

Les prolongements contemporains des recherches de Cassini I

Les travaux de Jean-Dominique Cassini ont fait date dans l'histoire de la science astronomique et ses contemporains et ses successeurs en ont reconnu et salué toute la portée. Un peu oublié et parfois décrié par la suite, en particulier dans l'exercice de ses fonctions de direction à la tête de l'Observatoire de Paris⁵⁵, les astronomes contemporains reconnaissent aujourd'hui pleinement les apports cassiniens à la science astronomique française, au point de placer leurs travaux sur Saturne sous sa tutelle en baptisant mission Cassini-Huygens une mission internationale d'observation de Saturne lancée en 1997.

Les observations de Saturne et la mission Cassini-Huygens

Saturne suscite depuis longtemps l'intérêt des astronomes. Les premiers écrits citant Saturne sont attribués aux Assyriens vers 700 av. J.C. Ils décrivent la planète comme un scintillement dans le ciel et la nomment «étoile de Ninib». Au xvii^e siècle, en 1610, Galilée observe dans sa lunette astronomique une forme bizarre : la planète semble s'étirer sur les côtés. Il écrit à son propos : «j'ai observé que la planète la plus lointaine est trijumelle ». Il distingue en effet, en observant Saturne à la lunette, une planète et ce qu'il prend pour deux lunes qui changent d'aspect, grossissent, disparaissent ou prennent la forme d'arcs. Dans son *Systema Saturnium*, publié en 1659, Huygens expose la réponse à cette énigme : il s'agit d'anneaux gravitant autour de la planète. Il découvre également l'existence du satellite naturel Titan. Quelques années plus tard, on l'a vu, Cassini observe 4 autres lunes plus petites : Japet, Rhéa, Téthys et Dioné.

⁵⁵ C. WOLF, *Histoire de l'observatoire de Paris de sa fondation à 1793*, Paris 1902, p. 195 *sqq* : « il a été de mode, pendant presque quatre-vingts ans, d'accabler ce grand homme [Cassini] des accusations les plus imméritées, de le rendre responsable de la stérilité des travaux astronomiques en France, au point de considérer sa venue à Paris comme un malheur pour l'astronomie française ». L'auteur examine ensuite les accusations portées contre lui par Delambre, Le Verrier et Arago.

La mission Cassini-Huygens

Cependant, bien des questions restent aujourd'hui en suspens : Comment se forment les anneaux autour de Saturne ? L'atmosphère de Titan est-elle comparable à celle de la Terre ?

C'est pour répondre à ces questions en suspens que le 15 octobre 1997, après 10 ans de travaux mobilisant des scientifiques du monde entier, la mission internationale Cassini-Huygens développée par la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), l'ESA (Agence spatiale européenne) et l'ASI (Agence spatiale italienne) est lancée de Cape Canaveral en Floride pour atteindre Saturne. La communauté scientifique française s'est fortement mobilisée pour être présente sur cette mission. Avec plus de 50 scientifiques français sélectionnés, elle constitue la première communauté européenne sur cette mission. Les laboratoires français et le CNES (Centre national d'études spatiales) ont activement contribué à la fourniture de plusieurs des 18 instruments embarqués. Les contributions instrumentales françaises à la mission Cassini-Huygens sont nombreuses mais elles concernent plus particulièrement deux instruments :

- **L'instrument ACP** (*Aerosol Collector and Pyrolyser*), instrument devant collecter les aérosols pour l'analyse de leur composition chimique. Cet instrument est fourni par le Service d'Aéronomie.
- **La suite instrumentale HASI** (*Huygens Atmosphere Structure Instrument*), ensemble de capteurs pour mesurer les propriétés physiques et électriques de l'atmosphère. Cet ensemble instrumental est sous la responsabilité scientifique du LESIA.

Outre sa contribution financière au programme obligatoire de l'ESA pour la sonde Huygens, le CNES participe directement à la réalisation de la moitié des expériences scientifiques embarquées sur le module orbital et son atterrisseur.

Cette première mission spatiale consacrée à l'exploration de Saturne a pour objectif d'étudier la planète, son système d'anneaux et de satellites et en particulier Titan, seul objet du système solaire possédant comme la Terre une atmosphère épaisse majoritairement composée d'azote. Le programme Cassini-Huygens pourrait notamment permettre d'améliorer nos connaissances sur les mécanismes chimiques ayant abouti à l'apparition de la vie sur Terre.

La sonde spatiale et son passager se sont insérés en orbite autour de Saturne le 1^{er} juillet 2004 après un périple de 7 ans et 3,5 milliards de km, ayant survolé Vénus, la Terre et Jupiter qui ont fourni une assistance gravitationnelle. Le 14 janvier 2005, la sonde Huygens a plongé dans l'atmosphère de Titan et s'est posée à sa surface. L'orbiteur devait collecter pendant 4 ans des données essentielles sur la structure et l'environnement de Saturne et ses satellites. En avril 2008, la NASA a annoncé l'extension de la durée de la mission jusqu'en septembre 2010. Le 3 février 2010, la NASA a à nouveau étendu la mission jusqu'en mai 2017. Le 19 novembre 2010, l'ESA a annoncé l'extension de sa participation à l'exploitation de la mission jusqu'en 2014. L'ESA se prononcera plus tard sur la période 2015-2017. Elle doit se volatiliser dans l'atmosphère de saturne à la fin de sa mission pour éviter de polluer des lunes présentant un intérêt exobiologique.

Les européens sont ainsi les premiers à explorer *in situ* un astre aussi lointain. Les images radar fournies par Cassini lors des survols de Titan ont révélé la présence d'enclaves remplies de méthane liquide autour des pôles nord et sud de cette lune. Plus récemment, des traces de sodium détectées dans des particules de glace dans les jets d'Encelade, satellite naturel de Saturne, pourraient témoigner de la présence d'un océan d'eau liquide salée.

Cassini-Huygens, mission la plus ambitieuse jamais mise en œuvre, a dû relever nombre de défis, comme la traversée des anneaux en aveugle lors de la mise en orbite. La sonde Huygens a été conçue alors que l'on ne connaissait rien de la surface de Titan et que certains la pensaient recouverte d'un océan global.

Les maquettes

L'assemblage et les tests de Cassini-Huygens ont été réalisés *au Jet Propulsion Laboratory* (NASA). Des instruments élaborés par différents laboratoires, notamment le Lesia de l'Observatoire de Paris, ont été embarqués : CAPS (*Cassini Plasma Spectrometer*), CDA (*Cosmic Dust Analyser*), CIRS (*Composite Infrared Spectrometer*), INMS (*Ion and Neutral Mass Spectrometer*), ISS (*Imaging Science Subsystem*), MAG (*Dual-Technique Magnetometer*), MIMI (*Magnetospheric Imaging Instrument*), RPWS (*Radio and Plasma Wave Spectrometer*), RSS (*Radio Science Subsystem*), UVIS (*Ultraviolet Imaging Spectrograph*), VIMS (*Visible and Infrared Mapping Spectrometer*),

La sonde est entourée d'une couverture thermique constituée de 20 à 30 couches différentes. Celle-ci permet de limiter les échanges de chaleur dans les deux sens. Des

dispositifs permettent d'évacuer la chaleur interne de la sonde vers l'extérieur, comme cette petite plaque blanche et la série de grilles.

L'orbiteur est couronné par une antenne multifonctions servant à la fois pour les échanges télécommunications, radars et radio. Elle permet des échanges avec la Terre en émission et en réception. Elle recevait par ailleurs les signaux venant du Huygens pendant sa descente. Elle permet enfin de recevoir les signaux radio en provenance des anneaux et de l'atmosphère de Titan de Saturne.

La sonde abrite plusieurs instruments, notamment le récepteur radio RPWS (*Radio and Plasma Wave Science*) développé à l'Observatoire de Paris par le Lesia : on aperçoit sur la maquette présentée les trois antennes de ce récepteur radio, plus courtes que dans la réalité.



RPWS

Sous RPWS est situé le détecteur de poussières CDA pouvant analyser leurs propriétés physiques et leur composition :



CDA

On aperçoit aussi des instruments destinés à étudier les particules neutres et chargées, à gauche de Huygens. La petite grille visible sur le devant sert à étudier les particules neutres. Sur le côté gauche on aperçoit une série d'instruments d'optique, parmi lesquels l'instrument CIRS (*Composite InfraRed Spectrometer*) développé par le Lesia. Ce spectromètre infrarouge

est capable d'analyser la lumière infrarouge émise par la planète Saturne, ses anneaux et ses satellites. Il mesure la température et la composition chimique de ces corps afin de comprendre leur formation et leur évolution.

Le long bras servait à fixer deux magnétomètres (à mi-bras et en bout de bras) qu'on ne voit pas ici : les détecteurs magnétiques doivent en effet être éloignés du satellite qui génère des perturbations.

La sonde abrite 3 tonnes de carburant destiné à l'alimenter pendant toute la durée de la mission. Par ailleurs trois piles à plutonium, visibles sur le bas de la sonde, fournissent de l'électricité pour allumer les propulseurs et faire fonctionner le satellite et l'ensemble des instruments qui y sont fixés. Quatre éléments également situés sur le bas de la sonde sont de petits propulseurs servant aux manœuvres et au contrôle d'altitude du satellite.

Les observations de Saturne

Saturne, la géante aux beaux anneaux

Saturne en quelques chiffres

Distance au soleil : 1427 millions de km, soit 9,5 fois la distance de la Terre au Soleil.

Période de révolution : 29,5 ans
(la Terre : 1 an)

Période de rotation : 10h 40mn
(la Terre : 24h)

Inclinaison : 29°

Diamètre : 120 000 km
(équatorial) ; 108 890 (polaire),
soit 10 fois celui de la Terre

Masse : 95 fois celle de la Terre

Densité : 0,69

Température : -170° au sommet
des nuages

Saturne est l'une des quatre planètes géantes gazeuses du système solaire. Son atmosphère est composée à plus de 99% d'hydrogène (H₂) et d'hélium (He), avec des traces d'autres gaz, principalement du méthane (CH₄) et de l'ammoniac (NH₃) qui se condense pour former la couche nuageuse supérieure.

Son atmosphère est le siège d'une activité météorologique importante. Des vents violents circulent dans la stratosphère – à plus de 1500 km/h à l'équateur ! A certaines latitudes, des phénomènes orageux associés à des décharges électrostatiques apparaissent périodiquement et durent plusieurs mois.

Toutefois, la structure interne de Saturne est encore mal connue : il semble qu'il y existe un noyau de glaces et de roches, d'une masse 10 à 20 fois supérieure à celle de la Terre, entouré d'une couche enrichie en hélium. Cet enrichissement serait dû à une séparation entre l'hélium et l'hydrogène métallique dans les couches supérieures. La précipitation de l'hélium vers le centre expliquerait en partie la source interne d'énergie de la planète que l'on mesure en infra-rouge.

Les anneaux de Saturne sont constitués d'innombrables particules de glace d'eau plus ou moins salées par de la poussière. La sonde Cassini les a observés à l'aide d'une douzaine d'instruments, ce qui a permis de comprendre leur structure interne et la dynamique de leurs particules. Ainsi, de petits grumeaux observés dans la zone extérieure des anneaux principaux sont probablement des lunes de quelques centaines de mètres de diamètre, en permanente formation et destruction. Par ailleurs le disque se fragmente en certains endroits en petites structures filamenteuses d'une dizaine de mètres d'épaisseur, séparées entre elles par une centaine de mètres.

La sonde spatiale Cassini a également permis de détecter, grâce aux traces laissées sur l'anneau le plus proche de Saturne, une collision avec un corps extérieur, comètes et météorites, dont les astronomes estiment qu'elle s'est produite vers 1984.

Les satellites de Saturne

Comme toutes les planètes géantes du système solaire, Saturne possède de nombreux satellites. Sur les 63 recensés à ce jour, 53 ont un nom officiel.

On les classe en 3 familles :

- les **satellites intérieurs** qui sont de petite taille et se situent près des anneaux (Pan, Atlas, Prometheus, Pandora...).
- les **satellites principaux** situés entre trois et soixante rayons équatoriaux de Saturne (Mimas, Encelade, Thétys, Dioné, Rhéa, Titan...).
- les **satellites extérieurs** dont on pense qu'ils ont été capturés par Saturne après la formation du système (Phoebe...).

Des lunes glacées, telles que Mimas et Encelade, au satellite Titan, caractérisé par son épaisse atmosphère, en passant par les satellites les plus éloignés, ressemblant aux astéroïdes, le système de Saturne présente une grande richesse tant planétologique que dynamique.

Comme la Lune, la plupart des satellites principaux présente toujours la même face à leur planète. Ce phénomène, fréquent dans le système solaire, est une conséquence des effets de marées exercés par la planète sur ses satellites.

Selon une hypothèse récente, les satellites les plus proches de Saturne, jusqu'à Rhéa, pourraient avoir été formés à partir d'un anneau massif.

Les aurores de Saturne

Saturne possède également un champ magnétique et donc une magnétosphère, bulle magnétisée qui s'étend à environ 20 rayons planétaires (1 200 000 km) du Soleil et l'isole imparfaitement du vent solaire. La magnétosphère contient des particules neutres et chargées provenant des anneaux, des geysers glacés du satellite Encelade et du vent solaire.

La magnétosphère de Saturne produit de puissantes émissions radio, de magnifiques aurores, et possède plusieurs particularités uniques : le champ magnétique de Saturne est strictement aligné avec son axe de rotation, donc la magnétosphère ne devrait pas montrer de variabilité rotationnelle, pourtant celle-ci est intense et de surcroît irrégulière, ce qui demeure une énigme pour la communauté scientifique.

Les aurores s'enroulent en spirale autour des pôles du fait de la rotation rapide de la planète combinée à l'interaction avec le vent solaire. Titan, quant à lui, entre et sort de la magnétosphère au gré de sa compression par le vent solaire.

Titan, la longue exploration

Titan, le plus gros satellite de Saturne, est l'un des principaux objectifs de la mission Cassini-Huygens. C'est la seule lune du système solaire à posséder une atmosphère dense. Composée d'azote et de méthane, elle rappelle celle de la Terre primitive. Les processus dynamiques, climatologiques et météorologiques y sont soumis à des effets saisonniers. Dans cet environnement sombre et glacé, où le méthane joue le rôle de l'eau sur Terre, une chimie organique intense est à l'œuvre.

L'arrivée en orbite de la sonde Cassini et ses nombreux survols de Titan ainsi que l'atterrissage du module Huygens ont permis de nombreuses découvertes. La morphologie de la surface de ce satellite constamment voilé par des nuages est maintenant connue : on y trouve des lacs et des canaux creusés par des flots d'hydrocarbures, des dunes, des cryovolcans, des montagnes. Ainsi probablement qu'un océan d'eau liquide caché sous la surface.

Encelade fait la pluie sur Saturne

La sonde Cassini a découvert au pôle Sud du satellite de Saturne nommé Encelade des panaches éruptifs dits « cryovolcaniques ». Provenant de fractures anormalement chaudes, témoins de la présence d'une source d'énergie intérieure au satellite, ils émettent de grandes quantités de poussières glacées et de gaz, principalement constituées de vapeur d'eau mais présentant aussi une richesse chimique étonnante qui rappelle celle des comètes.

Gaz et poussières s'échappent du faible champ gravitationnel du satellite et se mettent en orbite autour de Saturne, formant respectivement le « tore » d'Encelade et l'anneau E de Saturne. La présence de sels dans les grains de poussière invite à penser qu'il existe un océan salé sous la surface d'Encelade et des mécanismes peut-être semblables aux geysers terrestres.

Grâce au télescope infrarouge Herschel de l'ESA, des chercheurs de l'Observatoire de Paris ont récemment montré qu'une partie de l'énorme quantité de vapeur d'eau accumulée dans le tore retombe dans l'atmosphère de Saturne, y expliquant la présence d'eau. Encelade est le premier exemple d'un satellite capable d'influer sur la composition de sa planète.

Parallèlement à ces avancées contemporaines, inspirées par les observations de Cassini, des chercheurs de l'Observatoire de Paris tentent de reconstituer la façon dont Cassini travaillait et de caractériser les lentilles dont il disposait.

Le projet histoptique : une alliance entre l'histoire et l'optique

Histoptique est un projet de recherche original visant à étudier les propriétés optiques d'instruments anciens à l'aide des techniques les plus modernes. Il est porté par une équipe d'opticiens de l'Observatoire de Paris qui a entrepris en 2011-2012 de caractériser optiquement les lentilles utilisées par Cassini, notamment pour ses observations de Saturne.

L'image formée par une lentille peut être dégradée par les défauts de forme et de chromatisme (comportement de la lentille aux différentes couleurs) qu'elle présente. Les défauts de forme de cinq lentilles de Cassini ont été mesurés à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) grâce à un instrument de métrologie appelé ZYGO. Des mesures menées dans les carrières de Paris, puis à l'Institut d'Optique ont permis de déterminer leurs défauts chromatiques. Il a fallu aussi reconstituer la qualité de l'atmosphère du XVII^e siècle : l'atmosphère traversée par les rayons lumineux provenant de l'objet déforme en effet dynamiquement l'image, brouillée par les inhomogénéités de pression et les vents.

La caractérisation optique des lentilles et l'estimation de l'atmosphère ont permis de simuler la vision que pouvait avoir Cassini de la planète Saturne et de constater que la division de Cassini était très nettement observable. HistoOptique a ainsi résolu une controverse scientifique et historique. En effet, un certain nombre de scientifiques soutenait que du fait du faible diamètre de ses objectifs, la diffraction n'aurait en réalité pas permis à Cassini d'observer la division de l'anneau de Saturne qui porte son nom, hypothèse que le projet HistoOptique a permis, en utilisant les moyens d'optique les plus modernes, de réfuter.

Le film présenté dans l'exposition évoque quelques moments clés de ce projet et inclut la simulation finale de l'observation de Cassini.