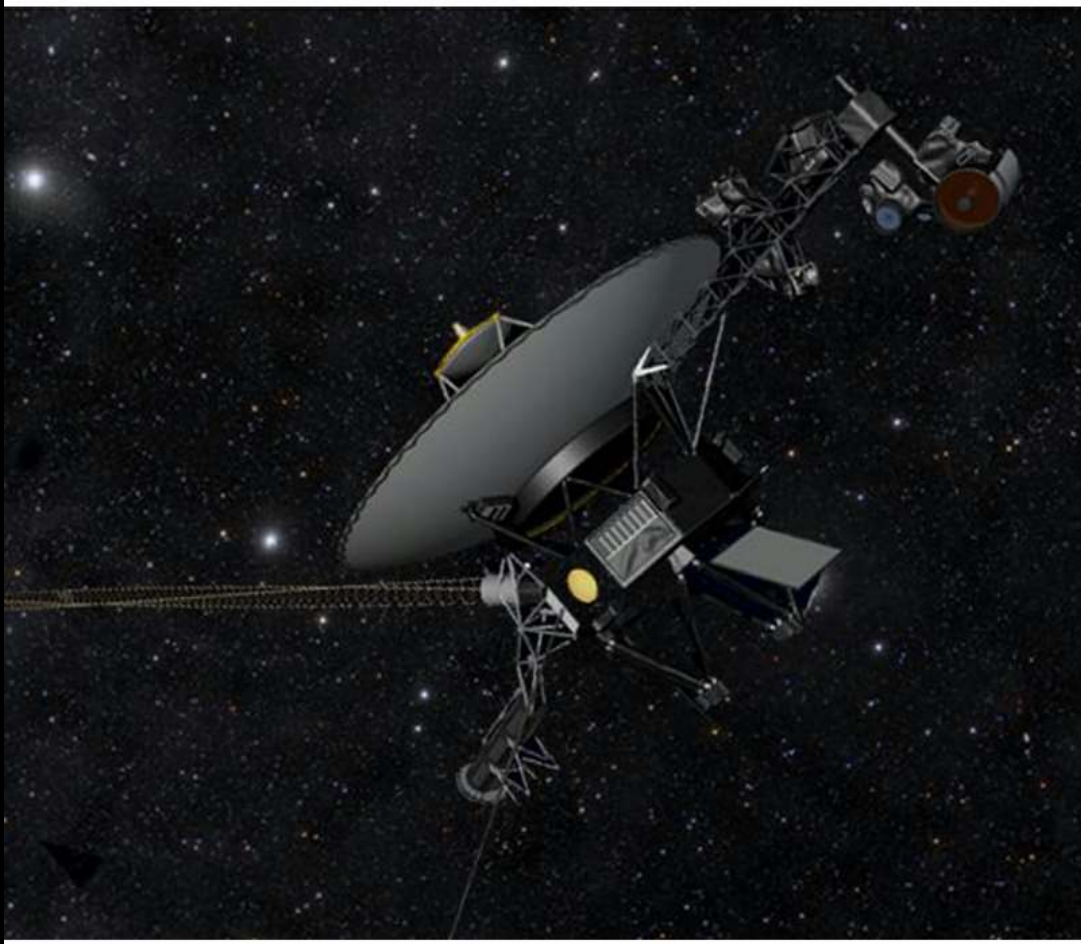


**VOYAGE  
DANS  
L'ESPACE**

Épisode

49

**LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGER**



**3e partie: aux confins du Système solaire**

## Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur et Mathieu Rancourt produisent un balado consacré à l'exploration de l'espace. Intitulé *Voyage dans l'espace*, il est diffusé sur la plate-forme soundcloud.com. Chaque épisode vous fait parcourir une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'exploration d'une planète, de la recherche de vie dans l'Univers ou de l'aventure des astronautes et de ceux et celles qui rêvent d'espace.

Pour chaque balado, ils préparent un exposé détaillé, sous forme de questions/réponses. Ils publient ces exposés sous forme de fascicules pdf, comme celui-ci. Il s'agit donc d'une conversation entre l'animateur de *Voyage dans l'espace*, Mathieu, et le passionné d'espace, Claude.

Notez que le balado diffusé s'inspire librement des questions/réponses préparées à cet effet. Le texte qui suit n'est pas un verbatim de l'émission, mais plutôt une autre version; le balado et ce fascicule se complètent l'un et l'autre.

Tous les fascicules sont offerts aux abonnés du balado *Voyage dans l'espace*, abonnement au coût de 5\$/mois, via la plate-forme patreon.com.

**Mathieu Rancourt** est géographe et professionnel de recherche. **Claude Lafleur** est journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis cinquante ans les péripéties de l'exploration spatiale.

L'équipe des fascicules:

Rédaction:

Claude Lafleur

Couverture: Mathieu Rancourt

Illustrations: NASA

Courriel: [claude-lafleur1@videotron.ca](mailto:claude-lafleur1@videotron.ca)

© Copyright, Claude Lafleur, 2020

ISBN 978-2-925106-06-7 (pdf)

ISBN 978-2-925106-07-4 (kindle)

Balado: <https://soundcloud.com/voyage-danslespace/>

Abonnement:

<https://www.patreon.com/voyagedanslespace>

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2020

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2020

Facebook: <https://www.facebook.com/voyagedanslespace/>



La sonde Voyager 2 avec, au premier plan, sa grande antenne parabolique (blanche) et le bras porteur des magnétomètres. À noter que la sonde proprement dite se trouve sur la gauche.

## La grande aventure des Voyager

### 3<sup>ème</sup> partie: Aux confins du Système solaire

Écoutez le balado *La Grande aventure des Voyager, 3<sup>ème</sup> partie*, diffusé le 6 septembre 2020.

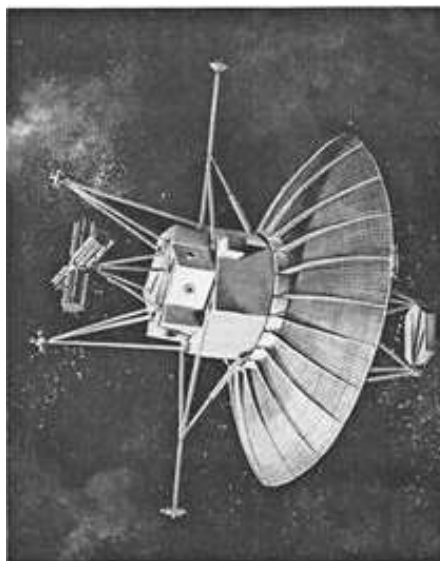
Comme nous l'avons relaté dans deux précédents balados, diffusés en février et mars 2020,<sup>1</sup> les sondes Voyager 1 et 2 se sont envolées de Cape Canaveral à l'été de 1977 pour frôler Jupiter en 1979, puis Saturne en 1981. Et tandis que Voyager 1 complétait à ce moment-là sa mission d'exploration de ces planètes lointaines, Voyager 2 a quant à elle mis le cap sur les planètes Uranus et Neptune.

Mais il lui faudra encore quatre bonnes années de vol interplanétaire pour parvenir jusqu'à Uranus, puis trois autres années pour gagner Neptune – l'ultime étape du Grand tour amorcé douze ans plus tôt.

C'est donc de ces deux dernières missions planétaires dont nous allons traiter, ainsi que du fait que 43 ans après leur lancement, les Voyager

poursuivent toujours leur mission d'exploration des confins du Système solaire.

Avec Voyager 2, c'était la première fois qu'on s'aventurait dans les parages des planètes Uranus et Neptune, qui sont beaucoup plus lointaines que Jupiter et Saturne. Il faut en effet se rappeler qu'avant de lancer les Voya-



À gauche, dessin d'une sonde Pioneer survolant Jupiter.  
À droite, première esquisse (1970) d'une sonde Voyager.

ger, la NASA avait expédié les sondes Pioneer 10 et 11 vers Jupiter et Saturne, pavant la voie aux Voyager. Cependant, aucune sonde ne s'était aventurée aussi loin dans le Système solaire qu'allait le faire Voyager 2.

### Du Grand Tour aux Voyager

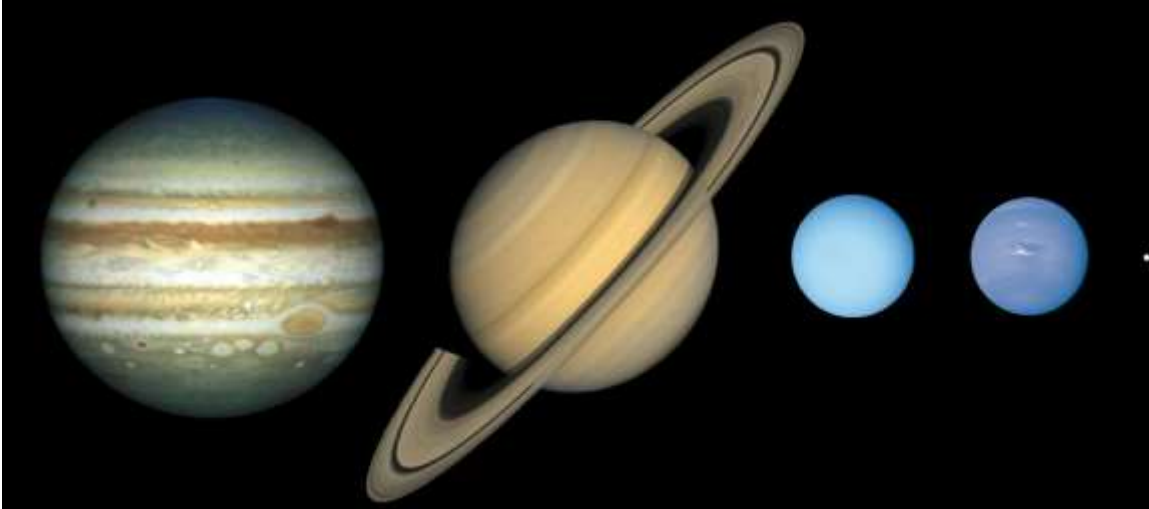
Rappelons aussi qu'à l'origine du projet, il y a le fait que les années 1980 présentaient une occasion exceptionnelle – qui ne survient qu'à tous les 179 ans environ – c'est-à-dire le fait que les cinq planètes externes du Système solaire (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton) se trouvent toutes dans le même secteur. C'est ainsi qu'à la fin des années 1960, on avait imaginé réaliser un Grand Tour en lançant quatre sondes qui les auraient visitées à tour de rôle pour la première fois.

Malheureusement, cette mission d'envergure – qui aurait coûté un milliard \$ (en dollars de l'époque, soit quelques cinq milliards en dollars d'aujourd'hui) a été abandonnée... faute de

volonté politique.<sup>2</sup> La NASA a néanmoins trouvé le moyen d'envoyer deux sondes plus modestes en direction des quatre géantes gazeuses: les Voyager.

Mais au départ, Uranus et Neptune ne figuraient pas au programme des Voyager, celles-ci visant essentiellement à réaliser une première visite approfondie des planètes Jupiter et Saturne et de leur cortège de satellites. C'est seulement si tout allait bien – ce qui paraissait à l'époque comme un gros *si* – que l'une d'elles s'aventurerait jusqu'à Uranus et *peut-être même* jusqu'à Neptune.<sup>3</sup> Mais même si tout allait bien, l'idée d'une visite de Pluton avait été abandonnée, l'ultime petite planète du Système solaire étant beaucoup trop distante. (Cette petite planète demeura hors de notre portée jusqu'à l'été 2015.<sup>4</sup>)

C'est donc dans ce contexte très particulier qu'au début de 1986, la sonde Voyager 2 aborde le domaine d'Uranus, une planète au sujet de laquelle on connaissait très peu de choses.



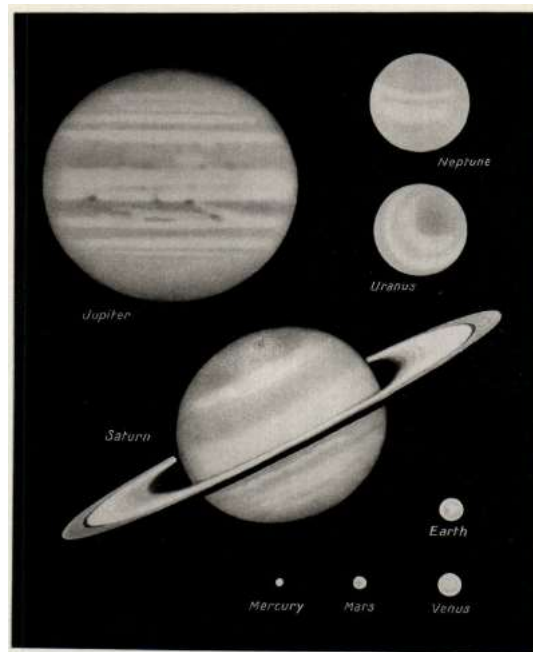
Les quatre planètes visitées par les sondes Voyager: Jupiter (140 000 km), Saturne (120 000 km), Uranus et Neptune (50 000 km).

## I – La (très) mystérieuse Uranus

Uranus orbite autour du Soleil à une distance moyenne de trois milliards de kilomètres; elle se trouve par conséquent quatre fois plus loin que Jupiter. Cette planète est en fait si lointaine qu'on connaissait relativement peu de choses à son sujet, si ce n'est qu'il s'agit d'une planète gazeuse, composée en grande partie d'hydrogène et d'hélium – comme Jupiter et Saturne.

Uranus mesurant 50 000 kilomètres de diamètre, elle est de deux à trois fois plus petite que les deux autres. Néanmoins, cette planète est quatre fois plus grosse que la Terre, de sorte qu'on pourrait y loger 64 Terre à l'intérieur.

Uranus est si lointaine qu'elle est invisible à l'œil nu. Depuis l'Antiquité, on connaissait cinq planètes: Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.<sup>5</sup> Uranus est la première à avoir été découverte à l'ère moderne, en 1781, par William Herschel, et ce, grâce à l'invention du télescope.<sup>6</sup> Elle doit son nom à la divinité romaine du ciel Uranus, père de Saturne et grand-père de Jupiter.



Voici comme on se représentait les planètes à l'aube du lancement des Voyager.

Même aux yeux des plus puissants télescopes des années 1970, elle n'apparaissait que comme un vague disque turquoise. On avait aussi repéré cinq satellites gravitant autour d'elle, dont quatre mesurant un millier de kilomètres (soit moins de la moitié de notre Lune). Cependant, à l'instar de Jupiter et de Saturne, on soupçonnait qu'il devait y en avoir quantité d'autres (probablement une vingtaine ou plus).



Uranus, tel qu'imaginée en 1977 avec. semble-t-il, une série d'anneaux.

Au moment où se sont envolées les Voyager, en 1977, les astronomes ont fait une découverte fortuite: Uranus est entourée par neuf anneaux de matière très foncée et invisibles au télescope. Contrairement aux anneaux de Saturne, faits de brillantes particules de glace, ceux d'Uranus paraissent aussi sombres que s'ils étaient faits de morceaux de charbon. Il s'agit donc d'anneaux fort différents de ceux de Saturne et constituent une découverte qui intriguait énormément les astronomes.<sup>7</sup>

À l'époque où Voyager 2 aborde la planète, on ignore même jusqu'à combien de temps la planète prend pour faire un tour sur elle-même – ce que les astronomes appellent la *période de rotation* d'une planète. On estimait alors que la durée du jour uranien pouvait être comprise entre 12 et 24 heures.

On avait surtout observé un phénomène bizarre qu'on ne retrouve nulle part ailleurs dans le Système solaire: l'axe de rotation de la planète est incliné à  $90^\circ$ . Si on assimile les planètes à des toupies tournant sur elles-mêmes, on sait que l'axe de rotation de la Terre est incliné de  $23^\circ$ ; cette «toupie» pivote donc sur elle-même en étant légèrement penchée (de  $23^\circ$ ). Dans le cas d'Uranus, une inclinaison de  $90^\circ$  signifie que cette «toupie» roule «sur le côté» tout au long de son orbite.



Uranus met 84 ans à effectuer une révolution autour du Soleil. Mais l'inclinaison de son axe de rotation (de  $90^\circ$ ) a pour effet que, durant un quart de son orbite, son pôle nord est exposé directement et continuellement au Soleil, tandis que le pôle sud se trouve alors plongé dans l'obscurité totale. Puis, durant un autre quart d'orbite, c'est l'équateur qui se trouve exposé au Soleil, avant que ce ne soit au tour du pôle sud d'être soumis au Soleil... Il doit par conséquent se dérouler des phénomènes météorologiques et de circulation atmosphérique inédits sur cette planète gazeuse.

Notons cependant que, puisqu'Uranus se trouve vingt fois plus loin du Soleil que l'est la Terre, elle reçoit 400

fois moins d'énergie. Il y fait par conséquent  $-200^{\circ}$  sur cette planète! Vue d'Uranus, le Soleil n'apparaît que comme une lointaine étoile.

C'est donc un monde très mystérieux que s'apprête à nous révéler Voyager 2 au début de 1986. On allait vraiment à la découverte d'un nouveau

monde. Et étant donné toutes les surprises que nous ont révélées les Voyager lors de leur survol de Jupiter et de Saturne, on s'attendait à une foule de révélations.<sup>8</sup> Au moment où Voyager 2 aborde la planète, c'est l'hémisphère sud d'Uranus qui se trouve soumis en permanence au Soleil et qui se présente à la sonde.

## II – Des découvertes renversantes

Dès novembre 1985, Voyager 2 fait une première observation remarquable. Alors que la sonde se trouve encore à 85 millions de kilomètres de sa cible, ses caméras repèrent l'un des neuf anneaux encerclant la planète.<sup>9</sup> Voilà qui témoigne de la sensibilité de ces appareils puisque non seulement ces anneaux sont-ils aussi noirs que du charbon, mais ils sont très peu éclairés par le Soleil si lointain.<sup>10</sup>

Quant à la planète elle-même, elle ne semble pas avoir grand-chose à nous montrer. Son atmosphère ne présente aucune des formations nuageuses et bandes colorées qui rendent Jupiter si attrayante, Voyager 2 nous montrant simplement une belle sphère turquoise uniforme. En outre, elle ne détecte pas la présence d'un puissant champ magnétique autour de la planète, comme ceux observés aux abords de Jupiter et de Saturne. Or, les trois astres ayant la même constitution, on s'explique mal cette différence.



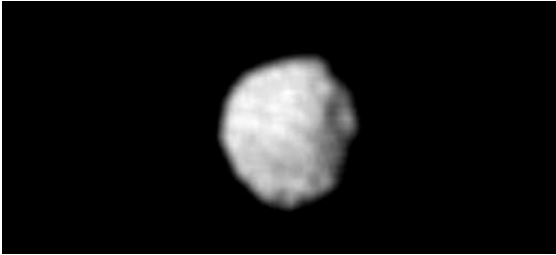
Uranus photographiée à distance par Voyager.

Comme le relate en conférence de presse l'un des chercheurs participants à la mission, Michael Kaiser: «Nous n'avons pas grand-chose à vous rapporter, ce qui constitue en soi un premier résultat.» Mais la sonde est encore très loin et hélas, à première vue, Uranus ne se compare nullement aux spectaculaires Jupiter et Saturne.<sup>11</sup>

### Personnages de Shakespeare

Au début de janvier 1986, la sonde repère une nouvelle lune, la sixième que possède Uranus.<sup>12</sup> Il s'agit d'un petit astre, d'une quarantaine de kilomètres de diamètre et auquel on donnera éventuellement le nom de Cordélia.<sup>13</sup> Il s'agit en fait du premier de la dizaine de satellites naturels que repèrera l'engin, les suivants portant les noms de Juliette, Portia, Cressida, Desdémone, Rosalinde, Belinda, Ophélie, Bianca, etc. On poursuit ainsi la tradition de nommer les compagnes d'Uranus d'après des personnages de

pièces de Shakespeare, à l'instar des cinq premières lunes: Ariel, Umbriel, Titania, Obéron et Miranda.<sup>14</sup>

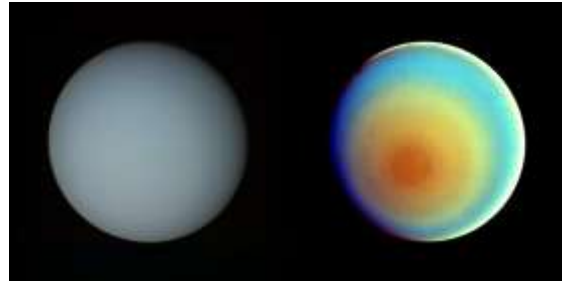


La première lune découverte par Voyager 2 alors qu'elle se trouve à 500 000 kilomètres.

Dans la plupart des cas, il s'agit de petits astres aux teintes foncées. Un groupe de six lunes intrigue tout particulièrement les spécialistes, car elles sont assez proches les unes des autres. Voilà qui laisse penser qu'il pourrait s'agir des fragments d'un astre qui aurait volé en éclat à la suite d'une foudroyante collision. Peut-être est-ce aussi l'origine des neuf anneaux? Voilà qui laisse entrevoir qu'Uranus aurait pu avoir été percutée violemment il y a des milliards d'années, collision qui l'aurait renversée sur le côté tout en créant une kyrielle de petites lunes et d'anneaux.<sup>15</sup>

Comme le relate si justement Brad Smith, qui dirige l'équipe d'interprétation des photos prises par Voyager, Uranus ne se dévoile pas facilement. Ainsi, en s'approchant, les caméras de la sonde finissent par distinguer des bandes de nuage blanchâtre se déplaçant dans l'atmosphère de la planète; mais il nous faudra «traiter» ces photos pour en faire ressortir les détails.

Les chercheurs déterminent alors que certaines bandes apparaissent faire le tour de la planète en 15 heures tandis que d'autres le font en 16 ou 17 heures. Cela tendrait à indiquer que la

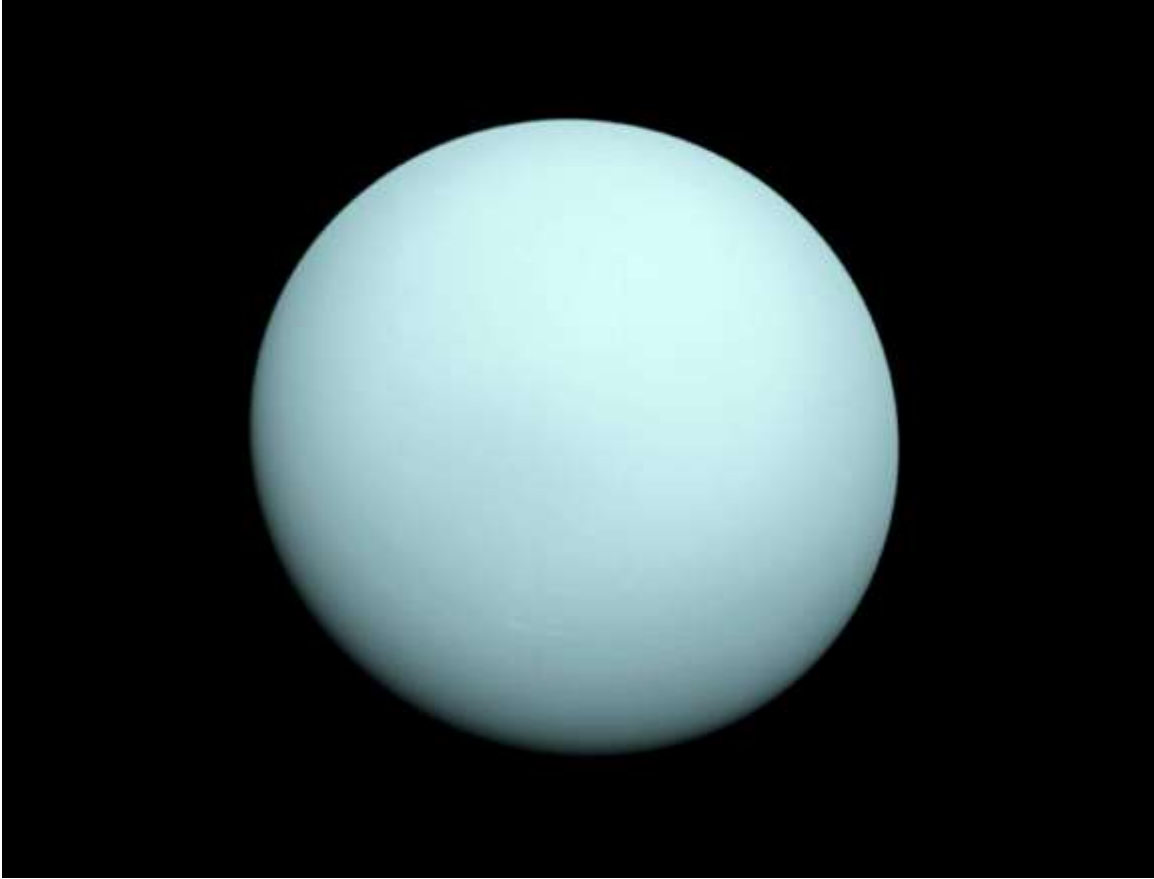


Uranus en vraies couleurs et en fausses couleurs, afin de faire ressortir la structure de son atmosphère.

planète fait un tour sur elle-même en... 15, 16 ou 17 heures! La différence entre la vitesse de circulation des bandes nuageuses pourrait s'expliquer par le temps que met la planète à faire un tour sur elle-même combinée à de puissants courants atmosphériques.<sup>16</sup>

Et ce n'est qu'à la veille de son passage près d'Uranus que la sonde détecte enfin un champ magnétique autour de la planète. Étonnamment, ce champ magnétique — qui, sur Terre, génère les aurores boréales — serait trois fois plus faible que celui de notre planète et trente fois plus faible que celui de Jupiter. Voilà qui étonne. Néanmoins, la détection d'un champ magnétique autour d'Uranus nous renseignera, après analyse, au sujet de l'intérieur de la planète et à propos de sa période de rotation.<sup>17</sup>

Comme le relate en conférence de presse le scientifique en chef de la mission, Ed Stone: «Le système d'Uranus ne ressemble en rien à ce que nous avons vu ailleurs dans le Système solaire.» Il annonce aussi que: «Au cours des prochains jours, nous allons trouver réponse à quantité de questions que nous nous posons mais, surtout, nous allons aussi trouver des réponses à des questions auxquelles nous n'a-



Uranus telle que photographiée par Voyager 2, il n'y a pas grand-chose à voir!

vions même pas songé. Et ce seront probablement là les réponses les plus intéressantes.»

### **Le grand jour**

Voyager 2 arrive sans encombre aux abords d'Uranus vendredi le 24 janvier 1986, passant à 81 540 kilomètres de la surface visible de la planète. Il est alors 12h59, heure de la côte Est des États-Unis; la sonde arrive avec une minute d'avance sur l'horaire établi cinq ans plus tôt.<sup>18</sup>

Voyager 2 passe alors entre les anneaux et la planète. On pouvait donc redouter la présence de particules, sinon même d'un anneau invisible – contre lequel elle aurait pu se fracasser – mais fort heureusement, ce ne fut pas le cas.

Ce passage à travers le système uranien présente plusieurs difficultés particulières. D'abord, les signaux radio mettent 2 heures et 45 minutes à nous parvenir; impossible donc de piloter la sonde en temps réel, les contrôleurs devant la programmer à l'avance afin qu'elle puisse faire face à toute éventualité.

Ensuite, elle file à une vitesse record de 72 500 km/h. Or, étant donné que la planète se trouve «couchée sur le côté», Voyager 2 ne dispose que de cinq heures et demie pour tout voir de près: la planète, ses anneaux et son cortège de satellites.<sup>19</sup> Lors des survols précédents (de Jupiter et de Saturne), les Voyager avaient abordé ces planètes par l'équateur, de sorte qu'elles avaient disposé de plusieurs jours pour observer graduellement

tout ce qu'il y avait à voir. Cette fois, Voyager 2 doit regarder de tous les côtés et partout à la fois. Si on avait pu la voir à l'œuvre, on l'aurait vu virevolter dans tous les sens.

Voyager 2 traverse en fait le système uranien à la manière d'une flèche passant au travers d'une cible. Elle passe ainsi en coup de vent à 446 000 km de Titania, puis à 492 000 km d'Obéron, puis à 130 000 km d'Ariel et à 29 000 km d'Umbriel, avant de frôler Uranus. Par la suite, elle passe à 29 000 km de Miranda. (Il s'agit là de distances comparables à celle séparant la Terre et la Lune, qui est de 385 000 km.) Voyager en profite pour prendre deux cents photos en plus d'une foule de mesures de l'environnement uranien. Ces informations sont stockées à bord et ce n'est que durant les jours suivants qu'elles nous seront transmises.

## Des mondes renversants

C'est ainsi qu'on réalisera par la suite que le champ magnétique de la planète n'est pas aligné sur l'axe de rotation, mais qu'il diverge par  $55^\circ$ . Autrement dit, les pôles magnétiques de la planète ne coïncident pas avec les pôles géographiques, puisqu'ils font un angle de  $55^\circ$ . (On observe un décalage semblable dans le cas de la Terre, mais il s'agit d'un écart de seulement  $12^\circ$ ).

Pour les experts, un tel décalage impose de sérieuses contraintes au modèle de l'intérieur de la planète qu'ils espèrent parvenir à concevoir.

En outre, ce qu'on estimait être le pôle sud de la planète (qui se présentait à la sonde) est en réalité le pôle nord. Le champ magnétique est inversé par rapport à ce qu'on s'attendait.<sup>20</sup>



Les principaux satellites naturels d'Uranus, dont la taille équivaut à la moitié de la Lune.

Quantité de photos envoyées par la sonde nous dévoilent les principaux satellites naturels d'Uranus. Jusqu'à présent, ceux-ci ne nous étaient apparus que comme de vagues taches plus ou moins foncées. Mais voilà qu'on découvre leurs particularités et leur personnalité propre.

C'est ainsi qu'Ariel est le plus brillant des cinq principaux satellites d'Uranus. Il se compose de glace et de roche. D'un diamètre de 1100 km (notre Lune = 3500 km), il a une surface complexe traversée par un réseau

de failles escarpées, de canyons et de crêtes.



Ariel, deux fois plus petite que notre Lune.



Umbriel, qui a la même taille qu'Ariel et qui serait lui aussi constitué de glace et de roche, présente la surface la plus sombre des lunes d'Uranus. Curieusement, au fond d'un grand cratère se trouve un mystérieux anneau de matériaux clairs.

Titania, qui mesure près de 1500 kilomètres de diamètre, est le plus gros satellite d'Uranus. Il présente une surface sombre et légèrement rosée, couverte de nombreux cratères.



Il est probablement constitué d'un noyau rocheux et d'un manteau glacé, alors qu'une couche d'eau liquide pourrait se trouver entre les deux.



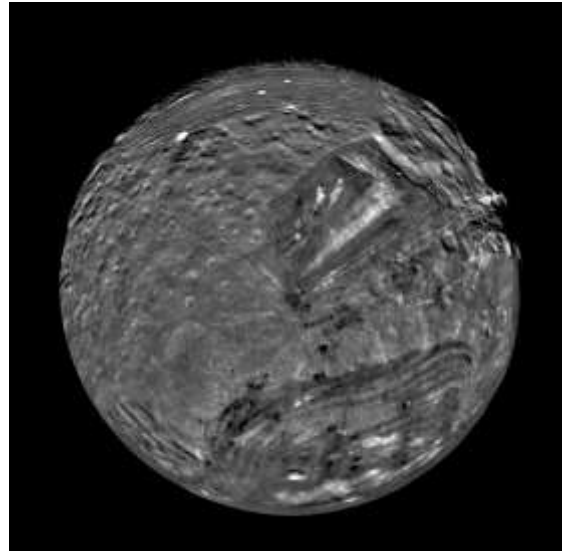
Obéron, qui a presque la même taille que Titania et qui pourrait avoir la même constitution, semble être un clone de celui-ci. Deux jumeaux identiques ou

pas?

Enfin, Miranda, qui ne mesure que 500 kilomètres de diamètre, est à la fois le plus petit et le plus proche des cinq principaux satellites d'Uranus. Mais surtout, c'est celui que Voyager a photographié le plus en détail. C'est par conséquent la «vedette» de la mission.<sup>21</sup>

Cette petite lune, qui aurait pu n'être qu'un corps glacé couvert de cra-

tères, présente au contraire une étonnante surface très complexe comprenant de vastes plaines vallonnées piquées de cratères et traversées par un réseau de failles escarpées. On y observe en outre une curieuse structure géologique en forme de pointe de flèche.<sup>22</sup>

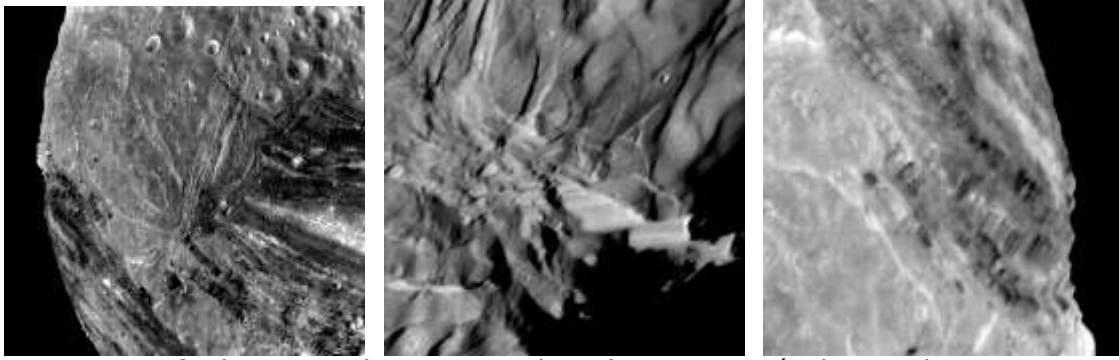


Miranda et sa «flèche» (en haut à droite).

En conférence de presse, le géologue Larry Soderblom lance d'ailleurs: «Personne ne pouvait imaginer ce que nous allons vous montrer ce matin.»

À ses yeux, Miranda rassemble toutes les curiosités qu'on retrouve un peu partout dans le Système solaire. Les spécialistes observent ainsi une dizaine de sortes de terrains différents. «Si vous preniez toutes les choses bizarres qu'on observe un peu partout à travers le Système solaire pour les placer sur un même et seul astre, vous obtiendriez Miranda», résume-t-il.

Cette lune semble en effet être «un curieux mélange» de la géologie de Mercure, de Mars et de certains des satellites naturels de Jupiter et de Saturne.<sup>23</sup>

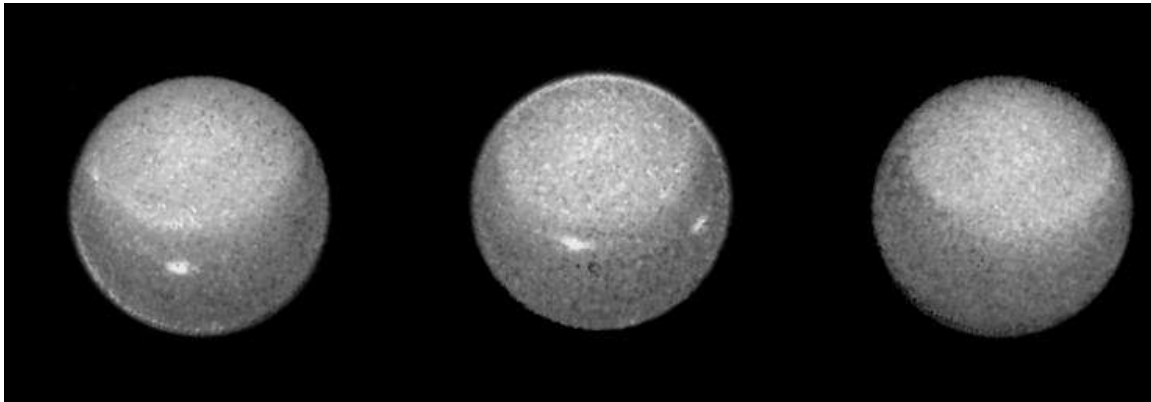


Quelques gros plans montrant la surface tourmentée de Miranda.

### Une géante de glace

Quant aux photos de la planète prises par la sonde, elles montrent une atmosphère dénuée d'à peu près tout relief. Il faut en effet «travailler» ces photos pour en faire ressortir quelques

bandes nuageuses. Néanmoins, les instruments de la sonde mesurent des vents soufflant à 725 km/h ainsi que la présence d'un océan d'eau bouillante situé à quelques 800 kilomètres sous la couche nuageuse qu'on voit.<sup>24</sup>



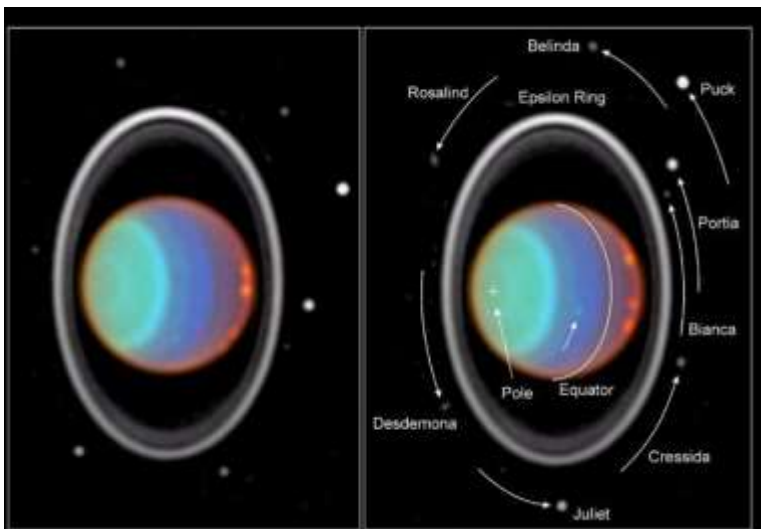
Autres photographies d'Uranus prises par le télescope spatial Hubble: rien à distinguer.

Ces mesures permettant également d'établir une fois pour toute la durée du jour uranien, la planète accomplissant un tour sur elle-même en 17 heures et 15 minutes. Considérant qu'elle prend 84 ans pour faire le tour du Soleil, on peut ainsi calculer que l'année uranienne compte 42 700 jours!

Uranus est en outre la planète du Système solaire dont l'atmosphère est la plus froide; sa température avoisinant les  $-225^{\circ}$ , on la considère à présent comme une géante de glace.

Voyager a repéré deux autres anneaux. Ces onze anneaux s'étendent sur 60 000 kilomètres, mais ils ne font que quelques kilomètres d'épaisseur tout au plus. Ce système est beaucoup moins complexe que les anneaux de Saturne. Ils n'ont pas non plus l'éclat spectaculaire de ces derniers puisqu'ils sont probablement composés de glace et de particules noircies.

Notons qu'à ce jour, Voyager 2 est l'unique sonde à avoir exploré le système uranien et qu'elle y est passée en



Les anneaux et quelques satellites repérés par Hubble.

donné le grand éloignement de la planète, on a encore tout à apprendre à son sujet et, en particulier, à propos des anneaux et des satellites, ces derniers semblant se démarquer fortement des lunes de Jupiter et de Saturne.

Néanmoins, à la suite de son passage à Uranus, la sonde étant toujours en excellent état de marche, elle met le cap sur Neptune. Il lui faut par con-

coup de vent. Dans bien des cas, elle n'a photographié moins de la moitié des astres qu'elle a survolés. Et étant

séquent trois ans et demi pour parcourir le milliard et demi de kilomètres qui la sépare de sa cible.

### III – La (très) lointaine Neptune

Tel que prévu, Voyager 2 aborde Neptune à l'été de 1989, après un vol interplanétaire de sept milliards de kilomètres parcouru en douze années. Elle s'apprête ainsi à nous présenter ce que les responsables de la mission qualifient du dernier grand spectacle – «*The Last Picture Show*», disent-ils. Par conséquent, il règne au sein de l'équipe Voyager une atmosphère de fébrilité mêlée à de l'amertume. Ce sera en effet la dernière fois qu'on explorera une nouvelle planète, puisqu'on ne voit pas le jour où on visitera Pluton.<sup>25</sup>

Par conséquent, ces scientifiques, ingénieurs, techniciens et gestionnaires se considèrent être la première génération des grands explorateurs du Système solaire, puisqu'il s'est écoulé quinze ans entre le premier survol d'une planète – Mars par Mariner 4 à l'été de 1965<sup>26</sup> – et le survol de Neptune par Voyager 2. C'est la fin d'une grandiose époque.

Pour mesurer le temps qui passe, rappelons-nous qu'au moment du lancement des Voyager, à l'été de 1977, le président des États-Unis était Jimmy

Carter, le président de la France était Valéry Giscard d'Estaing, le premier ministre du Canada était Pierre-Elliott Trudeau et le premier ministre du Québec était René Lévesque.

Lorsque la sonde survole Uranus en janvier 1986, le président des États-Unis est Ronald Reagan, le président de la France est François Mitterrand, le premier ministre du Canada est Brian Mulroney et le premier ministre du Québec est Robert Bourassa. Et voilà qu'à l'été 1989, le président des États-Unis est George Bush (père), tandis que

les trois autres sont toujours en fonction.

Dans le *New York Times* du 15 août, John Noble Wilford nous présente la vaillante sonde comme étant: «Trop loin de sa maison, dans l'immensité de l'espace, souffrant d'arthrite, partiellement sourde, possédant maintenant un filet de voix et sujette à des pertes de mémoire»! «Je pense que personne n'avait sérieusement envisagé ni même rêvé, il y a douze ans, que nous atteindrions Neptune», observe avec satisfaction Norman Haynes, directeur du projet. «Voyager a véritablement dépassé toutes nos attentes», renchérit Ed Stone, directeur scientifique de la mission.<sup>27</sup>

### À des millions de kilomètres, et pourtant...

Neptune se trouvant à 4½ milliards de kilomètres de nous, on la connaît donc encore moins bien qu'Uranus avant le passage de Voyager 2. La planète a été repérée en 1846 par Johann Galle et nommée d'après le dieu des océans de la mythologie romaine.<sup>28</sup>



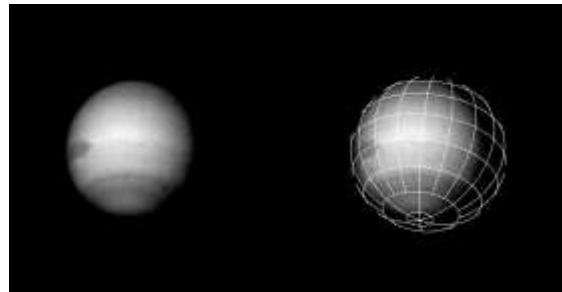
Quelques-unes des «meilleures» photographies de Neptune prises dans les années 1960.



On sait qu'Uranus et Neptune possèdent la même taille et qu'elles sont de

couleur turquoise. Ce pourrait être des jumelles. Mais même avec nos plus puissants télescopes, on discerne à peu près rien de la planète, si ce n'est qu'on a repéré trois satellites naturels – Triton (2767 km), Néréide (340 km) et Larissa (198 km) – mais aucun anneau.<sup>29</sup>

On sait aussi que l'axe de rotation de la planète n'est incliné que de 28° (cinq degrés de plus que la Terre), ce qui fait que les conditions atmosphériques doivent être très différentes de celles régnant sur Uranus.<sup>30</sup>



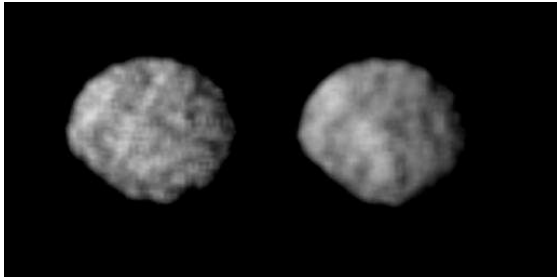
Neptune photographiée par Voyager 2 alors qu'elle se trouvait à 47 millions de kilomètres.

Deux mois avant son passage près de Neptune, Voyager 2 repère une quatrième lune. Il s'agit d'un astre de forme irrégulière, mesurant 436 × 416 × 402 km, couvert de cratères et qui ne montre aucun signe d'activité géologique. C'est surtout l'un des objets les plus sombres du Système solaire, presque comme de la suie, puisqu'il ne réfléchit que 10% de la lumière qui le frappe.<sup>31</sup>

Durant sa mission, la sonde repérera cinq nouvelles lunes, qui seront éventuellement nommées Naïade, Thalassa, Despina, Galatée et Protée, d'après des nymphes de la mythologie grecque.<sup>32</sup>

À noter que quatre d'entre-elles seront repérées alors que la sonde se trouve encore à des dizaines de millions de kilomètres de la planète. Or,

le fait de détecter à si grande distance autant de lunes fait dire aux experts que la sonde devrait en repérer quantité d'autres lors du survol de la planète.

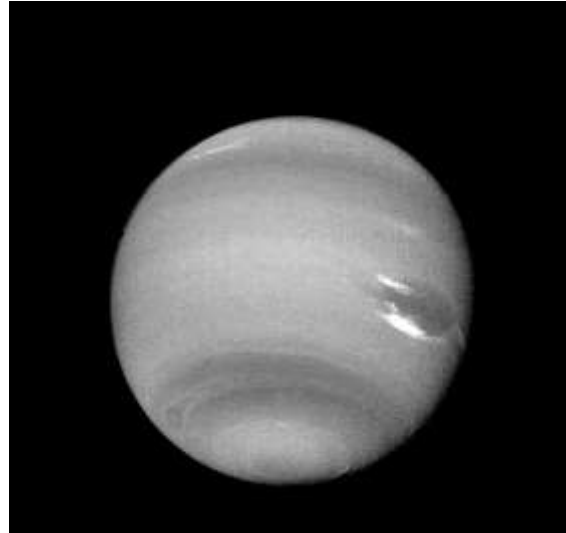


La deuxième lune découverte par Voyager 2, un astre de 200 km de diamètre.

La sonde découvre en outre ce qui semble être des portions d'anneaux, ce qui fait s'exclamer le géologue Richard Terrile: «Nous pourrions trouver un tas d'affaires autour de Neptune!»

Selon lui, Neptune pourrait posséder plus de satellites naturels que toute autre planète, jusqu'à une cinquantaine, se risque-t-il à prédire. «Neptune pourrait être entourée d'une sorte de ceinture d'astéroïdes», imagine-t-il.<sup>33</sup> (Mais ce ne sera pas le cas.)

Et alors que la sonde se trouve encore à une centaine de millions de kilomètres de la planète, elle identifie une mystérieuse tache sombre dans l'atmosphère de la planète. Il pourrait s'agir d'un ovale qui aurait la taille de Mars (6000 km) et qui s'apparenterait à la fameuse Tache rouge de Jupiter – un «ouragan» découvert par Galilée et qui sévit dans l'atmosphère de la planète géante depuis au moins quatre siècles.<sup>34</sup>



Neptune photographiée à 15 millions de kilomètres et faisant découvrir une curieuse tache sombre (en bas).

Même à grande distance, les caméras de Voyager nous font parvenir des photos montrant une atmosphère riche en formations nuageuses. Celle-ci paraît beaucoup plus turbulente qu'on s'y attendrait, puisqu'on y décèle des vents soufflant à 600 km/h. Voilà qui surprend car, à 4½ milliards de kilomètres du Soleil, Neptune reçoit trente fois moins de l'énergie du Soleil que n'en reçoit Jupiter. «L'énergie qui génère des vents est nettement moins importante sur Neptune que sur Jupiter, explique Andrew Ingersoll, spécialiste de la météorologie des planètes, mais pourtant l'atmosphère de cette planète semble aussi turbulente.»

La sonde photographie également ce qu'on appelle désormais la *Grande tache sombre*, l'homologue neptunien de la Grande tache rouge de Jupiter. Des séries de photos prises en séquence nous montrent cet «ouragan» tourbillonnant dans l'atmosphère.



Gros plan sur la Grande tache sombre.

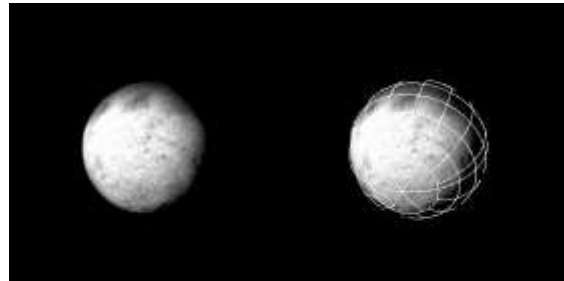
On observe aussi, phénomène bizarre, la présence de nuages blanchâtres flottant au-dessus de cette tache.<sup>35</sup>

Chose certaine, Neptune semble beaucoup plus photogénique qu'Uranus, se réjouit Brad Smith, en charge de l'équipe image de Voyager.

La sonde mesure également la présence d'un champ magnétique, comme on l'observe auprès des autres géantes gazeuses.

Puis, les caméras de la sonde photographient pour la première fois ce qui semble être deux portions d'anneaux encerclant en partie seulement la planète. L'un d'eux couvrirait un huitième de cercle et s'étendrait sur 50 000 kilomètres tandis que le second ne couvrirait que 1/36<sup>e</sup> de cercle et mesurerait 6000 km de long. Voilà qui confirme ce que les astronomes avaient cru percevoir depuis la Terre. Ces portions d'anneaux pourraient provenir de lunes qui se seraient disloquées mais sans pour autant parvenir à former des anneaux complets autour de la planète. Les anneaux de Neptune diffèrent donc autant de ceux de Saturne que d'Uranus.<sup>36</sup>

Et alors que la sonde se trouve encore à trois millions de kilomètres de sa destination, ses caméras nous révèlent les premiers détails de Triton, qui nous apparaît plus intrigante que jamais. D'abord, cette lune se révèle être plus petite qu'on l'avait estimée; elle mesurerait 2800 km de diamètre, alors qu'on la croyait de la taille de notre Lune (3500 km). Ensuite, elle est de teintes plus éclatantes et légèrement rosées, teintes qui pourraient être dues à la présence de méthane.



Premiers détails de Triton.

Par ailleurs, la Grande tache foncée apparaît à présent avoir la taille de la Terre (12 000 km) et semble faire le tour de Neptune en 18 heures, tandis que la planète effectue une rotation sur elle-même en 17 heures. L'«ouragan» se déplacerait donc à contre-courant du reste de la planète.<sup>37</sup>

Jour après jour, Neptune ne cesse de surprendre. C'est ainsi que deux jours avant son rendez-vous, les photos que nous envoie Voyager 2 montrent à présent des anneaux complets. Voilà qui rassure un peu les spécialistes... qui ne savaient trop comment expliquer l'existence de portions d'anneaux. Pour le moment, les photos ne nous permettent pas de distinguer ni la structure ni la nature de ces anneaux extrêmement foncés.<sup>38</sup>

## IV – Le dernier rendez-vous

Voyager 2 aborde comme prévu Neptune au soir du 24 août 1989, avec quatre minutes d'avance sur l'horaire établi quatre ans plus tôt. Cette avance s'explique par le fait que la planète se trouve légèrement plus proche de nous que ce qu'on l'avait calculé. Les signaux en provenance de la sonde mettent néanmoins 4 heures et 6 minutes à nous parvenir, c'est dire que la sonde se trouve à quatre heures-lumière de nous.<sup>39</sup>

Elle passe à seulement 4800 kilomètres de la surface visible de Neptune, soit la plus courte distance à laquelle une sonde Voyager a frôlé l'une ou l'autre des quatre géantes gazeuses.<sup>40</sup>

La manœuvre est risquée puisqu'on redoute la présence de quantité de débris invisibles aux abords de la planète. Mais c'était un risque à prendre, estime Brad Smith, puisque cette trajectoire amène la sonde à passer à 40 000 kilomètres de Triton, la principale lune de Neptune que les chercheurs désirent observer de près. Mais Voyager filant à 60 000 km/h, la moindre collision avec une parcelle de roche pourrait lui être fatal.

En outre, photographier la planète présente tout un défi étant donné le peu de lumière en provenance du Soleil, soit trente fois moins que n'en reçoit Jupiter. La planète, ses satellites et ses anneaux sont par conséquent très peu éclairés.

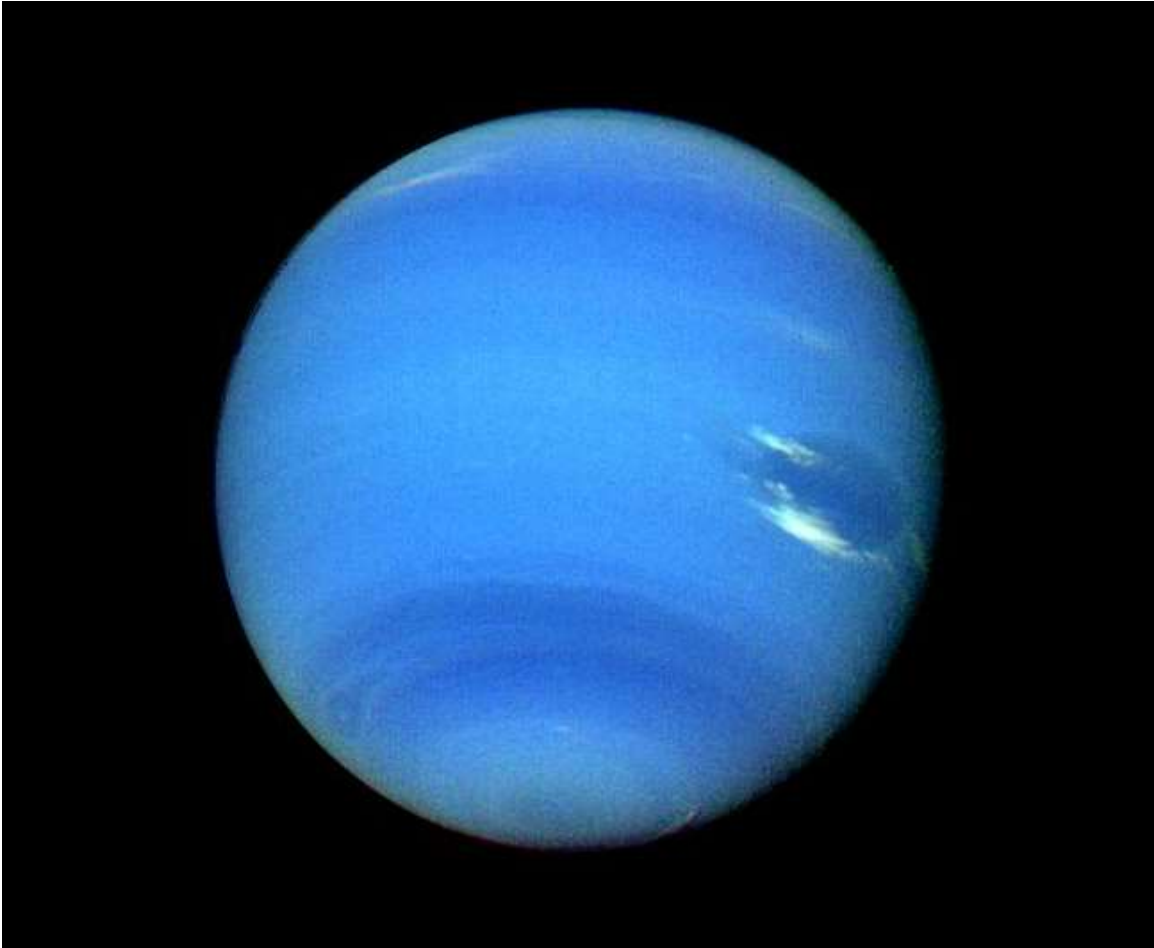
Le survol de Neptune se déroule sans problème, au grand soulagement des scientifiques. Pour eux, c'est la consécration. Comme toujours, ils sont enchantés par les photos et les données qu'ils reçoivent de la sonde, même si dans plusieurs cas, ils ont peine à interpréter ce qu'ils ont sous les yeux. Comme le relate John Noble

Wilford dans le *New York Times* du lendemain: «Surpris et intrigués, les scientifiques ne peuvent que recourir à des propos non-scientifiques faits de 'bizarre' et de 'wow!'»<sup>41</sup> Il leur faudra en fait des mois de patientes analyses pour interpréter ce que Voyager 2 a observé autour et sur la planète.

### Triton, le plus qu'étrange

Tout compte fait, la sonde établit que l'atmosphère de la planète est beaucoup plus active qu'on s'y attendait, avec des vents soufflant jusqu'à 1100 km/h. Cette atmosphère est composée à 79% d'hydrogène et à 19% d'hélium, mais c'est la présence de 1,5% de méthane qui lui donne sa belle couleur turquoise.

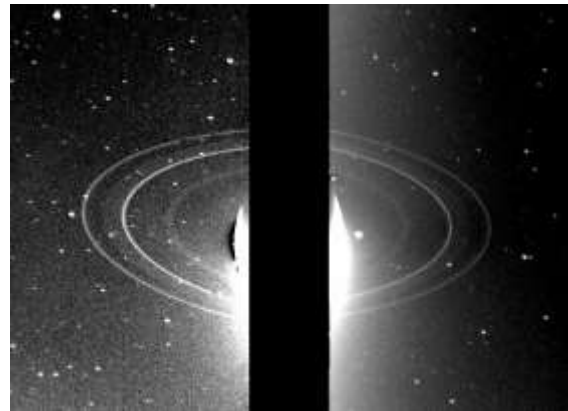
La sonde repère également trois formations nuageuses particulières, que les scientifiques baptisent respectivement la Grande tache sombre, la Tache moins sombre et la trottinette.<sup>42</sup> La première est un gigantesque ouragan qui se déplace à plus de 1000 km/h. La seconde est un «ouragan» de plus petite taille et plus pâle que le premier, tandis que la troisième apparaît comme une bande de nuages éclatants qui semble «trotter» tout le long de l'atmosphère.



Neptune dans toute sa splendeur.

En outre, Neptune possède cinq anneaux distincts; trois ne font qu'une centaine de kilomètres de largeur, tandis que deux autres ont de deux à cinq mille kilomètres de large. L'un d'eux se compose de cinq arcs clairs, pris au sein d'un anneau continu plus faible — ce qui explique les étranges observations faites alors que Voyager faisait route vers la planète. Ces anneaux contiennent une bonne quantité d'un matériau sombre, probablement un mélange de glace et de composés organiques. Ils sont surtout très différents des anneaux de Saturne et d'Uranus.<sup>43</sup>

Par-delà la planète, c'est Triton qui retient toute l'attention.<sup>44</sup> Voyager 2 photographie environ les deux-tiers de

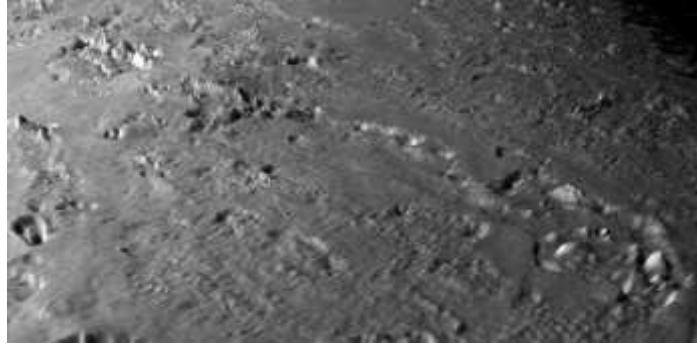


Les anneaux diffus de Neptune.

l'astre, dont 40% de son hémisphère sud. La surface apparaît sans grands reliefs; elle est cependant marquée par une assez grande diversité de terrains et surtout par peu de cratères.

On y découvre par contre un «cryovolcan», c'est-à-dire une sorte de volcan qui crache... de la glace d'azote. La température mesurée à la surface de

Triton est en fait la plus basse jamais enregistrée sur un astre du Système solaire:  $-235^{\circ}$ .

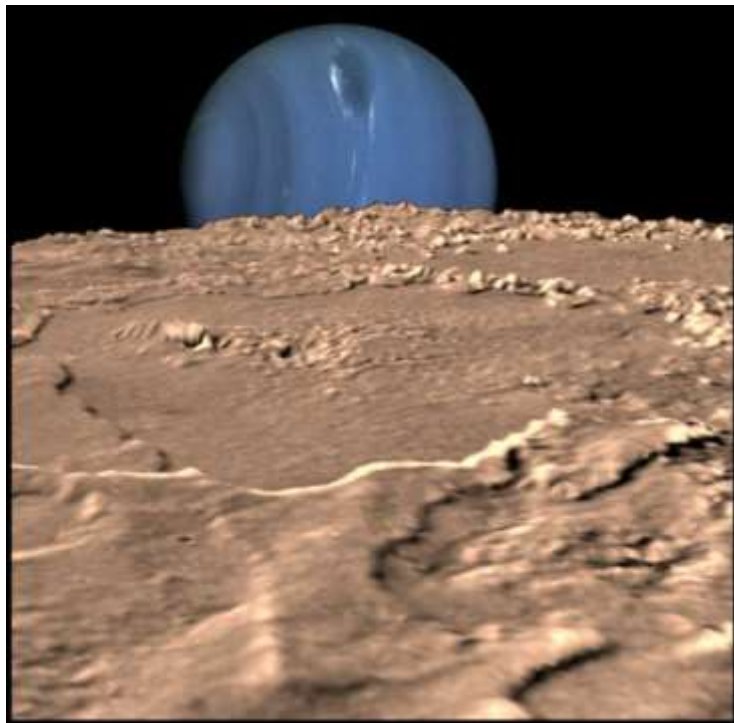


Gros plans sur l'étrange sol fait de glace d'azote de Triton.

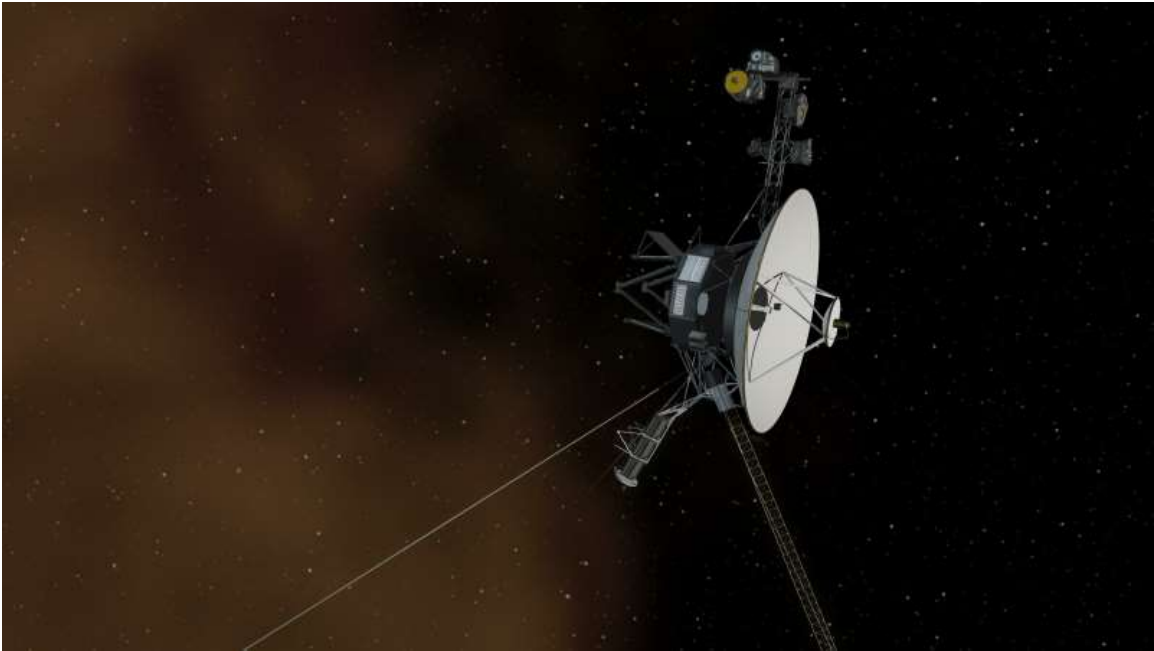
Étant donné l'absence de cratère sur cette lune, cela indique aux géologues que la surface serait très jeune, moins d'une centaine de millions d'années, ce qui est peu lorsqu'on considère que Triton existe probablement depuis des milliards d'années. Cette lune serait constituée d'un noyau rocheux entouré d'un manteau de glace d'eau recouvert par une croûte d'azote gelé (qui forme la surface). Une atmosphère ténue, composée presque uniquement d'azote, enveloppe Triton. Le moins qu'on puisse dire, c'est qu'il s'agit d'un monde extrêmement froid, comme on n'en retrouve qu'aux confins du Système solaire.

dans le sens de rotation de leur planète-mère.) Cette anomalie suggère que Triton pourrait avoir été une planète qui aurait un jour été capturée par Neptune. Sa composition pourrait même s'assimiler à celle de Pluton, une autre petite planète de même taille.<sup>45</sup>

Mais la grande particularité de Triton c'est le fait qu'il orbite dans le sens contraire à la rotation de sa planète. (D'ordinaire, toutes les lunes, dont la nôtre, circulent



Spectaculaire lever de Neptune sur l'horizon de Triton.



## Conclusion: Aux confins du Système solaire

Le survol de Neptune par Voyager 2 marque la fin d'une formidable époque, celle de la grande exploration du Système solaire. Non seulement vient-on de visiter toutes les planètes (hormis Pluton), mais en 1989, presque plus aucun projet de sondes planétaires n'est en préparation. Le programme d'exploration de la Lune et des planètes, qui s'est amorcé en 1959, marquera donc une pause forcée après vingt années de découvertes extraordinaires.

De fait, nous venons de vivre la plus grande épopée de tous les temps, puisque jamais dans l'histoire de l'humanité n'a-t-on exploré autant de nouveaux mondes en si peu de temps.

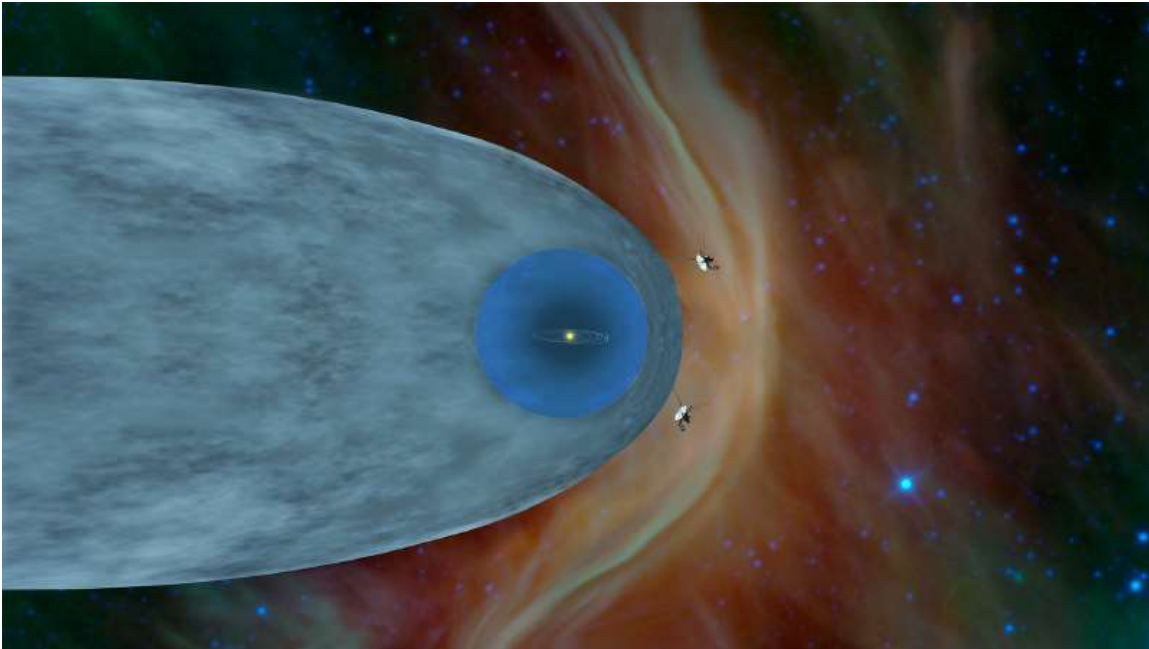
Qui plus est, grâce à la magie des systèmes de transmission par onde radio, nous avons pu suivre au jour le jour ces découvertes. Or, à l'époque de Christophe Colomb et autres grands navigateurs, il fallait attendre des années avant d'apprendre ce qu'ils avaient découvert, le temps que leurs navires ne regagnent leur port d'attache. À notre époque, nous suivons en direct ce que nos explorateurs robots observent.

Les deux Voyager ont ainsi accompli le Grand Tour envisagé dans les années soixante. Mais, contre toute attente, leur mission n'est pas terminée: le programme Voyager est ainsi rebaptisé *Voyager Interstellar Mission* (VIM) – la mission interstellaire des Voyager. Les deux robots entreprennent alors d'explorer les confins du Système solaire, une région encore inconnue.

C'est ainsi que, tel que nous l'avons relaté dans notre deuxième balado consacré aux Voyager, après avoir frôlé Jupiter et Saturne, Voyager 1 a pris une autre direction que Voyager 2. À la suite de son survol de Titan (la principale lune de Saturne), sa trajectoire

a été courbée de 35° par rapport à l'équateur solaire – le plan où circulent les planètes autour du Soleil et que les astronomes appellent l'écliptique.<sup>46</sup> Pour sa part, Voyager 2 a pris une trajectoire qui l'amènera à explo-

rer la région en-dessous de l'écliptique. Les deux sondes évoluent dans la même direction vers laquelle se déplace le Soleil autour du centre de la galaxie; elles le précèdent, au rythme d'environ 500 millions de kilomètres par année.



Voyager 1 (en haut à droite) et Voyager 2 (en bas à droite) explorent de part et d'autre l'écliptique du Système solaire.

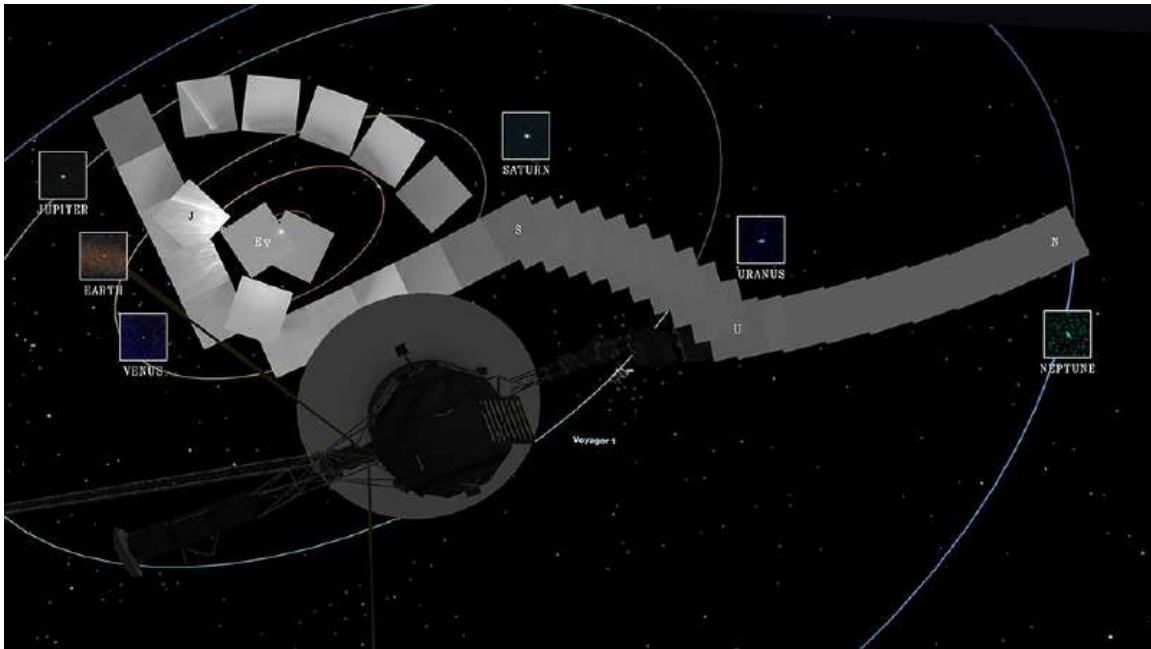
Le 14 février 1990, Voyager 1 nous transmet une ultime série de photos.<sup>47</sup> Pour l'occasion, ses caméras se retournent vers l'intérieur du Système solaire pour photographier (de très loin) les planètes qu'elle a laissées derrière elle. Résultat, on obtient la célèbre photo dite «Un point bleu pâle»



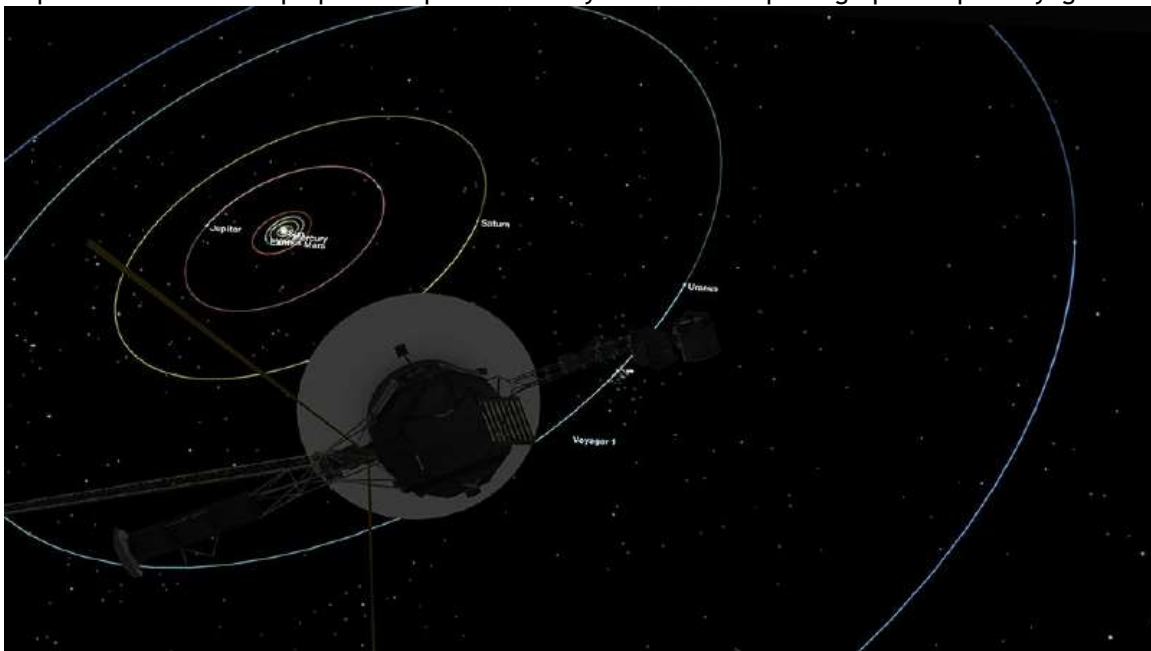
La célèbre photo dite «Un point bleu pâle» qui fait voir la Terre (dans le jet de lumière) vue à 6 milliards de kilomètres.

(«The pale blue dot»),<sup>48</sup> qui nous fait découvrir la Terre vue à 6 milliards de kilomètres. Cette distance correspond

à 40 fois la distance Terre-Soleil – ou 40 unités astronomiques, disent les astronomes.



La photo de la Terre prise à grande distance fait partie d'une série de photos (ci-dessus) qui font découvrir la plupart des planètes du Système solaire photographiées par Voyager 1.



Puis, le 17 février 1998, Voyager 1 devient l'objet de fabrication humaine le plus éloigné de nous, lorsqu'il dépasse Pionner 10 lancée en 1972, à 69 unités astronomiques. Et ce n'est finalement qu'en 2012 que la sonde pénètre dans l'espace interstellaire,

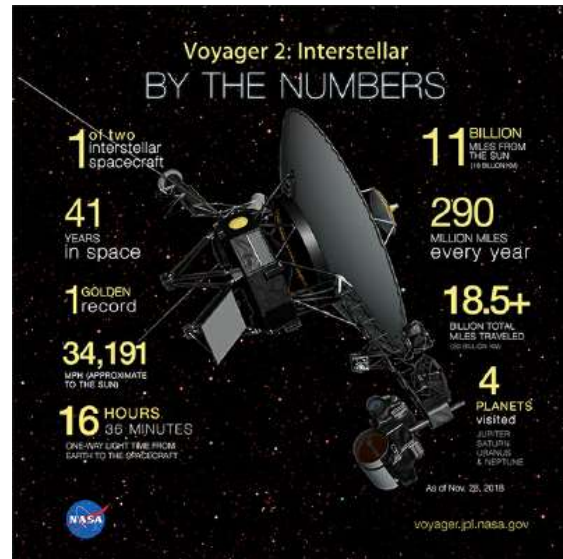
c'est-à-dire dans la zone au-delà de laquelle le vent solaire cesse de souffler.<sup>49</sup> Elle se trouvait alors à 14 milliards de kilomètres (94 unités astronomiques). Pour la première fois, une sonde étudie l'environnement interstellaire.<sup>50</sup> Quant à Voyager 2, elle suit

les traces de Voyager 1,<sup>51</sup> alors que 43 ans après leur lancement, les deux engins demeurent toujours en contact radio avec nous.

### Un record de longévité absolu

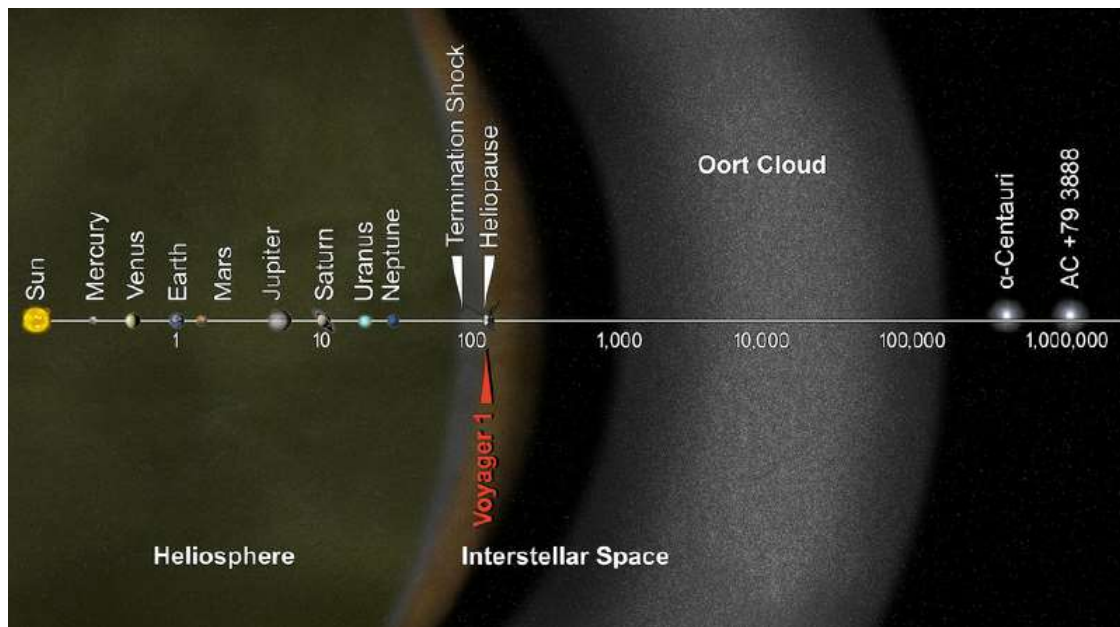
C'est ainsi qu'à l'heure actuelle (août 2020), Voyager 1 se trouve à 150 unités astronomiques, soit à plus de 22 milliards de kilomètres. Ses signaux radio prennent 20 heures et 45 minutes à nous parvenir (la sonde se situe donc à près de 21 heures-lumière de nous). Quant à Voyager 2, elle se trouve actuellement à 124 unités astronomiques – soit à près de 19 milliards de kilomètres – et ses signaux radio mettent plus de 17 heures à nous parvenir.<sup>52</sup>

C'est là un exploit aussi remarquable qu'inattendu. En effet, rappelons-nous qu'au moment de leur lancement, on *espérait* que les Voyager survivent *quelques années* aux rigueurs de l'espace lointain. Et si tout allait bien,



La mission Voyager 2 en chiffres.

avons-nous relaté plus tôt, peut-être que l'une d'elles s'aventurerait jusqu'à Uranus en 1986. Or voilà qu'en 2020, toutes deux fonctionnent toujours! On s'attend même à garder le contact radio avec elles jusqu'à 2025... au moins.<sup>53</sup>



Cette illustration montre le chemin à parcourir pour les Voyager (à une échelle logarithmique). Les sondes se trouvent actuellement à une centaine d'unités astronomiques du Soleil, au début de l'espace interstellaire. Elles auront à franchir le nuage d'Oort (situé dans les 10 000 u.a.) avant de parvenir dans les parages du système stellaire Centaure (à plus d'un million d'u.a.).

# Les Fascicules de Voyage dans l'espace

<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 1</p> <p>DESTINATION MARS</p>  <p>« Mars sera-t-elle habitée ? C'est ce que nous allons découvrir... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 2</p> <p>LA SAUTE AU TEMPS D'APOLLO</p>  <p>« Un voyage qui nous fait sauter de la Terre à la Lune et vice versa... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 3</p> <p>DE LA VIE DANS L'UNIVERS?</p>  <p>« Nous cherchons à savoir s'il existe d'autres planètes habitables... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 4</p> <p>À QUOI SERT PERDRE LE SYSTÈME SOLAIRE?</p>  <p>« Pourquoi vouloir se débarrasser de notre système solaire ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 5</p> <p>LES SATELLITES MILITAIRES</p>  <p>« Les satellites militaires surveillent et espionnent... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 6</p> <p>LES MONUMENTS DE LA COSMONAUTIQUE</p>  <p>« Le satellite qui surveille nos déplacements... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 7</p> <p>PLANETES ET DOUBLETES</p>  <p>« Pourquoi les planètes doubles sont-elles si communes ? »</p>
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 8</p> <p>VOYAGE VERS LE CIEL</p>  <p>« Comment aller vers Mars, quand on est en orbite autour de la Terre ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 9</p> <p>RECHETS SPATIAUX</p>  <p>« Quels dangers pour nous ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 10</p> <p>HOMME DANS L'ESPACE</p>  <p>« Du rêve à la réalité... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 11</p> <p>LA VOIE LACTÉE</p>  <p>« Notre système de planètes... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 12</p> <p>LE JEU DES DATES</p>  <p>« Pourquoi aller à l'école dans l'espace ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 13</p> <p>PLUTON</p>  <p>« La fin des planètes... »</p>	
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 14</p> <p>LE SOMMET SUR L'ALPES (Mars 2020)</p>  <p>« La plus haute et la plus grande montagne de Mars... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 15</p> <p>LE SOMMET SUR L'ALPES (Mars 2020)</p>  <p>« La plus haute et la plus grande montagne de Mars... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 16</p> <p>NIERRE À BORD DE LA STATION SPATIALE</p>  <p>« Du rêve à la réalité... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 17</p> <p>UN AUTOMNE PLANÉTAIRE</p>  <p>« Un monde avec un système solaire... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 18</p> <p>LES EXOPLANÈTES RECHERCHÉES D'APRÈS LEUR TAILLE</p>  <p>« L'hypothèse humanitaire... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 19</p> <p>VOYAGE DANS L'ESPACE AU CHINA</p>  <p>« Sur Mars à l'horizon... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 20</p> <p>CONFLITS EN L'ESPACE</p>  <p>« Des satellites d'espionnage... »</p>
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 21</p> <p>MYSTÈRE PLANÉTAIRE</p>  <p>« Pourquoi les planètes sont-elles si communes ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 22</p> <p>NOËL 1968</p>  <p>« Pourquoi Noël est-il célébré dans l'espace ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 23</p> <p>DEMAIN LA LUNE</p>  <p>« Comment retourner sur la Lune et aller à Mars ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 24</p> <p>À QUOI SERT L'ESPACE ?</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 25</p> <p>ALEXEI LEOV</p>  <p>« Le cosmonaute qui volait dans l'espace... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 26</p> <p>PARLER DE LA COSMONAUTIQUE</p>  <p>« Pourquoi parler de la cosmonautique ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 27</p> <p>PARLER DE LA COSMONAUTIQUE</p>  <p>« Pourquoi parler de la cosmonautique ? »</p>
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 28</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Comment aller vers Mars de France ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 29</p> <p>PREMIER ÉPIGRAMME DANS L'ESPACE</p>  <p>« En quelle année l'épigramme est-elle arrivée dans l'espace ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 30</p> <p>DES OÙLS PAS COMME LES AUTRES</p>  <p>« Pourquoi les ours sont-ils pas comme les autres ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 31</p> <p>PRELUDES À APOLLO 11</p>  <p>« La grande fête de la Lune et la Lune... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 32</p> <p>APOLLO 11 DANS LES ANNÉES DE L'ÉTOILE</p>  <p>« Ce qui s'est passé pendant l'atterrissage... »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 33</p> <p>NOTRE ESPÈCE</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 34</p> <p>NOTRE ESPÈCE</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 35</p> <p>LES SURPRISES DE L'ETP 2011</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 36</p> <p>POURQUOI MARS...</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 37</p> <p>EN QUOI SERONS-NOUS EN 2050 ?</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 38</p> <p>L'ÉTÉRONOME SUR L'IMAGE</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 39</p> <p>LA LUNE, CETTE INCONNUE</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 40</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 41</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>
<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 42</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 43</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 44</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>	<p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 45</p> <p>LA GRANDE FLEUR DE 1960</p>  <p>« Pourquoi aller dans l'espace maintenant ? »</p>			

## Pour en savoir plus...

<sup>1</sup> Écoutez les balados [La grande aventure des Voyager, #1](#) et [La grande aventure des Voyager, #2](#) et consultez les [Fascicule 42](#) et [Fascicule 43](#).

<sup>2</sup> «Unmanned Efforts Assuming Greater Role», *Aviation Week & Space Technology*, 9 mars 1970, p. 79.

<sup>3</sup> Asif A. Siddiqi, *Beyond Earth*, NASA SP-2018-4041, 2018, p. 140.

<sup>4</sup> Écoutez notre balado [Pluton, la reine des petites planètes](#) diffusé le 5 août 2018 ou consultez le [Fascicule 14](#).

<sup>5</sup> Les Anciens connaissaient cinq planètes: Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, auxquelles il faut ajouter la Terre. En tenant compte de la présence du Soleil et de la Lune au firmament, ils ont créé la semaine de sept jours, en consacrant un à chaque astre: le dimanche au Soleil, le lundi à la Lune, le mardi à Mars, le mercredi à Mercure, le jeudi à Jupiter, le vendredi à Vénus et le samedi à Saturne.

<sup>6</sup> En réalité, la planète aurait été aperçue dès 1690 par John Flamsteed, qui l'observe au moins six fois, mais il l'a considérée comme une étoile. Puis Pierre Charles Le Monnier l'observa au moins douze fois entre 1750 et 1769 avant qu'Herschell l'identifie comme étant la septième planète du Système solaire.

<sup>7</sup> [A Meeting With the Universe](#), NASA EP-177, 1981, [Chapter 2-3](#).

<sup>8</sup> John Noble Wilford, «[As Voyager Nears Uranus, Flurry of Discoveries Is Expected](#)», *The New York Times*, 21 janvier 1986, p. C1.

<sup>9</sup> À titre de comparaison, gardons à l'esprit que la Terre se trouve à 150 millions de kilomètres du Soleil; Voyager 2 se trouve alors à une distance représentant 57% de la distance Terre-Soleil.

<sup>10</sup> «[Voyager 2 Spots Rings of Uranus](#)», *The New York Times*, 19 novembre 1985, p. 67; «[Voyager Spacecraft Detects Outermost Ring of Uranus As It Nears Encounter](#)», *Aviation Week & Space Technology*, 25 novembre 1985, p. 25.

<sup>11</sup> John Noble Wilford, «[Voyager 2 Adds Yet Another Mystery About Distant Uranus](#)», *The New York Times*, 4 décembre 1985, p. 38.

<sup>12</sup> John Noble Wilford, «[Voyager Spacecraft Discovers Sixth Moon Orbiting Uranus](#)», *The New York Times*, 9 janvier 1986, p. A18.

<sup>13</sup> Voir l'article [Cordélia \(lune\)](#) dans Wikipédia.

<sup>14</sup> Voir l'article [Satellites naturels d'Uranus](#) dans Wikipédia.

<sup>15</sup> John Noble Wilford, «[American Spacecraft Detects, 6 More Moons Above Uranus](#)», *The New York Times*, 17 janvier 1986, p. A20.

<sup>16</sup> John Noble Wilford, «[Uranus System 'Unlike Anything We Have Seen'](#)», *The New York Times*, 23 janvier 1986, p. A22; Claude Lafleur, «[Les charmes d'Uranus dévoilés](#)», *Québec Science*, janvier 1986, p. 11-2.

<sup>17</sup> John Noble Wilford, «[Evidence of Magnetic Field Is Found](#)», *The New York Times*, 24 janvier 1986, p. A11.

---

<sup>18</sup> John Noble Wilford, «2 Billion Miles in Space, Ship Flies by Uranus», *The New York Times*, 25 janvier 1986, p. 1; Claude Lafleur, «Uranus: Voyager 2 explore l'étrange planète», *La Presse Plus*, 25 janvier 1986, p. 10-1.

<sup>19</sup> *Beyond Earth*, p. 140.

<sup>20</sup> John Noble Wilford, «More From Uranus: 15<sup>th</sup> Moon, 10<sup>th</sup> Ring and Magnetic askew», *The New York Times*, 26 janvier 1986, p. 1; Claude Lafleur, «Uranus, là où tout est à l'envers», *La Presse*, 1<sup>er</sup> février 1986, p. A10; Claude Lafleur, «Il aurait été surprenant qu'Uranus ne nous étonne pas», *La Presse*, 2 février 1986, p. 10.

<sup>21</sup> Bruce A. Smith, «Voyager 2's Uranus Flyby Provides Detailed Images of Moon System», *Aviation Week & Space Technology*, 3 février 1986, p. 66-9; «Uranus is a Magician», *Space World*, mars 1986, p. 23-7 et avril 1986, p. 29-33.

<sup>22</sup> Voir l'article *Miranda (lune)* dans Wikipédia.

<sup>23</sup> John Noble Wilford, «Scientists Report A Moon of Uranus Is 'Bizarre Hybrid'», *The New York Times*, 27 janvier 1986, p. A1.

<sup>24</sup> *Beyond Earth*, p. 141.

<sup>25</sup> John Noble Wilford, «For Voyager 2's 'Family' of 17 Years, It's the Last of the First Encounters», *The New York Times*, 25 août 1989, p. A12.

<sup>26</sup> Voir l'article *Mariner 4* dans Wikipédia et *Mariner 4 Mission to Mars* de la NASA.

<sup>27</sup> John Noble Wilford, «Astronomers Strain to Hear Voyager's Last, Weak Signals», *The New York Times*, 13 août 1989, p. C1.

<sup>28</sup> Voir *Neptune (planète)* dans Wikipédia.

<sup>29</sup> À noter qu'au moment où Voyager 2 aborde Neptune, on considère généralement que la planète possède deux lunes (Triton et Néréide), tandis que la sonde va redécouvrir Larissa, qui avait été repérée dès 1981. (Voir l'article *Larissa (lune)* dans Wikipédia.)

<sup>30</sup> *A Meeting With the Universe*, Chapter 2-3.

<sup>31</sup> AP, «Discovery of 3d Neptune Moon Is Confirmed», *The New York Times*, 8 juillet 1989 p. 7; Wikipédia; «Voyager Spacecraft Image Neptune», *Aviation Week & Space Technology*, 17 juillet 1989, p. 28. Voir aussi l'article *Protée (lune)* dans Wikipédia.

<sup>32</sup> Voir l'article *Satellites naturels de Neptune* dans Wikipédia.

<sup>33</sup> John Noble Wilford, «Voyager, Heading Toward Neptune, Sights 3 Undiscovered Moons», *The New York Times*, 4 août 1989, p. B6.

<sup>34</sup> John Noble Wilford, «Voyager 2 Is Nearing Neptune», *The New York Times*, 3 août 1989, p. B6.

<sup>35</sup> John Noble Wilford, «Voyager Cameras Discover a Turbulent Blue Neptune», *The New York Times*, 20 août 1989, p. 32; «Voyager 2 Discover Large, Dark Spot on Neptune», *Aviation Week & Space Technology*, 26 juin 1989, p. 87.

---

<sup>36</sup> John Noble Wilford, «Voyager 2 Finds Rings at Neptune (But Not All the Way Around It)», *The New York Times*, 12 août 1989, p. 1.

<sup>37</sup> John Noble Wilford, «Profile of Neptune's Main Moon: Small, Bright, Cold, and It's Pink», *The New York Times*, 22 août 1989, p. A1.

<sup>38</sup> John Noble Wilford, «Scientists, Coming Full Circle, Say Neptune Ring Is Complete», *The New York Times*, 23 août 1989, p. 1 & 16.

<sup>39</sup> John Noble Wilford, «Uncannily Precise, Voyager Bears Down on Neptune», *The New York Times*, 24 août 1989, p. A18; Bruce A. Smith, «Neptune Rendezvous Will Mark Final Stage of Voyager 2's Mission», *Aviation Week & Space Technology*, 7 août 1989, p. 70-1.

<sup>40</sup> *Beyond Earth*, p 141.

<sup>41</sup> John Noble Wilford, «Voyager Thrills Scientists in Farewell to Solar System», *The New York Times*, 26 août 1989, p. 1.

<sup>42</sup> C'est-à-dire, dans le langage américain: la *Great Dark Spot*, la *Lesser Dark Spot* et le *Scooter*.

<sup>43</sup> «Voyager Photos Reveal Five Rings Around Neptune», *Aviation Week & Space Technology*, 22 janvier 1990, p. 88. Voir aussi l'article *Neptune (planète)* dans Wikipédia.

<sup>44</sup> John Noble Wilford, «Voyager Thrills Scientists in Farewell to Solar System», *The New York Times*, 26 août 1989, p. 1.

<sup>45</sup> Voir l'article *Triton (lune)* dans Wikipédia.

<sup>46</sup> Voir l'article *Écliptique* de Wikipédia.

<sup>47</sup> «Voyager 2 Takes Unique Solar System Photo», *Aviation Week & Space Technology*, 11 June 1990, p. 25 & 25.

<sup>48</sup> Voir l'article *Un point bleu pâle* dans Wikipédia.

<sup>49</sup> NASA, *Voyager Interstellar Mission*.

<sup>50</sup> Michael A. Dornheim, «Uncharted Territory», *Aviation Week & Space Technology*, 20 juin 2005, p. 65-6.

<sup>51</sup> NASA, «Voyager 2 Illuminates Boundary of Interstellar Space», 4 novembre 2019; Irene Klotz, «Voyager 2 Goes Interstellar», *Aviation Week & Space Technology*, 25 novembre - 8 décembre 2019, p. 12.

<sup>52</sup> Voir NASA, *Voyager Mission Status* (as of August 16, 2020).

<sup>53</sup> NASA, «Voyager 2 Returns to Normal Operations», 28 janvier 2020.