

> cette région. Des réactions photochimiques ont formé des aérosols, les tholins, dans cette région qui, de bleue, est devenue rougeâtre.

Revenons au début de la mission. Quel a été l'apport de Huygens ?

F. R. : La première grande opération a été la séparation de *Cassini* et de *Huygens*. Ce dernier s'est posé sur Titan le 14 janvier 2005. Le module a récolté de nombreuses informations au cours de la descente : vitesse des vents, température, contenu en particules de l'atmosphère, photographies du sol. Les résultats ne paraissent pas spectaculaires, mais ils sont essentiels. De nombreuses incertitudes entachaient les modèles de l'atmosphère que l'on savait épaisse de 1200 kilomètres, surtout composée d'azote et de méthane gazeux avec une brume de particules solides en suspension. Les données de *Huygens* ont précisé les modèles et ont aidé à comprendre tous les processus observés sur Titan. Un détail qui surprend souvent est que la prise de données de *Huygens* n'a duré qu'un peu plus de deux heures. En effet, l'appareil ne pouvait transmettre ses informations que par l'intermédiaire de *Cassini* qui devait être dans le champ de vision de l'atterrisseur.

Lors de ses nombreux survols de Titan, *Cassini* a aussi contribué à mieux comprendre les phénomènes qui se produisent sur cette lune, notamment le cycle du méthane et de

l'éthane qui peuvent être liquides aux pressions et températures ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ environ) qui règnent à la surface. Ils forment des rivières et des lacs alimentés de façon saisonnière par des précipitations.

D'après les mesures de *Huygens*, d'autres molécules carbonées, plus lourdes, sont présentes à la surface. Malheureusement, les instruments de l'atterrisseur étaient insuffisants pour effectuer une analyse exhaustive et les molécules les plus complexes présentes nous ont probablement échappé.

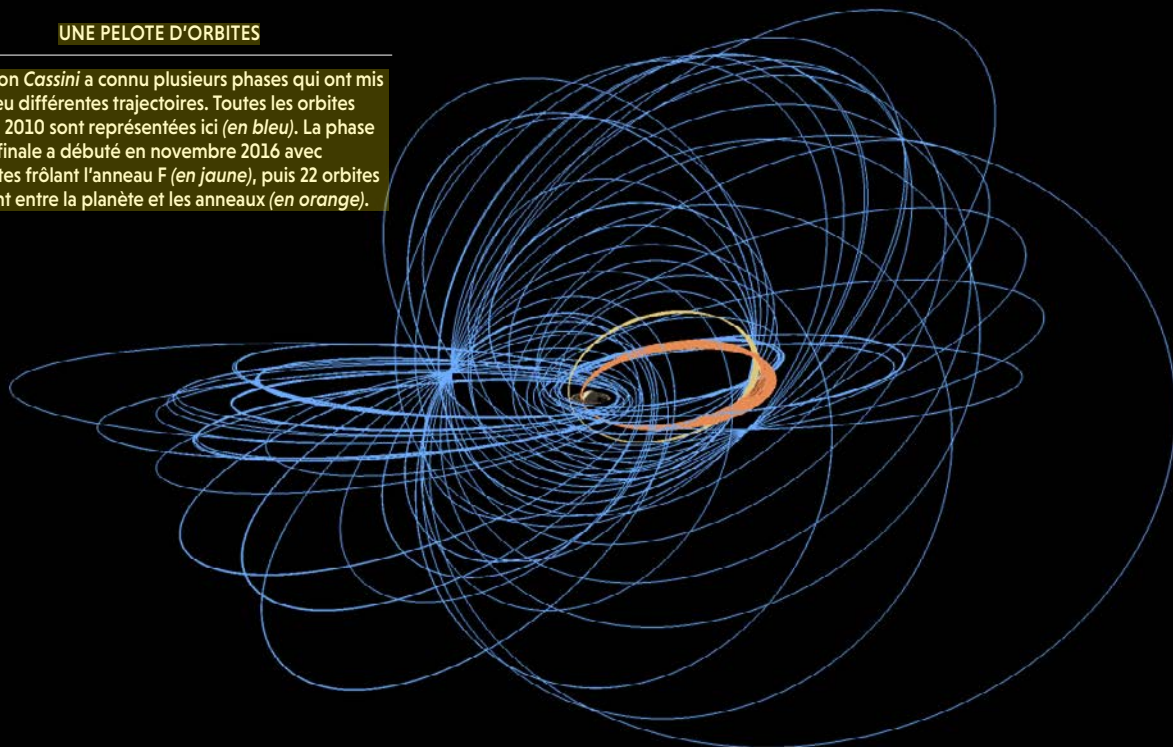
En outre, Titan cacherait aussi de l'eau liquide. Des observations nous ont permis d'inférer de façon indirecte que sous la surface, très profondément, se cache un océan d'eau liquide. Ce monde a encore beaucoup de choses à nous révéler.

Et Titan n'est pas le seul monde à héberger un océan d'eau liquide...

F. R. : Tout à fait. Et c'était l'une des plus grandes surprises de la mission *Cassini*. Lors du survol d'Encelade, une lune couverte de glace, nous avons réalisé une photographie en contre-jour (une procédure ordinaire) et nous avons vu des jets extraordinaires : des geysers de particules d'eau et de glace, émis uniquement depuis la région du pôle sud. La présence de grandes quantités d'ions sodium et potassium dans ces jets suggérait que de l'eau liquide était présente sous la glace et en contact direct avec un noyau

UNE PELOTE D'ORBITES

La mission *Cassini* a connu plusieurs phases qui ont mis en jeu différentes trajectoires. Toutes les orbites depuis 2010 sont représentées ici (en bleu). La phase finale a débuté en novembre 2016 avec 20 orbites frôlant l'anneau F (en jaune), puis 22 orbites passant entre la planète et les anneaux (en orange).



rocheux dont elle dissolvait les minéraux. Par la suite, d'autres indices, tels les modèles expliquant les mouvements de libration (des oscillations) d'Encelade, ont confirmé l'existence d'un océan global sous la croûte.

Quelles en sont les conséquences sur la place de l'eau liquide dans le Système solaire et la présence éventuelle de vie ailleurs ?

F. R. : Les mondes du Système solaire qui présentent de l'eau liquide sont bien plus nombreux que nous ne l'avions anticipé. Mars a eu de l'eau en abondance à sa surface ; Titan, Encelade, Europe (une lune de Jupiter) et d'autres ont des océans souterrains. Ceux-ci ne

aussi des lunes et de leurs interactions, des spécialistes tels que Sébastien Charnoz, de l'Institut de physique du globe, à Paris, ont pu élaborer des modèles pour expliquer leur formation et leur évolution. Ils ont notamment pu expliquer comment les débris s'agglutinent et forment de nouvelles lunes à partir d'une certaine distance, où les forces de marées deviennent assez faibles. Nous avons aujourd'hui une compréhension très poussée de la dynamique de ces anneaux. Reste une énigme, celle de leur âge.

La sonde Cassini pourra-t-elle fournir des éléments de réponse à cette énigme ?

F. R. : Depuis avril 2017, *Cassini* est entrée dans l'ultime phase de sa mission, surnommée le « grand final ». En modifiant sa trajectoire, la sonde passera 22 fois entre la planète et l'anneau D, le plus proche de la planète. Certains survols s'effectueront dans l'anneau D et d'autres très près de la partie supérieure de l'atmosphère de la planète. C'est assez risqué, mais nous pourrions observer de très près certains détails des anneaux et de la planète. Une partie de ces données devraient nous permettre de trancher sur l'âge des anneaux.

Nous espérons aussi cartographier le champ gravitationnel de la planète afin d'en déduire si Saturne héberge en son cœur un noyau rocheux d'environ dix masses terrestres, comme l'envisage le scénario classique décrivant la formation de la géante gazeuse, ou non.

Les geysers d'Encelade ont été l'une des grandes surprises de la mission *Cassini*

gèlent pas grâce à l'énergie fournie par les importantes forces de marées dues à la planète géante gazeuse voisine. À l'inverse, l'océan de Charon, le compagnon de Pluton, a probablement gelé faute d'un apport suffisant d'énergie.

La lune Encelade est particulièrement intéressante dans le contexte de l'exobiologie. Le contact de l'eau liquide avec la roche fournit les ions indispensables à une forme de vie telle que nous la connaissons. Par ailleurs, la découverte récente de sources hydrothermales est encore un élément favorable. Mais alors comment aller chercher des preuves directes de cette vie, si elle existe ? L'analyse plus fine des composés rejetés dans les geysers nous donnerait peut-être des indices. En revanche, forer la croûte de glace sur plusieurs kilomètres semble, techniquement, illusoire.

Quelle est pour vous la découverte la plus marquante de la mission Cassini-Huygens ?

F. R. : Les jets d'Encelade constituent une découverte bien sûr extraordinaire. À mon avis, l'apport le plus important de *Cassini* concerne les anneaux. Grâce à la quantité et à la qualité des observations de ceux-ci, mais

En septembre, Cassini plongera dans Saturne. Pourquoi détruire ainsi la sonde ?

F. R. : Lors de ce plongeon, nous espérons récolter des informations jusqu'à la destruction de la sonde ou la perte du signal. Par ailleurs, la décision de faire s'abîmer la sonde dans la planète est liée à un souci de non-contamination. La sonde, qui n'a pas été stérilisée, pourrait encore transporter des bactéries terrestres. Si elle s'écrasait sur Titan ou Encelade, nous apporterions ces microorganismes sur ces mondes. Ce problème de contamination se présente pour chaque mission d'exploration, notamment sur Mars.

C'est aussi une façon de laisser la place à d'autres projets. La mission *Cassini-Huygens* lègue un héritage exceptionnel de découvertes, mais aussi de questions ouvertes. Les chercheurs réfléchissent déjà à de nouvelles idées pour explorer plus en détail Titan et Encelade, mais pas uniquement. La sonde *Juice* partira explorer les lunes de Jupiter à partir de 2022. Certains parlent d'aller rendre visite à Neptune (et sa lune Triton). Des missions qui auront, je l'espère, autant de réussite que *Cassini-Huygens*. ■

Propos recueillis par Sean Bailly

BIBLIOGRAPHIE

F. Postberg et al.,
Sous l'océan d'Encelade,
Pour la Science, n° 471,
janvier 2017.

F. Chiavassa et F. Rocard,
**Quelle est la véritable
histoire du Système
solaire ?**, Le Pommier, 2015.

R. Lorenz et Ch. Sotin,
**La lune qui se prenait
pour une planète,**
Pour la Science, n° 393,
juillet 2010.