

ARTICLE DE FOND

Fin de mission

Cécile Ferrari, professeure à l'université Paris Diderot

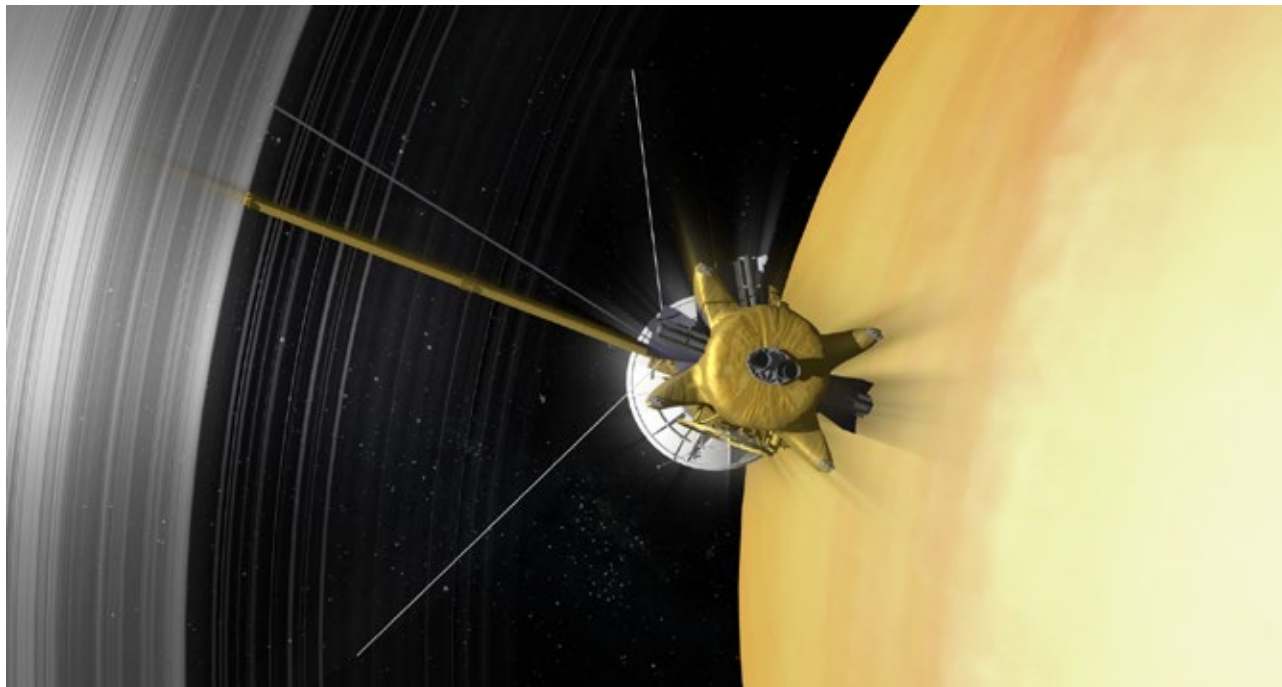


Fig.1. Image d'artiste conceptualisant le plongeon final de la sonde Cassini dans l'atmosphère de Saturne lors du « Grand Finale » du 15 septembre 2017. Crédit image NASA/JPL.

La mission Cassini est officiellement terminée depuis le 15 septembre 2017, 3 h 45 (Pacific Day Time) après un plongeon final dans l'atmosphère de Saturne à plus de 120 000 km/h. Fin de mission palpitante entre anneaux et planète, un endroit jusque-là inexploré. Promesses de résultats uniques à paraître. Une mission extraordinaire, vingt ans d'exploration dont treize dans le système de Saturne qui auront permis d'établir les effets des saisons sur les anneaux, les satellites et les atmosphères. Chroniques de fin.

« You just heard, the signal from the spacecraft has gone and within the next forty-five seconds, so will be the spacecraft. I hope you all as deeply pride of this amazing accomplishment... Congratulations to you all, this has been an incredible mission, an incredible spacecraft and you are all an incredible team...and we will call this the end of mission»¹.

Sur ces mots le chef de projet de la mission Cassini, Earl Maize, clôt l'aventure de la mission Cassini devant le millier de cœurs serrés présents au Jet Propulsion Laboratory et sur le campus du California Institute of Technology de Pasadena.

¹ « Vous venez de l'entendre, le signal provenant de la sonde a disparu et dans les quarante-cinq prochaines secondes, il en sera de même pour la sonde. J'espère que vous êtes tous profondément fiers de cet incroyable accomplissement. Félicitations à vous tous, ceci a été une mission incroyable, une sonde spatiale incroyable et vous tous avez formé une équipe incroyable... et nous appellerons cet instant la fin de la mission. »

Le 15 septembre 2017 à 3 h 45 du matin, heure locale, la sonde a terminé sa mission dans un plongeon fatal, irrémédiablement détruite dans sa traversée de la haute atmosphère de Saturne. Cet événement est évidemment en léger différé, puisqu'au moment de ces mots-là, Cassini a déjà terminé sa course depuis près d'une heure vingt, temps-lumière nécessaire pour que l'information nous arrive. Le vaisseau aura résisté trente secondes de plus que le temps calculé par les modèles. Plus coriace que prévu !

Le cordon ombilical, notre liaison radio avec la sonde, est visualisé sur les écrans géants par les spectres des signaux de communication, en bande S (2 GHz) et en bande X (8,4 GHz) où l'on aperçoit un pic qui démarque la fréquence de l'onde porteuse d'information. Le signal de l'émetteur en bande X disparaît un peu avant celui de la bande S, le pic de la bande S a un soubresaut, puis disparaît

complètement (on pourra le voir à la page <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/7800/> qui montre le signal des porteuses X et S à la fin du plongeon). Le silence se fait dans l'assistance, une minute d'émotion, une minute de silence spontanée. Julie Webster, chef de la sonde, donne l'heure de fin dans un silence assourdissant, Earl Maize conclut dans des applaudissements respectueux et émus. Le freinage par l'atmosphère a commencé à se faire sentir à 1 900 km au-dessus des nuages, les fusées ont commencé à corriger l'orientation de la sonde. Elles ont fonctionné pendant presque deux minutes avant que le signal ne disparaisse. La sonde Cassini ne peut alors plus tenir le pointage vers la Terre et c'est un signal provenant du lobe dit secondaire de l'antenne que l'on capte alors sur Terre quand le soubresaut de la bande S apparaît.

Tous réalisent à ce moment la séparation, pour certains la fin d'un sacerdoce, quotidiennement aux commandes depuis vingt ans, la fin d'une corne d'abondance de données pour d'autres, enfin celle d'une aventure scientifique unique dans l'exploration spatiale du Système solaire. La mission a commencé avec la génération des scientifiques de la mission Voyager, celle qui l'a inventée, elle se termine avec leurs « enfants » et « petits-enfants », ces chercheurs et ces doctorants qu'ils auront formés tout au long de la mission.

« Grand Finale », fin grandiose d'un opéra qui aura duré presque vingt ans, depuis le lancement de Cap Canaveral le 15 octobre 1997, sept ans de voyage pour arriver à Saturne le 1^{er} juillet 2004, et deux-cent-quatre-vingt-treize révolutions autour de Saturne, orbites aux aspects les plus divers, qui ont permis de sonder in situ l'environnement de Saturne à trois dimensions en deçà de l'orbite de Titan, son plus gros satellite. Une demi-année saturnienne à peu près pour observer aussi les variations saisonnières de ce système planétaire, de l'hiver à l'été boréal avec le passage du Soleil dans le plan des anneaux à l'équinoxe, en août 2009.

Une mission unique donc par sa durée, une mission de longue haleine, pour laquelle plusieurs chefs de mission, chefs scientifiques et chefs de bord, prendront le relais et formeront les générations à venir. Finalement, pourquoi sonner la fin de la mission ? La sonde Cassini est partie avec 3 tonnes de propergol, du monométhylhydrazine (carburant, 1 130 kg) et du tétraoxyde d'azote (oxydant, 1 870 kg) pour effectuer les corrections de trajectoire et d'orbite. C'est le réservoir de carburant qui donne à la sonde sa forme allongée. Un réservoir de 132

kg d'hydrazine a aussi été embarqué pour alimenter les 16 petites fusées d'appoint pour le « contrôle d'attitude » et les petites manœuvres. Il en reste une quinzaine de kilogrammes au début du « Grand Finale », une ressource qui a été mise depuis longtemps sous surveillance. Elle va être utilisée pour contrôler l'attitude de la sonde lors de son plongeon final et maintenir l'antenne orientée vers la Terre pour transmettre ainsi en direct les dernières mesures faites dans l'atmosphère de Saturne.

Le « Grand Finale », l'apothéose des vingt-deux dernières révolutions et demie, les orbites 271 à 293, a débuté le 23 avril 2017 (Figure 2). Leur inclinaison est d'environ 60° au-dessus du plan des anneaux.

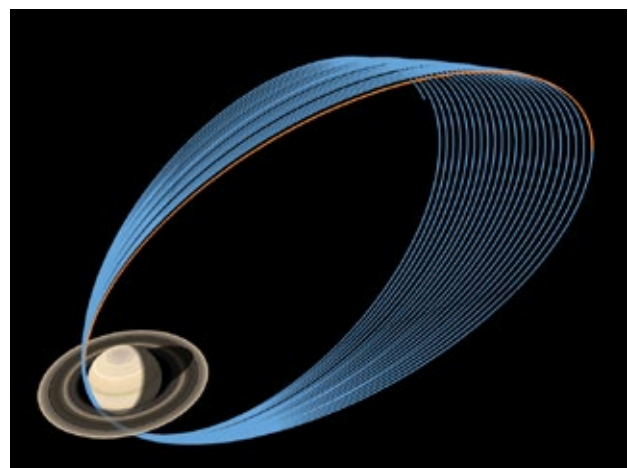


Fig.2. Aspect des vingt-deux dernières orbites de la sonde Cassini autour de Saturne lors du « Grand Finale » qui débute le 23 avril 2017. Le premier passage dans le plan a lieu le 26 avril. La dernière demi-orbite (la révolution 294) est dessinée en rouge.

Leur périastre est situé à environ 63 500 km du centre de la planète, c'est-à-dire à environ 3 500 km au-dessus des nuages de Saturne ou du niveau de pression atmosphérique de 1 bar, une zone où l'anneau D est si ténu qu'il devient indétectable. Le passage est redouté car inconnu, une traversée du plan à plus de 120 000 km/h, dans un environnement électromagnétique intense, un corridor entre l'anneau D et la planète.

Les objectifs scientifiques prioritaires de cette dernière séquence ont été discutés dès 2014, la planification détaillée des observations élaborée en 2015 et 2016 avec une programmation des commandes de la sonde entamée fin 2016. Sur la première de ses orbites, la numéro 271 et les quatre dont le périastre est situé au-delà de ce que l'on pense être le bord intérieur de l'anneau D, la sonde est mise en position de sécurité pour abriter les instruments derrière l'antenne de télécommunication. Sur l'orbite 271 le Cosmic Dust Analyzer (CDA) et le Radio and

Plasma Wave Science (RPWS) vont faire des mesures qui vont être tout de suite envoyées pour analyse sur Terre afin de parer d'éventuels problèmes et corriger la trajectoire si nécessaire. Les cinq dernières orbites 289 à 293 vont être exécutées avec le système de contrôle de réaction sur les petites fusées afin de corriger d'éventuels effets de tumbling dus au frottement dans la haute atmosphère à 62 500 km de distance à Saturne.

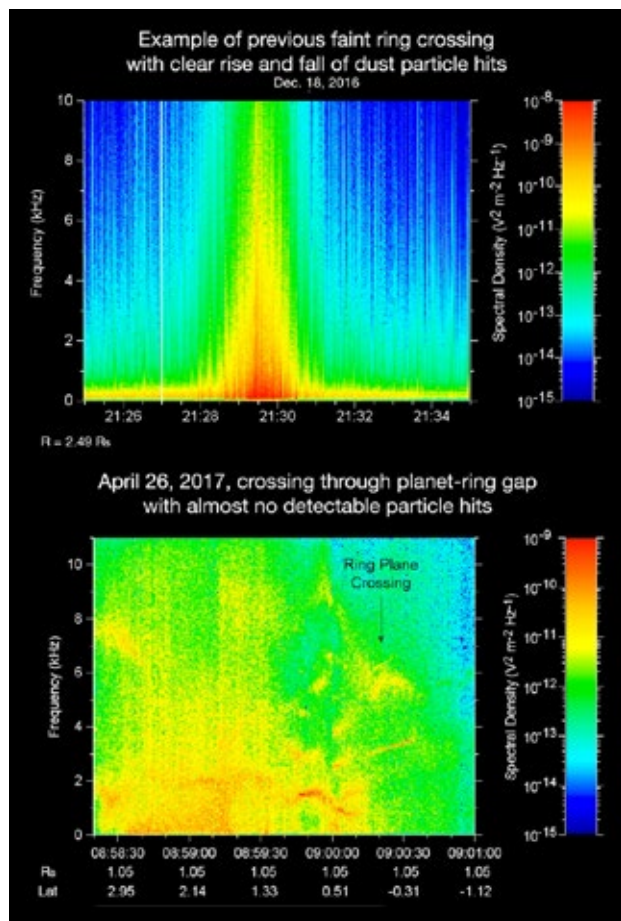


Fig.3. Spectrogramme qui illustre l'intensité des impacts et le bruit qu'ils font sur l'antenne de la sonde Cassini en fonction du temps lors des passages dans le plan des anneaux à 150 000 km de la planète lors des « Proximal orbits » en décembre 2016 (en haut) et lors du périastre du 26 avril 2017 entre l'anneau D et la planète à 63 500 km du centre de Saturne. Dans ce corridor, l'intensité des impacts est clairement de plusieurs ordres de grandeurs en deçà de celle mesurée plus loin. Credit NASA/JPL.

La figure 3 illustre l'intensité des impacts des particules de poussières sur l'antenne de la sonde Cassini, accompagnée d'une cacophonie de sons captée par l'instrument RPWS, qui curieusement ne s'intensifie pas lors du passage dans le plan des anneaux.

Cette intensité est à comparer à celle mesurée lors du passage dans le plan des anneaux en bordure extérieure des anneaux principaux.

On pourra écouter ses impacts à la page : <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2017-127>.

Une fin de mission certes mais pour la science ce « Grand Finale » est une nouvelle mission avec des objectifs scientifiques uniques : sonder les champs gravitationnel et magnétique de la planète au plus proche pour comprendre la structure interne de la planète, ses dissymétries et le lieu de génération du champ magnétique, mesurer la masse des anneaux de Saturne ou analyser la composition chimique des particules de l'anneau D collectées avec l'instrument CDA. Si les premiers échos donnés de ces différentes mesures sont tout à fait enthousiasmants et confirment l'intérêt d'avoir exploré cette zone, il est désormais nécessaire de prendre le temps de définir le contour des certitudes et du doute, probablement pour quelques mois. Le plongeon final même est le moment d'une expérience unique de collecte de donnée en direct. La sonde Cassini est programmée pour maintenir son antenne principale vers la Terre et envoyer en direct les données du spectromètre de masse INMS (Ion and Neutral Mass Spectrometer) qui va analyser le long de sa trajectoire de plongeon final la composition atmosphérique de Saturne.

L'année à venir verra les dernières grandes réunions scientifiques de la mission avant dispersion des équipes scientifiques. Le site NASA du « Grand Finale » est déjà devenu celui de « l'héritage de Cassini ». Nul doute cependant que cette mission aura été trans-générationnelle et aura soudé définitivement une communauté scientifique autour d'objectifs communs dans une approche multi-instrumentale multi-longueur d'onde et ce, sur de longues échelles de temps (figure 4). Citons aussi ceux qui ont permis il y a vingt-cinq ans que tous ces instruments existent et fonctionnent pendant des décennies dans un environnement électromagnétique difficile. Ils auront, eux, connu le frisson du décollage. On peut recommander comme un résumé le visionnage du film de la NASA résumant la mission Cassini et figurant avec des images de synthèse le plongeon final : <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/7628/?category=hall-of-fame>.

La nouvelle génération formée a encore devant elle de beaux jours d'analyse des données de la sonde Cassini. Elle pourra aussi continuer de suivre les évolutions saisonnières du système de Saturne ou compléter les observations faites grâce à des moyens d'observations terrestres aux performances décuplées depuis 20 ans, en particulier le télescope spatial James Webb ou l'observatoire ALMA, et à l'horizon 2025 l'Extremely Large Telescope de l'ESO. De

quoi patienter pendant le voyage des sondes Europa-Clipper (NASA) et JUICE (ESA), lancées entre 2022 et 2025, et dont les arrivées autour des satellites galiléens de Jupiter sont prévues à l'horizon 2030 ! Ainsi vont les alternances entre missions spatiales d'exploration et observations à partir du sol.

La décennie est une bonne échelle de temps pour voir la marche de la science, la démarche scientifique d'investigation à partir des questionnements initiaux qui auront justifié l'envoi de la sonde, mais aussi l'adaptation à la surprise, aux phénomènes inattendus, des questions nouvelles pour lesquelles des stratégies d'observation ont été élaborées au fil de l'eau et qui ont justifié la prolongation de la mission sur une si

longue durée. La mission Cassini-Huygens est un livre de contes scientifiques à cet égard. Chacun d'eux mériterait qu'on y dédie quelques colonnes des Cahiers Clairaut. À bientôt peut-être. En attendant je vous recommande quelques promenades nostalgiques au fil des images de la mission sur : <https://saturn.jpl.nasa.gov/> . ■

En plus d'être présidente du CLEA, Cécile Ferrari est une grande spécialiste de Saturne, puisqu'elle était co-responsable scientifique de l'instrument CIRS (Composite Infra Red Spectrometer) à bord de Cassini et responsable scientifique au service d'astrophysique du CEA de l'exploitation de ces données.



Fig.4. Une bonne partie des membres de la mission Cassini photographiée en juin 2017 sur le site du Jet Propulsion Laboratory - Crédit : NASA/JPL/Caltech.

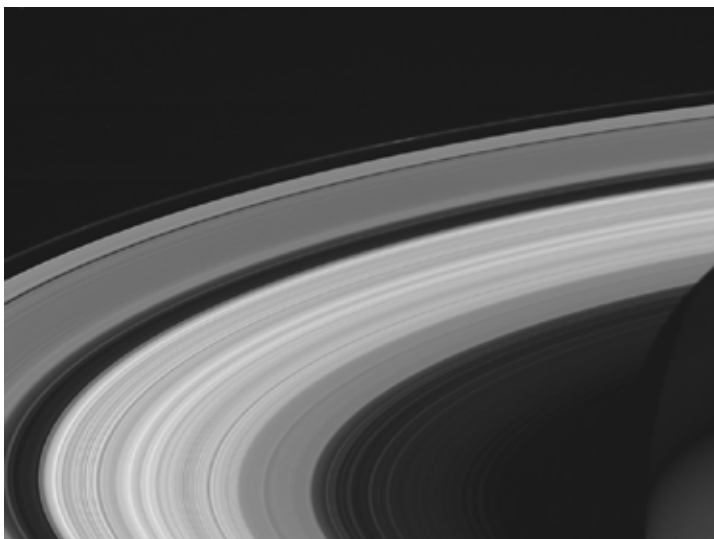


Figure 5.

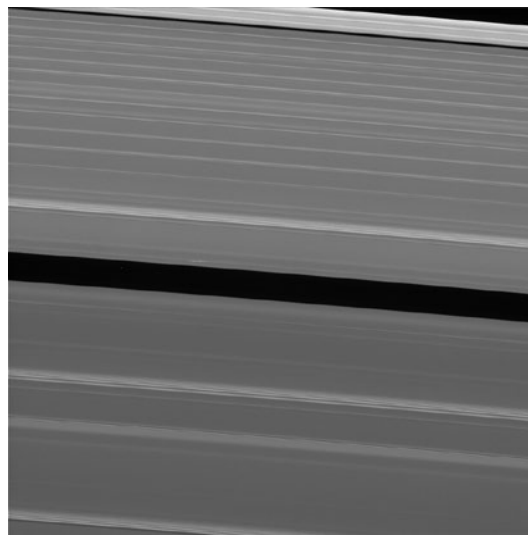


Figure 6.

Fig.5. Cette image des anneaux de Saturne a été prise par Cassini le 13 septembre 2017. C'est parmi les dernières images que Cassini a envoyées à la Terre avant de conclure sa mission le 15 septembre.

La vue a été prise en lumière rouge visible à l'aide de la caméra grand angle de Cassini à une distance de 1,1 million de kilomètres de Saturne.

Fig.6. Avant de conclure sa mission le 15 septembre 2017, Cassini a capturé une dernière vue d'une caractéristique unique d'«hélice», une des nombreuses caractéristiques dynamiques à petite échelle créées par les petites lunes intégrées dans les anneaux car elles tentent, sans succès, d'ouvrir des espaces dans le matériau des anneaux. L'image a été prise le 13 septembre 2017 avec la caméra grand angle à une distance de 676 000 km de Saturne. Échelle d'image 3,7 km par pixel. C'est parmi les dernières images que Cassini a envoyées à la Terre.

NDLR : Grand finale est l'expression choisie dans le milieu des astronomes pour la fin de mission de Cassini. En français, c'est un terme musical, en anglais, c'est le bouquet, l'apothéose.