
L'astronomie dans le monde

Saturne

L'image spectaculaire figurant en couverture de notre bulletin montre le petit satellite Hypérior observé par Cassini lors d'un passage relativement rapproché, le 26 septembre.

Hypérior se distingue par le fait qu'il est le plus gros de tous les satellites de forme irrégulière. Sous l'action de leur gravité propre, les corps de taille un peu respectable ne peuvent que se tasser sur eux-mêmes et adopter une forme sphérique. Hypérior, visiblement, ne l'entend pas de cette oreille et s'écarte très fortement de cette belle régularité, avec des mensurations de $360 \times 280 \times 225$ km.

Hypérior est rougeâtre et présente des variations subtiles de coloration qui indiquent probablement une grande variété dans la composition du sol. Des zones sombres sont sans doute le signe de la présence de molécules organiques - ce qui ne signifie pas présence de vie, mais simplement que ces molécules contiennent du carbone. On peut voir cette espèce de goudron au fond de cratères (cf dans l'image ci-dessous, obtenue lors du survol de Cassini à 500 km d'Hypérior).

Des coulées ou des glissements de terrain

Zoom sur Hypérior
(NASA/JPL/Space Science Institute)

ont comblé de débris le fond de certains cratères et en ont totalement effacé d'autres. De la matière brillante semble au contraire éjectée de certains cratères (cf. près du centre de l'image). Cela impliquerait que le dépôt sombre n'a que quelques dizaines de mètres d'épaisseur.

Les scientifiques vont examiner en détails ces données pour déterminer s'il y a eu plusieurs épisodes de glissements de terrains.

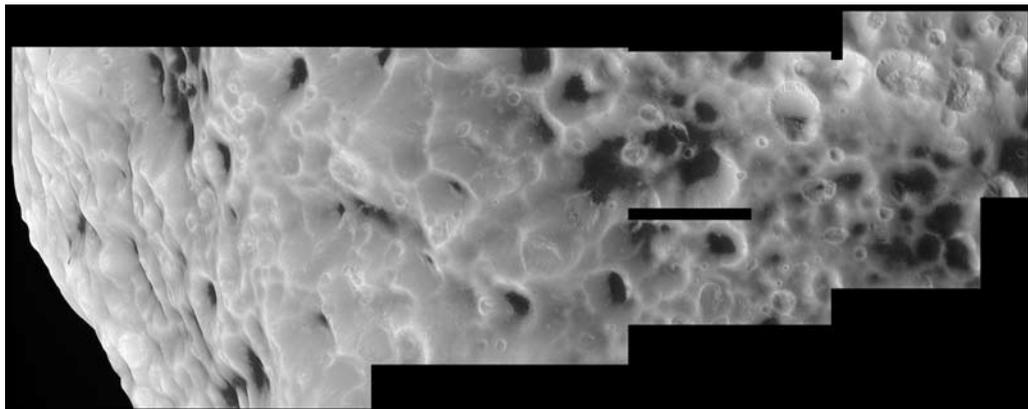
L'image ci-contre été prise ce même 26 septembre depuis une distance de 32.000 km, alors que la sonde Cassini s'éloignait du mystérieux satellite de Saturne.

Après Hypérior, la sonde Cassini a choisi comme étape Dioné. Ce sera en fait le seul survol que Cassini fera de cette lune. Le 11 octobre, la sonde passait à 500 km au-dessus de ce monde glacé de 1120 km de diamètre pour ne plus y revenir.

On sait que Dioné est le satellite le plus dense de Saturne après Titan. Un noyau central de roches faisant le tiers de masse totale est la cause de cette particularité.

La surface de Dioné est semblable à celles de Téthys et de Rhéa : des terrains plus ou moins fortement cratérisés, des failles importantes, de la matière brillante (glace?) soulignant des fractures.

Dioné est cependant unique. Un systè-





Après sa brève visite, la sonde Cassini jette un dernier regard sur la mystérieuse Hyperion (NASA/JPL/Space Science Institute)

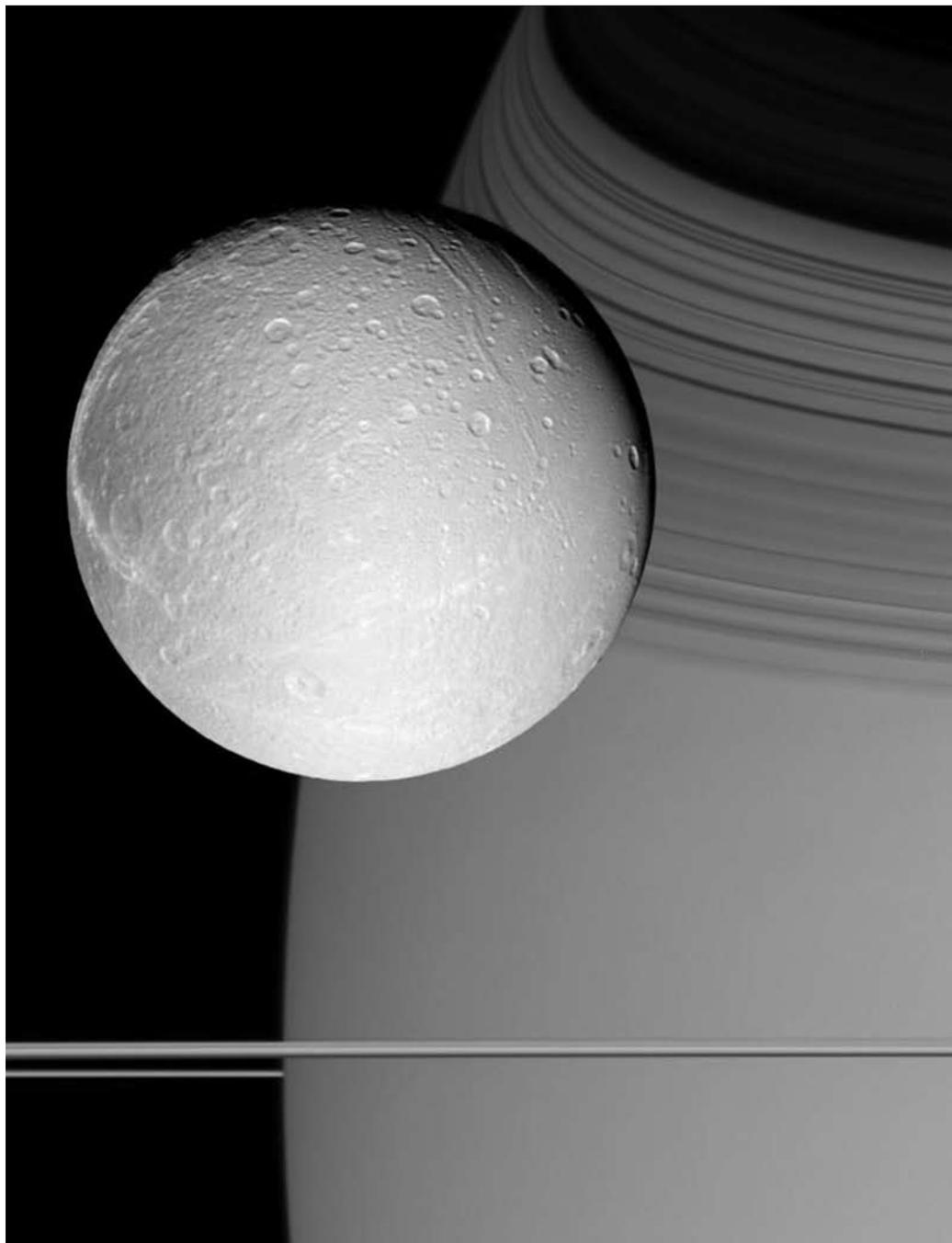
me de rayures se superpose aux autres reliefs sur un hémisphère entier. Les rayures recouvrent tout, ce qui permet d'affirmer qu'elles sont les plus jeunes formations. Un examen attentif montre qu'il en existe de différents âges, correspondant à des générations successives. Elles sont provoquées par l'activité tectonique.

Une autre lune, sur une orbite plus basse, Encelade, montre des rayures de même nature

mais encore plus jeunes.

Le spectrographe-imageur ultraviolet de Cassini a permis de détecter de la glace d'eau à la surface de Dioné. Il a également décelé d'importantes variations de brillance d'un endroit à l'autre, variations que l'on peut attribuer à des fractures. La glace apparaissant dans ces fractures serait d'une texture différente que celle des terrains environnants.

L'image de la page 343 illustre cette diversité. On y voit une partie de la muraille ainsi que le pic central d'un cratère de 60 km de diamètre et, à l'intérieur, plusieurs générations de fractures. Un réseau serré de fines rayures court



A gauche, Dioné, Saturne et ses anneaux. Cassini se trouvait pratiquement dans le plan des anneaux lorsqu'il a pris cette image depuis une distance de 39.000 km. On peut voir sur la planète l'ombre des anneaux B et C.
(NASA/JPL/Space Science Institute)

de bas en haut, seulement interrompu par de plus importantes fractures transversales. Ces fractures restent visibles au fond de cratères relativement intacts, c'est-à-dire jeunes. C'est le cas de la fracture partant du centre de l'image et qui descend au fond du gros cratère adossé à la muraille.

Dioné et Encelade orbitent autour de Saturne au cœur du vaste anneau diffus E. Les scientifiques aimeraient savoir si ces lunes apportent de la matière à cet anneau et si, réciproquement, l'anneau E affecte d'une manière ou l'autre leur surface.

Contrairement à toute logique, les terrains les plus cratérisés ne font pas face à la direction du mouvement orbital, mais regar-

Dioné. Fracture dans un cratère de 60 km situé au bord de Padua Linea. Le mur de cratère est la haute falaise blanche. Le pic central est dans le coin inférieur droit.
(NASA/JPL)





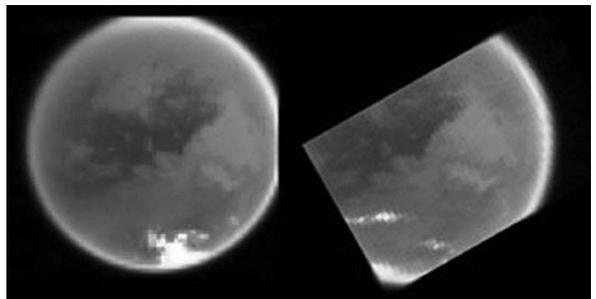
Télesto observé par Cassini d'une distance de 15.000 km. (NASA/JPL)

dent vers l'arrière. Comme notre Lune, Dioné est synchronisée gravitationnellement avec la planète. Sa période de rotation est égale à celle de sa révolution. On pense que, lorsque les cratères se sont formés, le satellite était calé à 180° de sa position actuelle, la face tourmentée subissant de plein front les nombreux impacts. Pour quelque raison, probablement violente, il a fait demi-tour.

Après Dioné, Cassini s'est occupé d'une lune jusqu'ici délaissée, Télesto (cf ci-dessus). Aucune image de qualité n'était encore disponible. Celles prises par Voyager ne montraient aucun détail sur ce caillou de 24 km.

Titan fait actuellement l'objet d'un débat concernant l'origine de zones brillantes situées dans l'hémisphère sud. Ainsi, le satellite géant de Saturne montre en infrarouge une tache d'albédo élevé qui intrigue beaucoup les astronomes. On l'avait diversement interprétée, comme une montagne, une zone d'activité tectonique et même une formation nuageuse.

Titan et ses curieuses formations nuageuses (NASA/JPL/Cassini)



De nouvelles mesures en ondes millimétriques par la sonde Cassini ont conduit à rejeter les deux premières hypothèses. Quant à des nuages, ils devraient être d'une stabilité exceptionnelle. On en a donc conclu que la brillance de la zone est simplement due à une composition particulière du sol. Restait à déterminer laquelle.

Mais des observations faites avec les télescopes géants Keck et Gemini montrent qu'il y a effectivement des nuages apparaissant de façon sporadique toujours aux mêmes endroits, dans l'hémisphère sud de Titan. Selon certains astronomes, ils pourraient indiquer les sources du méthane atmosphérique. Des failles dans la surface du satellite, ou des « cryo-volcans », émettraient de temps à autre une bouffée de méthane dans l'atmosphère. Cet apport créerait les conditions pour la condensation de nuages. Une autre théorie suggère simplement l'existence d'une circulation atmosphérique particulière qui conduirait à la formation de bancs de nuages aux latitudes précises où on les observe. Si l'accord en latitude est satisfaisant, il est cependant difficile de comprendre pourquoi les nuages ne s'observent qu'à certaines longitudes discrètes et pas à d'autres.

Il reste aussi qu'il faut bien expliquer l'origine du méthane titanien. Ce gaz est détruit continuellement par l'action du rayonnement ultraviolet solaire, créant ainsi la brume opaque qui entoure le satellite. Cette perte par photolyse doit nécessairement être comblée par un apport équivalent.

Les nombreux survols par Cassini devraient finir par apporter une explication définitive.

Schéma montrant les orbites de diverses catégories d'astéroïdes. (ESA)

Sélection des astéroïdes cibles pour la mission Don Quijote de l'ESA

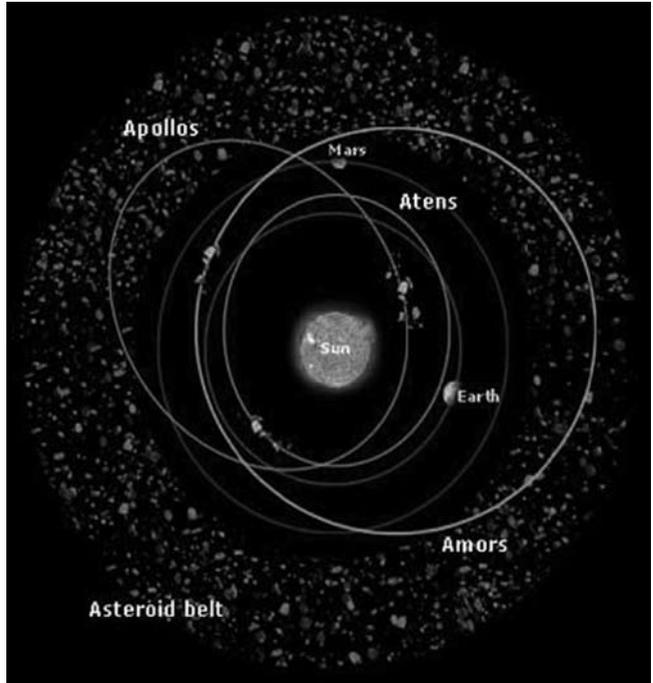
Communiqué ESA

S'appuyant sur les recommandations de spécialistes des astéroïdes, l'ESA a sélectionné deux astéroïdes cibles pour sa mission Don Quijote de déviation de la trajectoire d'un géocroiseur (astéroïde évoluant à proximité de la Terre ou NEO).

L'équipe « concepts de pointe » de l'ESA (ACT) est en train d'étudier en détail cette mission. Au début de l'année, le Groupe consultatif sur les missions NEO (NEOMAP), constitué d'experts chevronnés, a fourni à l'ESA un rapport sur le choix des cibles pour les futures missions européennes de réduction des risques de collision avec un astéroïde. Ce rapport a défini les critères présidant à la sélection d'un astéroïde cible et a identifié deux objets qui répondent à la plupart de ces critères. Leurs dénominations provisoires sont 2002 AT4 et 1989 ML.

Tenant compte de ces éléments et bénéficiant du soutien d'experts en charge de l'installation de conception pluridisciplinaire (CDF) de l'Agence, l'ACT a procédé à une évaluation exhaustive des architectures de mission appropriées ainsi que des stratégies de lancement, des options en matière de système de propulsion et des expériences.

Le scénario actuel prévoit deux véhicules spatiaux parcourant des trajectoires interplanétaires distinctes. L'un d'entre eux (Hidalgo) devant percuter l'astéroïde cible, tandis que l'autre (Sandro) arrivera plus tôt à proximité, procédera aux opérations de rendez-vous et se



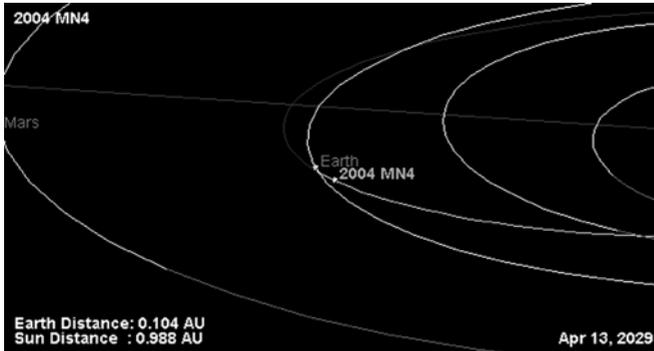
placera en orbite autour de l'astéroïde pendant plusieurs mois pour l'observer avant et après l'impact, de manière à pouvoir détecter toute modification ultérieure de sa trajectoire.

Dans le cadre des études industrielles qui vont démarrer très prochainement, des experts européens devront proposer des solutions de rechange en ce qui concerne la conception de cette mission NEO précurseur à faibles coûts. Il s'agira de la première étape vers le développement d'un dispositif de lutte contre les impacts des astéroïdes : l'une des rares catastrophes naturelles que nos technologies peuvent prévenir.

Une collision évitée de justesse?

Tandis qu'à Noël dernier toute la planète avait les yeux braqués vers le tsunami qui ravageait l'Asie, un groupe de scientifiques s'inquiétait d'une autre menace d'origine naturelle qui aurait pu tourner en catastrophe, l'impact d'un astéroïde.

Le 19 décembre, un astéroïde d'environ



Orbite de 2004 MN4 en 2004

nous devons tout d'abord tester nos moyens matériels sur un astéroïde inoffensif. Don Quijote sera ainsi la première mission à réaliser une telle opération. La question majeure étant : quel astéroïde retenir et à quoi celui-ci doit-il ressembler ?

400 m de diamètre (2004 MN4), dont on avait perdu la trace depuis sa découverte six mois plus tôt, fut à nouveau observé, ce qui a permis de calculer son orbite. On a immédiatement compris que le risque qu'il percuté la Terre, à l'occasion d'une « rencontre proche » en 2029, était inhabituellement élevé. À mesure que les jours passaient, cette probabilité n'a pas diminué, cet astéroïde devenant le plus menaçant parmi tous ceux répertoriés jusqu'alors sur les échelles de Turin et de Palerme – les échelles qui mesurent le risque d'impact d'un astéroïde à la manière dont l'échelle de Richter mesure la magnitude d'un tremblement de terre.

Seules les premières observations de cet objet et le calcul plus précis de sa trajectoire permirent de démontrer qu'il n'entrerait pas en collision avec la Terre – du moins pas en 2029. Bien qu'improbable, une collision à une date ultérieure n'est pas totalement exclue. Il est en effet extrêmement difficile de dire ce qui va se produire si nous ne trouvons pas un meilleur moyen de suivre sa trace et celle d'autres NEO et si nous ne prenons pas les mesures nécessaires à cet effet.

La majorité des experts internationaux estiment que ces moyens sont désormais à notre portée. Une mission telle que Don Quijote de l'ESA pourrait ainsi être la première mission en mesure d'évaluer la menace posée par un NEO et de prendre des mesures concrètes pour dévier sa trajectoire.

De même que toute bonne représentation théâtrale doit être précédée de répétitions, et pour nous préparer à affronter une telle menace,

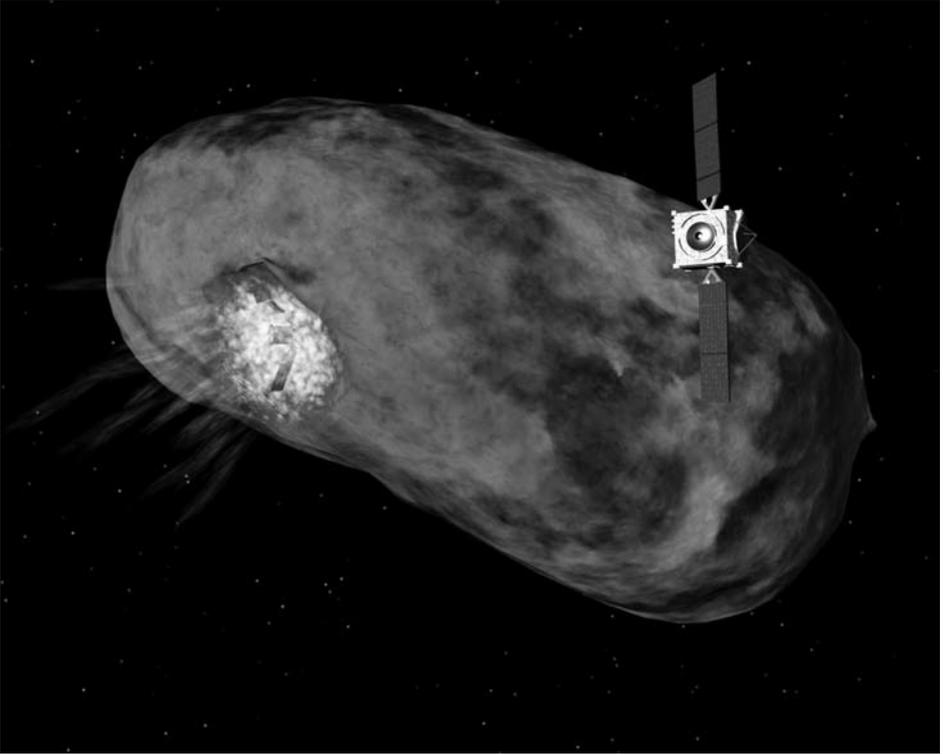
Trouver la cible idéale

La population des NEO se composant d'une diversité extravagante d'objets, il n'est pas facile de choisir les paramètres physiques les plus appropriés pour lutter contre les risques qu'ils représentent. Toutefois, les experts du NEOMAP ont relevé le défi et ont livré à l'Agence, en février 2005, leurs recommandations sur les critères de sélection des astéroïdes dont la trajectoire pourrait être déviée.

Il n'est pas illégitime de se demander si l'exécution d'un essai tel que celui prévu pour la mission Don Quijote fait ou non courir un risque à notre planète. Les choses pourraient-elles mal tourner ? Pourrions-nous créer un problème au lieu d'apprendre comment en éviter un ?

Les spécialistes internationaux répondent par la négative. Ils estiment que même l'impact très puissant d'un véhicule spatial lourd sur un petit astéroïde ne provoquerait qu'une modification infime de son orbite. En fait, cette modification serait si faible que la mission Don Quijote nécessite deux véhicules spatiaux. Le deuxième devra surveiller l'impact du premier et mesurer la variation minime des paramètres orbitaux de l'astéroïde, qui ne seraient pas réparables depuis la Terre.

On peut également sélectionner des objets cibles qui ne susciteraient aucune inquiétude, en étudiant les variations de distance entre leurs orbites et celle de la Terre au fil du temps. Si l'astéroïde cible ne coupe pas l'orbite de la Terre, comme cela est le cas avec les NEO de



la famille Amor (dont l'orbite au périhélie dépasse nettement 1 UA), l'exécution d'une manoeuvre de déviation ne présente aucun risque pour la Terre.

D'autres considérations liées à l'orbite de l'astéroïde cible sont également importantes, en particulier le changement de vitesse orbitale nécessaire pour que le véhicule «rattrape» l'astéroïde cible. Cette vitesse devra être suffisamment faible pour minimiser le volume d'ergols requis et permettre l'utilisation de lanceurs peu onéreux, tout en étant suffisamment importante pour rendre possible l'utilisation du même satellite avec plusieurs cibles. Les impératifs en matière de navigation et de mesures de la déviation de l'astéroïde font peser de lourdes contraintes sur le choix de la cible. La forme, la densité et la taille de l'astéroïde sont des paramètres importants, mais souvent mal connus. Ainsi, pour placer un véhicule en orbite autour d'un astéroïde faut-il connaître le

Sancho reste à distance respectable tandis que Hidalgo essaie de faire le plus de dégâts possible sur le malheureux astéroïde. (ESA)

champ gravitationnel de cet objet, de même qu'il faut connaître la position de son centre de masse afin de déterminer l'endroit visé par le véhicule impacteur.

La variété des astéroïdes est très grande, mais deux catégories principales prédominent pour ce qui est de la composition. Nos connaissances, encore assez rudimentaires, de l'importante population d'astéroïdes de différents types qui croisent à proximité de la Terre indiquent que le prochain astéroïde constituant une menace sera plus vraisemblablement de type C que de type S. Ceux de type C ont une surface sombre possédant une signature spectrale caractéristique des matières carbonées, tandis que ceux de type S présentent des surfaces plus brillantes dont les spectres s'apparentent de près

à ceux des silicates. Les propriétés de surface de l'astéroïde cible - et notamment le pourcentage de lumière qu'il réfléchit - sont un facteur critique durant la phase finale de navigation de l'impacteur. Plus l'astéroïde est brillant, plus il constitue une cible facile. Toutefois, dans le cadre d'un exercice de répétition, l'objectif ne doit pas non plus être trop facile.

L'ESA a sélectionné les astéroïdes 2002 AT4 et (10302) 1989 ML comme objectifs cibles de sa mission car ils représentent le meilleur compromis parmi tous les critères de sélection (dont certains sont parfois contradictoires). La décision sur le choix de l'un d'entre eux comme destination finale des deux véhicules Sancho et Hidalgo sera prise en 2007.

Don Quijote – le retour du chevalier errant

La phase des études internes relatives à la mission Don Quijote est achevée et il incombe désormais à l'industrie spatiale de suggérer des conceptions techniques appropriées. L'ESA a envoyé un appel d'offres ouvert aux sociétés spatiales européennes pour qu'elles soumettent des propositions de conceptions. La sélection des offres les plus prometteuses aura lieu vers la fin de l'année. Début 2006, deux équipes devraient commencer à travailler sur leurs propositions de mission de démonstration technologique. Un an plus tard, lorsque les résultats seront disponibles, l'ESA sélectionnera la conception définitive à mettre en œuvre : Don Quijote sera alors prêt à s'attaquer à un astéroïde !

L'astéroïde 2004 MN4 a désormais reçu une appellation officielle : 99942 Apophis. Des observations récentes par radar Doppler avec le radiotélescope d'Arecibo à Porto Rico ont revu à la baisse sa pro-

babilité d'impact avec la Terre et indiqué que celle-ci était très faible, sans être pour autant totalement exclue. En 2029, cet astéroïde « frôlera » la Terre à une distance de 32000 km, soit la distance la plus faible jamais enregistrée pour un objet de cette taille. Sa trajectoire croisera celle de l'orbite géosynchrone sur laquelle évoluent la plupart des satellites météorologiques et de télécommunication. En outre, cet astéroïde sera visible à l'oeil nu. D'autres mesures radar devront être faites en 2013.

Les astéroïdes 2002 AT4 et (10302) 1989 ML, cibles de la mission Don Quijote, ne présentent aucun danger pour notre planète.

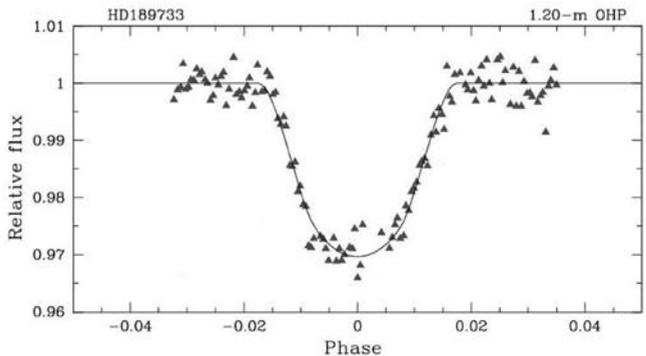
Exoplanète facile

Communiqué OHP

De magnitude 7.7 l'étoile HD 189733 montre une chute sensible d'éclat tous les deux jours, lorsqu'une planète passe devant elle. Ce phénomène, facilement observable même par des amateurs, permettra d'étudier en détail l'atmosphère de la planète, du type « Jupiter chaud ».

Une nouvelle exoplanète a été détectée à l'Observatoire de Haute Provence le 15 septembre dernier par une équipe européenne composée de chercheurs du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, de l'Observatoire de Haute Provence et de l'Observatoire de Genève. Cette détection a été faite avec le spectrographe ELODIE du télescope de 1,93 m, qui avait permis 10 ans plus tôt de déceler la toute première exoplanète 51 Peg-b par la méthode

Mesures photométriques de l'étoile HD189733 obtenues avec la caméra du télescope de 1.2m indiquant le transit d'une planète de 1.25 fois le diamètre de Jupiter.





L'étoile HD189733 est repérée par une flèche. Elle est située à moins de 0.15° (équivalent à une demi lune) de la nébuleuse Dumbell (photographie de Daniel Jaroschik).

Ci-dessous, le télescope de 1,20 m de l'Observatoire de Haute Provence ayant permis de mesurer le transit photométrique de HD189733. La coupole du télescope de 1,93 m, qui a permis les mesures de vitesses radiales, apparaît au deuxième plan.

des vitesses radiales. Simultanément la caméra photométrique du télescope de 1,20 m, en mesurant la lumière émise par l'étoile HD189733, détectait le passage de l'exoplanète devant le disque de son soleil.

Ce phénomène s'explique par l'orientation favorable du système observé depuis la Terre: l'orbite est vue par la tranche, l'exoplanète occultant partiellement l'étoile en passant devant. L'équipe a ainsi pu déterminer à la fois la masse exacte et le rayon de la planète, et conclure qu'il s'agit d'un gros « Jupiter chaud ». Le système planétaire de HD189733 est particulièrement intéressant à plusieurs titres :

Cette nouvelle exoplanète rejoint le groupe des très rares planètes détectées hors de notre système solaire que les chercheurs ont pu caractériser. En effet, si aujourd'hui 160 exoplanètes sont connues, ce n'est que pour 9 d'entre elles que la masse et le rayon sont précisément mesurés. HD189733b a une masse 365 fois plus importante que la Terre et un rayon presque 14 fois plus grand. Sa densité est comparable à celle de Saturne. C'est une exoplanète proche de notre système solaire, à seulement

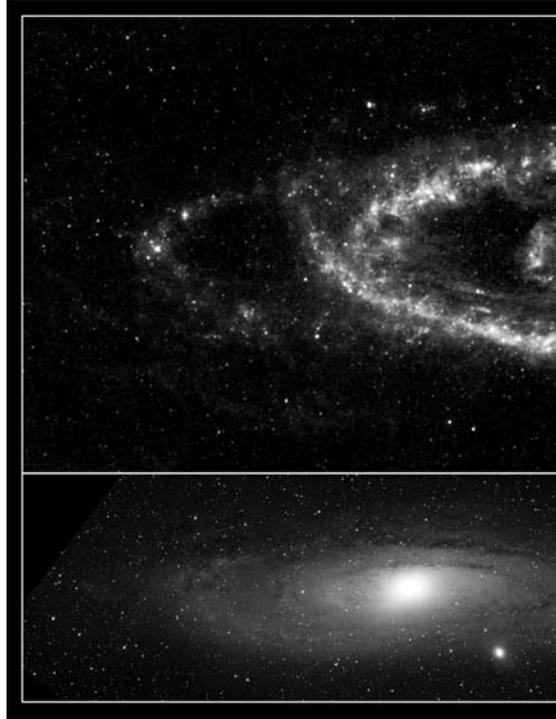


63 années lumière. L'étoile HD189733 est par ailleurs accessible aux jumelles ($m_v=7,7$) près de la constellation du petit renard. Elle est, par hasard, située à proximité de la nébuleuse Dumbell M27 bien connue des astronomes amateurs.

Sa période orbitale est l'une des plus courtes connues (seulement 2,2 jours), soit 2.000 fois plus rapide que notre Jupiter qui tourne autour du Soleil en une douzaine d'années. Tous les 2,2 jours, grâce à une géométrie favorable, la planète HD189733b occulte donc le disque de son étoile en provoquant un « transit photométrique » (un peu semblable à une éclipse de Soleil), c'est-à-dire une petite baisse de flux lumineux de l'étoile pendant 2h.

Le transit de HD189733b, provoque une baisse de luminosité de son étoile de 3%. C'est le transit le plus marqué des 9 exoplanètes dont on mesure l'éclipse. Cela provient du fait de la petite taille de l'étoile (3/4 de la taille du Soleil) et de la grande taille de la planète (1,26 fois la taille de Jupiter).

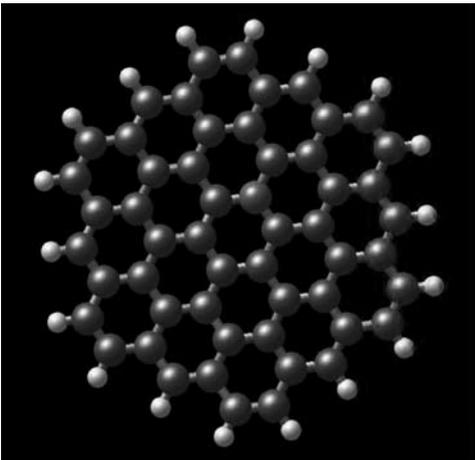
L'étoile centrale de ce nouveau système planétaire est brillante; la plupart des télescopes au sol et dans l'espace tenteront donc prochainement de mesurer d'autres paramètres de cette exoplanète géante, en particulier les caractéristiques de son atmosphère. Compte tenu de la faible distance qui la sépare de son étoile (seulement 3/100 de la distance Terre-Soleil),



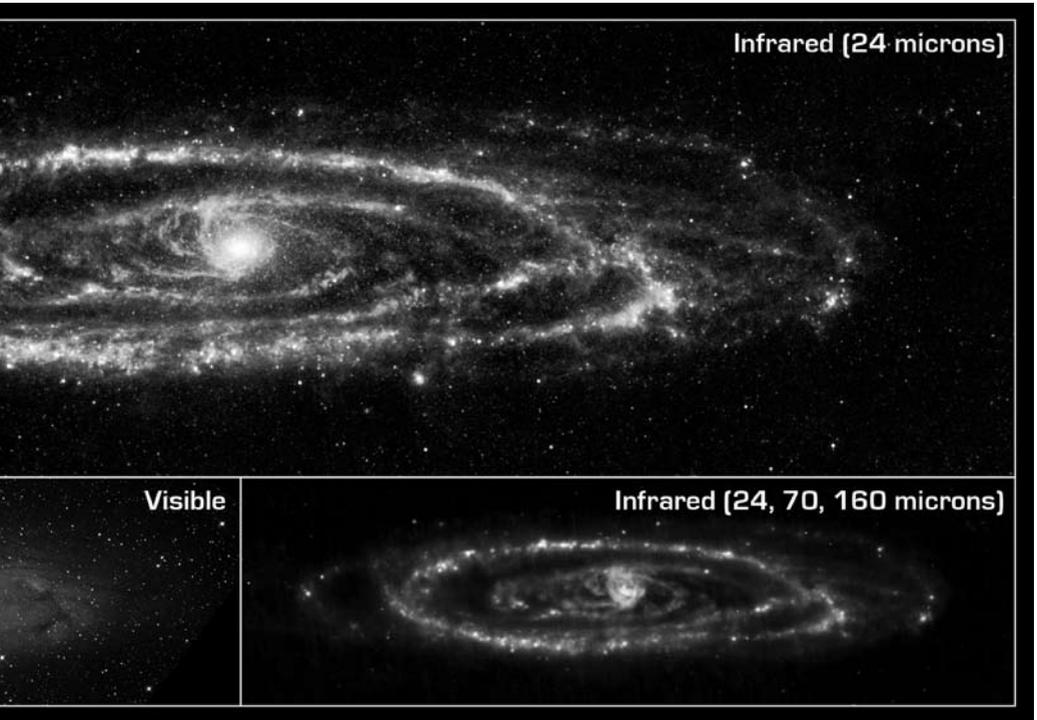
la température de son atmosphère doit atteindre plusieurs centaines de degrés. On essaiera donc de mesurer le pouvoir réfléchissant de cette atmosphère, ses composants chimiques, et la vitesse à laquelle elle s'évapore. De surcroît, la relative proximité permettra peut-être de trouver la lumière émise par la planète elle-même, grâce aux interféromètres.

PANH dans M81

Les spectres de la galaxie M81 (dont l'image infrarouge apparaît en couverture 2 de ce bulletin) obtenus au moyen du téles-



Les molécules PAHs ont la structure d'un grillage de poulailler. Les petits atomes du pourtour sont d'hydrogène. Les atomes intérieurs sont de carbone. Dans les PANHs, un atome de carbone peut être remplacé par de l'azote. (NASA)



cope spatial Spitzer ont montré la présence de PAHs (molécules polycycliques hydrocarbonées aromatiques). Ce n'est pas une surprise puisque des PAHs ont déjà été détectées dans des galaxies bien plus lointaines. L'intérêt de ces dernières observations est que certaines de ces molécules contiennent de l'azote, ce qui en fait des PANHs. Celles-ci sont plus importantes du point de vue astro-biologique que les PAHs.

Andromède dans toutes ses couleurs

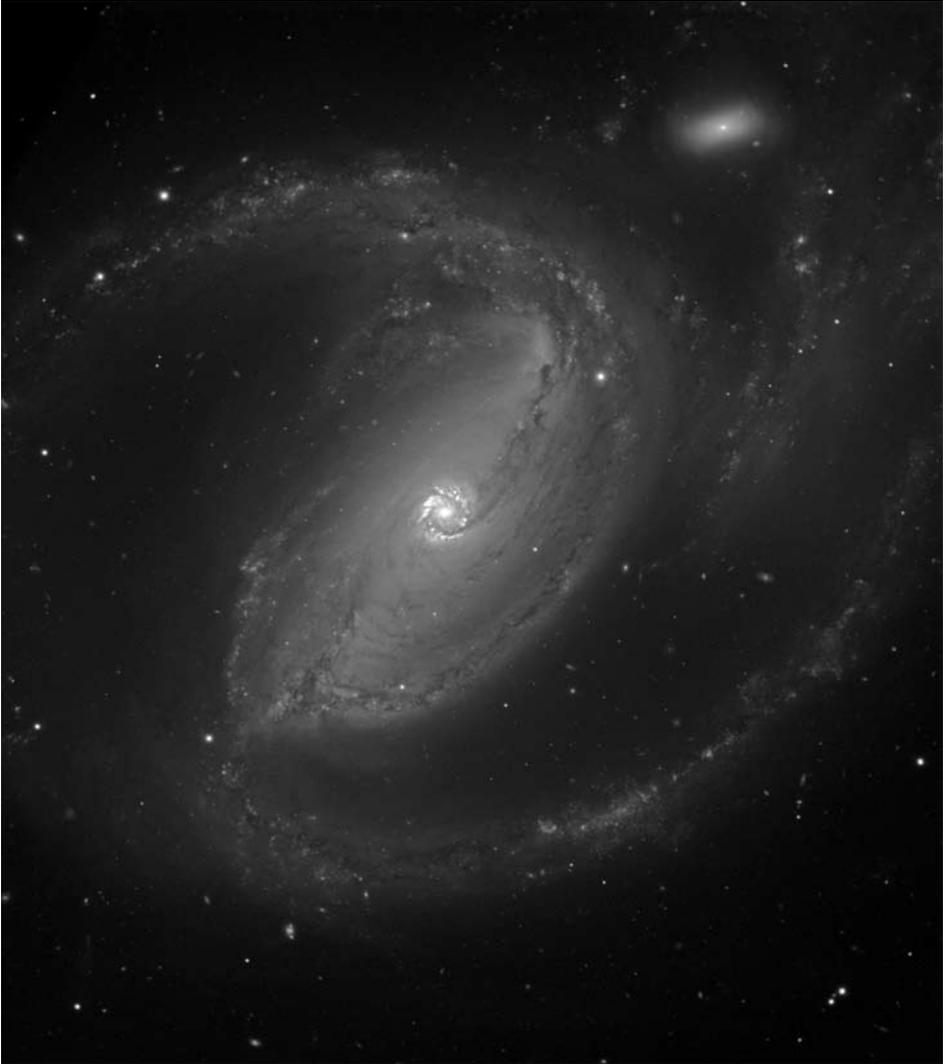
La galaxie d'Andromède a été étudiée en infrarouge par l'observatoire spatial Spitzer. Son aspect est méconnaissable. On y voit de multiples asymétries, une structure spirale complexe, un anneau de formation stellaire excentré... L'interaction avec les galaxies satellites pourrait être à l'origine de ces curiosités.

Les images ci-dessus montrent la galaxie en lumière visible, ainsi que dans des domaines de l'infrarouge de plus en plus lointains.

L'infrarouge lointain montre la poussière froide, celle-là même qui en lumière visible est la cause de l'absorption dans des bandes concentriques.

De l'autre côté du registre des longueurs

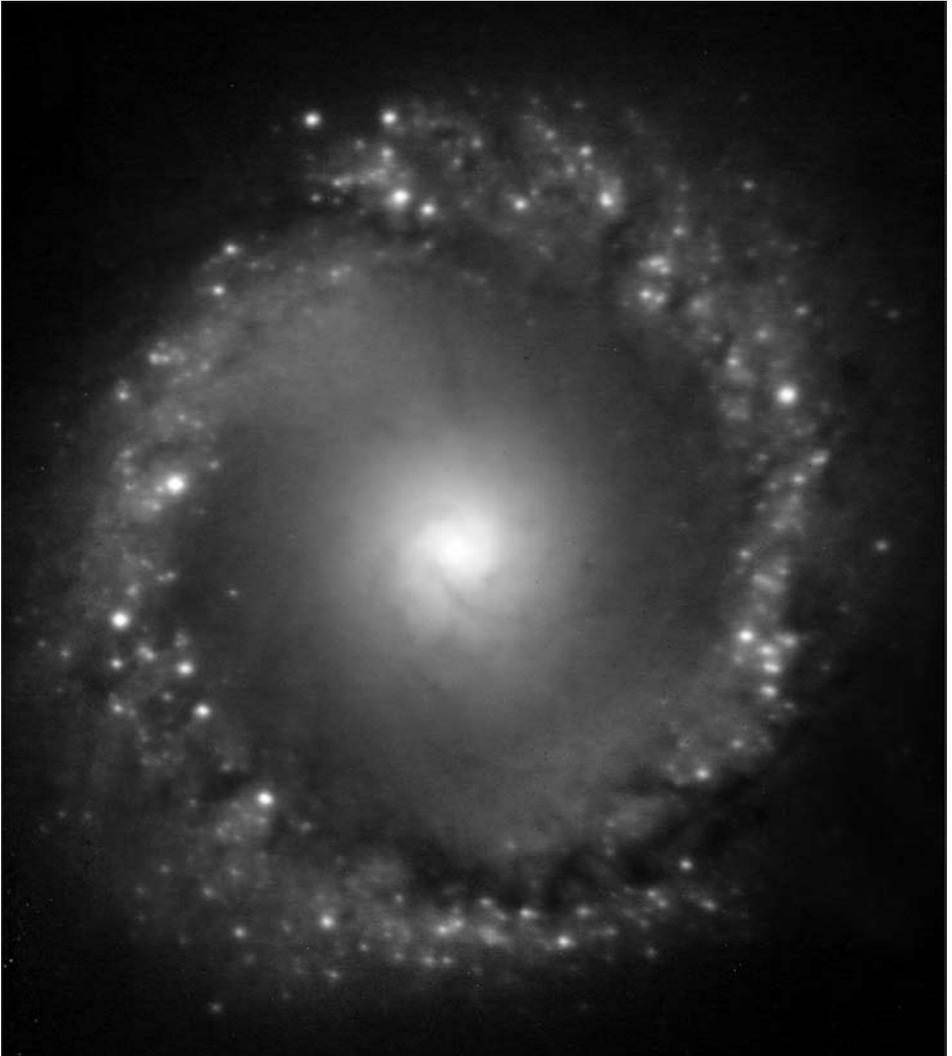




d'onde, le télescope spatial Hubble a permis d'identifier la lueur bleue entourant le trou noir supermassif au centre du noyau de la nébuleuse d'Andromède, M31 (p. 351 en bas). Il s'agit d'une volée de quelques centaines d'étoiles bleues tournant à toute vitesse (des millions de km/h) autour du trou noir. Comment ont-elles pu se former, il y a deux cents millions d'années, dans un environnement aussi peu propice ?

NGC 1097

L'image ci-dessus de cette splendide galaxie a été obtenue avec le télescope VLT de 8m20. Elle couvre environ 7 minutes d'arc. Il s'agit d'un LINER, une version light des galaxies à noyau actif, les AGNs. Un trou noir de quelques dizaines de millions de masses solaire se trouve en son centre, mais il est relativement sous-alimenté de sorte que le noyau de la



galaxie n'est pas extrêmement lumineux.

Un zoom effectué au moyen d'un équipement à optique adaptative, NACO, révèle la structure de la partie centrale (page de droite). Le champ représenté n'est plus que de 25 secondes d'arc. Des bras spiraux semblent indiquer le cheminement de la matière alimentant le trou noir. Un anneau de feu entoure cette structure et comprend 300 zones brillantes de formation stellaire. Le trou noir lui-même

est bien trop petit pour qu'on puisse détailler son environnement immédiat. Les progrès des techniques interférométriques devraient cependant permettre de s'en rapprocher.

L'image de gauche montre que la spirale est barrée, un fait assez courant parmi ce type de galaxie. L'image ci-dessus montre qu'une autre barre, orientée différemment, traverse aussi la partie centrale.