

Saturne, après Voyager, avant le vaisseau spatial Cassini

par C. Muller

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

Abstract :

A description of the Saturn system is made after five years of interpretation of the Voyager results. The specificities of the planet, its rings and its satellite Titan, lead to the conception of Cassini : a new ESA-NASA space mission to Saturn of which the first preliminary designs are introduced.



La planète Saturne est l'un des plus beaux objets que l'amateur puisse apercevoir au télescope; entourée d'anneaux brillants, elle semble ne plus appartenir à notre réalité. Planète visible à l'œil nu et identifiée depuis la plus haute antiquité, elle fut observée par Galilée dès 1610, qui la perçut comme triple, avec deux corps non résolus de chaque côté. Les progrès de l'optique devaient amener plus tard Cassini, Huygens, Encke, Lyot et finalement Dollfus à donner une vue nette d'un système d'anneaux à trois divisions : les anneaux A, B et C. La découverte des satellites connaissait entretemps les mêmes progrès : Huygens observait le plus grand : *Titan*; Cassini découvrait *Japet*, *Rhéa*, *Téthys* et *Dioné*; Herschel : *Mimas* et *Encelade*; Bond : *Hypérion*; Pickering : *Phoebé* et Dollfus : *Janus*.

Dans les dernières années avant l'exploration spatiale, Saturne devait également révéler des surprises d'ordre astrophysique : une magnétosphère active révélée par un rayonnement radio kilométrique de 3 kHz à 1,2 MHz avec un pic à 175 kHz; enfin, l'étude spectroscopique, menée notamment par G.P. Kuiper révélait la composition de la planète et une atmosphère dense sur Titan; la présence d'azote et de méthane sur ce satellite rend plausible l'apparition d'acide cyanhydrique (HCN) et de cyanoacétylène (HC₃N), qui à leur tour permettraient l'apparition d'acides aminés et donc des conditions propices au développement d'une vie primitive.

L'intérêt porté à Saturne par les théoriciens a également toujours été très

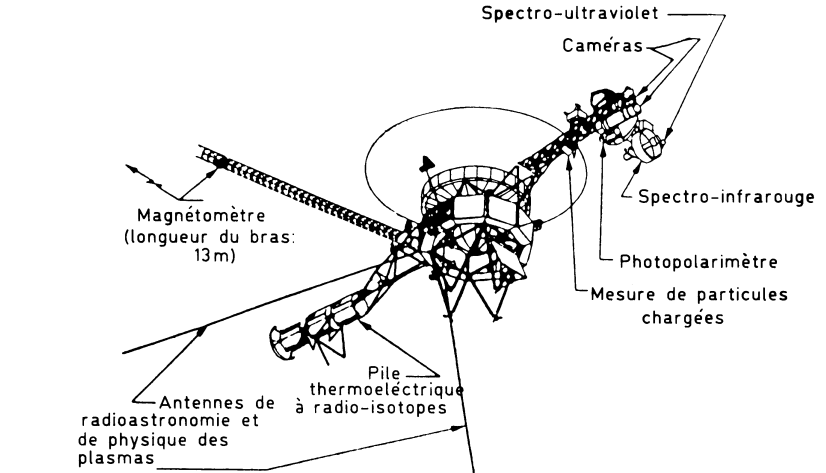


Fig. 1 : Le vaisseau spatial Voyager, les parties les plus visibles sont la plate-forme d'observation orientable, portant les instruments optiques et les bras supportant les instruments destinés à la mesure des champs électriques et magnétiques.

grand, il serait possible de rédiger une histoire de la physique mathématique classique en alignant les noms de tous ceux qui, de Huygens à Maxwell, en passant par Christopher Wren et Laplace, étudièrent le problème de la nature et de la stabilité des anneaux.

Ces raisons devaient pousser la communauté scientifique à proposer des sondes d'exploration spatiale qui furent acceptées par la NASA dans les

programmes d'exploration planétaire Pioneer et Voyager. L'acceptation de ces programmes coûteux a été aussi, bien évidemment, liée au désir d'effectuer une avance en prenant des risques technologiques que les clients des applications commerciales et militaires n'auraient pu accepter, cet argument étant puissamment défendu par les principales firmes concernées auprès des autorités politiques américaines. Les résultats principaux concernant

Tableau 1

Anneaux de Saturne	Largeur radiale (km)	Distance au centre de Saturne (R _S)
Limite intérieure anneau D		1,11
Limite intérieure anneau C		1,235
Division de <i>Maxwell</i>	253	1,45
Limite intérieure anneau B		1,525
Limite extérieure anneau B		1,948
Division de <i>Huygens</i>	430	1,951
Division de <i>Cassini</i>	4540	1,985
Limite intérieure anneau A		2,025
Division de <i>Encke</i>	328	2,214
Division de <i>Keeler</i>	31	2,263
Limite extérieure anneau A		2,267
Anneau F	50	2,327
Anneau G		2,8
Limite intérieure anneau E		3
Limite extérieure anneau E		8

Saturne ont été obtenus par les sondes Pioneer 11 en septembre 1974, Voyager 1 et 2 en novembre 1980 et en août 1981, après environ trois ans de vol. Voyager 1 était spécialement programmée pour l'exploration de Saturne et devait passer à 7.000 km de Titan,

déviant ainsi sa trajectoire et perdant toute chance de rencontre ultérieure avec Uranus et Neptune. Le vaisseau spatial Voyager est montré à la Figure 1, la plupart des résultats présentés ont été obtenus au moyen d'instruments situés sur la plateforme orientable dont

le principal était la caméra, composée de trois tubes TV munis de filtres (les mêmes que la NASA utilise depuis les Rangers des années 60) et des instruments optiques destinés à mesurer les spectres infrarouges, ultraviolets et visibles des objets observés.

Fig. 2 : Vue du limbe de la planète à travers les anneaux obtenue par Voyager 2, le 23 août 1981 à la distance de 3,3 millions de kilomètres, la bande brillante observée sur la planète correspond à la lumière traversant la division de Cassini (visible à gauche sur le cliché).

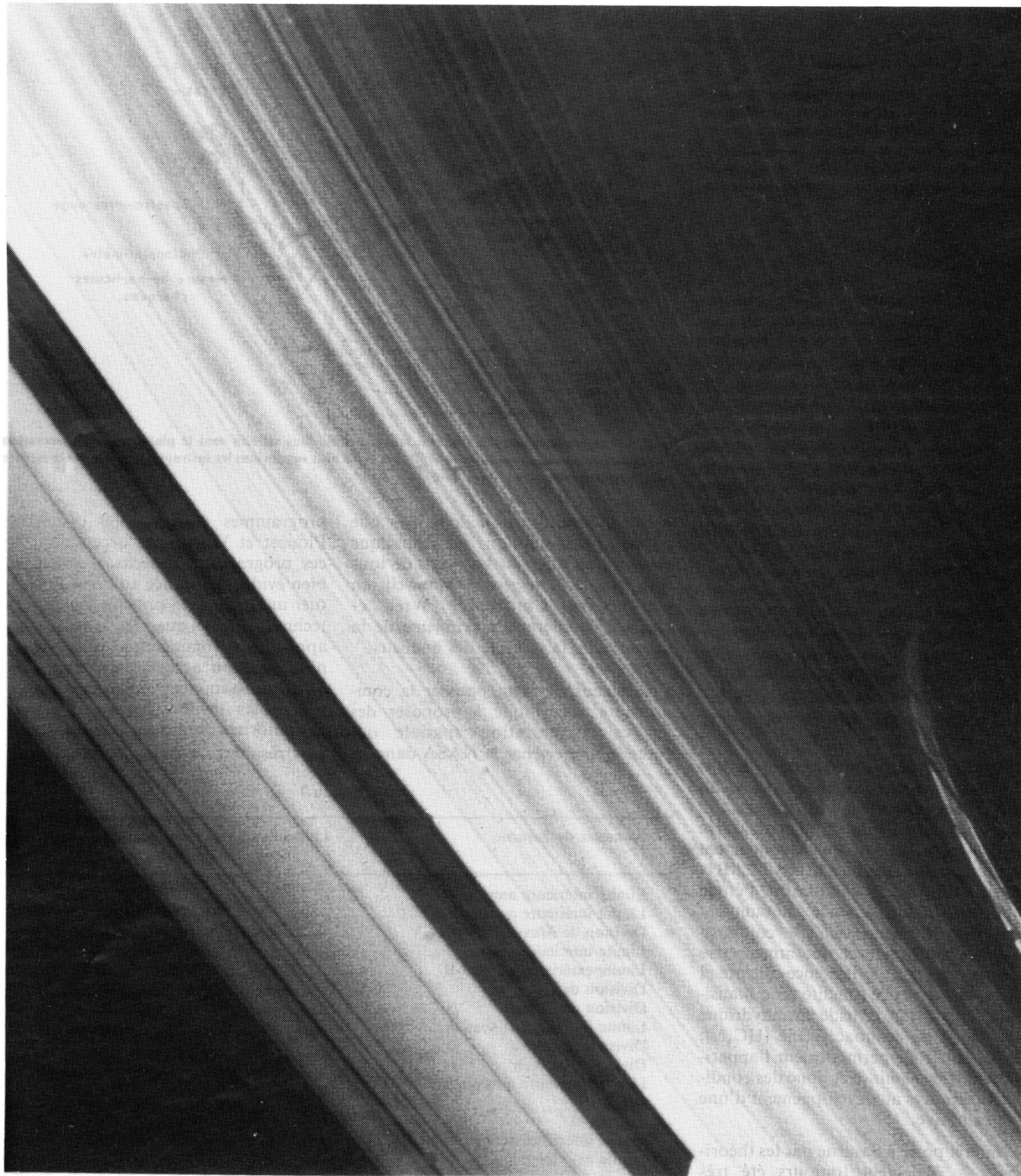




Fig. 3 : Anneau torsadé observé par Voyager 2 le 25 août 1981 d'une distance de 700 000 kilomètres, le vaisseau étant presque dans le plan des anneaux, cet anneau torsadé dans l'anneau A n'avait pas été observé par Voyager 1, tandis que les anneaux torsadés observés dans l'anneau F lors du premier passage n'ont pas pu être revus lors du second; les « vides » observés dans l'anneau laissent à penser qu'on est en présence de variations des propriétés de diffusion de la lumière par l'anneau.

Anneaux

Les résultats obtenus sur la planète ont d'abord porté sur les anneaux, ensuite sur la dynamique de l'atmosphère et finalement sur la composition avec une meilleure compréhension de la nature du centre de la planète et de l'origine et des propriétés de sa magnétosphère. L'observation des anneaux (Figures 2, 3 et 4 et Tableau 1) a dépassé en complexité tout ce qui avait été imaginé, ils devaient présenter deux surprises : la découverte de rayons dans l'anneau B et un anneau torsadé observé dans l'anneau F en novembre 1980 et rectifié en août 1981. Le premier phénomène ne peut se comprendre qu'en considérant la taille et la composition des particules des anneaux, leur spectre infrarouge est parallèle à celui de la glace et on peut penser qu'ils sont constitués de silicates ou de particules métalliques autour desquelles de l'eau s'est accumulée, la radiopropagation des signaux entre Voyager et la Terre a montré des particules dont la taille varie de 1 cm à 5 m, ces particules réfléchissent la

lumière dans toutes les directions et ne peuvent être à l'origine de ces rayons, ceux-ci ne peuvent être dus qu'à de plus petites particules pour lesquelles la théorie de la diffusion Mie s'applique et qui diffusent sélectivement la lumière vers l'avant, expliquant que les rayons apparaissent clairs quand l'observation est faite avec le soleil en face du vaisseau spatial et sombres quand le soleil est en arrière, ces particules auraient une taille de l'ordre du micron et leur accumulation en des

zones bien précises des anneaux seraient dues à une interaction avec la magnétosphère. Les anneaux torsadés pourraient s'expliquer par l'interaction de satellites d'environ 10 km de rayon non encore découverts mais dans ce cas, le désaccord entre les observations de Voyager 1 et Voyager 2 n'est pas expliqué. Finalement, de nombreuses questions restent posées, Voyager a pu déterminer une épaisseur maximale de 200 m pour les anneaux, montrant que ceux-ci ne peuvent être ramenés à une couche fine de l'épaisseur d'une particule, conduisant inmanquablement à des mouvements verticaux et à des collisions, posant le problème du maintien de leur taille. La solution viendra peut-être de l'analyse des données photométriques et polarimétriques de Voyager, celle-ci devant prendre encore plusieurs années.

Saturne

La planète pose relativement moins de problèmes, sa circulation météorologique est très semblable à celle de Jupiter avec une suite de ceintures de cellules convectives que les météorologistes du projet sont arrivés à modéliser sans trop de difficultés, les tourbillons de Saturne (Figure 5) n'ont cependant pas révélé de phénomènes de même durée que la grande tache rouge de Jupiter, cependant des taches d'ampleurs inférieures (env. 1/10) ont été observées à des intervalles d'environ 10 h par Voyager 1 mais aucune n'a pu être reconnue avec certitude lors du passage de Voyager 2, six mois après. Le sens du tourbillon autour de ces taches est celui des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et correspond à un centre de basse pression, comme d'ailleurs dans le cas de la grande tache rouge.

L'atmosphère est essentiellement composée de méthane CH_4 , d'ammoniac NH_3 , d'hydrogène H_2 , de phosphane PH_3 , d'hydrocarbures C_2H_2 , C_2H_6 , C_3H_4 , C_3H_8 et d'hélium (voir Tableau 2). Par contre, d'autres gaz prédits par

Tableau 2 : Composition de l'atmosphère de Saturne

Gaz	Rapport de mélange (*)	
	Limite inférieure	Limite supérieure
H_2		1,0
CH_4	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$
NH_3	Non distribué uniformément; moyenne :	
PH_3	2×10^{-7}	$1,7 \times 10^{-6}$
C_2H_2	5×10^{-8}	$1,2 \times 10^{-7}$
C_2H_6	5×10^{-7}	5×10^{-6}

(*) Le rapport de mélange d'un corps, (ou fraction molaire) s'obtient en divisant le nombre de molécules de ce corps par unité de volume par le nombre total de molécules par unité de volume.

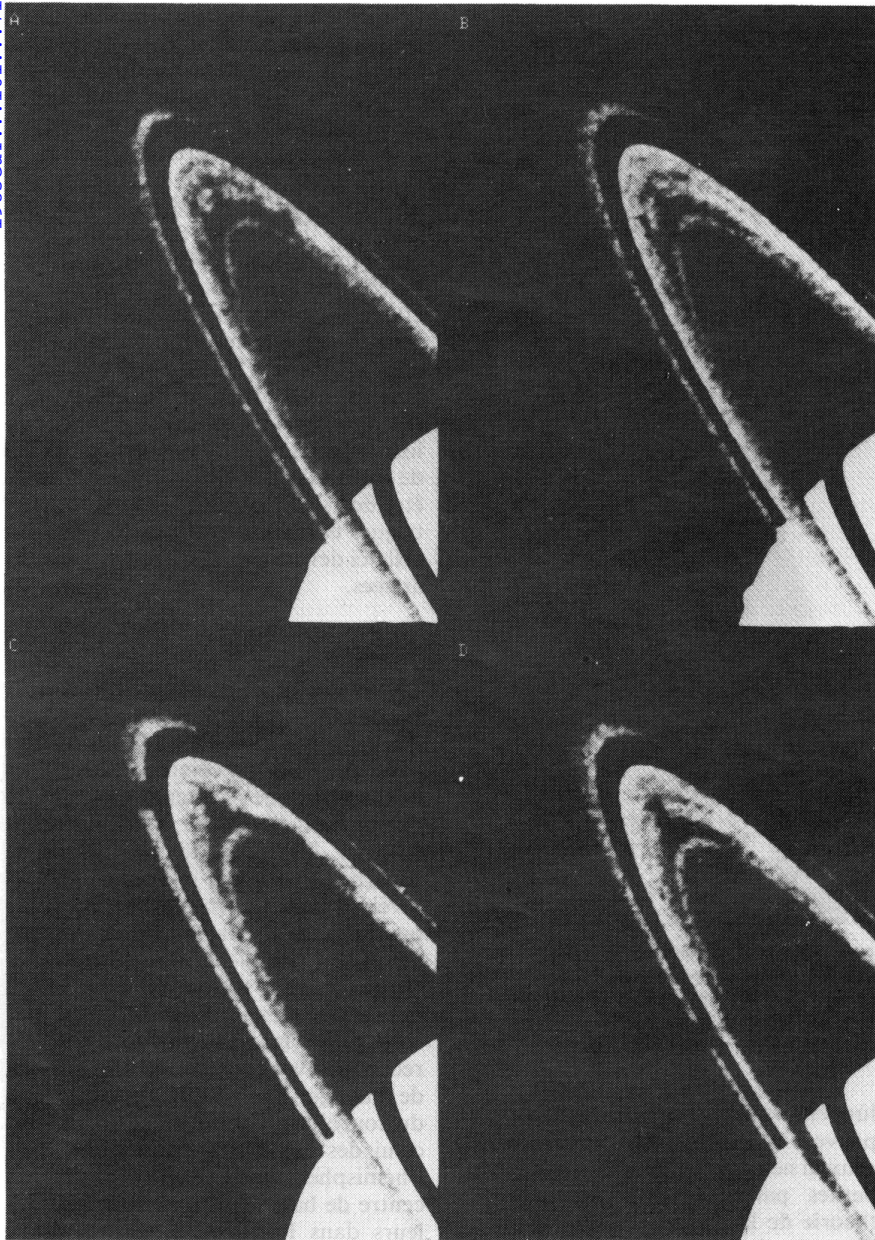


Fig. 4 : Quatre photographies successives de l'anneau B obtenues par Voyager 1 les 4 et 5 octobre 1980. Le contraste a été forcé pour faire apparaître les structures radiales (spokes). On voit qu'elles sont variables d'un cliché à l'autre; une observation plus fine établissant que leur stabilité maximale est de deux ou trois heures, tandis qu'elles peuvent apparaître et disparaître entre deux clichés. Il est maintenant établi qu'elles sont dues à des particules diffusantes de la taille du micron, mais leur instabilité est loin d'être expliquée.

les modèles n'ont pas encore été observés : CO , C_2H_4 , H_2O , H_2S et GeH_4 seront probablement accessibles à des instruments plus résolvants tels que ceux qu'emportera le Space Telescope. Par contre, Voyager a pu effectuer la mesure du rapport des abondances de l'hydrogène et de l'hélium : la valeur de l'hélium est environ deux fois inférieure à la valeur solaire et également inférieure à celle mesurée sur Jupiter. Des mesures semblables sur les autres constituants indiquent une accréation de

matière au centre de la planète, conduisant à un noyau lourd entouré d'une couche d'hydrogène métallique et de gaz liquéfié. La structure atmosphérique est simple, par rapport à la Terre : une troposphère jusqu'à 0,1 bar avec un minimum de température de 80°K suivie d'une stratosphère où la température ne cesse de s'accroître. Finalement, l'atmosphère porte des gouttelettes, de 0,1 micron environ de diamètre, en suspension : les aérosols, disposés en couches bien définies et dont l'ori-

gine ne peut venir que de réactions chimiques dans l'atmosphère, le volcanisme ne pouvant exister sur une planète à surface fluide.

Titan

Les problèmes posés par la planète devaient d'ailleurs s'effacer devant les découvertes effectuées dans l'atmosphère de Titan, le satellite Titan, de 2575 km de rayon est plus grand que la planète Mercure et un peu plus petit que le plus grand satellite du système solaire : Ganymède, exploré lors de la rencontre de Voyager avec Jupiter. La présence nette d'un limbe a conduit les astronomes à soupçonner une atmosphère depuis 1908 et les mesures spectrométriques ultérieures ont amené à déterminer la présence de méthane (CH_4) et à obtenir une quantité correspondant à une colonne d'environ 10.000 fois plus que dans l'atmosphère terrestre; de plus, la pression déterminée au sol à partir des spectres pourrait être de 1500 millibar, et implique la présence d'un gaz abondant optiquement inerte (azote moléculaire (N_2) ou argon). Avant l'arrivée de Voyager, la divergence entre les meilleurs modèles était totale, les observations spectroscopiques étant incertaines, certains modèles donnaient des pressions au sol de 20 mb, tandis que d'autres conduisaient à 20 bar, soit 1000 fois plus !

Les premières images de Titan par Voyager 1 en 1980 devaient s'avérer décevantes (Figure 6). La couche épaisse d'aérosols entourant la planète interdisait l'observation du sol et ne permettait d'obtenir aucune information sur l'activité géologique à la surface de la planète. La comparaison des spectres infrarouges et ultraviolets enregistrés par Voyager devait montrer la présence du méthane, de l'azote (N_2), de l'argon, d'hydrocarbures (notamment le propane C_3H_8) et des composés azotés comme le cyanoacétylène (HC_3N); par contre l'ammoniac (NH_3) n'a pas été observé, ni non plus le cyanure de méthyle (CH_3CN). Titan ne correspond donc pas exactement à l'expérience où des décharges électriques dans une atmosphère synthétique de méthane et d'ammoniac donnent naissance aux constituants de l'acide désoxyribonucléique. Cependant, cette atmosphère réductrice, sans oxygène, avec ses variations de pression et de température est plus proche de l'atmosphère terrestre primitive que ne le seront jamais les expériences de laboratoire et mérite une étude plus développée que les deux brèves rencontres de Voyager.