

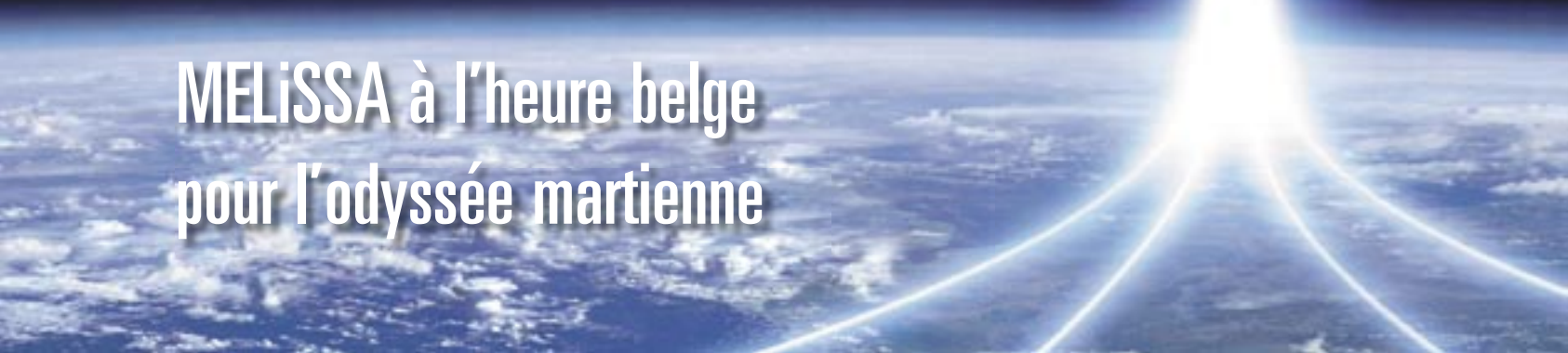
66 *Space* connection



**L'exploration de la planète
Saturne**

**L'Univers "radio" ausculté par
Alma**

**MELiSSA à l'heure belge
pour l'odyssée martienne**



L'exploration de la planète

Saturne

Conquête spatiale d'horizons lointains

Le 14 janvier 2005, une sonde européenne plongeait dans l'atmosphère d'un monde étrange. Jamais auparavant, un atterrissage sur un autre corps céleste aussi éloigné de la Terre n'avait été tenté. On ignorait si la sonde Huygens allait survivre à cet atterrissage et l'endroit précis où elle se poserait, peut-être effectuerait-elle un splashdown dans une mer de méthane et d'éthane liquide... Localisation de l'événement : l'étrange satellite de la planète Saturne, Titan. L'atmosphère de Titan ressemble à celle de la Terre à l'époque où aucune forme de vie ne s'y était encore développée et fait de ce corps céleste l'un des plus étranges de notre système solaire. L'atterrissage de Huygens sur Titan était dès lors un rêve scientifique devenu réalité.

Pendant sa descente, Huygens a photographié deux heures durant la surface de Titan. Elle a par ailleurs étudié l'atmosphère du satellite et a mesuré la vitesse des vents et la pression atmosphérique. En Allemagne, à Darmstadt, à l'European Space Operations Centre (ESOC) de l'ESA, l'agence spatiale européenne, les directeurs de vol ont pu constater que Huygens avait survécu à son atterrissage sur Titan. Pas de splashdown. L'extérieur du vaisseau spatial parsemé de cailloux affichait une couleur orangée et a ainsi écrit son nom dans l'histoire de la conquête spatiale.

Huygens accompagnée de la sonde américaine Cassini avait commencé son voyage vers Saturne le 15 octobre 1997. Après des petits détours par Vénus, en repassant par la Terre et Jupiter, le duo a finalement rejoint l'orbite de Saturne le 1er juillet 2004. Le 25 décembre 2004, à 1,25 milliard de kilomètres de la Terre, Huygens s'est détachée de Cassini pour poursuivre sa route vers Titan. Lorsque Cassini a orienté son antenne principale vers la Terre et que 67 minutes plus tard la Terre a reçu les données enregistrées, la réussite de la séparation des deux vaisseaux a été confirmée.

Cassini-Huygens est une collaboration entre les agences spatiales américaine, européenne et italienne, NASA, ESA et ASI. Toujours en orbite autour de Saturne, le vaisseau principal Cassini continue à scruter la planète aux superbes anneaux et ses fascinants satellites. Ce dossier dévoile quelques-uns des plus beaux clichés.

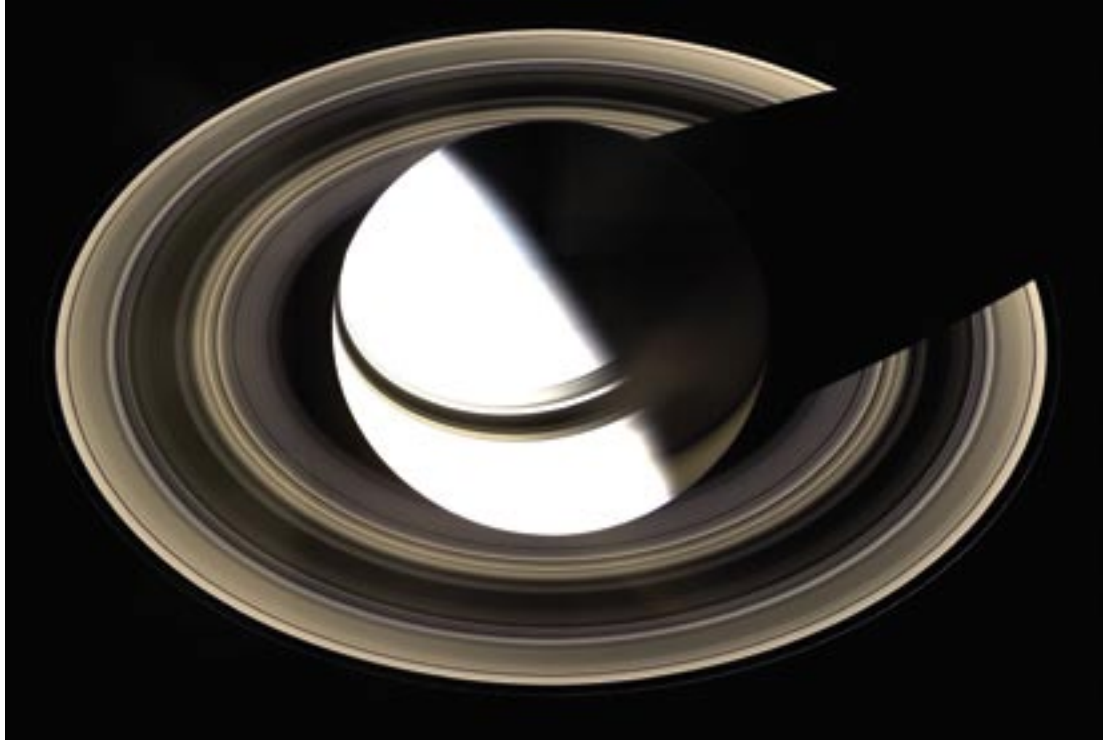


*Comparaison entre
Saturne et la Terre.*
© NASA

Saturne dans toute sa splendeur. Cette mosaïque de 36 photos a été réalisée par la sonde Cassini le 19 janvier 2007 à une distance de 1,23 million de kilomètres de Saturne.
© NASA/JPL/Space Science Institute



Impression de Huygens sur la surface de Titan, basée sur des données transmises le 14 janvier 2005 par la sonde européenne.
© ESA



La sixième planète

Déjà dans l'antiquité, Saturne et les planètes Mercure, Venus, Mars et Jupiter étaient connues et, partant du Soleil, Saturne est la sixième planète. A l'image de Jupiter, Uranus et Neptune, c'est un géant gazeux composé principalement d'hydrogène (75%) et d'hélium (25%). La planète a probablement un noyau rocheux entouré d'un manteau d'hydrogène métallique (hydrogène liquide qui, à très haute pression, présente les propriétés d'un métal et est un excellent conducteur), auquel succède un manteau extérieur d'hydrogène liquide et d'hélium, surplombé d'une atmosphère gazeuse. La transition entre la partie liquide et gazeuse est progressive et Saturne n'a dès lors pas de 'surface' réelle. Saturne dispose d'un champ magnétique, dont l'origine se situe probablement dans le manteau métallique. A l'équateur, sa puissance est 20 fois inférieure à celle de Jupiter et légèrement inférieure à celle de la Terre.

Tout comme Jupiter, Saturne dégage plus d'énergie qu'elle n'en reçoit du soleil, trois fois plus en réalité. Tout comme pour Jupiter, ce phénomène s'explique par le fameux méca-

nisme de Kelvin-Helmholtz (le noyau du corps céleste se réchauffe à la suite du refroidissement provoqué par une hausse de pression). A la différence de Jupiter, il y a également l'influence de la descente progressive de l'hélium plus lourd. De l'énergie gravitationnelle est ainsi libérée. La chaleur produite irradie sous la forme de rayons infrarouges et dicte le climat dans l'atmosphère saturnienne. Ce mécanisme explique aussi la présence nettement inférieure d'hélium dans l'atmosphère de Saturne (environ 5%) par rapport à celle de Jupiter.

La vitesse de rotation de Saturne est particulièrement élevée. En 1980 et 1981, s'appuyant sur les ondes radio, les sondes spatiales Voyager ont mesuré une durée de 10 heures et 39 minutes. Cependant, la question n'est pas définitivement tranchée. Des mesures du champ magnétique réalisées par Cassini révèlent une durée de rotation de 10 heures et 47 minutes. Mais les fluctuations radio et magnétiques sont probablement à dissocier de la durée de rotation réelle. Les dernières estimations, publiées en septembre 2007 évoquent une période de rotation de 10 heures et 32 minutes. A la suite de cette période de rotation plus brève, le noyau de Saturne serait plus petit que les 10 à 20 masses terrestres qui lui ont été attribuées jusqu'à présent.

Très bizarrement, Saturne est la seule planète qui serait capable de flotter sur l'eau. Sa très faible densité, sa rotation rapide et son état liquide donnent à la planète une forme quelque peu aplatie. Avec des écarts de diamètre de 10 % entre l'équateur et les pôles, Saturne est la planète la plus 'plate'.

Recherche spatiale captivante: les sondes spatiales Cassini (à droite) et Huygens (en bas, au centre) proches de Saturne et de Titan.
© NASA/JPL



Saturne sur l'internet

De nombreuses informations et photos sur la mission Cassini-Huygens sont disponibles sur les sites de l'ESA et de la NASA, excellent point de départ vers d'autres liens.

saturn.esa.int
saturn.jpl.nasa.gov

Le Sénat belge récompense la recherche Huygens

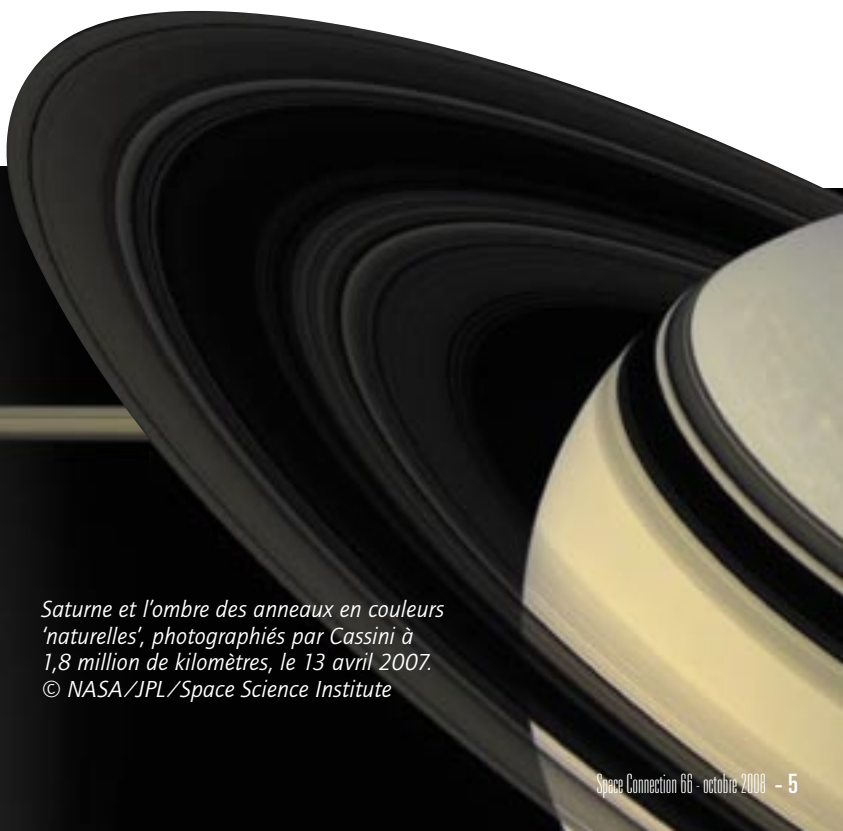
En 2005, le Sénat belge a décerné son prix Odissea de 8000 euros à Alain Sarlette (24 ans) originaire de Weywertz (Communauté germanophone) pour ses recherches sur le comportement de la sonde spatiale Huygens lors de son

atterrissage sur le satellite de Saturne, Titan, le 14 janvier 2005. Il a tenté de reconstituer l'orientation de la sonde à différentes altitudes. Dans un travail de fin d'études, Arnaud Maguette, autre lauréat, a étudié les éclairs sur Titan.

A ce jour, quatre sondes spatiales seulement ont rendu visite à Saturne. Les sondes américaines Pioneer 11, Voyager 1 et Voyager 2 l'ont survolée respectivement en 1979, 1980 et 1981. Depuis le 1er juillet 2004, Cassini est le premier vaisseau spatial en orbite autour de Saturne.

Avant Cassini, Pioneer 11 et surtout les sondes Voyager ont largement enrichi nos connaissances sur la planète. Dans les couches supérieures de l'atmosphère de Saturne, elles ont mesuré des vents atteignant 1800 kilomètres par heure, vitesse parmi les plus élevées du système solaire. Ces vents extrêmement rapides, associés à la chaleur remontant de l'intérieur de la planète produisent des anneaux jaunâtres dans l'atmosphère. Mais ces anneaux sont moins nettement visibles que ceux du géant gazeux Jupiter. Il a fallu attendre les sondes Voyager pour pouvoir étudier parfaitement les détails de l'atmosphère saturnienne. Sur Saturne règne une température de -185°C . Sur des images infrarouges, des astronomes ont découvert la présence d'un vortex polaire au pôle sud de Saturne, où il y a 60° de plus qu'ailleurs. Sur Terre, Jupiter, Mars et Venus, ces phénomènes similaires affichent une température inférieure à celle de leur environnement.

La perle limpide du satellite Encelade avec Saturne et les anneaux en arrière-plan. Cliché pris par Cassini à 200 000 kilomètres d'Encelade, le 17 janvier 2006.
© NASA/JPL/Space Science Institute



Saturne et l'ombre des anneaux en couleurs 'naturelles', photographiés par Cassini à 1,8 million de kilomètres, le 13 avril 2007.
© NASA/JPL/Space Science Institute



Cassini et Huygens (le disque rond au centre) durant des tests avant le lancement en 1997.
© NASA

Carte d'identité de Saturne

<i>Diamètre</i>	120.536 kilomètres (à l'équateur) 108.728 kilomètres (aux pôles)
<i>Aplatissement</i>	1/10,21
<i>Masse</i>	5,685x10 ²⁶ kilogrammes (95 fois la masse terrestre)
<i>Volume</i>	8,271x10 ¹⁴ kilomètres cubes (764 fois le volume de la Terre)
<i>Période de rotation sidérale (jour)</i>	10 heures 47 minutes
<i>Densité</i>	0,687 gramme par mètre cube (inférieure à l'eau!)
<i>Inclinaison de l'axe</i>	26,73 degrés
<i>Période de révolution solaire (année)</i>	29,45 jours terriens
<i>Distance du soleil</i>	entre 1,35 et 1,51 milliard de kilomètres
<i>Distance de la Terre</i>	minimum 1,2 milliard de kilomètres
<i>Satellites</i>	60 (situation juillet 2007)
<i>Température (moyenne)</i>	-185 degrés Celsius
<i>Atmosphère</i>	majorité d'hydrogène (96%), hélium (3%) et méthane (0,4%)
<i>Visiteurs</i>	Pioneer 11 (passage le 1 septembre 1979) Voyager 1 (passage le 12 novembre 1980) Voyager 2 (passage le 25 août 1981) Cassini-Huygens (en orbite autour de Saturne le 1 juillet 2004, Atterrissage de Huygens sur Titan le 14 janvier 2005)



*Le petit satellite berger Pan d'à peine 26 kilomètres de diamètre dans la division Encke des anneaux de Saturne. Ces images ont été prises par Cassini le 16 décembre 2006 à 779 000 kilomètres de Pan.
© NASA/JPL/Space Science Institute*

Ces photos prises par le télescope spatial Hubble entre 1996 et 2000 révèlent une vision différente des anneaux, vus depuis la Terre.
© Space Telescope Science Institute

quée par la force d'attraction du petit satellite Mimas qui 'nettoie' littéralement cette zone. En 1981, la sonde spatiale américaine Voyager 2 a observé la présence de petites particules dans cette zone de séparation.

Au 19ème siècle, la division d'Encke, du nom de l'astronome allemand Johann Franz Encke (1791-1865), large de 325 kilomètres a été découverte à l'intérieur de l'anneau A et à l'intérieur de cette division, la sonde Cassini-Huygens a identifié un étroit anneau incomplet. Le 'petit satellite berger' Pan d'une taille de 20 kilomètres gravite autour de la planète dans la division. Cela assure une ouverture permanente du trou. Grâce à leur pesanteur, ces satellites bergers maintiennent les particules d'un anneau autour de la planète ou assurent les divisions entre anneaux. Les télescopes terrestres et les observations de Saturne des sondes spatiales Voyager 1 et 2 ont permis de découvrir d'autres divisions dans le système d'anneaux et les différents anneaux sont à présent identifiés par les lettres de A à G. Les sondes Voyager ont révélé que les anneaux de Saturne sont en réalité composés de milliers d'anneaux individuels séparés par d'infimes divisions. Leur épaisseur ne dépasse pas un kilomètre et ils sont composés de morceaux et de fragments de glace et de matière.

Les sondes Voyager ont observé d'étranges structures, comme l'anneau F 'tressé' maintenu par les petits satellites bergers Prométhée et Pandore. Cassini-Huygens a notamment découvert des micro-satellites traînant dans le sillage des anneaux de Saturne et qui sont considérés comme le chaînon manquant entre la matière dans les anneaux et les plus grands satellites de Saturne. Ils semblent démontrer que les anneaux sont le produit de comètes, planétoïdes ou satellites désintégrés.

Si, vu depuis la Terre, nous observons le côté des anneaux, il est possible que nous découvriions encore d'autres petits satellites de faible intensité lumineuse. Ce fut notamment le cas en 1966 avec le mini-satellite Janus. Les dernières observations des côtés des anneaux remontent à 1980 et 1995; les prochaines se dérouleront en 2009 et 2024.

Les superbes anneaux

Même si les autres planètes gazeuses comme Jupiter, Uranus et Neptune ont des anneaux, ceux de Saturne sont les plus célèbres. En 1610, à l'aide d'un télescope rudimentaire, le physicien, mathématicien et astronome italien Galileo Galilei (1564-1642) a observé que Saturne n'était pas un corps céleste unique, mais qu'il y en avait trois se touchant presque. Ce n'est qu'en 1656 que le Hollandais Christiaan Huygens (1629-1695) suggéra qu'il s'agissait en réalité d'un anneau (solide) autour de Saturne. Il a fallu attendre 1856 pour que l'Écossais James Clerk Maxwell (1831-1879) – célèbre pour avoir donné son nom aux comparaisons à l'origine de la théorie électromagnétique – arrive à la conclusion que cet anneau était composé d'un 'nombre indéterminé de particules isolées'. En 1675, l'Italien Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) constate que l'anneau est formé de deux parties, distantes entre elles de 4700 kilomètres environ, parfaitement visibles à l'aide d'un petit télescope. On découvrira plus tard que cette division entre l'anneau extérieur A et l'anneau intérieur B est provo-

Cette superbe image panoramique réunit 165 clichés de Saturne et de ses anneaux, effectués par Cassini le 15 septembre 2006. Cassini ayant passé près de 12 heures dans l'ombre de Saturne, des particules microscopiques ont pu être observées de manière exceptionnelle dans les anneaux. 2,2 millions de kilomètres séparaient Cassini de Saturne.
© NASA/JPL/Space Science Institute

La Belgique et Cassini-Huygens

Notre pays est partie prenante au projet Cassini-Huygens à différents titres. C'est l'occasion de se livrer à des recherches de haut niveau. Véronique Dehant (Observatoire Royal de Belgique) se charge essentiellement de géodésie et géophysique et plus particulièrement de la rotation de la terre, Mars et Mercure et de l'étude de l'intérieur de ces planètes. Elle a décroché plusieurs distinctions internationales et est l'auteur de dizaines d'articles publiés dans des revues internationales de premier plan. Elle a notamment participé aux projets ESA consacrés à l'étude de Mercure (BepiColombo), Vénus (Venus Express) et Mars (Mars Express). L'ESA lui a par ailleurs demandé d'analyser des données de Huygens afin d'étudier la géodésie de Titan.

Jean-Claude Gérard (Laboratoire de Physique Atmosphérique et Planétaire, LPAP) de l'ULg est co-chercheur dans le cadre de l'Ultraviolet Imaging Spectrograph (UVIS) installé à bord de l'orbiteur Cassini. UVIS est l'un des 12 instruments embarqués à bord de Cassini. Il mesure la lumière ultraviolette dans le système saturnien. Ces données apportent des informations sur la composition atmosphérique et la photochimie de Saturne et Titan ainsi que sur la nature et l'évolution des anneaux de Saturne. Jean-Claude Gérard est également responsable de l'analyse des données sur les aurores polaires de la magnétosphère de Saturne. Dans ce domaine, le LPAP est considéré comme un précurseur. Après avoir étudié les aurores polaires sur terre et Jupiter, les chercheurs liégeois se sont tournés vers Saturne. Grâce au télescope spatial Hubble et à la sonde Cassini, ils ont réussi à étudier les impressionnants jeux de lumière générant les aurores polaires sur Saturne. A cette occasion, ils ont découvert un troisième type d'aurore, inconnue sur terre ou sur Jupiter. Cette recherche intéresse non seulement la physique fondamentale mais elle est également liée à la recherche de vie sur des planètes d'autres étoiles. La découverte d'aurores polaires implique pour une planète l'existence d'une atmosphère et d'un champ magnétique. Selon le planétologue de l'ULg Denis Grodent 'La découverte d'aurores polaires équivaut à la découverte de planètes réunissant les conditions requises pour l'apparition de vie'.

D'un point de vue industriel, Thales Alenia Space ETCA a conçu environ 20 kilogrammes d'électronique belge à bord de l'atterrisseur Huygens (correspondant à 6% de la masse de Huygens). Thales Alenia Space ETCA a été chargée du sous-système d'alimentation électrique et du mécanisme pyrotechnique pour le déploiement des parachutes. Près de 60.000 heures de travail ont été nécessaires pour leur mise au point. Sans les équipements développés à Charleroi, Huygens n'aurait jamais réussi à se poser sur Titan... A Darmstadt, lors de l'atterrissage de Huygens sur Titan le 14 janvier 2005, Patrick Bury, responsable du projet Huygens chez Thales Alenia Space ETCA confiait 'Nous sommes parvenus à maintenir une température de 25°C à bord de Huygens tandis qu'à l'extérieur, la température atteignait -180°C'.

Mentionnons encore Samtech (Liège) qui grâce au computer modelling a testé la séparation entre l'atterrisseur Huygens et le vaisseau principal Cassini et le von Karman Institute for Fluid Dynamics (VKI) qui a effectué des simulations pour l'ESA afin d'évaluer les paramètres du parcours de Huygens dans l'atmosphère de Titan.



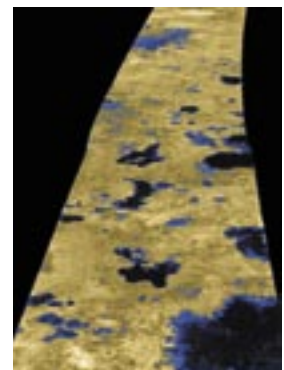
Le plus étrange des satellites de Saturne est Titan, découvert en 1655 par Christiaan Huygens. Le diamètre de Titan atteint 5151 kilomètres et il est par conséquent sensiblement plus grand que notre Lune (diamètre 3476 kilomètres) et plus grand également que la planète Mercure (4880 kilomètres). Dans notre système solaire, il est après le satellite de Jupiter Ganymedes (5262 kilomètres), le plus grand satellite. Il y a un siècle, l'astronome catalan José Comas-Solà (1868-1937) a découvert des indices indiquant que l'atmosphère de Titan était épaisse. Ces suppositions ont été confirmées par l'astronome américain d'origine hollandaise, Gerard Kuiper (1905-1973) durant l'hiver 1943-1944.

Déjà sur les photos prises par les sondes spatiales Voyager, Titan apparaissait sous la forme d'un énorme bol orange dont l'atmosphère masquait la surface. De nombreux scientifiques soupçonnaient l'existence de mers ou de lacs de méthane ou d'éthane liquides sur ce satellite. La mission Cassini-Huygens devait aider à résoudre l'énigme. L'introduction évoque déjà l'exploit de la sonde européenne Huygens. Grâce à son radar et ses observations dans l'infrarouge, lors de dizaines de passages à proximité, le vaisseau principal Cassini a sondé la surface de Titan.

Cassini et Huygens ont confirmé le statut de Titan, c'est-à-dire celui d'un des corps célestes les plus fascinants de notre

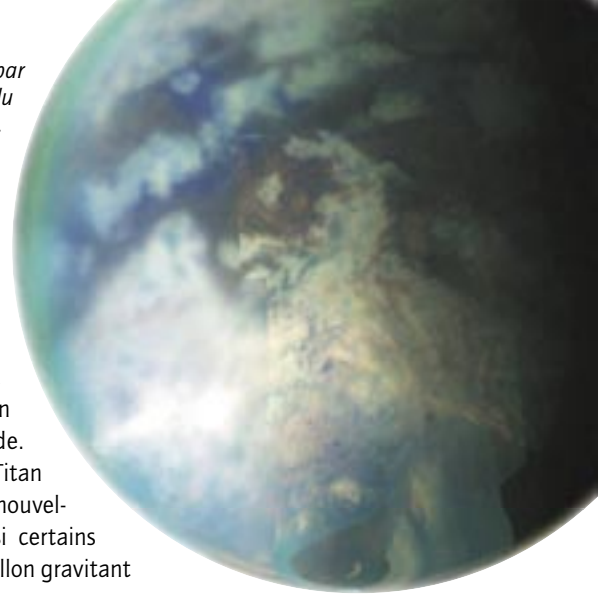


Voici Titan vu par la sonde européenne Huygens lors de sa descente vers la surface du satellite de Saturne.
© ESA/NASA/JPL/University of Arizona



Lacs de méthane liquide observés dans un autre monde par la sonde Cassini le 22 juillet 2006. Cette image en fausses couleurs provient d'images radar enregistrées par Cassini.
© NASA/JPL/USGS

Image composée de Titan, à partir de clichés effectués par Cassini en octobre 2006 à 12.000 et 30.000 kilomètres du satellite. Cassini a permis de dévoiler la surface de Titan.
© NASA/JPL/University of Arizona



système solaire. Les images radar de Cassini ont dévoilé au moins une mer de méthane et d'éthane – aussi grande que la mer Caspienne sur Terre – et une superficie variée constellée de rivières, lacs, coulées de lave, cratères, plaines, chaînes de montagnes et dunes. Sous l'écorce de Titan – probablement composée en majorité de glace d'eau – se trouve probablement un profond océan d'eau liquide mélangée à de l'ammoniac. L'épaisse atmosphère contient principalement de l'azote et rappelle celle de la Terre avant l'apparition de la vie. Les chercheurs sont très curieux de

savoir s'il existe de la vie sur Titan, peut-être dans un éventuel océan interne. Il n'est pas certain que cette question trouve une réponse rapide. Actuellement, il semble que Titan ne soit pas prêt à recevoir de nouvelles visites terrestres, même si certains chercheurs rêvent déjà d'un ballon gravitant dans l'atmosphère de Titan.

Benny Audenaert

Des dizaines de satellites

En dehors de Titan, Saturne compte des dizaines d'autres satellites. Il est difficile d'en préciser le nombre exact, car il y a une zone 'grise' entre ce qui doit être considéré comme un fragment dans les anneaux et un véritable satellite. En 2007, partant des photos prises par la sonde spatiale Cassini, la découverte du 60ème satellite officiel de Saturne a été annoncée. Les dimensions de ce minuscule satellite ne dépassent pas quelques kilomètres. Voici un bref aperçu des satellites d'un diamètre supérieur à 150 kilomètres. Toutes les photos ont été prises par Cassini.

Rhèa (dimensions 1535 x 1525 x 1526 km, demi-grand axe(*) 527.108 km)

Découvert en 1672 par Giovanni Domenico Cassini, tout comme Téthys (1684), Dioné (1684) et Japet (1671). Rhèa est un corps céleste aux innombrables cratères et recouvert en majorité de glace, composé pour 25% de roches et pour 75% de glace d'eau. Des 'sinuosités' d'un blanc éclatant sont visibles à la surface, il s'agit probablement de falaises de glace.



© NASA/JPL/Space Science Institute

Japet (1494 x 1498 x 1425 km, 3.560.820 km)

Japet est un satellite très étrange avec la zone sombre de Cassini Regio et la zone claire de Roncevaus Terra, raison pour laquelle Japet est parfois qualifié de yin-yang du système solaire. Il est probablement constitué en grande partie de glace et de 10% de roches. Une crête unique observée à l'équateur donne au satellite la forme d'une noix. On dénombre de nombreux cratères sur Japet, dont l'un affiche un diamètre de plus de 500 kilomètres.



© NASA/JPL/Space Science Institute

Dioné (1128 x 1122 x 1121 km, 377.396 km)



Ce satellite est lui aussi composé en majorité de glace d'eau, mais l'intérieur contient près de 50% de roches (silicate). Dioné ressemble à Rhèa et compte également de multiples cratères et falaises de glace.

© NASA/JPL/Space Science Institute

Téthys (1081 x 1062 x 1055 km, 294.619 km)

Téthys est probablement presque entièrement composé de glace d'eau et ressemble à Dioné et Rhèa. La surface présente de nombreux cratères et failles dans la glace. Dans l'hémisphère occidentale on distingue l'énorme impact d'Odysseus avec un cratère d'un diamètre de 400 kilomètres (2/5 de la totalité du satellite). La vallée Ithaca Chasma a 100 kilomètres de large, 2000 kilomètres de long et entre 3 et 5 kilomètres de profondeur.



© NASA/JPL/Space Science Institute

Encelade (513 x 503 x 497 km, 237.950 km)

Découvert en 1789 par William Herschel (1738-1822) et l'un des objets les plus étranges du système solaire. Des observations de la sonde Cassini ont révélé la présence d'une atmosphère. Il y a d'anciennes régions parsemées de nombreux cratères et des terrains de formation tectonique plus récente. Au-dessus du pôle sud du satellite, Cassini a découvert l'existence d'un plumet riche en eau, confirmant l'activité géologique d'Encelade. De l'eau liquide se dissimule probablement sous la surface, ouvrant des perspectives quant à l'éventuelle existence de vie. Encelade gravite dans la partie la plus proche de l'anneau extérieur diffus E et celui-ci doit probablement son existence à ce fameux plumet cryovolcanique.

© NASA/JPL/Space Science Institute



(*) de l'orbite elliptoïde du satellite autour de Saturne.

Au camp de base d'Alma,
les antennes du radiotélescope
sont assemblées et testées.
© C.D.B.

Mimas (415 x 394 x 381 km, 185.404 km)

Egalement découvert par William Herschel en 1789. Il est essentiellement composé de glace d'eau et d'une petite quantité de roches. Des forces marémotrices donnent au satellite une forme ellipsoïde plutôt que ronde. Le cratère Herschel a un diamètre impressionnant de 130 kilomètres. Lorsqu'il est appa-



ru, Mimas a échappé de peu à la désintégration. Mimas 'élimine' par ailleurs la matière présente dans la division Cassini séparant les anneaux A et B de Saturne.

© NASA/JPL/Space Science Institute

Hypérion (360 x 280 x 225 km, 1.481.010 km)

Découvert en 1848. Ce satellite de forme particulièrement irrégulière est l'un des plus grands corps célestes de notre système solaire et sa rotation est assez chaotique. Il s'agit peut-être d'un fragment d'un corps céleste plus important ayant éclaté lors d'une collision. Hypérion est aussi probablement composé de glace d'eau et d'une petite quantité de roches. Les nom-



breux cratères profonds aux bords abrupts donnent au satellite l'apparence d'une éponge. Hypérion est très poreux et est probablement constitué pour 40% de...vide.

© NASA/JPL/Space Science Institute

Phoebé (230 x 220 x 210 km, 12.869.700 km)

Découvert en 1899. Contrairement à la majorité des autres satellites internes de Saturne, Phoebé qui gravite très loin de Saturne est extrêmement sombre. La surface est endommagée par des cratères d'un diamètre pouvant atteindre 80 kilomètres. De grandes quantités de glace d'eau se trouvent proba-



blement sous la surface obscure du satellite. Phoebé pourrait être un Centaure capturé par Saturne. Les Centaures sont des planétoïdes de glace gravitant autour du soleil entre les planètes Jupiter et Neptune.

© NASA/JPL/Space Science Institute

Janus (193 x 173 x 137 km, 151.472 km)

Janus (découvert en 1966) gravite autour de Saturne à peu près sur la même orbite que le satellite Epimétheus et à l'origine, les astronomes ignoraient qu'il s'agissait de deux objets différents. Janus est probablement un corps céleste très poreux et glacé.



© NASA/JPL/Space Science Institute

Une liste complète des satellites de Saturne peut être consultée sur:
en.wikipedia.org/wiki/Saturn's_natural_satellites



L'Univers "radio" ausculté par Alma

A plus de 5000 mètres d'altitude, au cœur du désert d'Atacama, le désert le plus sec de la planète, l'audacieux et le plus grand radiotélescope jamais imaginé par des astronomes est en train de devenir une réalité! Ce gigantesque projet, baptisé Alma (Atacama large millimetre array), est le fruit d'une collaboration entre l'Europe, représentée par l'ESO (Observatoire austral européen, dont la Belgique est un des membres fondateurs), les États-Unis (représentés par la NSF, National Science Foundation, et NRAO, National Radio Astronomy Observatory) et le Japon (via le NINS, National Institute for Natural Sciences épaulé par le NAOJ, National Astronomy Observatory of Japan) auquel est associé Taiwan. Ceci, bien sûr, en parfaite coopération avec le Chili.

Au Llano de Chajnantor, un (très) haut plateau de la cordillère des Andes chiliennes, plus de 600 ouvriers, ingénieurs et scientifiques sont à pied d'œuvre depuis des mois. Non loin de la frontière avec la Bolivie et l'Argentine, juste au nord du Tropique du Capricorne, ils préparent le terrain en altitude, tirent des fibres optiques, coulent des socles de béton.

Plus bas, au camp de base installé juste sous la barre des 3000 mètres pour d'évidentes raisons de confort du personnel, on retrouve le "village Alma". Il comprend notamment les ateliers et les centres d'assemblage des 66 antennes paraboliques qui formeront le fameux télescope mais aussi les lieux de vie des astronomes qui bientôt "écouteront" l'univers radio... Reportage entre ciel et Terre.

Chajnantor

un véritable «paradis»... pour radiotélescopes submillimétriques!

L'Altiplano de Chajnantor, c'est un peu la Lune. Les paysages qu'offre le site sont absolument désertiques, d'une aridité extrême mais surtout, d'une altitude plus qu'inconfortable pour le commun des astronomes... C'est dans cet endroit magique, à plus de 5000 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans les Andes chiliennes où l'air ultra-sec est deux fois moins dense qu'au niveau de la mer, que le projet Alma a élu domicile.

Le "Llano de Chajnantor" se situe à une cinquantaine de kilomètres du village de San Pedro d'Atacama, un des trois principaux sites touristiques du Chili avec l'île de Pâques et la Patagonie. L'accès à l'observatoire est bien entendu strictement réglementé. Dès qu'on quitte la route publique, un garde surveille le trafic qui emprunte le long chemin privé qui grimpe vers la montagne: une route de terre de 43 kilomètres.

Le nouvel observatoire occupe deux niveaux distincts sur la montagne. Le camp de base qui accueille le gros des équipes techniques et scientifiques (600 personnes environ y vivent pour le moment), est implanté à quelque 2900 mètres et à 15 km à peine de la route publique. Une altitude qui reste "confortable" pour les ouvriers, techniciens, ingénieurs, scientifiques et autre personnel administratif et logistique qui vivent là pendant plusieurs jours de suite avant de rentrer chez eux. On y trouve des bureaux, des logements et une cantine ainsi que les bâtiments techniques destinés à accueillir les antennes en construction, en test ou en révision. Quand le radiotélescope sera exploité en mode opérationnel, c'est ici que séjourneront les scientifiques.

Le site d'installation même des antennes du radiotélescope est lui planté quelque 28 kilomètres plus loin mais surtout, deux mille mètres plus "haut", sur l'Altiplano même! Ici, on construit le vaste bâtiment qui renfermera un jour le corrélateur: un super-ordinateur qui va recueillir les informations des 66 antennes qui composeront le télescope et en sortir des informations pertinentes.

Le radiotélescope fonctionnera en effet comme un gigantesque interféromètre. C'est-à-dire qu'il combinera les signaux reçus par plusieurs antennes (voire l'ensemble de ses antennes) pour obtenir une image globale plus précise de l'objet observé. Cette image est équivalente à celle d'un télescope unique de dimensions similaires se trouvant à la plus grande distance comprise entre les diverses antennes d'Alma.

Le bâtiment du corrélateur disposera aussi d'un refuge d'urgence pour le personnel du site travaillant à cette altitude. En cas de tempête ou de conditions imprévues (importantes chutes de neige ou pannes de véhicule par exemple), il pourra héberger, nourrir et "oxygéner" quelques personnes pendant plusieurs jours.

Au total, l'observatoire comptera donc 66 antennes. C'est-à-dire 50 antennes américano-européennes formant le radiotélescope Alma et 16 antennes japonaises. Les 50 antennes d'Alma sont fournies pour moitié par l'ESO et ses partenaires industriels (Alcatel Alenia en Italie) et pour moitié par les Etats-Unis.

Tout à côté d'Alma, les astronomes japonais vont ériger 16 antennes complémentaires: quatre de 12 mètres de diamètre et douze de 7 mètres. Cet "Atacama compact array" pourra fonctionner à la demande en même temps qu'Alma et en améliorer encore l'efficacité ou alors fonctionner de manière indépendante. Chacune des 50 paraboles d'Alma affichera un diamètre de 12 mètres. Selon la répartition des antennes sur le site, ces 50 unités seront concentrées dans un périmètre de quelques centaines de mètres de diamètre ou, au contraire, en fonction des observations prévues, pourront être dispersées dans un périmètre de 18 kilomètres. Au total, 192 socles de béton vont être coulés dans le désert pour accueillir, suivant les programmes d'observation et la configuration du télescope, les antennes de l'observatoire.

Pour l'instant, les premières antennes commencent à être assemblées au camp de base. Quatre antennes japonaises et quatre américaines attendaient en novembre dernier à l'OSF ("Operations Support Facilities", soit le camp de base) d'être acheminées sur le haut plateau. Mais pourquoi donc cet endroit hostile et à l'environnement extrême intéresse-t-il tellement les astronomes? Précisément à cause de ses caractéristiques physiques!



Le désert le plus aride de la planète n'est pas toujours « sec ». Des torrents intermittents creusent de profonds canyons dans les contreforts des Andes.
© C.D.B.

A l'ombre du volcan Licancabur, dont le cône parfait est omniprésent dans cette partie de l'Atacama, le camp de base abrite aussi des logements pour le personnel.

© C.D.B.

Alma est l'acronyme de "Atacama large millimetre array" ou "Grand réseau (de télescopes) (sub)millimétriques". Cela signifie que les astronomes vont ici concentrer leurs observations de l'univers dans le domaine des rayonnements électromagnétiques dont la longueur d'onde est millimétrique et/ou submillimétrique. Plus précisément pour des longueurs d'ondes comprises entre 0,3 et 9,6 millimètres.

A titre de comparaison, signalons que le rayonnement visible par l'œil humain, la "lumière" habituellement observée dans les observatoires astronomiques classiques, affiche une longueur d'onde comprise en 360 et 700... nanomètres. L'observation du ciel dans le domaine millimétrique et sub-



millimétrique n'est possible sur Terre que dans des sites exceptionnels. Notre atmosphère et son humidité jouent en effet un rôle protecteur contre ce type de rayonnement. Au niveau de la mer, l'épaisse couche atmosphérique humide empêche les rayonnements électromagnétiques de ce type de longueurs d'onde d'arriver jusqu'au sol. A 5000 mètres d'altitude, cette "fenêtre" du spectre s'ouvre cependant sur le ciel.

Univers froid

Alma permettra donc certains types d'observations qui ne sont pas accessibles aux télescopes optiques. Son domaine de prédilection portera sur "l'univers froid". Celui qui ne rayonne pas comme les étoiles. Il s'agit par exemple des régions poussiéreuses de l'Univers, là où des étoiles et des systèmes planétaires peuvent prendre naissance.

Les mouvements de ces disques de gaz froids de protoétoiles et de protoplanètes intéressent tout particulièrement les astronomes. Alma pourra suivre ces mouvements jusqu'à

des distances de quelque 150 parsecs (Un parsec correspond à une distance de 3,26 années-lumière ou, environ, 31 mille milliards de kilomètres). Ce qui permettra l'étude des structures physiques, magnétiques et chimiques de ces nuages véritables "pépinières d'étoiles".

Avec une résolution 10 fois meilleure que celle du télescope spatial Hubble par exemple, Alma va ainsi être capable de produire des images détaillées de la formation des étoiles et des planètes. Comme Alma n'est pas sensible aux objets chauds, il ne sera pas gêné par l'éclat des étoiles et pourra directement détecter des exoplanètes, et pourquoi pas des planètes de la masse de la Terre autour d'étoiles proches. Et grâce à son spectrographe à haute résolution, il pourra même analyser leur atmosphère afin d'y chercher des indices de vie.

Une autre cible de prédilection de cet observatoire concernera les régions du ciel à grand redshift, le décalage dans le rouge des objets situés aux confins de l'Univers, un décalage qui dénote leur grand âge. Dans le cas de nuages de poussières et des gaz froids, les observations seront basées sur des ondes réémises. C'est en observant ces poussières et autres gaz froids à la lumière des étoiles et des galaxies chaudes situées derrière eux que les astronomes en obtiendront des images. Les régions froides absorbent une partie de l'énergie des étoiles pour ensuite la réémettre dans une autre longueur d'onde.

Cela explique aussi pourquoi les détecteurs des antennes devront travailler à des températures extrêmement basses. Ces détecteurs seront enfermés dans des cryostats, des "chambres froides" sous vide dont la température de travail tournera autour de - 250 degrés Celsius.



En altitude, juste sous l'antenne Apex, des « pénitents blancs » accueillent les visiteurs. Il s'agit de restes de névés dont la neige se sublime sous l'effet du Soleil et dont les dernières plaques sont finement ciselées par le vent.

© C.D.B.



Vingt-huit roues dans le désert. Les deux transporteurs d'antennes d'Alma, sont désormais à pied d'œuvre, au Chili. (ESO) Chacun peut emmener à 5000 m d'altitude des charges d'une centaine de tonnes.

Otto et Lore

les deux colosses de la montagne

Il s'appelle Otto. Elle s'appelle Lore. Ce sont de véritables colosses et pourtant, ils n'ont rien d'humain. Otto et Lore sont deux super-camions à 28 roues: des transporteurs d'antennes du projet. Ils feront la navette entre le camp de base et l'Altiplano. D'abord pour amener à pied d'œuvre les 66 antennes du télescope. Ensuite pour les déplacer suivant les configurations requises par les programmes d'observation. Et enfin aussi pour les redescendre tous les deux ans vers le camp de base afin d'y réaliser des entretiens techniques et d'éventuelles réparations.

Ces camions gigantesques (ils ressemblent à de monstrueux crabes dotés de deux "bras musclés"), mesurent 10 mètres de large pour 20 m de long et 6 m de haut. Le tout pour une masse de quelque 130 tonnes. Ils disposent chacun de 28 roues et peuvent rouler "à vide" à une vitesse de quelque 20 km/h. Une fois en charge, ces camions pourtant dotés de deux moteurs diesel de 500 kW (aussi puissant qu'une

Formule 1) voient leur vitesse de croisière chuter à 12 km/h. Il faut dire que la charge en question sera chaque fois de 115 tonnes et que ces engins vont devoir travailler dans un environnement moitié moins riche en oxygène que ce que nous connaissons au niveau de la mer. Bref: des conditions extrêmes, y compris pour les moteurs!

Une précision encore, ces énormes engins afficheront aussi une extrême... délicatesse. On attend d'eux qu'ils puissent déposer leur fardeau sur leurs socles de l'Altiplano avec une précision de l'ordre de quelques millimètres. Les deux transporteurs ont été baptisés Otto et Lore. Un clin d'œil? Sans aucun doute. Mais alors au savoir-faire technique de l'industrie européenne. Otto est le prénom de M. Rettenmaier, le propriétaire de l'entreprise allemande Scheuerle qui a été chargée de construire ces deux transporteurs d'antennes! Lore est son épouse. Des transporteurs qui devraient arriver au Chili dans le courant de l'année 2008.

Trois questions à Massimo Tarenghi ex-directeur du projet Alma

S.C: Quand Alma sera-t-il opérationnel?

M.T: Alma devrait réellement commencer à faire de la science fin 2010 avec les premières antennes installées sur le plateau de Chajnantor. Il devrait y avoir à ce moment-là entre 12 et 16 antennes opérationnelles. Fin 2012, Alma devrait être totalement opérationnel, avec le réseau principal de 50 antennes (avec une extension possible dans le futur) et le réseau additionnel japonais de 16 antennes.

SC: Précisément, que va apporter comme bénéfice supplémentaire l'utilisation croisée d'Alma avec le réseau japonais voisin?

M.T: ACA (Atacama Compact Array), qui est le nom du réseau de 16 antennes japonaises, est essentiel pour observer des objets étendus de l'Univers, comme par exemple les nuages moléculaires de notre galaxie, ou encore d'autres galaxies, avec une très grande sensibilité, complémentaire à la haute résolution donnée par le réseau principal d'Alma. En d'autres termes et pour schématiser, alors que le réseau principal d'Alma permettra d'observer les détails d'un objet

de l'univers, le réseau supplémentaire lui donnera la capacité d'observer également l'objet tout entier.

S.C: Comment les données d'Alma seront-elles diffusées. Comment le temps d'observation va-t-il être alloué aux partenaires du projet.?

M.T: Le temps d'observation va être partagé entre les différents partenaires, selon leur contribution au projet, et les Chiliens. Selon un accord passé avec le gouvernement du pays, les Chiliens disposeront de 10% du temps d'observation. Le temps restant sera partagé à hauteur de 37,5% pour les Européens, 37,5% pour les Nord-Américains et 25% pour les astronomes Japonais et Taiwanais.

Les astronomes devront soumettre leurs programmes de recherche à un comité d'évaluation, qui répartira ensuite le temps d'observation selon la qualité scientifique des projets présentés, en respectant les pourcentages de temps d'observation entre les différents partenaires. Ensuite, les données appartiendront à l'équipe de recherche pendant une durée d'un an, à l'issue de laquelle elles seront rendues publiques.

Apex, l'éclaireur

Depuis juillet 2005, sur le haut plateau qui accueillera bientôt Alma, une vaste parabole de 12 m de diamètre explore déjà sans relâche le ciel austral. Il s'agit de l'antenne "Apex". Acronyme d'"Atacama Pathfinder EXperiment", cette antenne joue à l'explorateur du ciel millimétrique et submillimétrique. "C'est une idée de génie", s'exclame Massimo Tarengi, qui était le directeur du projet Alma au Chili jusqu'au début de l'année 2008. "Une idée qui est le fruit d'une collaboration entre les Allemands du Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) et les Suédois du Onsala Space Observatory (OSO), situé à 45 km au sud de Göteborg et l'ESO". Les Suédois étaient déjà présents dans l'observatoire de l'ESO situé à La Silla, à 600 km au Nord de Santiago, non loin de la Serena. Dans ce premier observatoire de l'ESO au Chili, ils étaient à l'origine d'un premier radiotélescope: le Sest (Swedish-ESO Submillimetre Telescope), une parabole de 15 m de diamètre dédiée à l'observation millimétrique qui est entrée en service en 1987.

Quand le projet Alma s'est précisé, ils ont très vite proposé avec leurs collègues allemands l'installation d'Apex sur le site du Llano de Chajnantor. Il s'agissait d'une part de valider l'architecture des antennes d'Alma mais aussi, bien avant la mise en service du futur radiotélescope

géant, de se lancer dans l'exploration systématique et à grande échelle des sources millimétriques et submillimétriques les plus intéressantes du ciel austral.

Aujourd'hui, l'impressionnante antenne de 125 tonnes plantée à 5100 m d'altitude fonctionne à plein rendement et livre de nombreux résultats scientifiques. Quand Alma entrera à son tour en service, l'efficacité de ses observations sera optimale... grâce aux données qui auront été engrangées par Apex. Alma saura immédiatement où regarder pour dénicher quelques cibles parmi les plus intéressantes du ciel austral. "Les astronomes européens auront alors quelques longueurs d'avance sur leurs collègues", conclut le directeur du site.



Apex au soleil couchant.

Un écomusée à 3200 m d'altitude

On ne s'en rend pas compte avant d'y mettre réellement les pieds mais la construction d'un nouvel observatoire est une aventure aux multiples facettes, y compris environnementales et culturelles! Les maîtres d'œuvre du projet Alma se sont fait un devoir de respecter l'environnement exceptionnel dans lequel ils s'implantent. Les accords passés avec les autorités chiliennes prévoient d'ailleurs le respect absolu des richesses naturelles et culturelles du site. L'ESO et ses partenaires se plient scrupuleusement à ce prescrit.

Conséquence logique de cet engagement, certains cactus géants appelés ici "cardon" (*Echinopsis atacamensis*) et qui se trouvaient sur le tracé de la route qui serpente entre le camp de base (OSF) et l'Altiplano ont dû être transplantés. Il n'était pas question bien sûr d'abattre ces géants du désert qui ne croissent à l'état naturel qu'entre 3200 et 3800 mètres d'altitude. De tout temps, ces végétaux souvent centenaires et qui affichent des tailles de plusieurs mètres, ont servi de matériau de construction. Aujourd'hui protégés, les visiteurs peuvent les découvrir lors de leur montée vers l'Altiplano, et apprécier de leurs propres yeux leur démesure. Ces géants dépassent sans difficulté les sept mètres de haut!

Autre souci environnemental rencontré par les bâtisseurs d'Alma: la réutilisation des tonnes et des tonnes de gravats arrachés au sommet de la montagne pour niveler le terrain destiné à accueillir le champ d'antennes. "Nous avons dû couper la montagne à trois niveaux différents", précise Massimo Tarengi, le directeur du projet. "Ces morceaux de cailloux ont été réutilisés pour la construction de la route qui grimpe de l'OSF au plateau".

Enfin, et c'est sans doute la partie la plus évidente pour le visiteur: les partenaires d'Alma ont érigé un petit écomusée à quelque 3200 m d'altitude. Quelques panneaux explicatifs en espagnol et en anglais retracent l'histoire d'une "Estancia" occupée jadis temporairement par une famille de bergers: les Cruz. Jusque dans les années 1960, Pedro et Viviano Cruz faisaient paître leurs troupeaux de chèvres, de moutons, d'ânes ou de lamas sur les flancs du Chajnantor. Dans cette petite estancia, une parmi la vingtaine qu'ils fréquentaient régulièrement dans l'Atacama, ils trouvaient refuge pour la nuit ou pour quelques jours.

A noter encore: ce souci de l'ESO et de ses partenaires pour l'environnement exceptionnel qui accueille leur nouvel

observatoire s'est aussi traduit par une étude détaillée des richesses archéologiques de cette portion du désert. Un rapport de 80 pages édité sous forme d'un livre illustré en atteste. Il s'intitule "Huellas en el desierto, Patrimonio Cultural en la Zona del Proyecto Alma" (Des traces dans le désert, Patrimoine culturel dans la zone du projet Alma). En ce qui concerne le patrimoine naturel du site, faune et flore, un second ouvrage a été publié fin novembre 2007: "Cerca del cielo, Patrimonio biológico en la zona de Alma" ("Près du ciel, patrimoine biologique dans la zone d'Alma"). Ce dernier ouvrage est bilingue espagnol-anglais. Les deux documents sont téléchargeables gratuitement au format pdf sur le site web de l'ESO au Chili à l'adresse www.eso.cl

Christian Du Brulle



Juste au dessus du camp de base du projet Alma, l'ancienne « estancia » de la famille Cruz fait désormais partie du petit écomusée. On y retrouve encore les abris utilisés jadis par les éleveurs ainsi que les enclos qui accueillent leurs troupeaux.

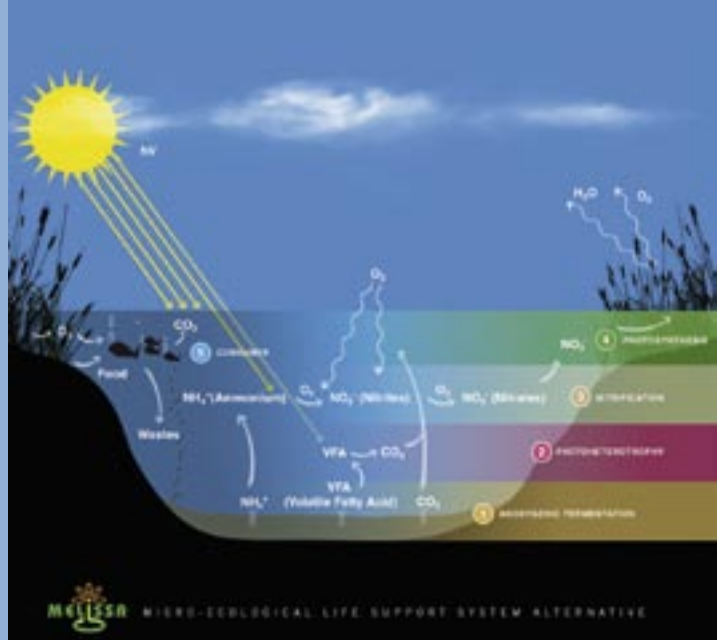
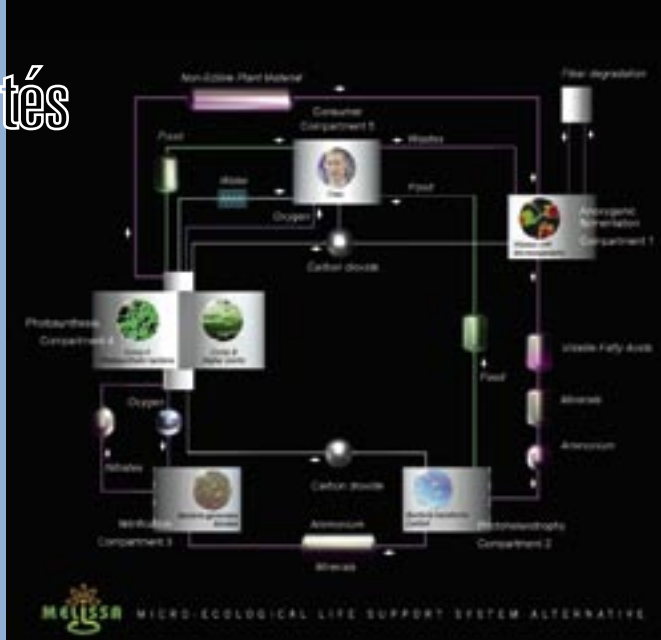
© C.D.B.



L'environnement naturel qui borde le projet Alma fait l'objet d'une protection toute particulière. Certains cactus géants, tels ces « cardons », ont même dû être déplacés par l'ESO et ses partenaires afin de pouvoir tracer la large route qui relie le camp de base au haut-plateau.

© C.D.B.

L'ensemble MELiSSA est un écosystème microbien artificiel qui imite la biosphère terrestre.
© ESA



Le processus que la technologie, avec les bactéries, entend mimer avec MELiSSA.
© ESA

MELiSSA

à l'heure belge pour l'odyssée martienne

Objectif Hommes sur Mars... dans les années 2030 ! Dans le cadre du programme MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative) de l'ESA, des chercheurs belges sont à l'œuvre sur les technologies du voyage spatial au long cours. Les prochaines décennies verront des hommes et des femmes "coloniser" la Lune, puis la planète Mars... Il s'agira d'expéditions de plusieurs mois, voire de quelques années. Outre le confinement psychologique, les équipages auront à résoudre les problèmes de leur alimentation et de leurs déchets. Pas question de tout emmener ni de tout rapporter ! L'ESA étudie une solution avec MELiSSA, qui est un ensemble de cinq bioréacteurs bactériens en boucle.

Avec le soutien de la Politique scientifique belge, le SCK-CEN (Studiecentrum voor Kernenergie/Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire) de Mol est impliqué dans le développement de processus bio-régénératifs. Ce centre de recherche non universitaire, l'un des plus grands de Belgique, coopère en Belgique avec notamment les spécialistes du VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek), d'EPAS (Eco Process Assistance), des Universités de Gand, de Liège, de Mons-Hainaut.

Le professeur Max Mergeay, qui dirige au SCK-CEN le laboratoire de Microbiologie & Radiobiologie est l'acteur-clef belge dans la mise en œuvre des différents bioréacteurs qui vont former la boucle Melissa. Grâce à un financement Prodex de la Politique scientifique fédérale, il étudie le comportement physiologique des bactéries qui jouent un rôle primordial dans le fonctionnement de MELiSSA. Il s'agit d'un écosystème microbien artificiel qui, avec cinq bioréacteurs interconnectés, mime ce qui se passe dans notre biosphère. Il met en jeu différentes bactéries dans cinq compartiments

afin de produire de l'oxygène, de l'eau purifiée et de la biomasse avec des plantes... L'ensemble complet MELiSSA, est testé en laboratoire à l'Université Autonoma de Barcelone. Différents éléments, destinés au recyclage d'eaux usées, sont à l'essai sur la base franco-italienne Concordia en Antarctique.

Le laboratoire du professeur Mergeay a fait appel à l'expertise du Département de Protéomie et de Biochimie des protéines, que dirige le professeur Ruddy Wattiez, à l'Université de Mons-Hainaut et qui est spécialisé dans l'identification et la quantification des protéines. "Nous sommes d'une part concernés par les risques de contamination bactérienne entre bioréacteurs. Nous devons surtout comprendre les modifications physiologiques que subissent dans l'environnement spatial ces organismes simples que sont les bactéries. Nous analysons comment l'impesanteur agit sur leur comportement. En récoltant des bactéries qui ont séjourné plusieurs jours dans l'espace, notamment lors de la mission Odissea de Frank De Winne, on peut les comparer avec celles restées sur Terre." D'autres séjours de bactéries à bord de l'ISS sont programmés.

Baptiste Leroy, docteur en biologie dans le Laboratoire du professeur Wattiez, y est responsable de la recherche pour MELiSSA : "On a affaire à un projet de grande envergure qui ouvre de nouveaux horizons, autour de nombreux défis. On rencontre, lors des réunions de travail, des chercheurs et ingénieurs de disciplines différentes, qui disposent d'outils de haute technologie. Certes, dans ce monde pluridisciplinaire, il y a des contraintes, comme l'archivage des données, la rédaction des protocoles d'expériences... Mais on apprend beaucoup à travailler en équipe."