : l'éthane, le dioxyde de carbone, et très probablement d'autres hydrocarbures, y compris le ben-

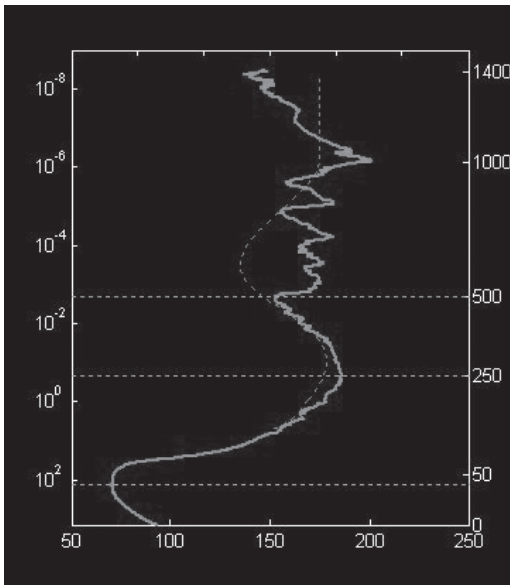


Figure 5: On a obtenu les profils de température, de pression et de densité à partir de l'altitude de 1500 kilomètres jusqu'à la surface du satellite. Dans la haute atmosphère, la densité et la température sont plus élevées que prévu. Plusieurs couches d'inversion de la température témoignent d'une stratification forte et une remarquable variabilité temporelle de l'atmosphère. Dans la basse stratosphère et dans la troposphère les mesures confirment le comportement décrit par les modèles existants basés sur les mesures faites il y a plus de vingt ans par Voyager 1.

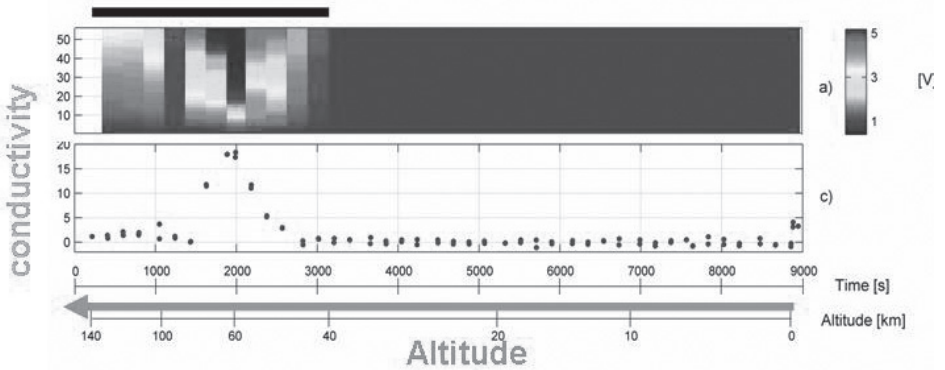
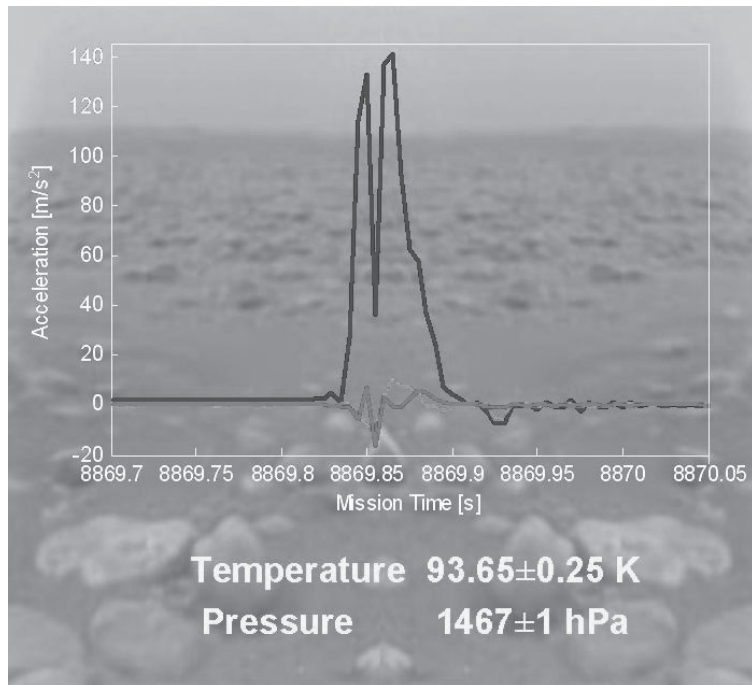


Figure 6. Pendant la descente (à partir d'une altitude de 150 kilomètres) ont été détectées des charges électriques positives et négatives : ces mesures ont été employées pour dériver le profil de conductivité électrique et pour sonder pour la première fois la couche ionosphérique inférieure induite par les rayons cosmiques. Un pic de conductivité a été trouvé à environ 60 kilomètres, même si les valeurs sont très inférieures à celles de la conductivité de l'atmosphère Terrestre.

Figure 7. Les accéléromètres de bord ont enregistré l'impact de la sonde Huygens à la surface de Titan, donnant quelques indications sur la nature du sol : la sonde a atterri sur une surface solide, qui a des propriétés semblables à celles du sable humide. Les senseurs de température et de pression ont continué à mesurer les conditions météorologiques pendant presque une demi-heure après l'impact, indiquant une température constante de -180°C et une pression stable de 1,47 atmosphères.



zène. Ce pourrait être l'indice de la présence à la surface de composés organiques beaucoup plus complexes, responsables de la couleur du matériau sombre observé par le DISR.

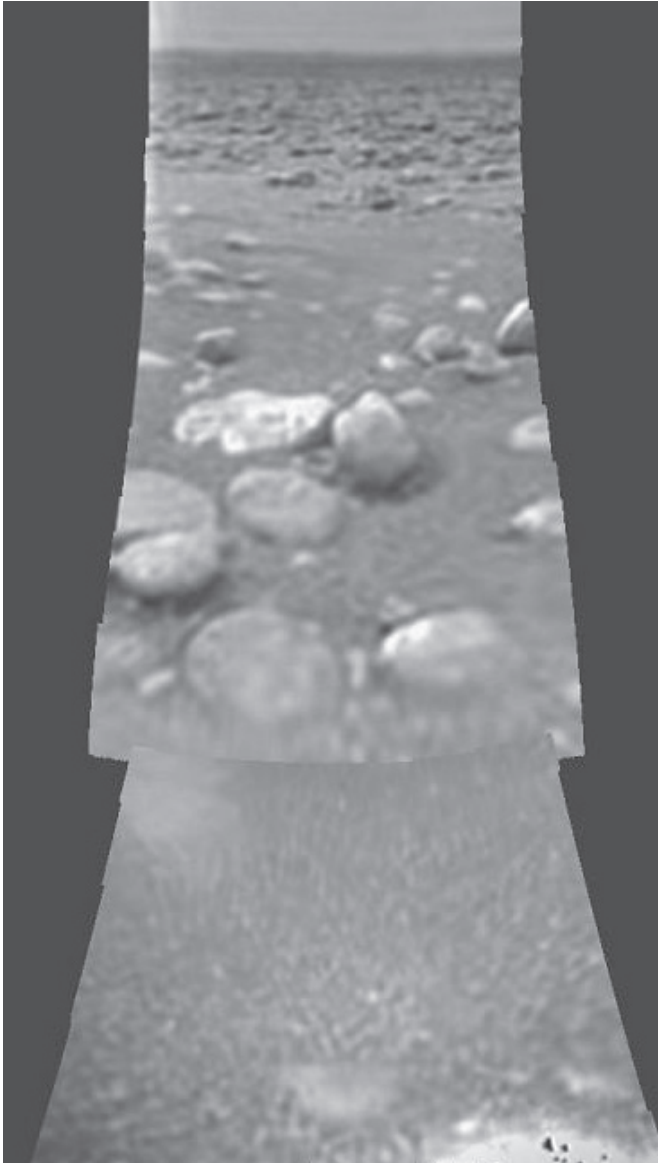
Les informations dont nous disposons à l'heure actuelle sur Titan (caméra ISS,

Spectromètre infrarouge VIMS, Radar à bord de Cassini) suggèrent que le méthane, qui est détruit par le rayonnement solaire en quelques dizaines de millions d'années, est renouvelé, continuellement ou épisodiquement, à partir de l'intérieur de Titan. Le méthane y est piégé à haute pression dans une structure cristalline nommée chlorure d'hydrate, intensivement étudiée en laboratoire de géophysique, notamment par les pétroliers. Il est plausible que ce méthane avait été incorporé dans la nébuleuse solaire primitive au sein des glaces qui formèrent Titan.

HASI

Le Huygens Atmospheric Structure Instrument (HASI) est constitué d'un ensemble de senseurs (accéléromètres, thermomètres, baromètres et électrodes passives et actives). Le but de l'expérience de HASI était de mesurer les quantités physiques caractérisant l'atmosphère de Titan pendant les différentes phases de la mission de la sonde Huygens : entrée et descente

Les images de deux instruments de Huygens ont été combinées pour créer cette vue. La position de l'horizon indique que le radiomètre-imageur n'était incliné que de 1 ou 2 degrés. Les « pierres » à l'avant-plan font de 10 à 15 cm, et sont probablement constituées de glace d'eau. Elle reposent sur un sol plus sombre, de structure finement granuleuse. Entre ces cailloux et le pierrier plus lointain, s'étend une zone dénudée dont l'orientation correspond bien aux « canaux » visibles sur le panorama général. L'aspect général de la scène évoque un lac asséché.
(© ESA/NASA/JPL/ University of Arizona)



atmosphérique, impact et séjour à la surface du satellite.

Les données recueillies in situ par HASI sont essentielles pour la calibration des mesures effectuées par les autres instruments de la sonde Huygens et constituent un étalon pour les observations en télédétection de Titan effectuées par les instruments de Cassini, de ce fait contribuant de manière significative à la connaissance globale de ce monde.

Perspectives

Huygens nous a révélé un astre façonné par des processus géophysiques similaires à ceux qui se déroulent sur Terre, mais avec des acteurs chimiques complètement différents. Ces observations nous apportent quelques clés pour comprendre l'origine et l'évolution de Titan, mais plusieurs questions importantes restent sans réponses. La sonde Cassini, actuellement en orbite autour de Saturne, poursuit l'exploration de Titan et va compléter à plus grande échelle les données recueillies par la sonde Huygens.

Geysers sur Encelade

Les images d'Encelade prises récemment par Cassini montrent la lune à contre-jour mettant ainsi en évidence plusieurs fontaines de vapeur éjectées par la région polaire sud.

Il pourrait s'agir de véritables geysers, d'intensités diverses, provenant de poches de glace souterraines échauffées par la pression. Ou, plus simplement, la glace d'eau serait vaporisée directement en surface par la chaleur solaire.

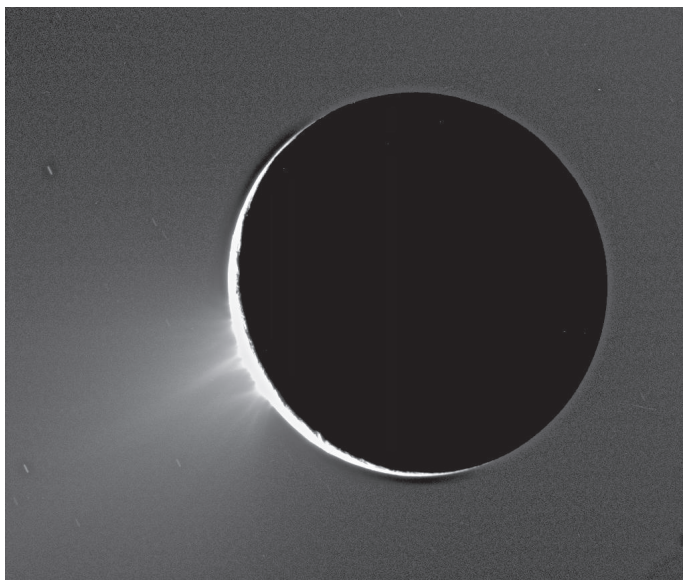
Spirale autour de Saturne

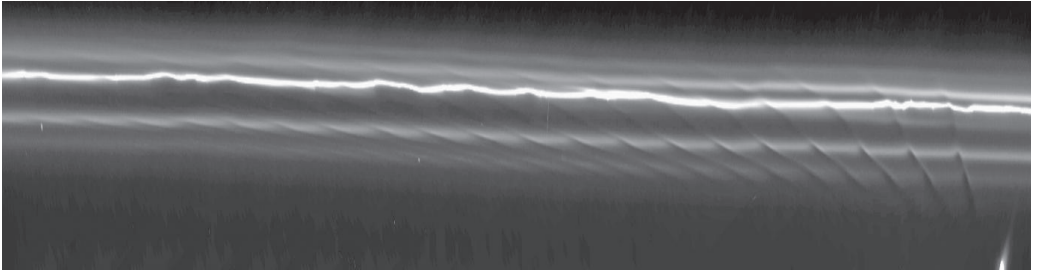
Basé sur communiqué CNRS

La sonde Cassini a permis à une équipe d'astrophysiciens français de découvrir que l'un des anneaux de Saturne a la forme d'une spirale. Cet arrangement singulier est peut-être le résultat d'une collision avec une petite lune récemment formée. Une aubaine pour les astrophysiciens qui soupçonnent que cet anneau est le seul endroit de notre système solaire où se forment encore des corps célestes. Les observations de Cassini apporteront sans doute un éclairage nouveau sur les processus de formation des planètes et satellites du système solaire.

Les anneaux de Saturne, découverts en 1610 par Galilée, sont composés de poussières et de particules de glace en rotation autour de la planète. Bien qu'ils semblent continus vus depuis la Terre, ces anneaux sont donc composés de minuscules satellites innombrables, possédant chacun une orbite indépendante. Leur dimension va du centimètre à plusieurs mètres avec quelques objets de la taille du kilomètre.

On distingue plusieurs anneaux concentriques nommés, dans l'ordre de leur découverte, de A à G. L'anneau F est le plus externe





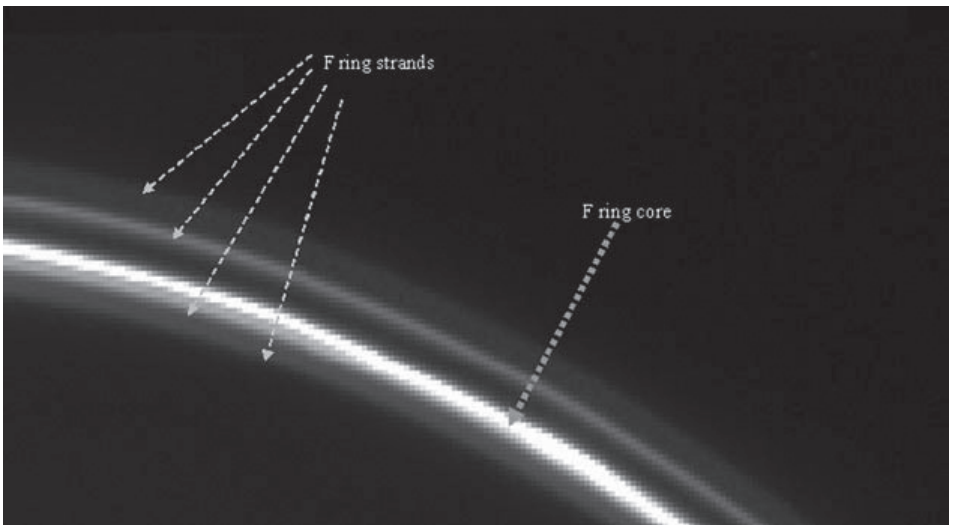
des anneaux principaux de Saturne. Il est situé à 140.000 km de la planète et est composé d'un anneau central brillant, appelé le « cœur » et de petits anneaux concentriques, appelés « filaments ». A l'aide d'images de Cassini, les astrophysiciens ont découvert que les filaments sont en réalité une structure unique, en forme de spirale, s'enroulant au moins 3 fois sur elle-même. Si plusieurs autres planètes du système solaire possèdent des anneaux (Uranus, Neptune et Jupiter), cet anneau en spirale de Saturne est une nouvelle catégorie d'anneaux, sans équivalent connu.

Comment la spirale s'est-elle formée? Par quel mécanisme? Les astrophysiciens pensent qu'une collision entre le cœur de l'anneau F et une petite lune en formation pourrait en être la cause. Cette petite lune, en traversant le

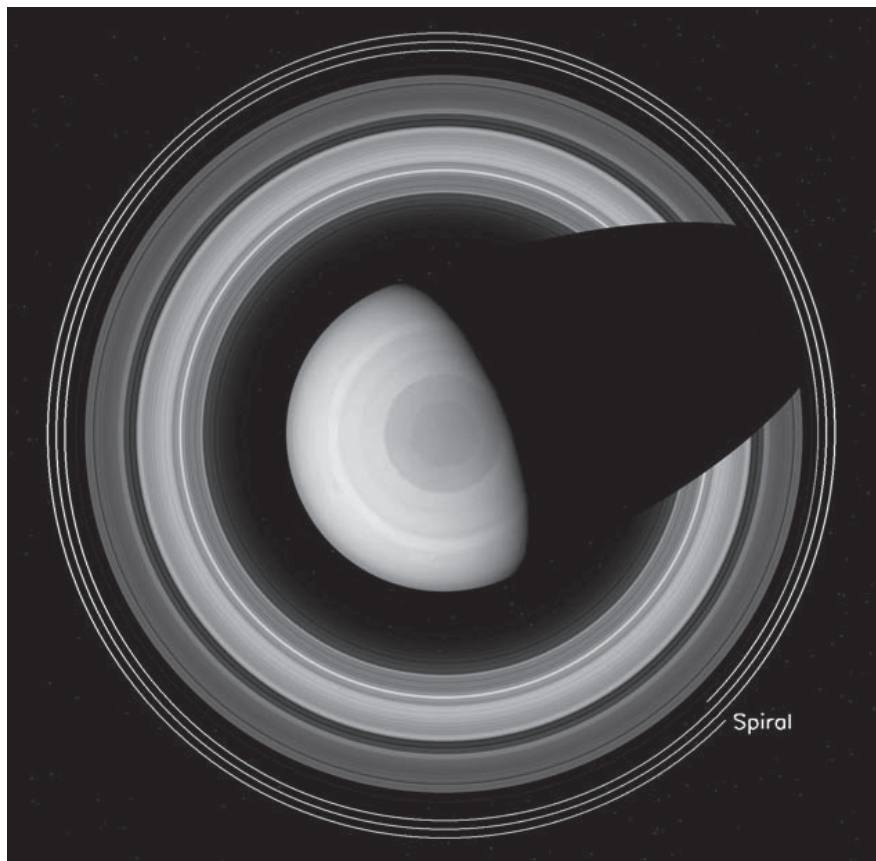
L'anneau F vu par Cassini
(© NASA/JPL/Space Science Institute)

cœur de l'anneau, disperserait dans l'espace les particules qui le composent. Ces particules se rassembleraient en un cercle autour de Saturne et, par suite des lois de la dynamique orbitale, s'enrouleraient progressivement en spirale. Ce scénario a été confirmé à l'aide de simulations sur ordinateur. Plusieurs lunes, observées par Cassini au voisinage de l'anneau F pourraient être à l'origine de cette collision sans que l'on ait encore pu déterminer laquelle. En raison de la proximité de la planète et de l'influence des forces de gravité, la taille des lunes en formation ne dépasse pas 1 ou 2 km de diamètre. Elles

Les filaments constituant l'anneau F ne sont en réalité que les spires successives d'une même spirale étroitement enroulée.



Vue d'artiste montrant la spirale de l'anneau F
(© Animea)



sont d'ailleurs assez rapidement détruites sous l'influence de cette même gravité. L'anneau est ainsi un lieu de perpétuelle formation et de destruction de petites lunes. Ces observations confirment les calculs de modèles théoriques qui prédisent depuis longtemps la formation de petites lunes dans cet anneau si particulier.

Les astrophysiciens pensent que ces petites lunes sont jeunes, quelques années au plus, et se sont formées par accréation de la matière de l'anneau. A titre de comparaison, les 9 planètes du système solaire et leurs 160 satellites se sont formés il y a 4,5 milliards d'années. Ainsi l'anneau F de Saturne constitue probablement une véritable « nursery » contemporaine de corps célestes et pourrait donner l'occasion aux astrophysiciens de mieux comprendre les méca-

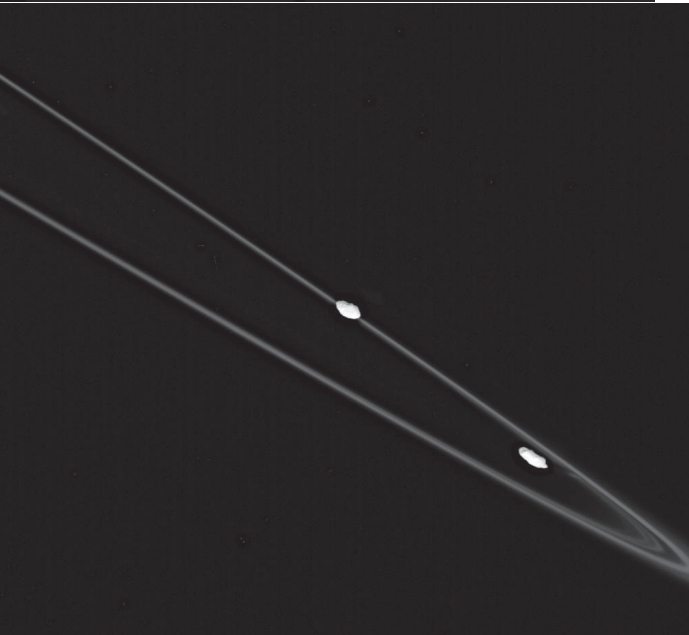
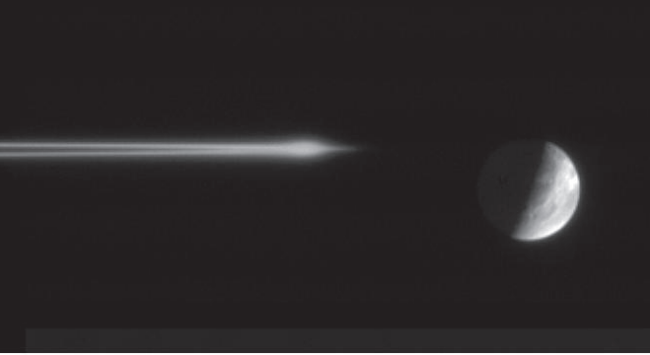
nismes de formation de notre système solaire.

En 2009 le satellite Prométhée rentrera en collision avec l'anneau F. Il est très probable alors que de nouvelles spirales se formeront, que les astrophysiciens verront évoluer en direct grâce à la sonde Cassini.

Autre anomalie de l'anneau F

Vu de profil, l'anneau F peut présenter un curieux renflement dont l'origine intrigue les astronomes (voir images page suivante).

Un petit satellite d'une taille de l'ordre du kilomètre pourrait agiter les particules de l'anneau et produire le renflement observé. Cela pourrait aussi être le fait d'une collision avec une mini-lune recouverte de poussières. Des images prises par Voyager avaient déjà montré



© NASA/JPL/Space Science
Institute

des choses de ce genre.

La première des trois images ci-contre a été acquise lorsque le vaisseau était à un dixième de degré seulement sous le plan de l'anneau.

La deuxième image fut prise pratiquement dans le plan des anneaux, à moins d'un centième de degré. La pointe de l'anneau est séparée par une fine ligne noire, qui n'est pas sans rappeler la bande de matière sombre qui barre les galaxies spirales vues par la tranche. S'agit-il du même phénomène ou d'un gauchissement local ?

Toujours l'anneau F.

La troisième image est un autre cliché spectaculaire obtenu par Cassini. On y voit les deux satellites bergers de l'anneau F, Prométhée (à gauche) et Pandore, conduisant leur troupeau de particules de glace. Pandore est à l'extérieur de l'anneau, et plus proche du vaisseau spatial. Les deux petits satellites gardiens sont de forme inhabituelle et l'on peut y distinguer quelques cratères.

L'influence de Prométhée sur l'anneau F se manifeste surtout quand il aspire de la matière hors de l'anneau, lorsqu'il est au plus loin de Saturne dans son orbite.

Prométhée mesure 102 km dans sa plus grande dimension et Pandora 84 km.

L'image a été prise le 29 octobre 2005 à 459.000 km de Pandore et 83.500 km de Prométhée.

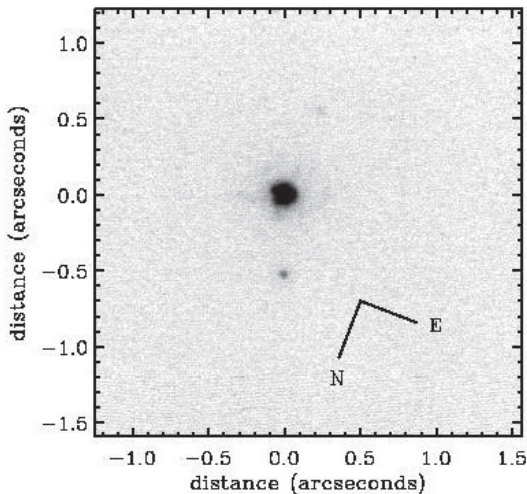
Une lune de plus pour 2003 EL61

La ceinture de Kuiper est une région du système solaire qui s'étend au-delà de Neptune et inclut Pluton. On y a découvert de nombreuses petites planètes, dont certaines rivalisent avec Pluton.

Une deuxième lune a été découverte pour l'un de ces gros KBO (objet de la Ceinture de Kuiper). Ceux-ci semblent posséder plus souvent des lunes que les KBO moyens – ce qui n'a rien d'extraordinaire a priori étant donné leur gravité plus forte.

lite jusqu'à ce que Pluton s'avère en posséder trois. Avec la découverte du système de 2003 EL61, il est probable que d'autres objets de la Ceinture de Kuiper, au moins les grands, pourraient aussi avoir plusieurs satellites.

2003 EL61 se caractérise par une forme très aplatie, signe d'une rotation très rapide. La présence de satellites et cette rotation rapide sont peut-être les conséquences d'une collision ancienne entre KBOs, un phénomène qui n'est pas sans rappeler l'origine du couple Terre-Lune.



*Le premier satellite de 2003 EL61 est visible sous l'image de la petite planète. Le second est la petite tache floue en haut (au sud).
(©M. Brown, Caltech)*

La première lune de 2003 EL61 avait été découverte grâce aux observations faites en janvier 2005 avec un système d'optique adaptative laser LGSAO (Laser Guide Star Adaptive Optics) à l'Observatoire Keck. Un suivi de six mois a permis de déduire les caractéristiques de l'orbite, en particulier une période de 49 jours et un demi grand axe de 50.000 kilomètres. Le nouveau satellite, plus petit, a été découvert à partir des mêmes observations. Il tourne autour de 2003 EL61 en 34 jours, mais des données supplémentaires sont nécessaires pour confirmer cela.

Environ dix pour cent des objets de la Ceinture de Kuiper ont un satellite mais on ne connaissait aucun KBO ayant plus d'un satel-

Un KBO à l'orbite exceptionnelle

Basé sur un communiqué de l'Observatoire de Besançon/CNRS

Une équipe d'astronomes travaillant au Canada, en France et aux Etats-Unis a découvert un petit corps inhabituel orbitant autour du Soleil au-delà de Neptune, dans la ceinture de Kuiper. Ce nouvel objet est deux fois plus loin du Soleil que Neptune et approximativement deux fois plus petit que Pluton. Son orbite particulièrement inhabituelle tient en échec les théories de l'évolution du système solaire.

Actuellement situé à 58 unités astronomiques, ce nouvel objet ne s'approche jamais du Soleil à moins de 50 UA car son orbite est quasi circulaire. Presque tous les objets de la ceinture de Kuiper (KBO) découverts au-delà de

Neptune sont entre 30 UA et 50 UA. Au-delà de 50 UA, la ceinture de Kuiper principale semble s'arrêter, et les rares objets qui y ont été découverts sont tous sur des orbites très excentriques (non circulaires). Ces orbites excentriques sont dues, dans leur grande majorité, à l'action de Neptune qui rejette l'objet vers l'extérieur du système solaire par un effet de fronde. Comme le nouvel objet n'approche jamais à moins de 50 UA du Soleil, d'autres théories sont nécessaires pour expliquer son orbite. Pour compliquer encore le problème, l'orbite de cet objet présente une très grande inclinaison, 47 degrés, par rapport au plan moyen du reste du système solaire.

Découverte et suivi

L'objet, dénommé officiellement 2004XR190 par l'Union Astronomique Internationale fut découvert lors des opérations de routine du « Canada-France Ecliptic Plane Survey » (CFEPS) sur le télescope Canada-France-Hawaï. Pour l'instant, les découvreurs utilisent le surnom de « Buffy » pour identifier le nouvel objet, bien qu'ils proposent un nom officiel différent, en accord avec les conventions officielles du Comité de Nomenclature de l'UAI.

Buffy fut extrait de la montagne de données du CFEPS (environ 50 gigaoctets par heure de fonctionnement) par des ordinateurs fouillant les images du télescope et produisant des centaines de candidats. Les astronomes passent en revue ces candidats dans l'espoir d'identifier des comètes distantes. C'est ainsi que Lynne Allen de l'Université de Colombie Britannique fut la première à poser les yeux sur Buffy lors de la réduction des données CFEPS de décembre 2004. « Il était plutôt brillant comparé aux objets de la ceinture de Kuiper que nous trouvons habituellement, dit le Dr. Allen, mais le plus intéressant c'est qu'il était très éloigné. » La luminosité de l'objet implique que son diamètre est probablement entre 500 et 1000 km, un gros objet de la ceinture de Kuiper, mais pas le plus gros.

« Nous avons immédiatement réalisé que l'objet était deux fois plus loin du Soleil que Neptune et que son orbite était probablement quasi-circulaire, dit le Professeur Brett Gladman de UBC, qui a noté le caractère in-

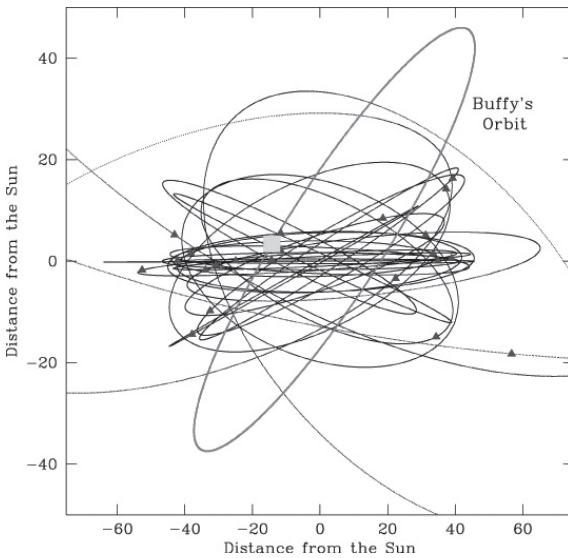
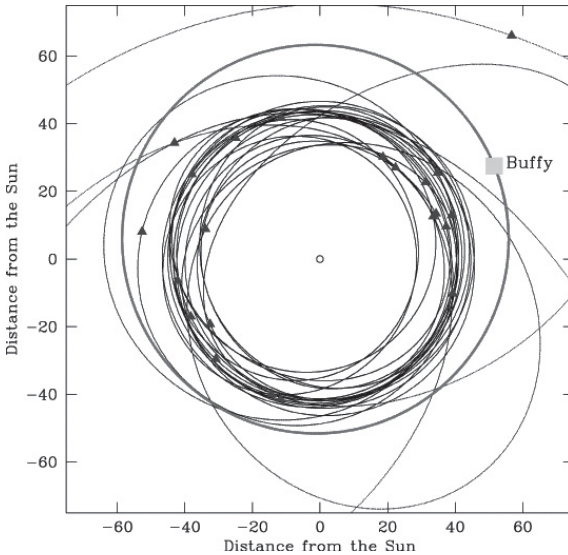
habituel de l'objet alors qu'il déterminait son orbite, mais des observations supplémentaires étaient nécessaires. » De nombreuses observations des objets de la ceinture de Kuiper sur une période d'au moins un an, et souvent trois ans, sont nécessaires avant que leurs orbites puissent être précisément déterminées. La première de ces observations de suivi eut lieu en octobre 2005 alors que B. Gladman et Phil Nicholson de l'Université de Cornell utilisaient le télescope Hale de 5 mètres (Mont Palomar) pour ré-observer l'objet. Les nouvelles mesures de position de Buffy montrèrent que l'orbite était non seulement très inclinée par rapport aux plans des orbites des planètes du système solaire (fixant le record pour un objet de la ceinture de Kuiper), mais aussi très différente de toutes les orbites connues car presque circulaire tout en étant très lointaine.

De nouvelles mesures de position réalisées au télescope de l'Observatoire National de Kitt Peak en Arizona durant le mois de novembre 2005 affinèrent les estimations de la distance péricentrique (point le plus proche du Soleil) de Buffy. En février 2006, les détails de l'orbite seront mieux connus. L'équipe a rapporté ses découvertes au Minor Planet Center, lieu d'enregistrement des mesures astronomiques pour les nouvelles petites planètes. « Découvrir le premier objet connu avec une orbite quasi-circulaire au-delà de 50 UA est vraiment très fascinant », commente Brian Marsden, directeur du MPC.

Des théories changeantes

Bien que ce ne soit ni le plus petit, ni le plus gros, ni le plus distant des objets découverts dans cette partie de l'espace, cet objet a une orbite très inhabituelle qui tient en échec les théories de l'évolution du Système Solaire.

Pourquoi l'orbite de Buffy est-elle si inhabituelle? Un seul objet détecté à ce jour, Sedna, reste au-delà de 50 UA du Soleil tout au long de son orbite. Cependant, Sedna est sur une orbite très excentrique, s'approchant à 76 UA avant de s'éloigner au-delà de 900 UA. Bien que des mesures précises de l'orbite de Buffy sont encore nécessaires, il semble que le nouveau corps se déplace seulement entre 50 et 67 UA du Soleil au plus.



Ces figures montrent l'orbite du nouvel objet comparée aux orbites de quelques objets représentatifs de la ceinture de Kuiper. L'orbite du nouveau corps est marquée par le carré indiquant sa position actuelle. Le premier graphe est une vue du système solaire du dessus, et montre l'orbite circulaire distante. Le deuxième graphe est une vue de côté montrant la forte inclinaison de l'orbite.

Tous les autres objets de la ceinture de Kuiper qui passent la majeure partie de leur vie au-delà de 50 UA sont sur des orbites très excentriques, et pour la plupart approchent le Soleil à moins de 38 UA. Cette faible distance les met à la portée de l'influence gravitationnelle de Neptune, et on considère généralement qu'ils ont été dispersés sur leurs orbites présentes par un effet de fronde gravitationnelle avec Neptune. Ce groupe d'objets a ainsi été nommé le « Disque Dispersé ». Deux autres objets qui se déplacent au-delà de 50 UA sur des orbites très excentriques ont été découverts dans les dernières années, 2000 CR105 qui s'approche à 44 UA, et Sedna qui ne vient jamais plus près du Soleil que 76 UA. Du fait de leur grande excentricité, ces objets ont probablement été fortement perturbés par quelque chose au cours de leur histoire. Ce « quelque chose » n'est vraisemblablement pas Neptune car ils ne s'en approchent pas suffisamment pour être dispersés par son action gravitationnelle. Comme Sedna et 2000 CR105 s'éloignent à plus de 500 UA du Soleil, une autre théorie soutient qu'après avoir été dispersés par Neptune, une étoile passant près de là aurait pu éloigner leur péricentre du Soleil. Comme ces objets requièrent une intervention extérieure au Système Solaire tel que nous le connaissons à l'heure actuelle, ce groupe est appelé le « Disque Dispersé Étendu ».

Buffy semble être un membre du « Disque Dispersé Étendu », mais sur une orbite presque circulaire, différente de celles de tous les autres membres. De plus, sa forte inclinaison ne peut pas être expliquée simplement par le passage d'une étoile. Si une étoile a

pu affecter Buffy aussi fortement, elle aurait dû perturber la majeure partie de la ceinture de Kuiper en même temps. Comme les astronomes ne détectent pas de signe de cette forte perturbation, une autre théorie doit expliquer l'orbite de Buffy.

Une explication pourrait être trouvée dans un effet secondaire du lent ré-arrangement du Système Solaire très tôt dans son histoire. Alors que l'orbite de Neptune grandissait lentement dans le jeune Système Solaire, des interactions gravitationnelles complexes auraient pu circulariser et incliner l'orbite de quelques objets de la ceinture de Kuiper. Bien que l'orbite de Buffy puisse être due à un tel effet, cette théorie ne semble pas en mesure d'expliquer 2000 CR105 et Sedna.

Les théories de la formation du Système Solaire externe sont ainsi poussées à leurs limites par l'existence de Buffy et des autres objets distants et fortement inclinés découverts ces 5 dernières années dans la ceinture de Kuiper. Bien que des théories existent pour expliquer chaque objet individuel, il est difficile d'expliquer l'ensemble des objets connus par un seul effet. Les objets inhabituels tels que Buffy sont très rares, et les astronomes en sont encore à gratter la surface des zones d'ombre de la ceinture de Kuiper. De nouveaux grands relevés qui explorent systématiquement la ceinture de Kuiper sont les seuls moyens de découvrir ce qui s'est réellement passé au début de l'histoire de notre Système Solaire.

Détection d'une exoplanète de la masse de Neptune

Basé sur un communiqué de l'Observatoire de Grenoble

Une équipe franco-suisse a détecté une nouvelle planète extrasolaire en utilisant le spectrographe de nouvelle génération, HARPS2 (High Accuracy Radial velocity for Planetary Searcher), installé au foyer du télescope de 3,6 m de diamètre de l'ESO à La Silla (Chili).

D'une masse équivalente à celle de Neptune, la planète gravite en 5,4 jours autour de la naine rouge G1581 sur une orbite circulaire ayant un rayon d'un peu plus de 6 millions de kilomètres, soit dix fois plus serrée que celle de Mercure. Sa température de surface serait d'environ 1500C.

Il s'agit d'une des 6 exoplanètes les moins massives recensées, et surtout de l'une des rares connues orbitant autour d'une naine rouge.

G1581 est une étoile de très faible masse appelée naine rouge. Située à 20,5 années-lumière de nous, elle est parmi les 100 étoiles les plus proches de notre système solaire et a une masse de moins du tiers de celle du Soleil.

Les naines rouges sont les étoiles les plus nombreuses de notre Galaxie : sur les 100 étoiles les plus proches du Soleil, 80 sont des naines rouges. Découvrir des planètes orbitant autour de ces étoiles de très faible masse est fondamental pour connaître les systèmes planétaires

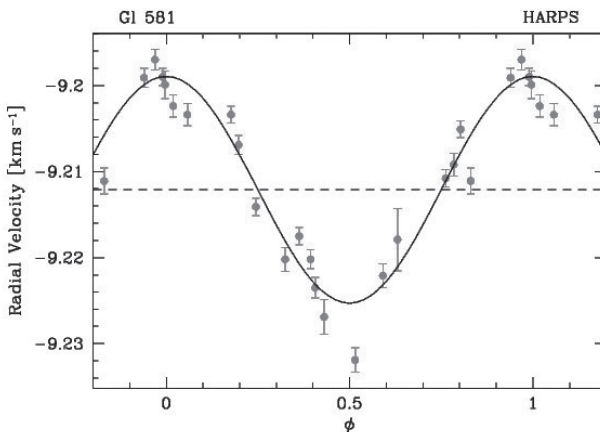


Figure montrant les variations des vitesses radiales de l'étoile G1581. Les mouvements d'un astre sont influencés par la présence d'une planète orbitant autour de lui, ce qui provoque un décalage périodique de sa position et de sa vitesse. Donc sa vitesse radiale est affectée par de très légères variations dues à l'attraction de la planète orbitant autour d'elle. La mesure de la vitesse radiale est basée sur l'étude du spectre lumineux de l'étoile.

les plus proches de notre système solaire. La première planète connue autour d'une naine rouge a été découverte par la même équipe il y a 7 ans : il s'agissait d'un objet de deux fois la masse de Jupiter autour de l'étoile de très faible masse Gl876. Mais depuis, très peu de progrès avaient été faits. Pendant ce laps de temps, une seule autre planète avait été découverte, ce qui poussait les astronomes à considérer les systèmes planétaires gravitant autour de naines rouges comme des raretés.

L'amélioration récente des moyens d'observation révèle que la réalité pourrait être tout autre. En une année, les astronomes ont pu détecter 3 nouvelles planètes (dont la plus récente autour de Gl581) gravitant autour de naines rouges. Mais ces 3 objets sont tous de petite masse, de l'ordre de celle de Neptune ou d'Uranus (15 à 17 fois la masse de la Terre). Elles sont donc plus difficiles à détecter que la plupart des planètes découvertes autour d'étoiles de type solaire qui ont des masses de l'ordre de celle de Jupiter (300 fois la masse de la Terre).

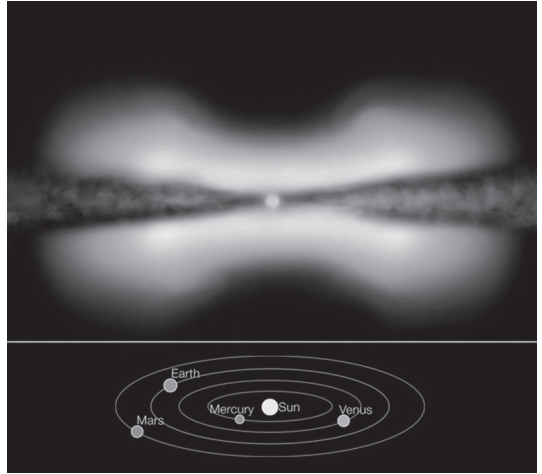
Ainsi, tout en étant moins massives, les planètes pourraient être tout aussi abondantes autour des naines rouges qu' autour des étoiles de type solaire.

De nouvelles observations permettront de confirmer cette hypothèse et cette nouvelle découverte montre que les naines rouges peuvent être d'excellentes cibles pour la recherche de planètes.

AMBER scrute l'environnement d'une étoile

Basé sur communiqué CNRS

Une équipe internationale, dirigée par des chercheurs du CNRS, vient d'obtenir les premiers résultats avec l'instrument AMBER qui équipe le VLTI de l'ESO. Ces chercheurs ont observé la jeune étoile MCW297. Ils ont pu mesurer la taille de son disque protoplanétaire et mettre en évidence un vent composé d'hydrogène en forte expansion. Avec ces résultats et l'aide d'un modèle décrivant les rôles respectifs du disque et du vent stellaire, les cher-



L'environnement proche de l'étoile MWC 297 tel que déduit des observations VLTI/AMBER. Dans cette vue de profil, l'étoile est au centre, le disque protoplanétaire autour de celle-ci, et le vent stellaire au-dessus et au-dessous du disque. La partie interne du système solaire a été ajoutée pour donner un ordre de grandeur des échelles sondées par AMBER.

(© VLTI/AMBER. LAOG. OSUG. CNRS. INSU. ESO)

cheurs ont pu décrire précisément l'environnement de cette jeune étoile.

L'étoile MWC297 est âgée tout au plus de quelques millions d'années ce qui, rapporté à l'échelle humaine où le Soleil serait dans sa belle quarantaine, correspondrait à quelques dizaines d'heures après sa venue au monde. En observant cet astre, les astronomes ont pu directement étudier les conditions dans lesquelles ils pensent que les étoiles évoluent, et plus précisément la région autour de l'étoile où les planètes se forment. Pour cela, il a fallu l'observer avec deux télescopes en parallèle, grâce au mode interférométrique du Very Large Telescope de l'ESO, ce qui équivaut à un télescope unique d'une taille de 45 m. En observant ce type d'étoile, les astronomes espèrent comprendre les premiers balbutiements des jeunes étoiles et découvrir les clés de la formation stellaire et planétaire.

Les données ont été confrontées à un mo-

dèle théorique développé au sein de la collaboration AMBER, qui combine une modélisation du vent et du disque d'accrétion des étoiles en cours de formation.

Le disque domine l'émission de lumière dans l'infrarouge, domaine spectral d'observation d'AMBER, tandis que le vent est à l'origine d'une raie spectrale de l'hydrogène (B γ) deux fois plus intense que l'émission du disque, mais dans un domaine spectral restreint. AMBER, en séparant les domaines spectraux a permis de mesurer l'extension spatiale de ces deux phénomènes. Le disque a un diamètre de l'ordre de 1,75 unités astronomiques (1UA = 150 millions de km), tandis que la raie spectrale de l'hydrogène provient d'une région d'un diamètre d'environ 2,5 UA située de part et d'autre du disque d'accrétion.

Le modèle rend parfaitement compte des observations réalisées avec AMBER et nous donne une vision précise de l'environnement de cet objet. L'étoile MCW 297 est entourée d'un disque équatorial d'accrétion qui est lui même entouré d'une région d'hydrogène ionisé, se situant juste au-dessus du disque. Cette région a une vitesse d'expansion assez faible de l'ordre de 60 km/s, alors que le reste du vent

stellaire s'échappe de façon beaucoup plus rapide au pôle qu'à l'équateur, avec des vitesses pouvant atteindre 600 km/s.

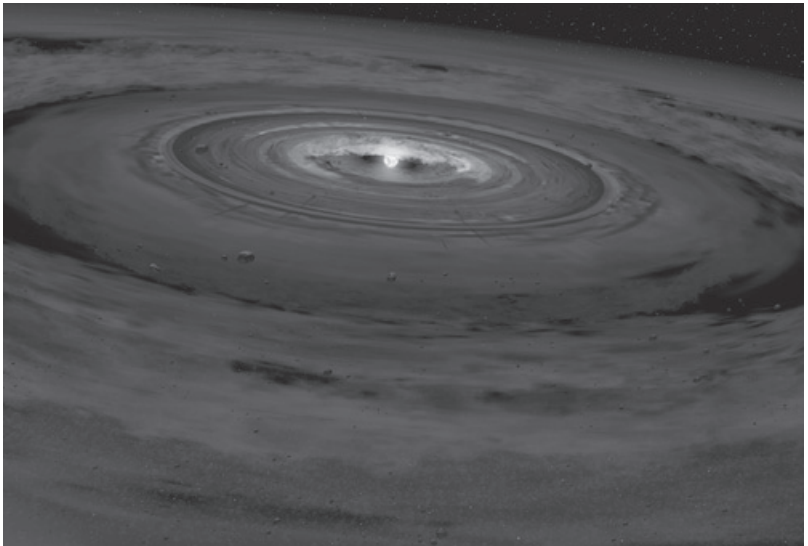
Cette avancée scientifique ouvre la porte à l'exploration minutieuse de l'environnement immédiat des étoiles en formation, à des échelles spatiales où les astronomes s'attendent à la naissance de planètes.

Première détection du champ magnétique au cœur du disque d'accrétion d'une protoétoile

Basé sur communiqué du LATT

D'après les scientifiques, le Soleil et les étoiles, ainsi que les planètes qui les entourent, se forment à partir de l'effondrement d'un nuage de gaz et de poussières cosmiques, effondrement au cours duquel naît temporairement un disque nommé « disque d'accrétion ». Les observations indiquent que ces disques d'accrétion émettent souvent des jets de matière, suivant un mécanisme physique qui pourrait avoir un impact important, encore mal connu, dans la formation de l'étoile et des planètes. Les modèles théoriques suggèrent que le champ magnétique joue un rôle primordial dans ce processus ; pourtant, aucune contrainte

Vue d'artiste d'un disque d'accrétion autour d'une étoile jeune. (©David Darling)

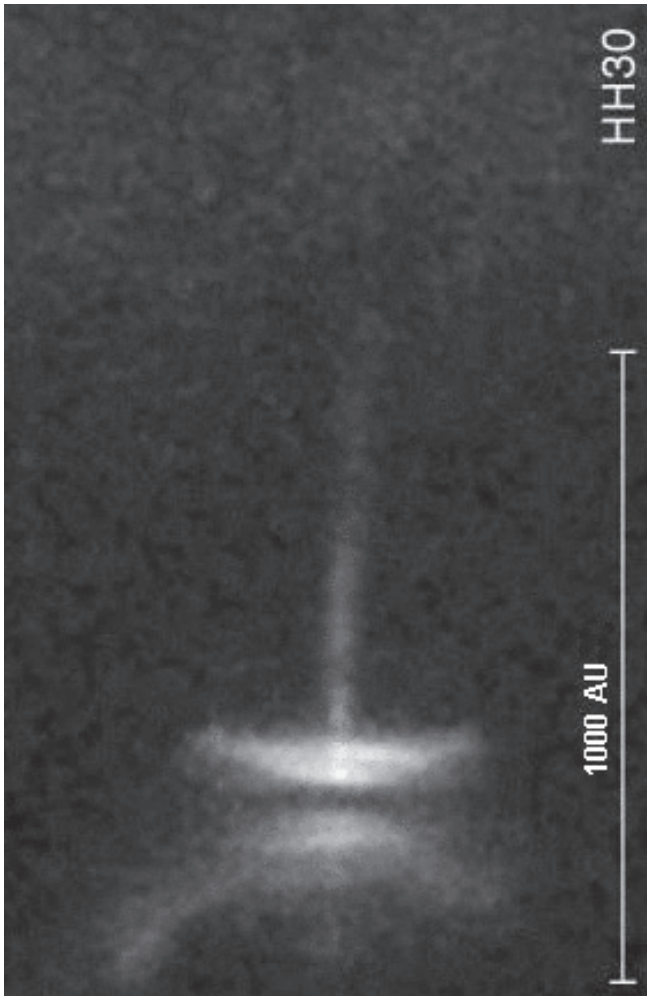


observationnelle n'était encore disponible sur ce champ. Une équipe de chercheurs du CNRS a observé les régions centrales du disque d'accrétion de la protoétoile FU Orionis avec le spectropolarimètre ESPaDOnS récemment installé au Télescope Canada-France-Hawaii. Ils ont pu mettre en évidence, pour la première fois, la présence au cœur du disque d'un fort champ magnétique, dont la topologie est compatible avec les prédictions des modèles. Le champ semble même réussir à freiner le disque plus que ne le prévoient les modèles, ce qui

pourrait expliquer pourquoi certains disques ne parviennent pas à former de jet.

Les disques d'accrétion constituent une des pierres angulaires de l'astrophysique moderne : par exemple, les chercheurs pensent aujourd'hui que les étoiles sont formées à partir d'un nuage de gaz en rotation qui s'effondre sur lui-même en un disque, avant de finalement former une étoile entourée d'un système planétaire, confirmant l'hypothèse formulée il y a 200 ans par le mathématicien français Pierre Simon Laplace. Comprendre en détail la physique des disques d'accrétion, c'est dévoiler le secret de la naissance du Soleil et de son cortège de planètes.

Les disques d'accrétion interviennent également au cœur de certaines galaxies (dites actives) qui abriteraient en leur centre un trou noir d'une masse de plusieurs milliards de fois celle du Soleil. Ces disques d'accrétion, beaucoup plus grands que ceux rencontrés autour des étoiles en formation mais physiquement assez similaires, résulteraient de l'effondrement progressif de la galaxie tout entière vers le trou noir central, et seraient à ce titre la signature d'un phénomène de cannibalisme cosmique. Ce qui, en revanche, n'a pas



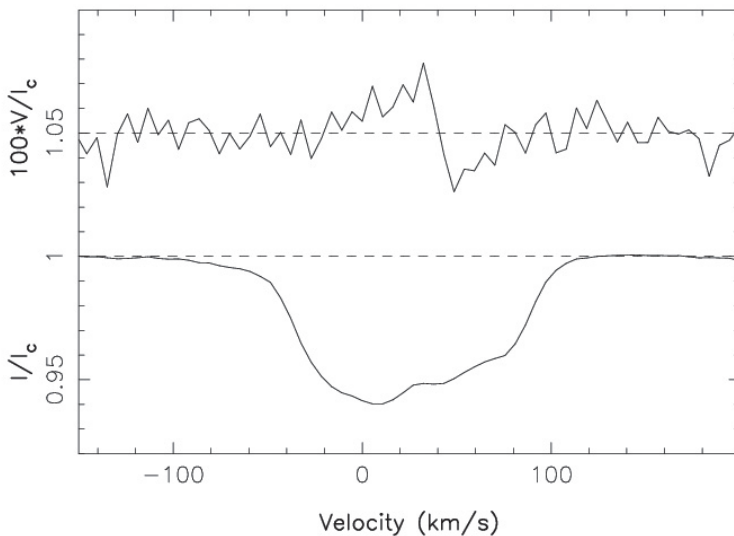
*Exemple de disque d'accrétion et de jet dans une protoétoile (ici HH30, et non FU Ori) tels que vus par le Télescope Spatial Hubble : le jet est émis perpendiculairement au disque d'accrétion, vu ici par la tranche (et qui apparaît comme une zone sombre entre deux lobes brillants, en bas de l'image)
©Burrows, STSci/ESA, WFPC2, NASA)*

été prévu par Laplace, ce sont les faisceaux de matière très fins (jets collimatés) qui semblent s'échapper du centre des disques, dans une direction perpendiculaire à leur plan. Ces jets sont observés aussi bien au voisinage des étoiles en formation que des galaxies actives, et s'étendent sur des distances considérables, atteignant parfois plusieurs années-lumière dans le cas des étoiles en formation. On pense aujourd'hui que c'est grâce à ces jets que le disque parvient à évacuer une grande partie de sa masse et de son « moment cinétique » (qui mesure la quantité de rotation), avant de commencer à former les planétésimaux qui donneront naissance aux planètes. Pour produire de tels jets collimatés, les modèles théoriques invoquent la présence d'un champ magnétique, qui jouerait même le rôle principal. Pourtant, aucune contrainte observationnelle sur le champ magnétique dans les régions centrales des disques, d'où les jets sont émis, n'était disponible jusqu'à présent.

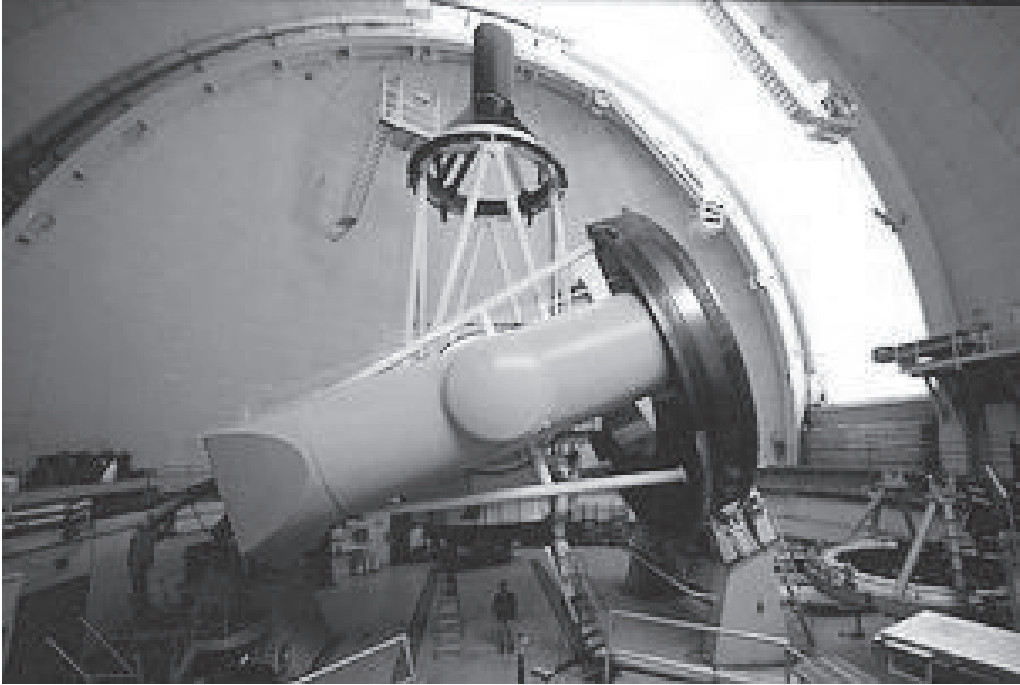
Pour certains modèles (dits magnétocentrifuges, initialement proposés en 1976), la rotation du disque d'accrétion parvient à torsader le champ magnétique initial (supposé primordial et orienté perpendiculairement au disque). Celui-ci freine le plasma du disque et provoque sa chute vers les régions centrales. Le flux

d'énergie magnétique qui en résulte pointe vers l'extérieur du disque et parvient à pousser le plasma hors du disque, en formant un vent et parfois même un jet collimaté. D'autres modèles (dits dynamos) suggèrent que le champ est produit à l'intérieur même du disque, par des processus proches de ceux qui génèrent le champ magnétique du Soleil.

En détectant les signatures du champ magnétique (par effet Zeeman) sur des milliers de raies d'absorption formées dans les régions internes du disque (à moins de 0.2 unité astronomique du centre), des astrophysiciens du CNRS ont pu démontrer la présence d'un champ magnétique d'environ 0.1 Tesla, comparable à celui qui émerge des taches du Soleil. De plus, ils ont pu établir que ce champ possède à la fois une composante verticale (perpendiculaire au disque) et azimutale (dans le plan du disque et perpendiculaire au rayon), en accord avec les modèles magnéto-centrifuges (et en contradiction avec les modèles dynamos). Enfin, il semble que ce champ réussisse à freiner le plasma du disque plus efficacement que ne le prévoient les modèles, ce qui pourrait expliquer pourquoi certains disques ne parviennent pas à former de jet collimaté.



Le signal polarimétrique de FU Orionis (V/I_c , courbe supérieure, amplifié d'un facteur 100 sur ce graphique) détecté dans la raie d'absorption (I/I_c , courbe inférieure) est 2000 fois plus faible que l'intensité lumineuse (I_c) en provenance de la source (©Donati).



Le Télescope Canada-France-Hawaïi est situé au sommet du volcan Mauna Kea dans la grande île de l'archipel d'Hawaïi (©Cuillandre, CFHT).

Cette découverte a été rendue possible grâce au nouveau spectropolarimètre ESPaDOnS construit à l'Observatoire Midi-Pyrénées et récemment installé au Télescope Canada-France-Hawaïi (TCFH). La technique de spectropolarimétrie consiste à mesurer la polarisation de la lumière émise par un objet astrophysique, et notamment sa variation, grâce aux raies spectrales de l'objet observé.

Cette technique, utilisée couramment en physique solaire (notamment pour la mise en évidence du champ magnétique du Soleil au début du xx^e siècle), est relativement nouvelle, et très prometteuse, dans les autres domaines de l'astrophysique.

ESPaDOnS est aujourd'hui l'instrument le plus performant au monde pour ce genre d'étude, et le seul capable de détecter les si-

gnaux polarimétriques très faibles émis par les disques d'accrétion.

Collisions intergalactiques

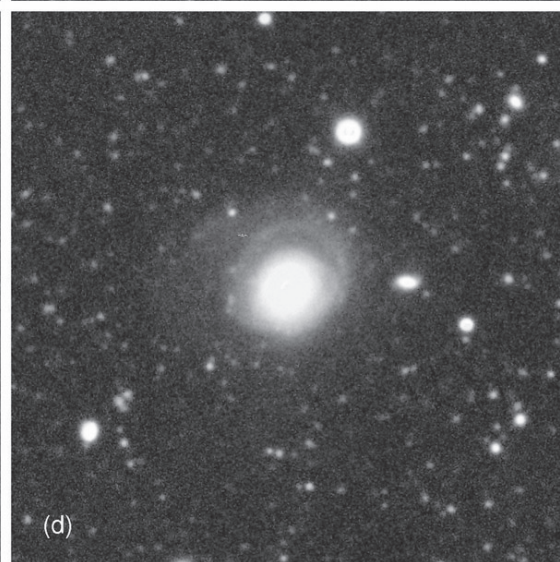
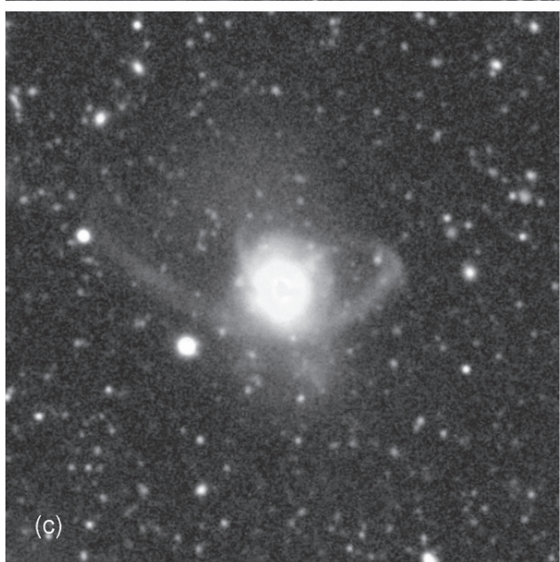
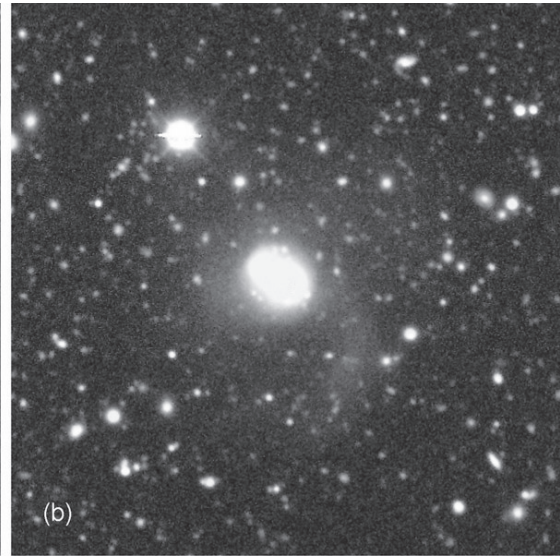
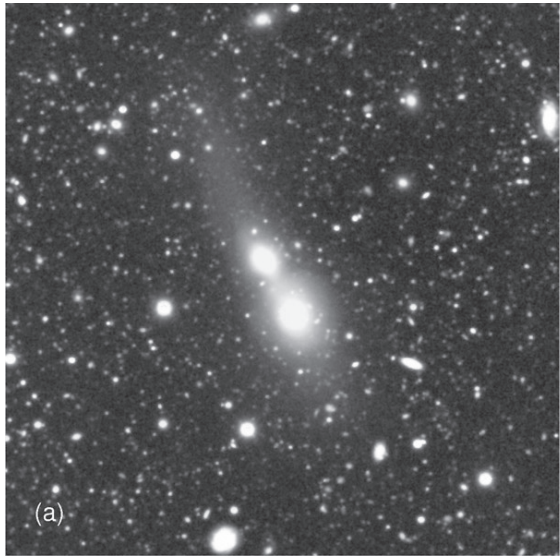
Collisions et fusions de galaxies sont plus fréquentes que ce que l'on pensait jusqu'à présent. Les galaxies géantes se sont développées lentement et sûrement par ce processus.

Dans notre banlieue de l'univers, plus de la moitié de ces galaxies sont entrées en collision et ont fusionné durant les deux derniers milliards d'années, si l'on en croit une étude récente basée sur des centaines d'images provenant des deux surveys les plus profonds, le NDWFS (NOAO Deep Wide-Field Survey) et le MUSYC (Multiwavelength Survey by Yale/Chile).

L'idée que les grandes galaxies s'assemblent par fusions successives – et ne grossissent pas isolément – a rencontré de plus en plus de suffrages parmi les cosmologistes. Mais un fait troublant venait à l'encontre de cette théorie. Les galaxies les plus massives semblaient

Quelques exemples de collisions de galaxies dans des stades plus ou moins avancés ; depuis des galaxies encore bien séparées (a), jusqu'aux galaxies fusionnées, ne laissant voir que des traces des effets de marées (d).
(© P. van Dokkum/Yale University and NOAO/AURA/NSF)

être les plus vieilles, ce qui ne laissait guère de temps après le Big Bang pour réaliser les fusions. Il y a peu de rencontres directes entre étoiles lors des collisions de galaxies. Ce sont les nuages de gaz et de poussières qui subissent les chocs. Les effets gravitationnels provoquent de gigantesques « marées » arrachant des lambeaux de galaxies ici et là, et mo-



difiant la structure des régions périphériques. La compression du gaz crée des zones propices à la formation d'étoiles. Une analyse globale des galaxies peut donc renseigner les astronomes sur leur passé violent.

Les images du télescope spatial Hubble ont montré des cas très spectaculaires de fusions et de collisions de galaxies mais généralement les phénomènes sont plus marginaux et discrets. Les zones de formation stellaire sont beaucoup plus rares que ce que l'on imaginait, peut-être à cause de l'influence des trous noirs supermassifs qui empêcheraient l'effondrement des nuages de gaz. Cela explique qu'on n'ait pas remarqué plus tôt les signes de fusions parmi les galaxies. Le grand nombre de ces collisions représente une confirmation directe des théories actuelles concernant la formation des grandes structures de l'univers, et permet de résoudre le problème de chronologie.

Arpentage galactique

La distance du bras spiral « de Persée » a été déterminée avec grande précision en utilisant une méthode de triangulation. Au lieu d'un théodolite les astronomes ont utilisé le réseau VLBA constitué de dix antennes ra-

dio déployées entre Hawaii et les Caraïbes. La base du triangle n'était autre que l'orbite de la Terre, et les sources, des nuages de méthanol entourant des étoiles jeunes. A 6.400 années lumière, le bras de Persée s'avère nettement plus proche que ce que l'on admettait généralement.

La manière classique de mesurer la Galaxie était basée sur la mesure des vitesses radiales et un modèle de rotation du système. Elle avait livré pour la distance du bras de Persée la valeur de 13.000 années lumière. Un autre procédé, consistant à estimer la distance à partir de la luminosité apparente des étoiles massives brillantes, avait donné un résultat deux fois plus petit, en bien meilleur accord avec la nouvelle valeur.

La méthode de triangulation sera appliquée à d'autres bras afin de mieux comprendre la structure de notre Galaxie.

Vue d'artiste de la structure spirale de la Voie Lactée. La distance du bras de Persée, situé à l'extérieur, est maintenant estimée à 6400 années lumière (© Y. Xu et al/Science)

