

URANUS, LE 24 JANVIER 1986 : ce que Herschel n'a pas pu voir le 13 mars 1781

NDLR - Le 17 février 1986, au séminaire d'astrophysique de Meudon, André Brahic a rendu compte de la rencontre de la sonde Voyager 2 avec Uranus. Un événement qu'il a vécu avec plusieurs collègues de Meudon et de Verrières au Jet Propulsion Laboratory de Pasadena. Conférencier enthousiaste comme nous le connaissons, auditoire passionné dans un amphî comble, aussi captivé par l'orateur que par les documents présentés.

Des notes prises par Lucienne Gouguenheim et de l'enregistrement au magnétophone, nous avons tiré la note suivante qu'André a bien voulu relire, corriger et compléter en nous confiant les documents qui illustrent ce texte. Nous l'en remercions très amicalement. Il faut cependant prévenir le lecteur que cette rédaction est à l'exposé vivant que nous avons suivi comme la banale photo d'une scène de rue à la fameuse "Ronde de nuit" peinte par Rembrandt. Que le lecteur nous pardonne de n'avoir pas su rendre le jeu subtil des ombres et des lumières que la parole de Brahic sait si bien animer.

Quelques remarques préliminaires

Un mois à peine après la rencontre et l'extraordinaire moisson de données nouvelles recueillies par la sonde, il faut se contenter d'une description rapide et forcément très incomplète des découvertes engrangées. Il faudra des mois, voire des années, pour "digérer" toutes les observations, toutes les mesures effectuées et en tirer un bilan cohérent. Ici, en une séance de séminaire, tout ne pourra être dit ; d'autres séances permettront à André Boischot, Daniel Gautier et Jean-Loup Bertaux d'approfondir des sujets particuliers précis après ce qui ne sera aujourd'hui qu'une vision panoramique.

Comment ne pas être frappé par le contraste entre les conditions de la découverte d'Uranus par Herschel le 13 mars 1781 et, deux cents ans plus tard, les circonstances de la visite du système d'Uranus par la sonde VOYAGER 2. Dans le premier cas, un musicien professionnel qui est un astronome amateur averti installe le télescope de 7 pieds qu'il a construit lui-même dans le jardin de sa maison à Bath : auprès de l'étoile η des Gémeaux, il découvre une planète nouvelle. Solitude du découvreur. Dans le second cas, des centaines d'astronomes, d'ingénieurs et de techniciens ont coopéré à la réalisation de la sonde, à sa mise sur orbite, à la mise en oeuvre d'un programme complexe d'observations et de mesures et, maintenant, à l'interprétation des données recueillies. Une entreprise nécessairement collective.

Nous devons tous ressentir le privilège d'appartenir à cette génération humaine qui, la première, a pu visiter l'environnement de la Terre par sondes et astronautes interposés. Les premiers pas de l'homme sur la Lune datent déjà de seize années ; des sondes se sont posées sur Mercure, sur Vénus, sur Mars ; des visites mémorables des environnements de Jupiter et de Saturne ont eu lieu, en particulier par les sondes VOYAGER 1 et 2.

Retenons à ce propos que la rencontre avec Uranus n'avait rien de commun avec les étapes antérieures du périple de VOYAGER 2. Tant Jupiter que Saturne avaient été préalablement explorées par les sondes PIONEER avant les visites des VOYAGER. Pour la rencontre avec Uranus, seule VOYAGER 2 restait en course. il n'y avait eu aucune exploration rapprochée antérieure et il n'y aurait pas de "second tour". On pouvait être un peu anxieux : la sonde fonctionnerait-elle toujours aussi bien ? C'était une chance unique pour explorer de près un astre et son environnement bien mal connus en raison de leur éloignement.

A cette occasion, comme cela avait déjà été le cas autour de Jupiter et de Saturne, on a pu constater la grande diversité de la nature. A priori, on pouvait penser que toutes les grosses planètes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune devaient beaucoup se ressembler. Mais plus l'exploration progresse, plus on est surpris par des aspects particuliers à chaque planète, à son système d'anneaux et de satellites, à sa propre activité, à sa propre machine thermique. Plus l'astre est lointain, moins on sait de choses par l'observation à partir de la Terre et plus on fait de théorie ; plus on a de surprises lorsque l'observation rapprochée devient possible et oblige à corriger les théories... Processus passionnant. C'est le cas pour Uranus. On aimerait qu'il puisse en être de même pour les objets encore plus lointains, les galaxies par exemple, et qu'on puisse ainsi vérifier si les théories que l'on imagine correspondent bien à la réalité.

Il faut d'ailleurs rappeler, comme on le vérifiera dans l'exploration d'Uranus, la remarquable complémentarité de l'observation depuis la Terre et des données recueillies par les sondes spatiales. Certains esprits conservateurs auraient tendance à minimiser l'intérêt de l'exploration spatiale, les sondes passent trop vite près des objets, ... D'autres astronomes, au contraire, ne verraient plus de progrès possibles dans la connaissance des astres que par les sondes. En réalité, ce qui importe c'est l'objet observé, toutes les sources d'information sont utiles, leur coordination est indispensable, leur complémentarité est essentielle.

La sonde et sa trajectoire

Ne pas oublier que l'idée des sondes VOYAGER date de 1965 ; le projet a été finalement accepté et financé en 1972. La sonde VOYAGER 2 a été lancée en 1977 et elle était seulement destinée, comme sa soeur VOYAGER 1, à la visite de Jupiter et de Saturne. Le projet de la grande randonnée vers les planètes extérieures avait été abandonné comme trop coûteux. La NASA a cependant pu profiter des positions pas trop dispersées des grosses planètes pour diriger VOYAGER 2, après ses visites réussies de Jupiter et de Saturne - ce qui remplissait la mission prévue - vers Uranus puis Neptune avant qu'elle ne s'échappe du système solaire. La sonde restant en bon fonctionnement longtemps après ce qui était prévu, c'est un succès incontestable pour les ingénieurs de la NASA. L'autre sonde VOYAGER 1 continue également à émettre en s'échappant elle aussi du système solaire.

La sonde VOYAGER 2 EST UN ENSEMBLE DE 800 kg comportant une réserve de carburant pour les petites fusées qui permettent d'orienter l'engin. La sonde ne comporte pas de panneaux solaires ; aux grandes distances du Soleil qu'elle devait parcourir, de tels panneaux auraient été insuffisants pour alimenter les instruments de mesure, les caméras et les transmissions, l'énergie est donc fournie par trois générateurs nucléaires placés au bout d'un long bras, loin des instruments de mesure qui ne doivent pas être perturbés par ce voisinage. Ceux-ci comportent diverses caméras (lumière visible, infra rouge ou ultra violet), une caméra grand angle, un magnétomètre, des détecteurs de particules de haute énergie, des détecteurs de plasma.

La plateforme qui porte les caméras peut être orientée indépendamment de l'ensemble par rotations autour de deux axes. Malheureusement, au cours de la visite de Saturne, l'un des axes s'est un peu "grippé". Au cours des trois années qui se sont écoulées entre les visites de Saturne et d'Uranus, les ingénieurs de la NASA ont mesuré les efforts à fournir pour débloquer cet axe. S'ils n'y étaient pas parvenus, la seule ressource aurait été d'orienter la sonde dans son ensemble avec les fusées mais alors la réserve de carburant aurait limité à 125 mouvements près d'Uranus et autant près de Neptune les libertés de manoeuvre. Les ingénieurs de la NASA ont réussi

cette prouesse technique de remédier à l'incident : après avoir réussi à mesurer la couche de lubrifiant autour de l'axe défaillant, ils sont parvenus à rendre la plateforme orientable à la condition de ne lui demander que des mouvements relativement lents.

Mieux encore, ils ont conçu des programmes qu'ils ont pu transmettre à la sonde afin que celle-ci fasse varier l'orientation de la caméra pour suivre l'objet photographié. Alors que la sonde est animée d'une vitesse de plus en plus grande en s'éloignant du Soleil, on dispose ainsi d'un temps de pose plus long ; ce qui est fort utile quand on pense qu'Uranus reçoit environ 400 fois moins de lumière du Soleil que la Terre. Grâce à quoi la sonde a pu réaliser les meilleures images possibles des objets lointains du système solaire, une résolution de quelques centaines de mètres sur Miranda, par exemple. Ce suivi de l'objet photographié par la caméra, on ne savait pas le faire auparavant ; les performances de VOYAGER 2 ont donc été améliorées en cours de route !

Le climat, au JPL, pendant cette rencontre avec Uranus, était très différent de ce qu'il avait été lors de la rencontre avec Saturne. Non seulement, dans ce dernier cas, il y avait eu des précédents, quelques explorations rapprochées préalables, mais la durée de la traversée du système de Saturne devait se poursuivre durant plusieurs jours. Rien de tel pour Uranus, en raison de la disposition de l'axe de rotation de la planète et du plan des orbites de ses satellites. On savait que la visite serait brève ; un jour avant la rencontre, on ne décelait aucune information nouvelle pas de champ magnétique perceptible, ...On était presque déçu.

La sonde arrivait près d'Uranus par un pôle à la vitesse de 75 000 km/h, devait donc passer rapidement à travers le plan équatorial (peu différent du plan des anneaux et des orbites des satellites) avant de s'éloigner vers l'autre pôle. Une rencontre de quelques heures au cours desquelles devaient être prises six mille photos dont plus de deux mille lors du passage le plus rapproché, des milliers de spectres, des mesures au magnétomètre, etc... Toutes les merveilles d'Uranus se sont révélées tout d'un coup. N'oubliez pourtant pas que la plateforme portant les instruments ne supportait pas les mouvements brusques. Le temps disponible pour l'observation a été employé à plein.

La planète et son atmosphère

Le disque d'Uranus est vu de la Terre sous un angle de 4". On connaissait donc peu de détails sur la structure de la planète. Les photos qui ont été prises par la sonde peuvent paraître un peu décevantes car elles révèlent moins de colorations variées que sur Saturne ou Jupiter. Les couches de brume et de nuages sont plus importantes dans l'atmosphère d'Uranus, bien que moins spectaculaires. Ces photos ont été prises avec huit filtres différents de qui permet de pénétrer dans des couches plus ou moins profondes de l'atmosphère : avec un filtre UV, on observe les couches superficielles, avec un filtre orange, les couches plus profondes.

Si le résultat n'est donc pas aussi spectaculaire que pour Jupiter, il faut comprendre que la dynamique de l'atmosphère d'Uranus est tout aussi passionnante ou même plus. Pendant quarante deux ans, l'un des pôles de la planète est éclairé par le Soleil, pendant les quarante deux années suivantes, c'est l'autre pôle qui est éclairé. Il en résulte que des problèmes très particuliers se posent pour analyser la dynamique de cette atmosphère.

Avec des filtres jaunes ou oranges, on a pu suivre et mesurer la rotation de la planète : une période entre 16 et 17 heures, la rotation étant plus lente vers l'équateur :

<u>latitude uranienne</u>	<u>période de rotation</u>
26°	17 heures
35°	16,3 heures
40°	16 heures

Autre exemple de données recueillies et qui restent à interpréter, paradoxalement le pôle éclairé est un peu plus froid que le pôle sombre, la région la plus froide étant comprise entre 20 et 40° de latitude.

Le rapport de la quantité d'hélium à celle d'hydrogène a été mesuré par l'observation de la réfraction des ondes radio dans l'atmosphère. On a trouvé 12% (à 4% près) alors que la proportion dans le Soleil est 15% et dans l'atmosphère de Jupiter 10% ; certains journaux avaient prétendu qu'on trouverait 40% mais comme chacun sait depuis Saint Augustin, "c'est par hasard qu'on prédit vrai".

L'idée qu'on se fait actuellement de la constitution de la planète est la suivante : au centre, un corps "rocheux" le plus dense de rayon 7 500 km; au-dessus, jusqu'à 18 000 km, un océan ionique probablement responsable du champ magnétique, et encore au-dessus jusqu'à 26 000 km une atmosphère essentiellement composée d'hydrogène (diamètre total de la planète, environ 50 000 km). La grande différence avec Jupiter et Saturne, c'est l'absence d'hydrogène métallique conducteur de courant. De plus, sur Jupiter et Saturne, l'hélium tombe vers le centre ce qui est à l'origine de l'énergie rayonnée par ces planètes. Uranus ne rayonne apparemment pas plus d'énergie qu'elle n'en reçoit ; la radioactivité des roches du noyau pourrait expliquer un surplus d'énergie de 5 à 10% mais, pour l'instant, on ne peut conclure, il faut attendre le dépouillement des mesures.

Le champ magnétique d'Uranus

Aucun champ magnétique n'avait été décelé antérieurement sur Uranus. Pourtant, des observations en ultra violet à partir de la sonde IUE avaient fait soupçonner l'existence d'aurores polaires et par conséquent celle d'un champ magnétique.

VOYAGER 2 ne mesurait encore rien le mercredi avant-veille de la rencontre. Soudain, la sonde traversa l'onde de choc du vent solaire et la magnétopause d'Uranus avant de pénétrer dans la très haute atmosphère de la planète. Et alors, grande surprise : un champ magnétique très puissant, des ceintures de radiations plus importantes que celles de la Terre, un axe magnétique incliné à 55° sur l'axe de rotation - le plus grand écart connu dans le système solaire.

Une remarque en passant : l'Union Astronomique Internationale a pris la convention de désigner comme "pôle Sud" d'une planète celui qui est situé au Sud du plan de l'orbite de la planète. Selon cette convention, on a la disposition suivante des pôles magnétiques :

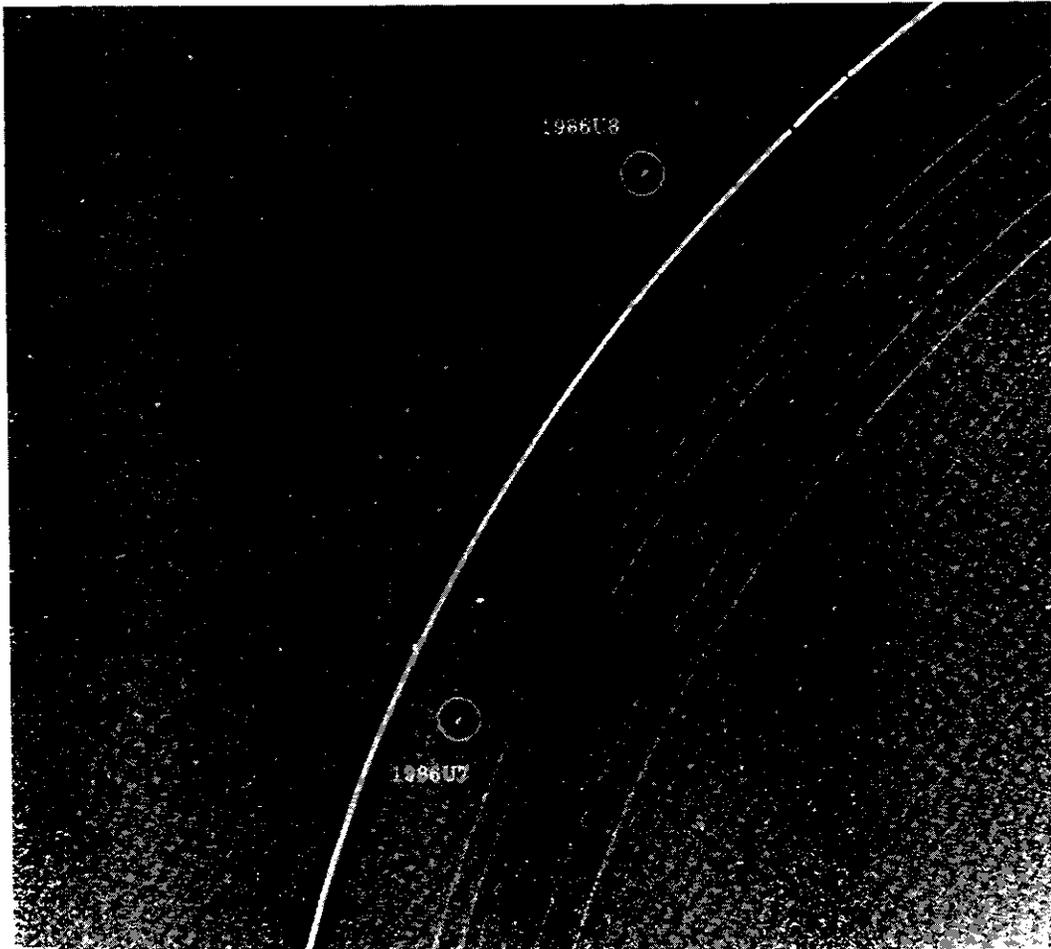
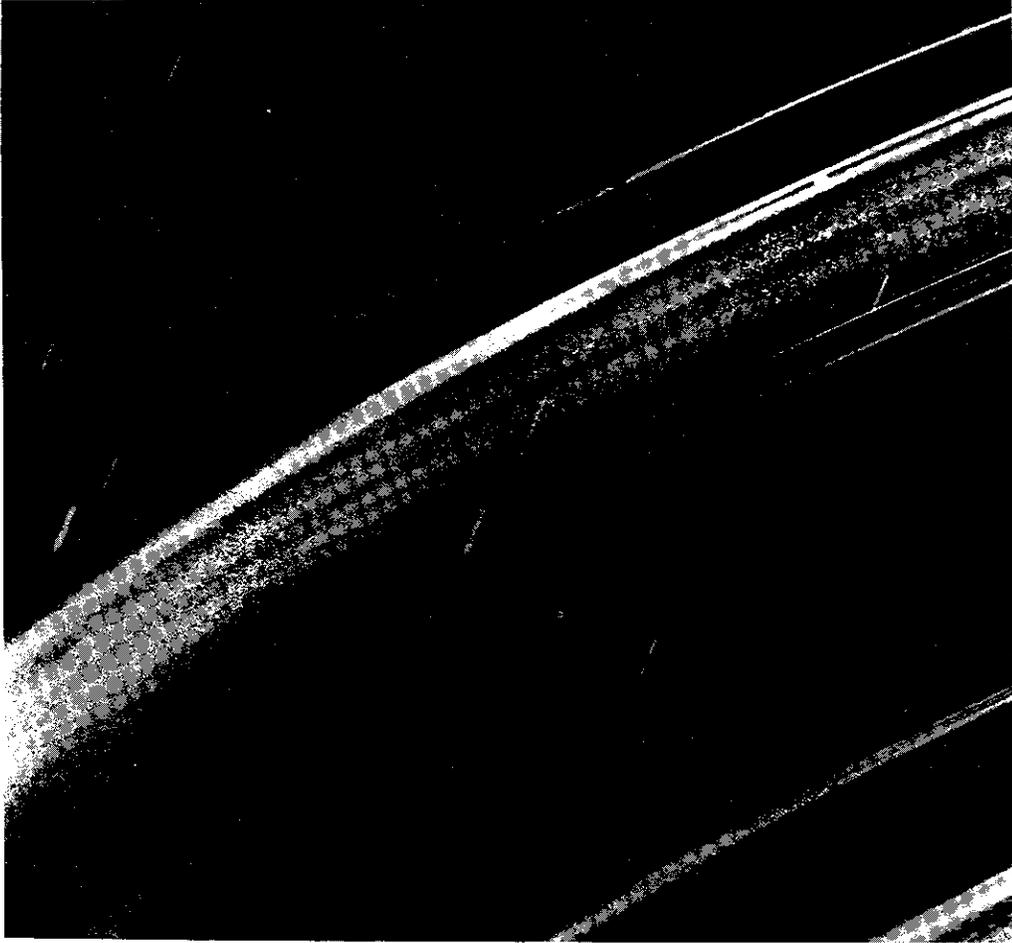
- Terre ... pôle Nord magnétique au Sud
- JupiterNord
- SaturneNord
- Uranus Sud

Y a-t-il des aurores magnétiques sur Uranus ? La question reste posée.

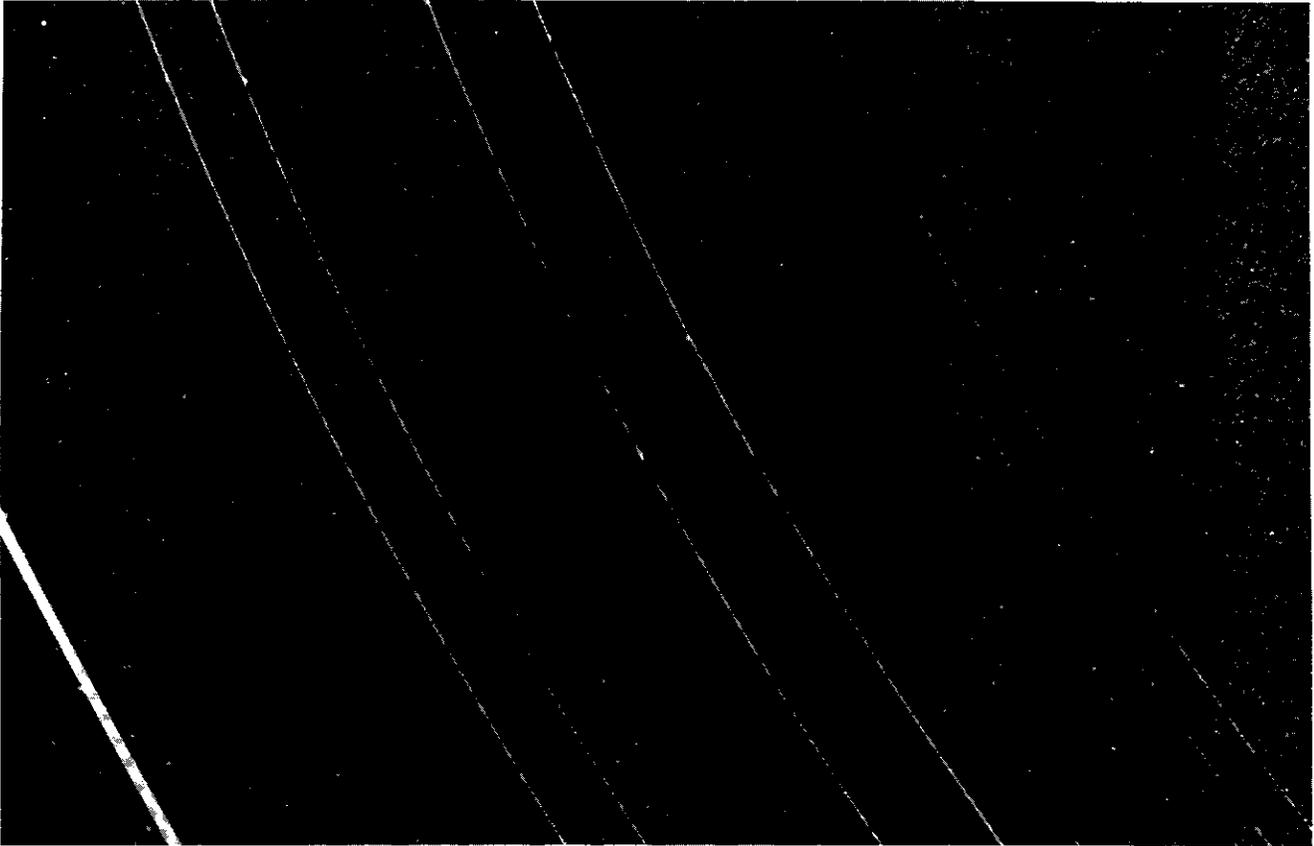
En ultra violet la brillance de la planète a un maximum décalé vers le pôle éclairé et des minima aux pôles ; une fluorescence seulement du côté éclairé.

On a trouvé une couronne étendue d'hydrogène atomique, une atmosphère étendue d'hydrogène moléculaire.

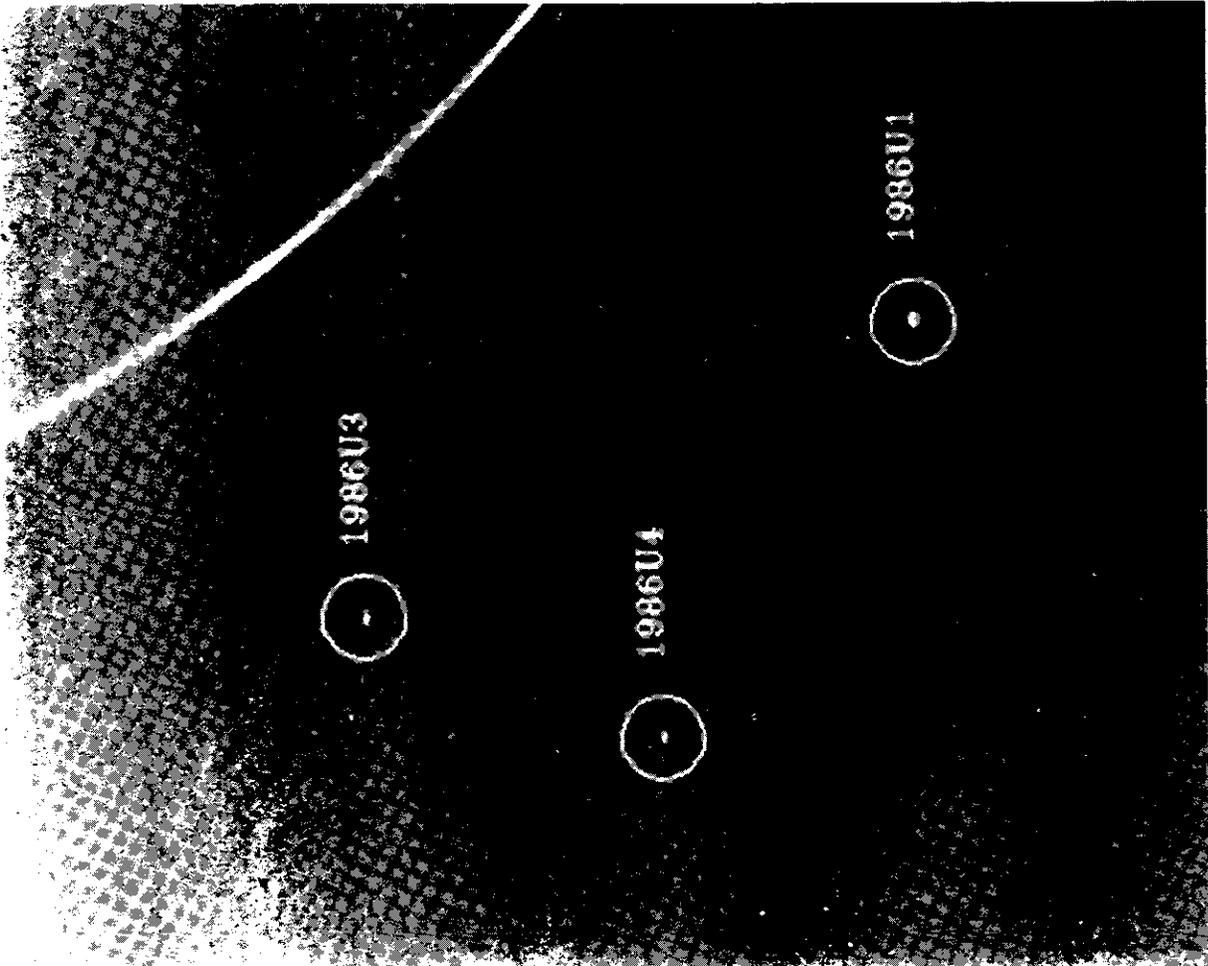
L'observation en ultra violet de l'occultation de l'étoile χ Pégase



L'anneau ϵ et les
deux satellites
gardiens.



Les 9 anneaux



Trois nouveaux
satellites au-delà
de l'anneau ϵ .

a révélé des bandes d'hydrogène moléculaire. Ce qui correspond à une température de 750°K du côté éclairé, de 1000 °K du côté sombre. La magnétosphère interne est un mélange d'ions chauds et même très chauds (10^7 °K) dont l'absorption met en jeu le satellite Miranda.

Les anneaux

Neuf anneaux avaient été découverts depuis la Terre, un dixième soupçonné. Les photos prises par la sonde confirment leur existence. Ils sont en général très étroits, à bords nets surtout à l'intérieur de chaque anneau. Ainsi en est-il de l'anneau ϵ qui a un peu plus de cent mille kilomètres de diamètre et une épaisseur de l'ordre de vingt mètres ; on a découvert deux petits satellites très voisins de part et d'autre de l'anneau et qui joueraient un rôle de confinement de la matière de l'anneau (ils donnent aux vitesses des particules qui composent l'anneau une composante radiale, composante qui sera diminuée par l'effet des chocs entre particules).

Leur aspect général est très sombre, un albédo de 3% - plus sombre que votre appartement s'il vous prenait la fantaisie de le peindre en noir. (Rappelons que l'albedo d'un objet du système solaire est le quotient du flux rayonné par l'objet dans toutes les directions au flux de lumière solaire qu'il intercepte.)

Lorsque la sonde a traversé le plan des anneaux, on a pu observer leurs ombres sur la planète et vérifier que certains anneaux sont un peu inclinés sur le plan équatorial d'Uranus. Au passage, on a vu le dixième anneau, le plus éloigné de la planète, et une certaine matière diffuse entre la planète et le premier anneau.

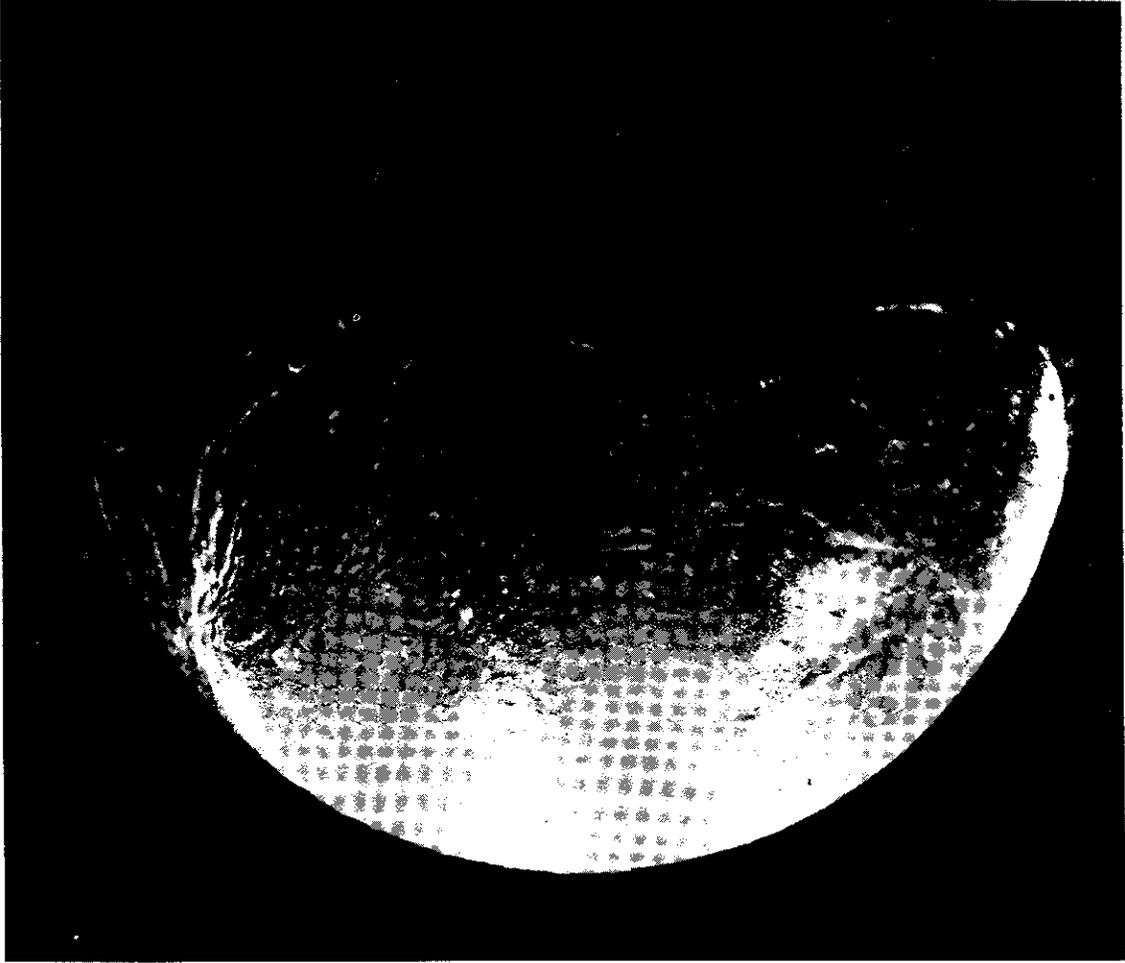
Avant ce passage, les photos étaient obtenues par la lumière réfléchie par les anneaux, principalement par les grosses particules. Après le passage dans leur plan, les photos étaient au contraire obtenues par la lumière diffusée par les plus petites particules ; l'une d'entre elles révèle un système très complexe d'aspect très différents de ce qu'on voit par réflexion. Les mesures obtenues par radio révèlent de leur côté une déficience en particules de l'ordre du centimètre. C'est dire que les anneaux d'Uranus sont très différents des anneaux de Saturne.

Les satellites

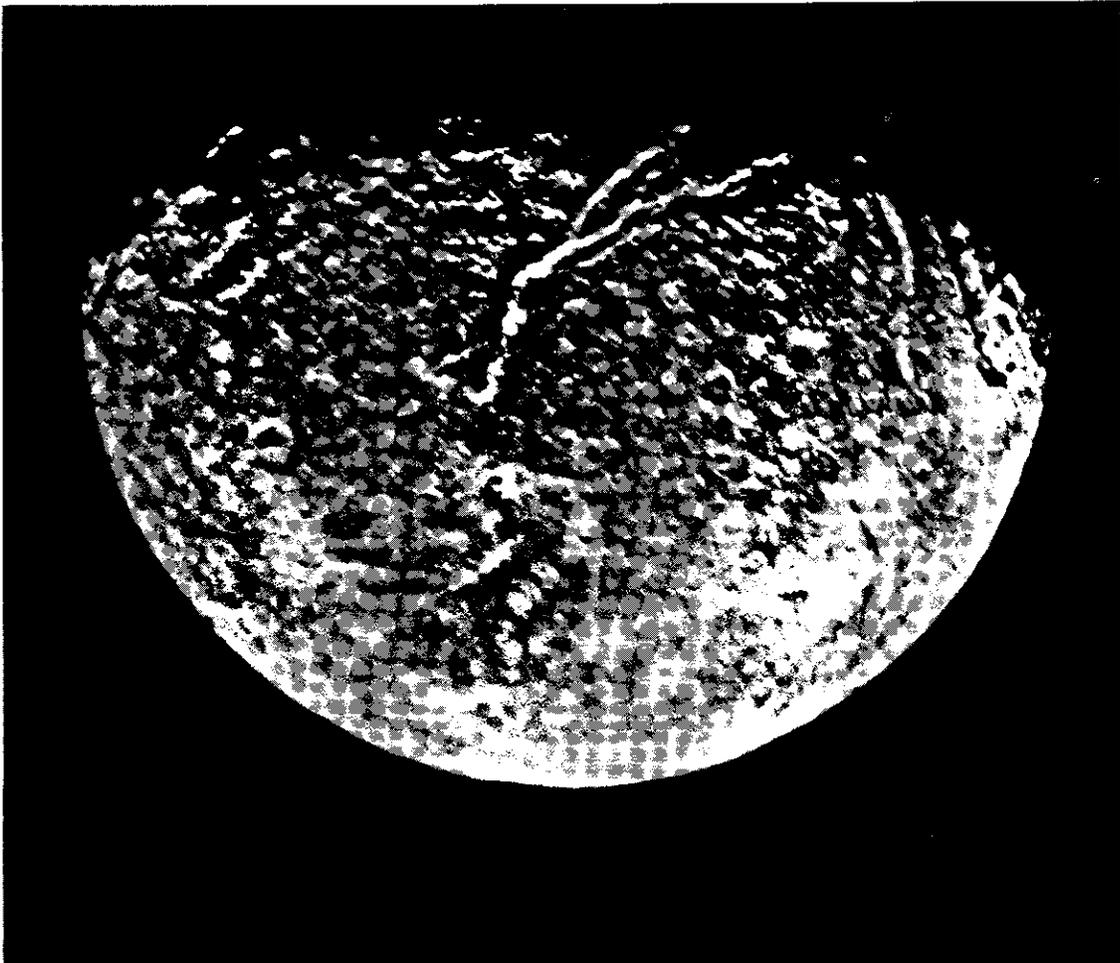
Dix satellites nouveaux ont été découverts, provisoirement désignés 1985 U1, 1986 U1, 1986 U2,, 1986 U9. Ils s'ajoutent aux cinq satellites antérieurement connus, Miranda, Ariel, Umbriel, Titania et Obéron respectivement découverts par Kuiper (en 1948), les deux suivants par Lassell (1851) et les deux derniers par Herschel lui-même dès 1787.

Une remarque en passant au sujet des noms des nouveaux satellites. Certains journaux américains, sous le coup de l'émotion provoquée par la catastrophe de la navette CHALLENGER, suggérèrent aussitôt que les noms des victimes soient attribués aux nouveaux objets découverts. On se rappelle que, de même, Herschel avait proposé que la nouvelle planète qu'il venait de découvrir portât le nom du roi George d'Angleterre. Le comité spécialisé de l'UAI semble peu favorable à ce genre de proposition qui s'écarte des procédés traditionnels, plus intemporels et plus universels.

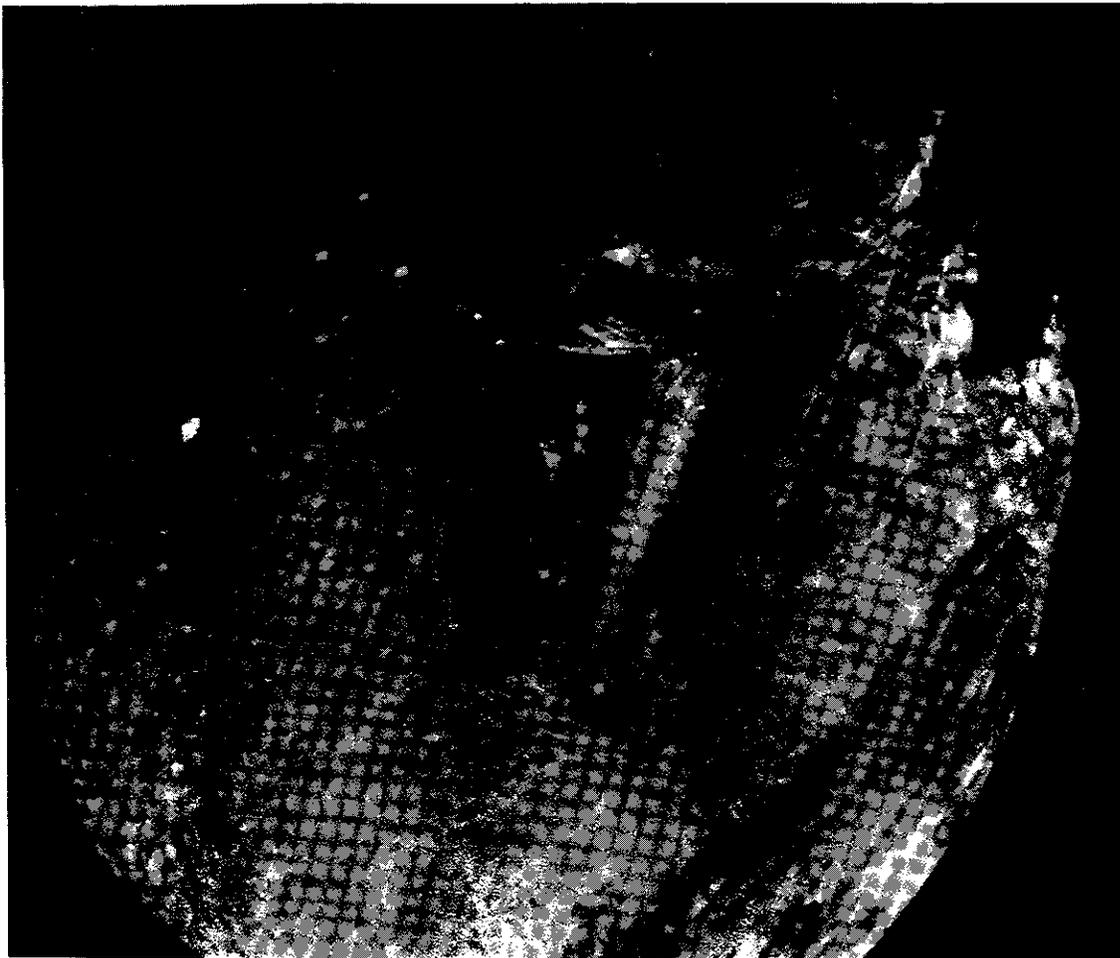
Les diamètres des nouveaux satellites sont respectivement 130, 90, 70, 70, 50, 50, 50, 15 et 20 km. Tous sont sombres ou même très sombres et en général non sphériques. C'est le cas de 1985 U1 qui présente de plus un gros cratère. Par comparaison, rappelons les diamètres des gros satellites, les "anciens" : Miranda (480 km), Ariel (1170), Umbriel (1190), Titania (1540) et Obéron (1550 km). Leurs densités, comprises entre 1,5 et 1,7 sont faibles



Le satellite
ARIEL



Le satellite
TITANIA



Le satellite
MIRANDA (mosaïque)



Le satellite
MIRANDA (détail)

