

Les missions pionnières de l'exploration du Système solaire externe

Les missions pionnières de l'exploration du Système solaire externe

- Introduction
- I/ Les défis de l'exploration au-delà de Mars
- II/ La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970
- III/ Le programme Voyager
- Conclusion

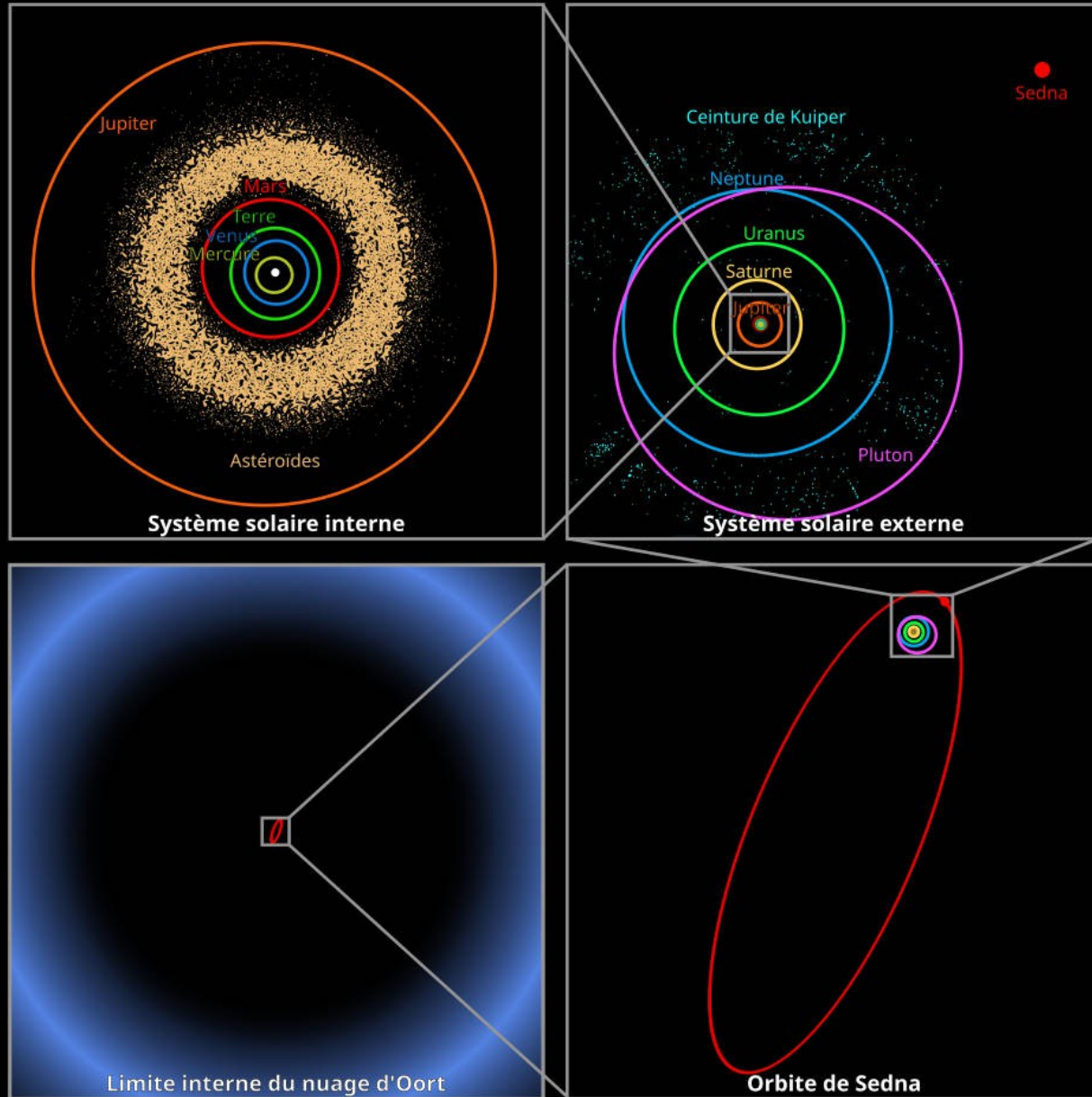
Introduction

- L'étude du Système solaire a longtemps reposé sur les données obtenues par les télescopes terrestres.
- Le lancement du satellite Spoutnik 1 le 4 octobre 1957 ouvre la voie de la conquête spatiale.
- La première sonde interplanétaire de l'histoire, Mariner 2, est envoyée le 27 août 1962 pour un survol de Vénus le 14 décembre de cette même année.
- Le défi de l'exploration du Système solaire interne aura été relevé dans les années 1960 !
- Qu'en est-il de l'exploration au-delà de Mars ? Quelles sont les difficultés et les défis relatifs à l'exploration du Système solaire externe ? Dans quelle mesure les missions d'exploration du Système solaire externe ont-elles fait avancer la connaissance sur ces mondes lointains ? Quelles sont les perspectives en matière de projets d'exploration au-delà de Mars ?
- Plongeons nous dans ces grandes missions qui ont fait avancer notre connaissance du Système solaire externe !

Les défis de l'exploration au-delà de Mars

Les défis de l'exploration au-delà de Mars

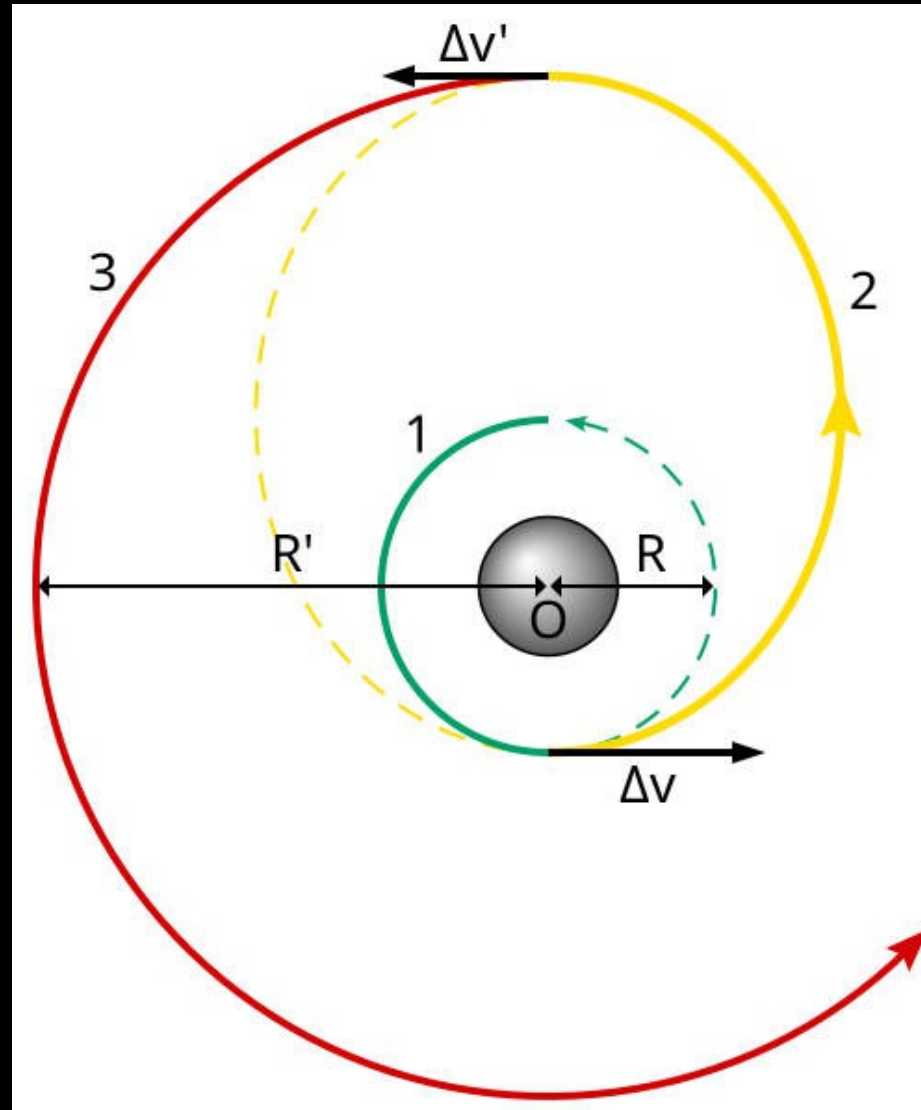
- Envoyer des sondes d'exploration au-delà de Mars requiert beaucoup d'énergie et une vitesse considérable pour l'engin spatial.



- Ci-contre, mosaïque représentant la structure du Système solaire du Soleil au Nuage de Oort.
Source de l'image:
[Wikipedia.](#)

Les défis de l'exploration au-delà de Mars

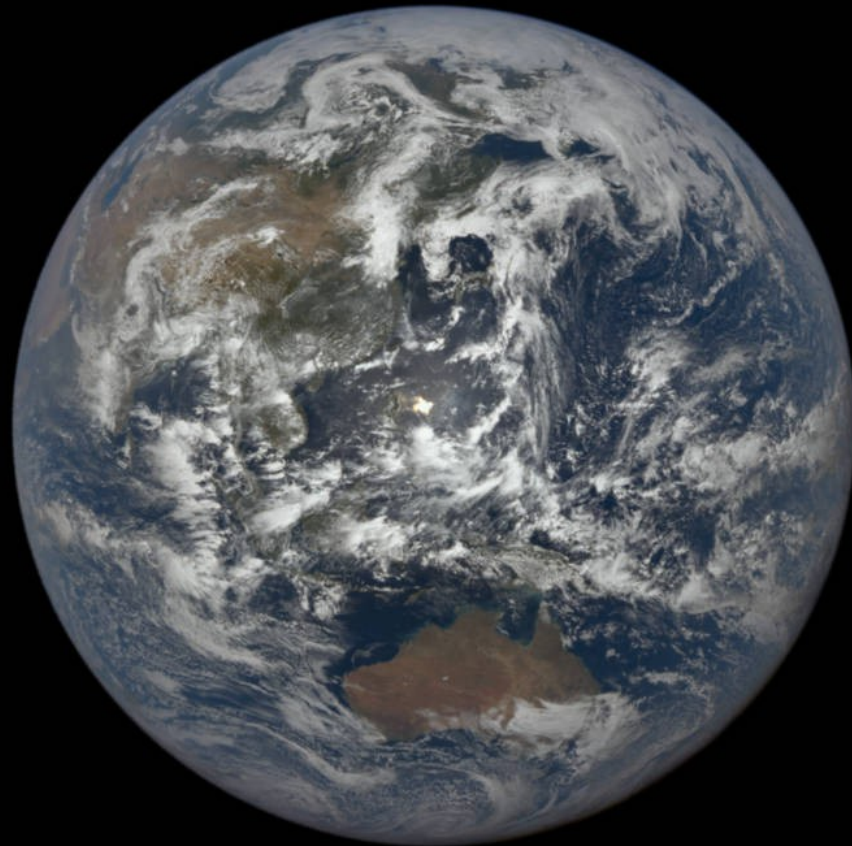
- Dans toute mission d'exploration interplanétaire, il faut pouvoir atteindre au moins la vitesse de libération qui est de l'ordre de 11,2 km/s (40 320 km/h).
- Pour quitter l'orbite terrestre et atteindre Jupiter, il faut une vitesse d'injection de l'ordre de 14,031 km/s à 300 km d'altitude (Source Wikipedia).



- Ci-contre, schéma représentant le principe de l'orbite de transfert de Hohmann qui implique deux allumages de moteur pour augmenter la vitesse de l'engin spatial. [Source de l'image: Wikipedia.](#)

Les défis de l'exploration au-delà de Mars

- Les concepteurs des missions spatiales vers le Système solaire externe doivent prendre en considération le fait que le niveau d'énergie solaire reçue par Jupiter et les autres géantes gazeuses est bien plus faible que le niveau d'énergie solaire reçu par la Terre.
- L'alimentation du système électrique de la sonde spatiale ne peut pas reposer sur des panneaux solaires par exemple au-delà de Jupiter.



- Ci-contre, vue de la Terre obtenue depuis le télescope spatial DSCOVR le 15 juillet 2025. Le niveau d'énergie solaire moyen reçu du Soleil au niveau de notre planète est de l'ordre de 1361 watts par mètre carré contre seulement 15 watts par mètre carré environ pour le niveau d'énergie solaire reçu au niveau de Saturne par exemple. **Crédit de l'image:** DSCOVR/EPIC.

Les défis de l'exploration au-delà de Mars

- Les scientifiques et ingénieurs doivent envisager la mobilisation de l'énergie nucléaire pour alimenter le système électrique et électronique des sondes spatiales au-delà de Jupiter.



- Ci-contre, rougissement d'une pastille de dioxyde de plutonium 238 du fait de sa propre désintégration radioactive. Chaque pastille produit 62 watts de chaleur.
Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#). Crédit de l'image d'origine: [Los Alamos National Laboratory](#).

La percée des missions ambitieuses
Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les
années 1970

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- Les réussites de missions d'exploration de la Lune, Vénus et Mars dans les années 1960 poussent les centres spatiaux de la NASA à envisager des missions d'exploration au-delà de Mars.
- Le centre de recherche Ames propose Pioneer F et Pioneer G qui doivent s'éloigner jusqu'à 4 Unités Astronomiques du Soleil pour l'étude du milieu interplanétaire.
- Le centre de vol spatial Goddard propose la mission Galactic Jupiter Probe pour l'étude de la ceinture d'astéroïdes et de l'environnement de Jupiter.
- Le JPL propose le programme ambitieux Navigator.



- Ci-contre, le modèle de la sonde spatiale Mariner 2 qui a survolé Vénus en 1962 est transmis par des représentants de la NASA à John Fitzgerald Kennedy en 1963. [Source de l'image](#) d'origine: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

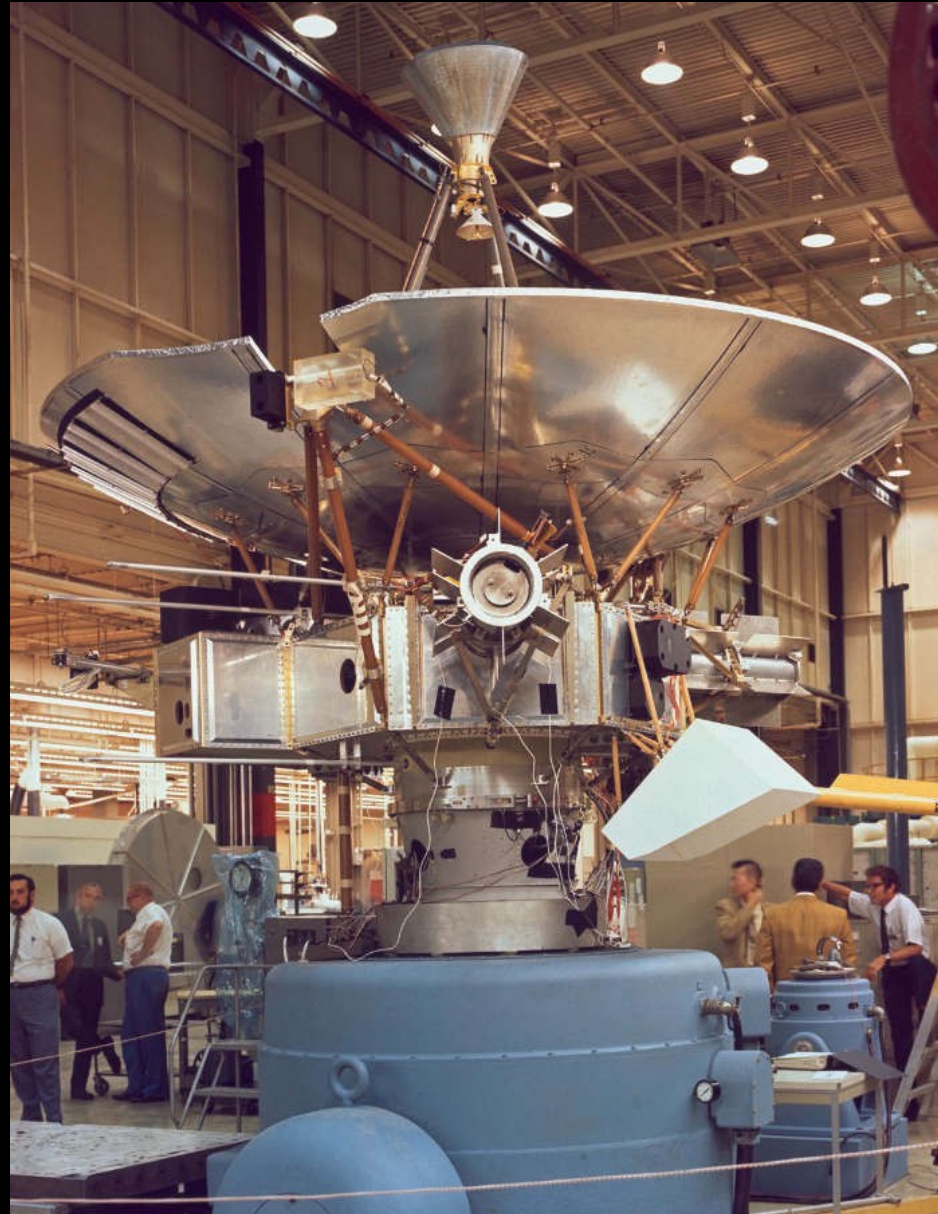
- Le JPL abandonne le programme de la mission Navigator et propose finalement le programme Grand Tour qui permettrait le survol des quatre géantes gazeuses et de Pluton grâce à une configuration orbitale exceptionnelle.
- Gary Flandro avait identifié, en 1964, un alignement rare des géantes gazeuses qui devait pouvoir rendre possible leur survol avec un lancement de mission en 1977.



- Ci-contre, Gary Flandro le 5 septembre 2017 lors de l'anniversaire des 40 ans du lancement des missions Voyager 1 et 2 au Smithsonian's National Air and Space Museum à Washington. **Source de l'image d'origine:** [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- Le projet Pioneer Jupiter est lancé en février 1969.
- La société TRW est chargée de construire les deux sondes Pioneer F et Pioneer G.



- Ci-contre, la sonde Pioneer 10 en phase finale d'assemblage dans l'usine de TRW. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

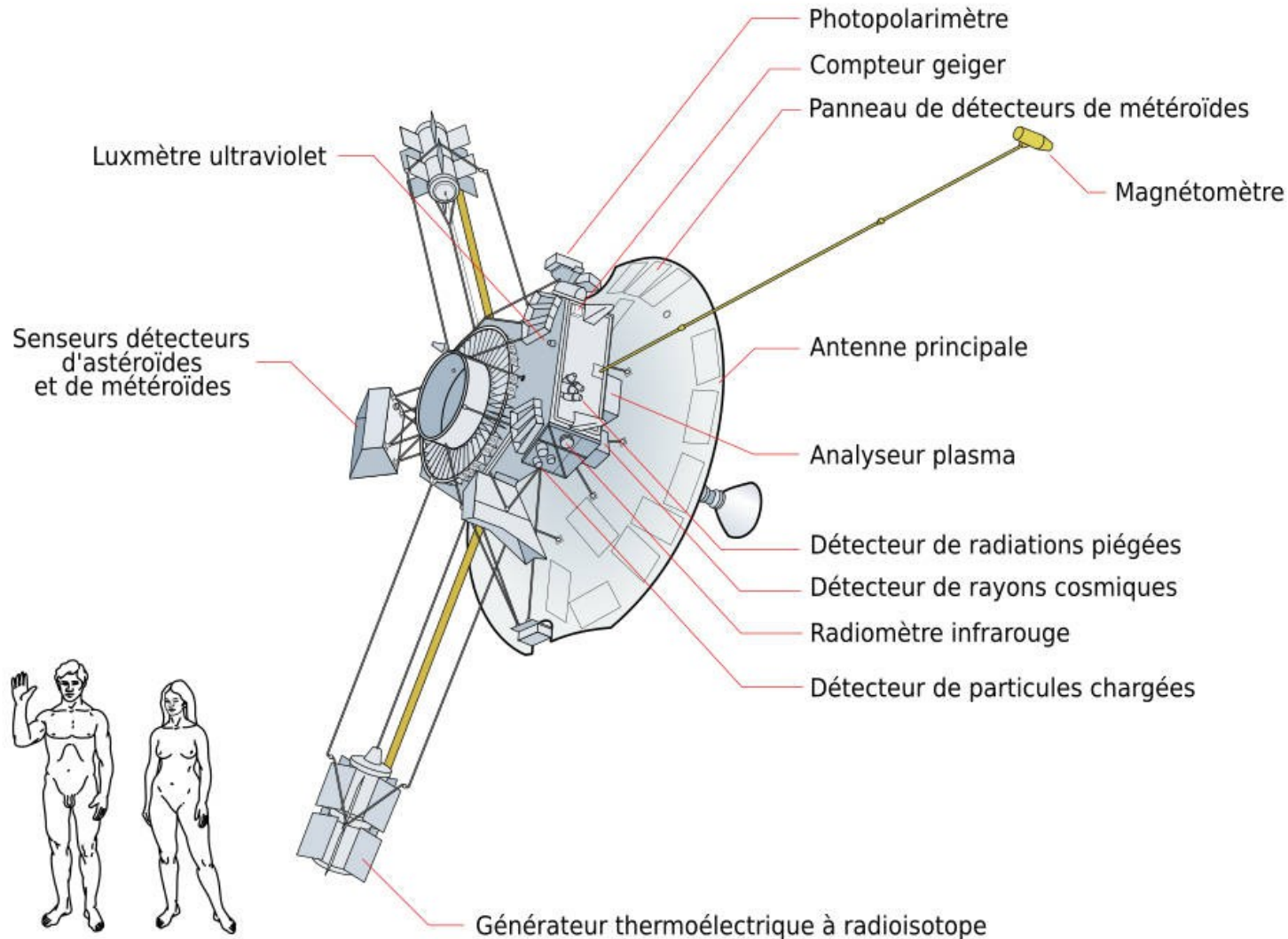
- La première des deux sondes d'exploration, dénommée Pioneer 10, doit traverser la ceinture d'astéroïdes et survoler Jupiter.
- Quel est le risque de collision dans la ceinture d'astéroïdes ?



- Ci-contre, une vue d'artiste de la sonde Pioneer 10 au niveau de l'orbite de Neptune avec le Soleil au loin. **Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: Donald Davis.**

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

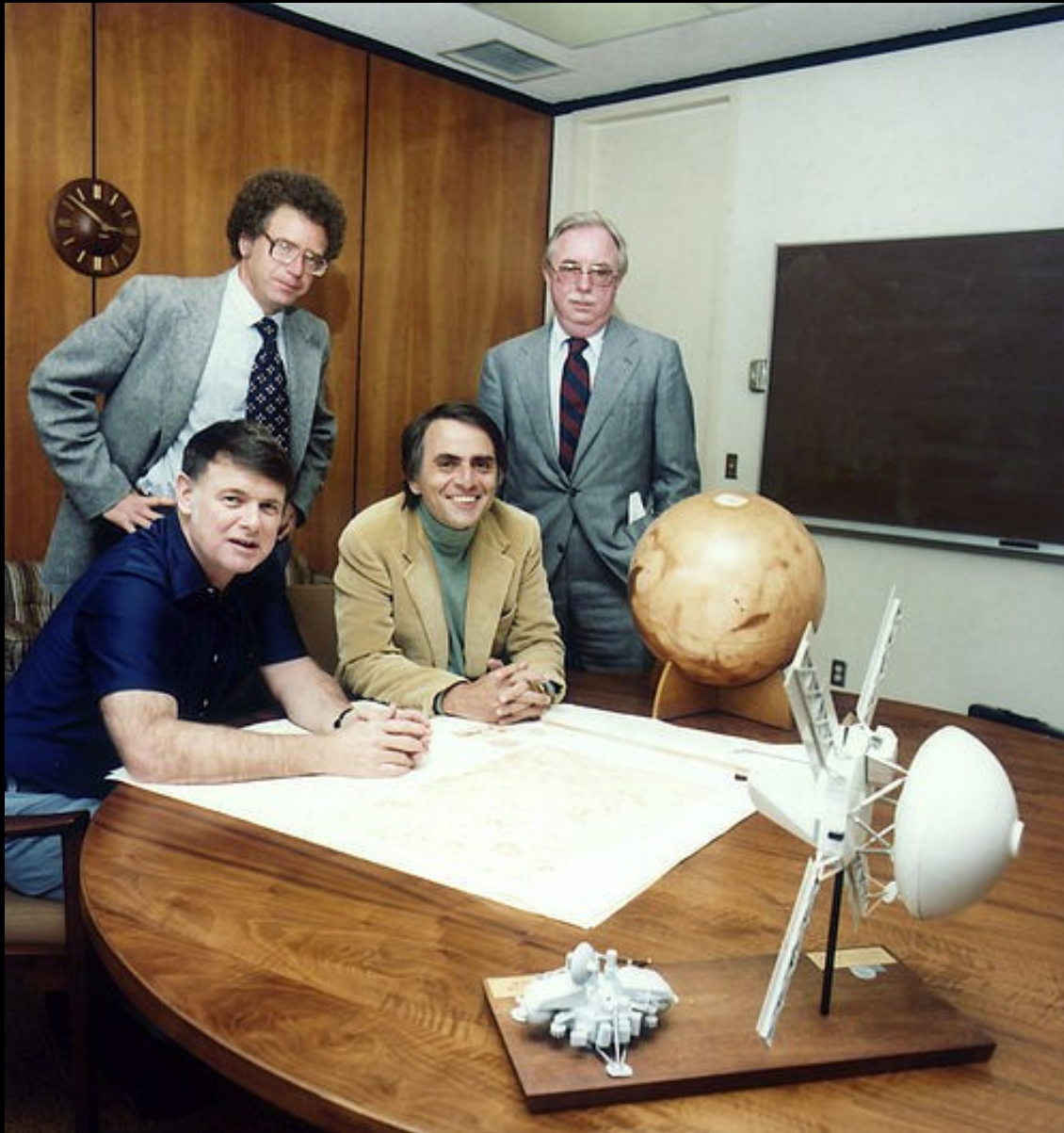
- La sonde Pioneer 10 ne pèse que 276 kg (dont quasiment 30 kg d'instruments).
- La sonde Pioneer ne possède pas d'ordinateur de bord et est alimentée en électricité par 4 RTG (155 watts de puissance générée).



- Ci-contre, schéma de la sonde Pioneer 10 et de ses différents systèmes ou instruments. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

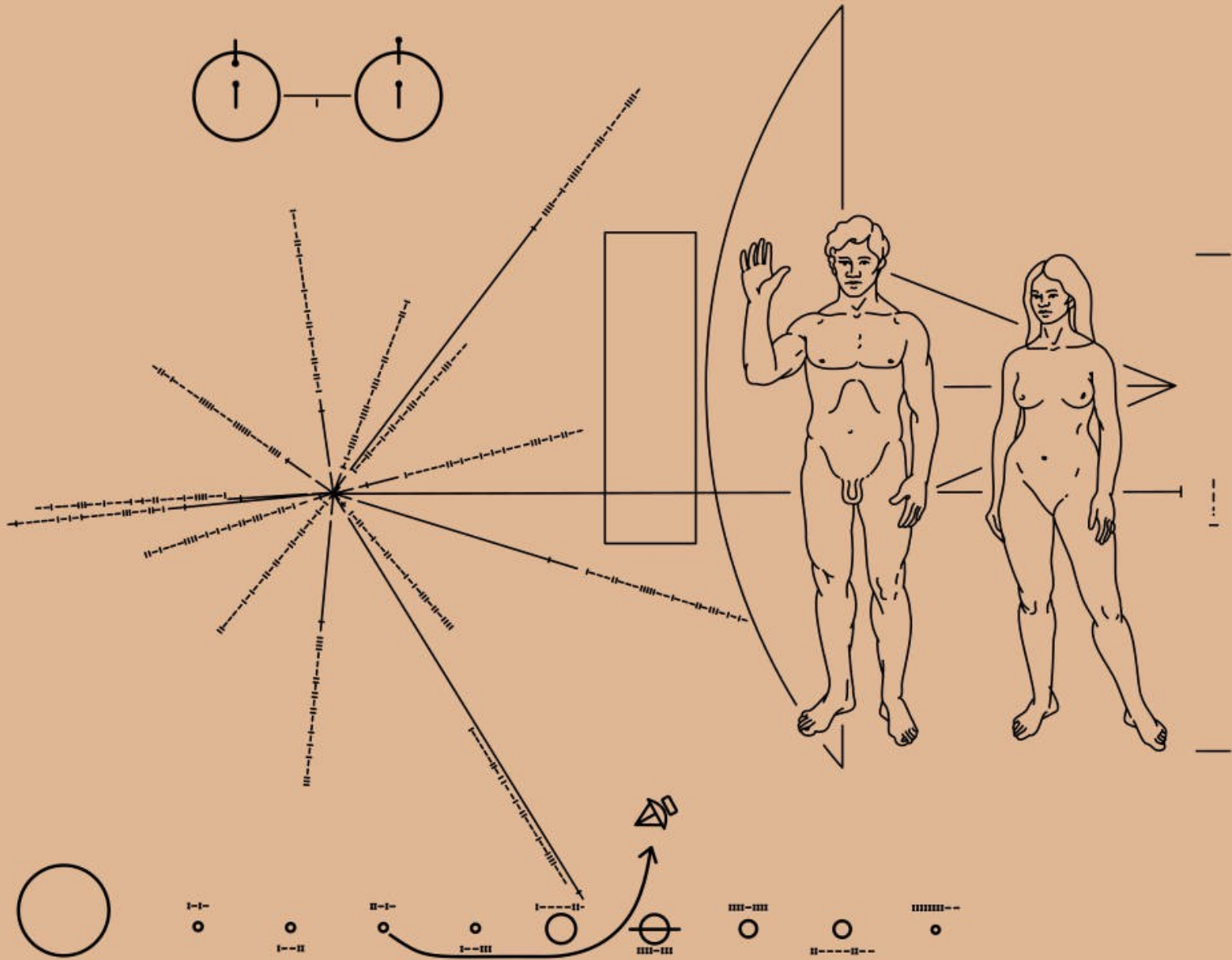
- Carl Sagan et sa femme Linda Salzman ont réalisé la plaque illustrée de la sonde Pioneer 10, destinée à d'éventuelles intelligences extraterrestres qui pourraient entrer en contact avec la sonde.



- Ci-contre, Carl Sagan en beige aux côtés de personnages clés de la Planetary Society (Bruce Murray, Louis Friedman et Harry Ashmore). [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La plaque d'aluminium dorée de Pioneer 10 doit pouvoir rendre compréhensible par toute intelligence extraterrestre notre origine et notre apparence en particulier.



- Ci-contre, la plaque de Pioneer 10 conçue par Carl Sagan, Frank Drake et Linda Salzman Sagan. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde Pioneer 10 doit réaliser un vol direct vers Jupiter ce qui implique un lanceur puissant.
- Le choix du lanceur se porte sur le lanceur Atlas-Centaur D qui peut placer environ 1 tonne sur une orbite interplanétaire.



- Ci-contre, le lanceur Atlas-Centaur (AC-27) avec la sonde Pioneer 10 placée au sommet peu avant son lancement. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

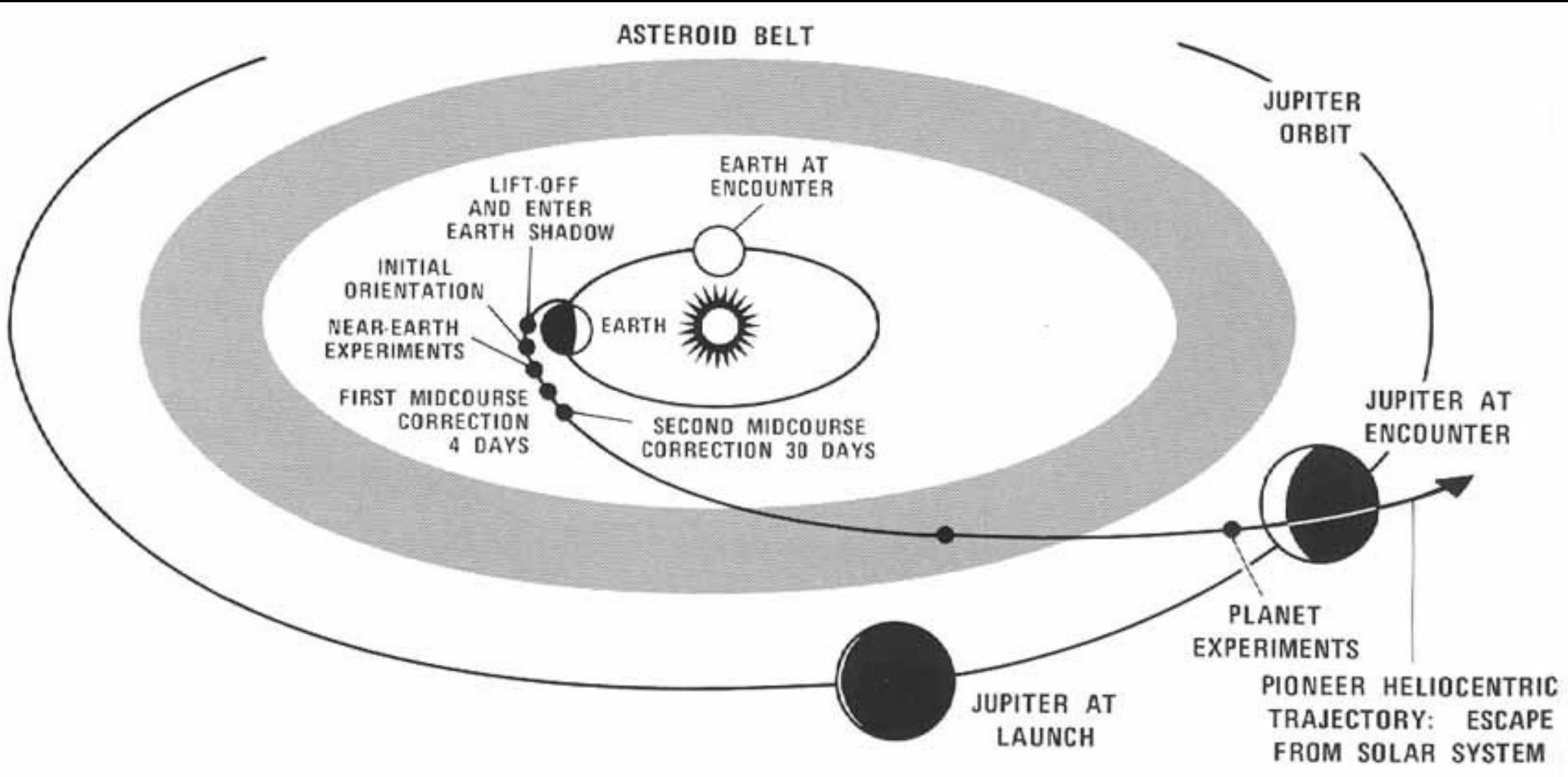
- La sonde est fixée au Star-37E, un troisième étage de fusée à propergol solide qui doit lui permettre de capitaliser la vitesse nécessaire pour atteindre Jupiter.



- Ci-contre, le montage de la sonde Pioneer 10 à l'étage de fusée Star-37E. L'étage Star-37E fait 1127 kg et produit une poussée de 66,7 kilonewtons (66 700 newtons ou encore un peu moins de 7 tonnes de poussée. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

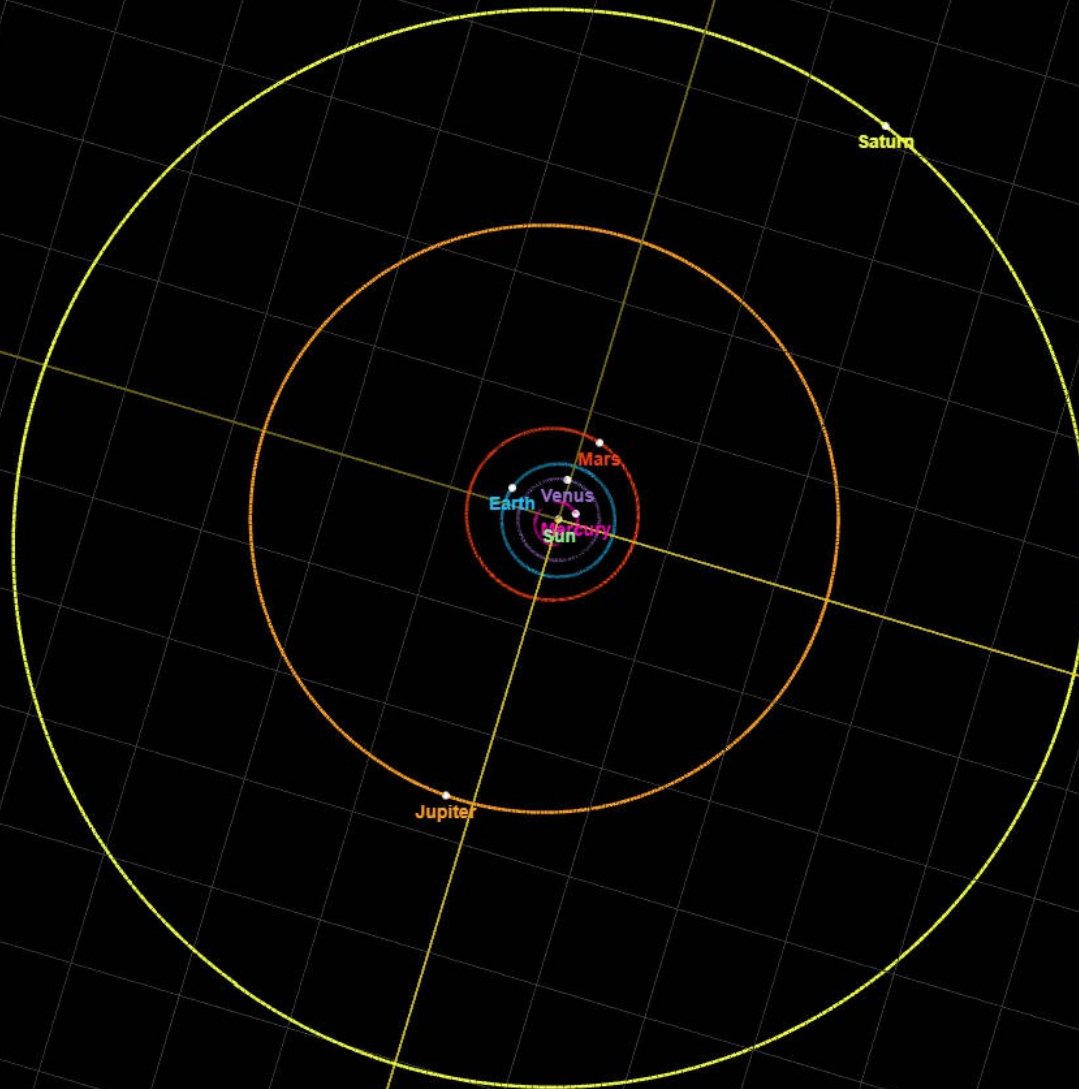
- La sonde Pioneer 10 est finalement lancée le 2 mars 1972 depuis Cap Canaveral en Floride.
- Pioneer 10 atteint la vitesse record de 14,356 km/s (51 682 km/h) et dépasse l'orbite de la Lune en 11 heures seulement.



- Ci-dessus, schéma illustrant la trajectoire de la sonde Pioneer 10 dans le Système solaire. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

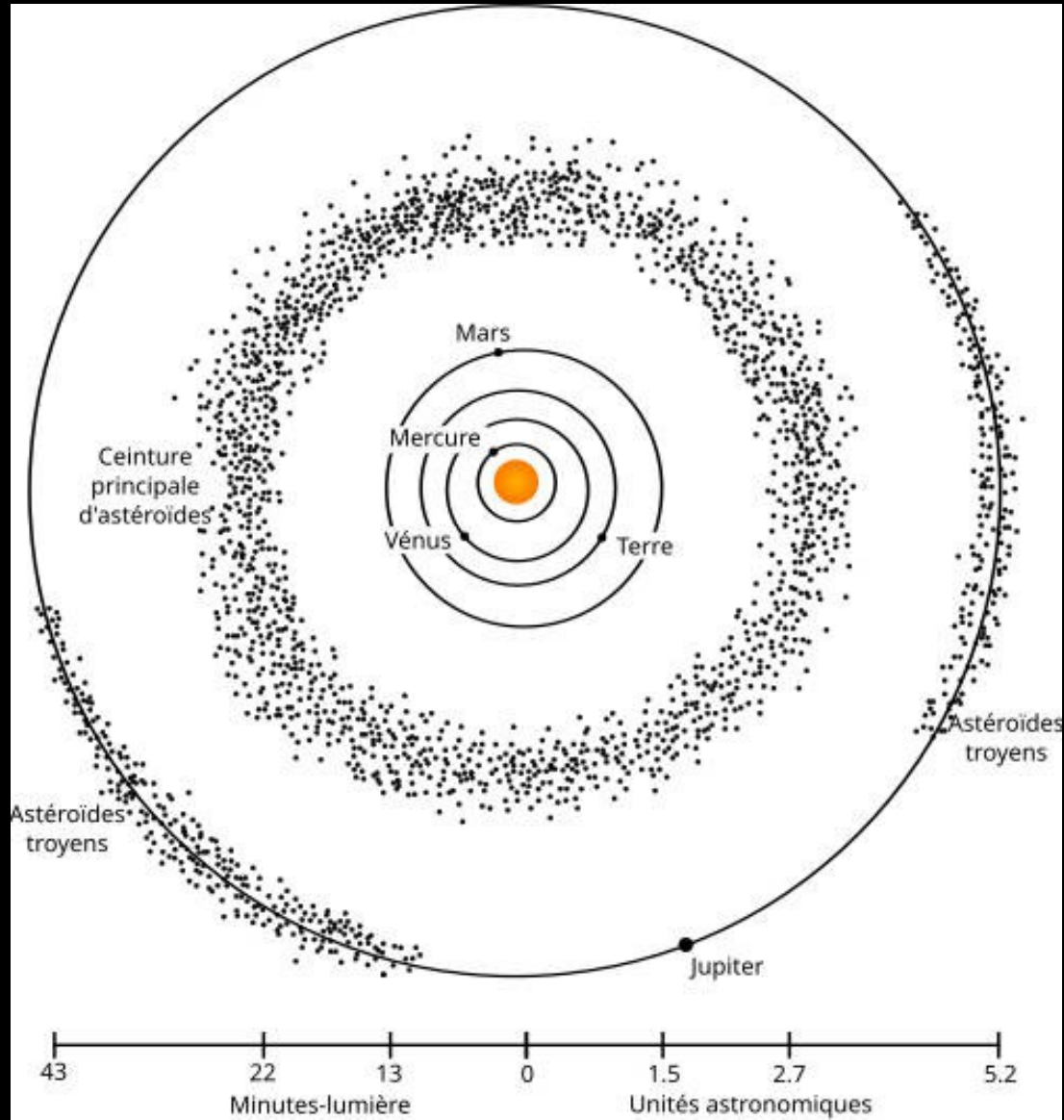
- La sonde Pioneer 10 dépasse l'orbite de Mars en seulement 3 mois !



- Ci-contre, la configuration orbitale des planètes jusqu'à l'orbite de Saturne lors du lancement de la sonde Pioneer 10 le 2 mars 1972. **Source de l'image d'origine:** [Orbit Viewer/Solar System Dynamics/JPL/NASA](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

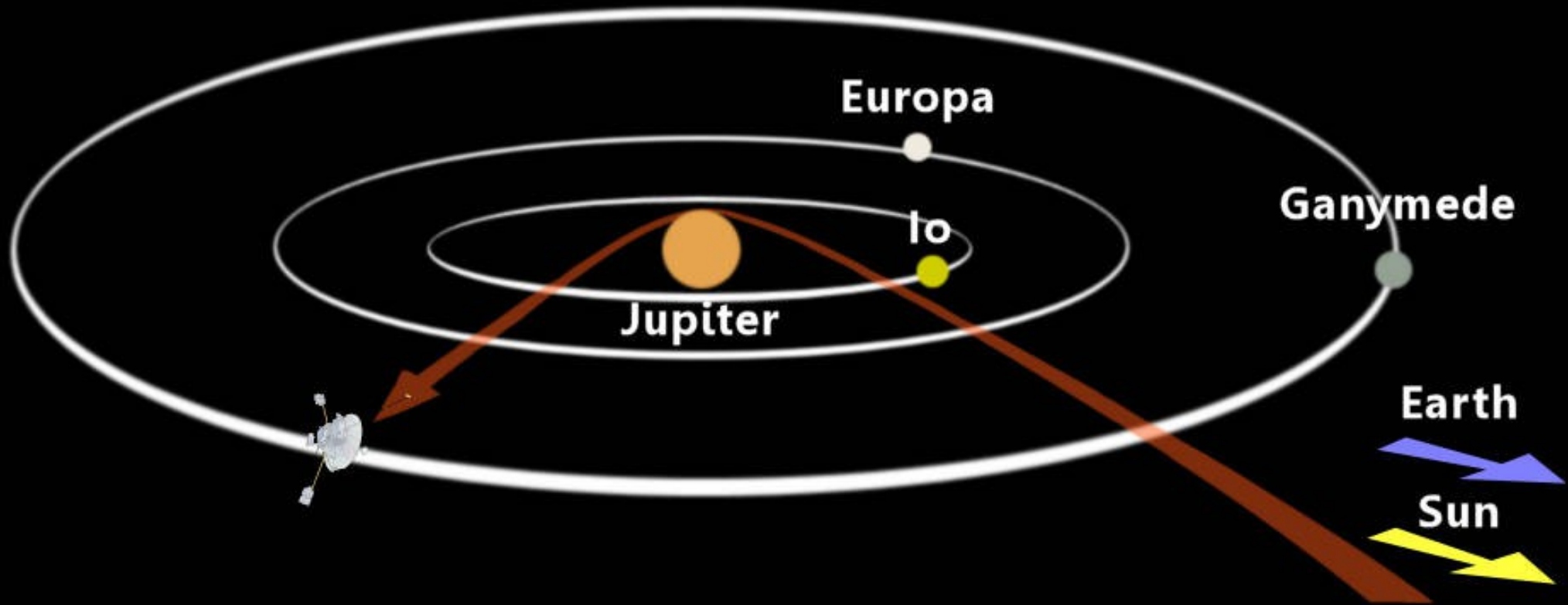
- Les responsables du projet de la mission Pioneer 10 redoutent la traversée de la Ceinture d'astéroïdes et estiment le risque de collision à 10%.
- La période de la traversée de la Ceinture d'astéroïdes arrive en juillet 1972.



- Ci-contre, représentation d'une partie du Système solaire avec la Ceinture principale d'astéroïdes et les astéroïdes troyens. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

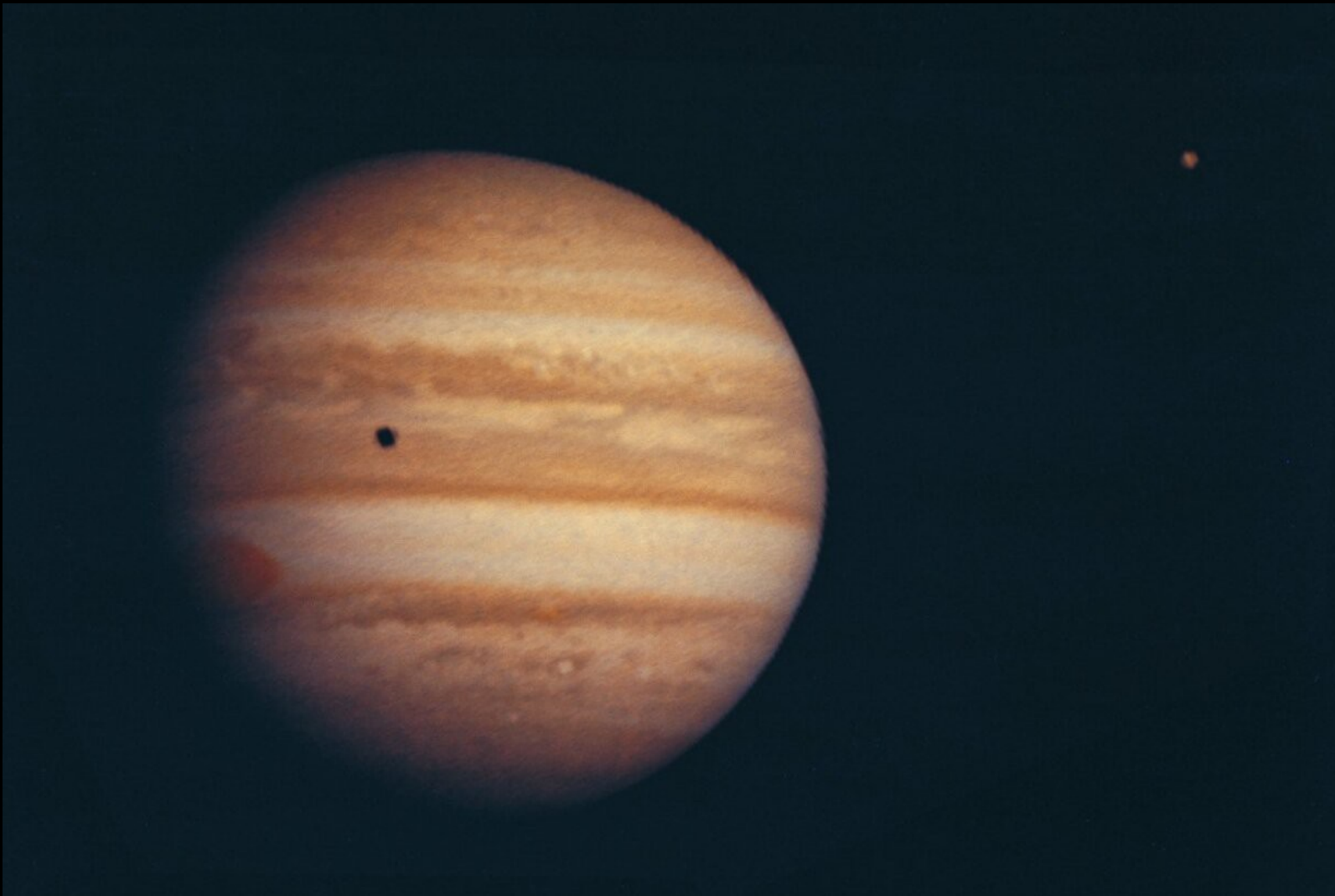
- Le survol historique de Jupiter par la sonde Pioneer 10 se produit le 3 décembre 1973 à une distance de 130 354 km du sommet des nuages de la géante gazeuse.
- La sonde se déplace alors à la vitesse de 35 km/s (126 000 km/h).



- Ci-dessus, représentation de la trajectoire de la sonde Pioneer 10 lors du survol de Jupiter et de certaines de ses lunes.
Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- De nombreuses images sont prises lors du survol de Jupiter et de certaines de ses lunes.
- Les chercheurs découvrent que Jupiter dégage un excédent d'énergie significatif.
- Ils découvrent également que le champ magnétique de Jupiter est immense et qu'il représente 7 à 8 fois l'intensité du champ magnétique terrestre.



- Ci-contre, image de Jupiter obtenue depuis la sonde Pioneer 10. La Grande Tache rouge peut être identifiée sur la partie gauche du disque. [Source de l'image: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde passe à 440 000 km de Ganymède et révèle un monde plus proche de Mars que de la Lune ou de Mercure.



- Ci-contre, image de la lune géante Ganymède obtenue à partir de la sonde Pioneer 10. [Source de l'image: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

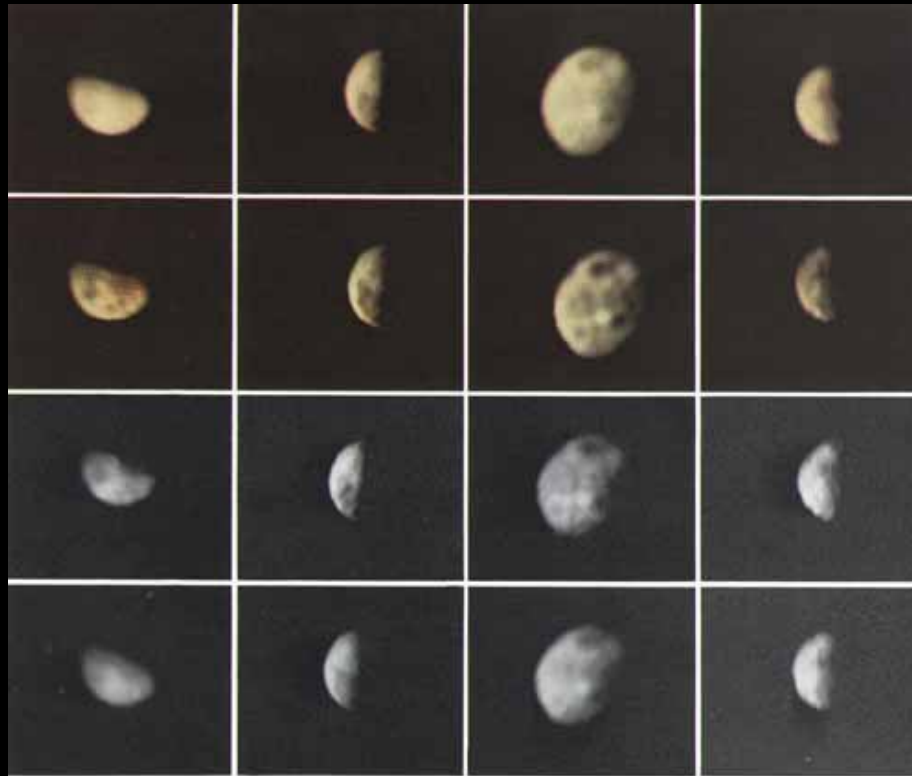
- La sonde Pioneer 10 passe à 330 000 km de la lune Europe obtenant une image de faible résolution.



- Ci-contre, une image de la lune Europe obtenue depuis la sonde Pioneer 10. **Source de l'image:** [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- Une occultation entre Io et la Terre permet d'identifier, via l'analyse des perturbations du signal radio, une atmosphère de très faible densité et une ionosphère qui culmine à 700 km sur Io.
- Le spectromètre ultraviolet de la sonde Pioneer 10 permet d'identifier un surprenant nuage d'hydrogène sur l'orbite de Io.
- Comment expliquer le phénomène ? Les chercheurs sont perplexes !



- Ci-contre, mosaïque d'images des quatre lunes galiléennes obtenues depuis la sonde Pioneer 10 en 1973 et depuis la sonde Pioneer 11 en 1974. [Source de l'image: Wikipedia.](#)



IO



EUROPA



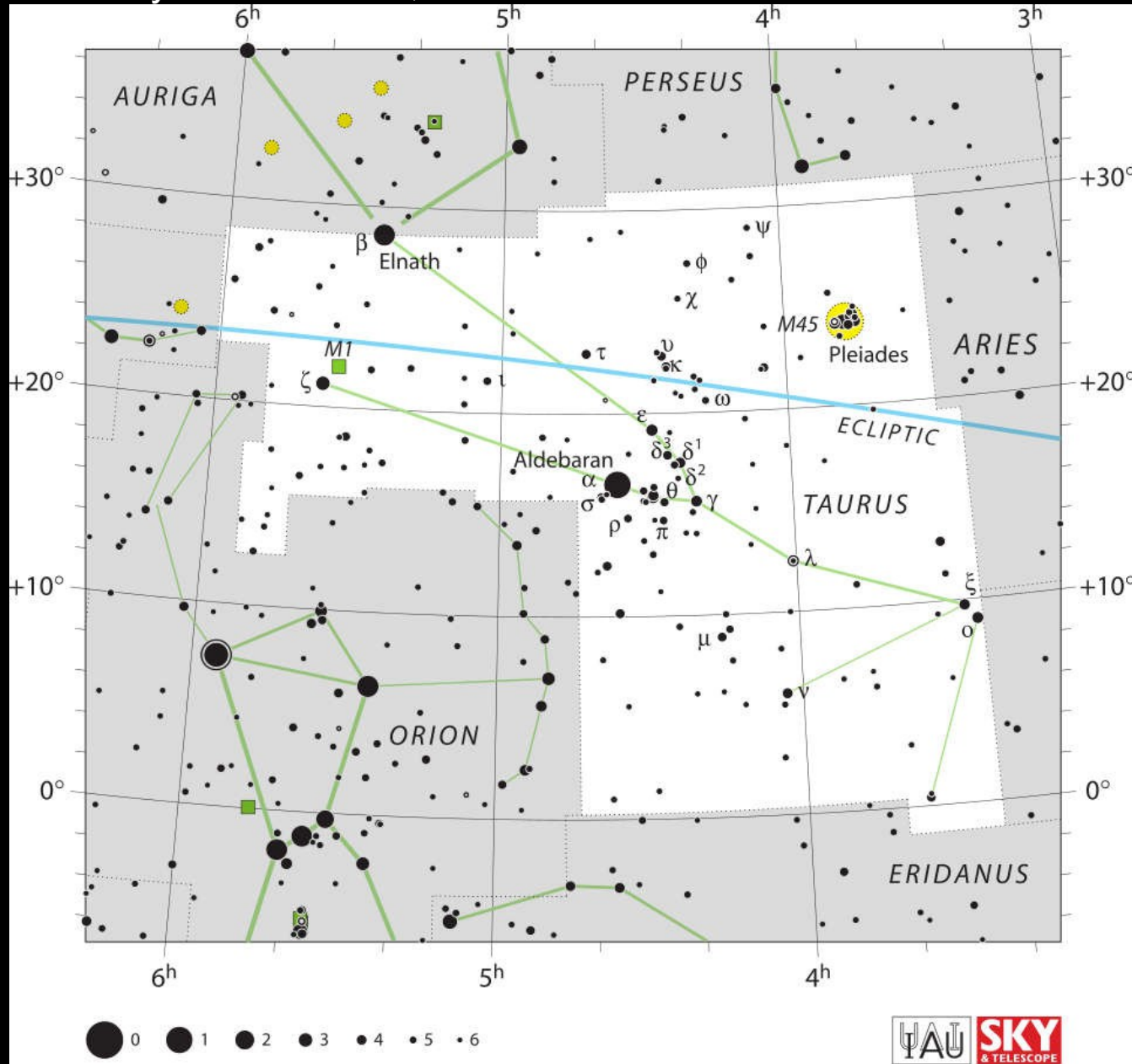
GANYMEDE



CALLISTO

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- L'assistance gravitationnelle de Jupiter permet à la sonde Pioneer 10 d'atteindre la vitesse requise pour quitter le Système solaire, en direction de l'étoile Aldébaran dans le Taureau.



- Ci-contre, la position relative de l'étoile Aldébaran sur la carte du ciel. **Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: IAU et Sky & Telescope magazine (Roger Sinnott et Rick Fienberg).**

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

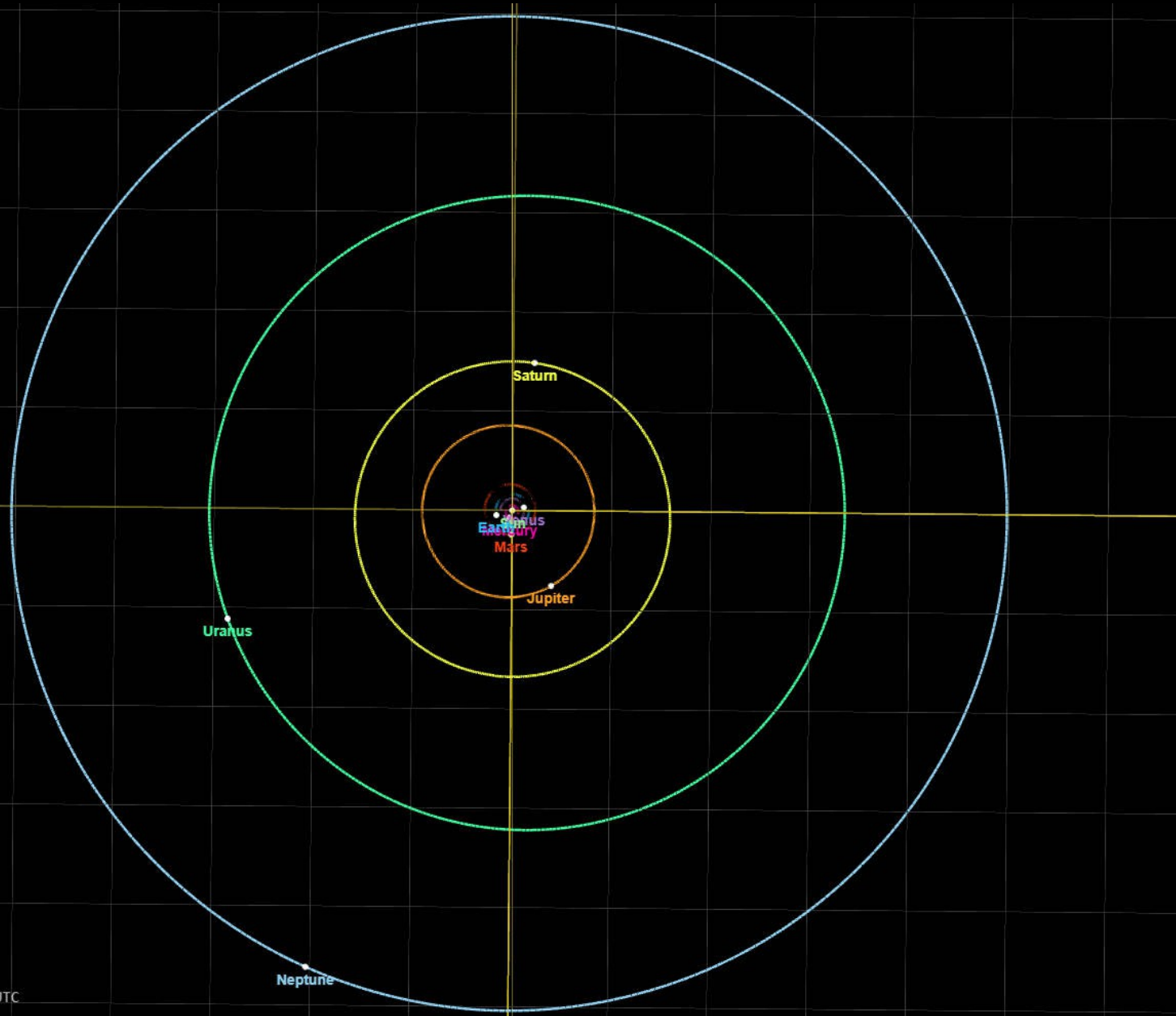
- Pioneer 11, la sonde jumelle de Pioneer 10, est lancée le 6 avril 1973 depuis Cap Canaveral en Floride à l'aide d'une fusée Atlas-Centaur et d'un module de propulsion Star-37E.



- Ci-contre, le lancement de la sonde Pioneer 11 le 6 avril 1973 depuis le Launch Complex 36A de Cap Canaveral en Floride à l'aide de la fusée Atlas-Centaur et du module de propulsion Star-37E. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#) [Crédit de l'image d'origine: NASA Marshall Space Flight Center \(NASA-MSFC\).](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- Comme Pioneer 10, Pioneer 11 va réaliser un vol direct vers Jupiter c'est-à-dire sans utiliser l'appui gravitationnel de corps planétaires ou du Soleil.



- Ci-contre, la configuration du Système solaire lors du lancement de la sonde Pioneer 11 le 6 avril 1973. **Source de l'image d'origine:** ssd.jpl.nasa.gov/tools/orbit_viewer.html. **Crédit de l'image d'origine:** SSD/JPL/NASA/Orbit Viewer.

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

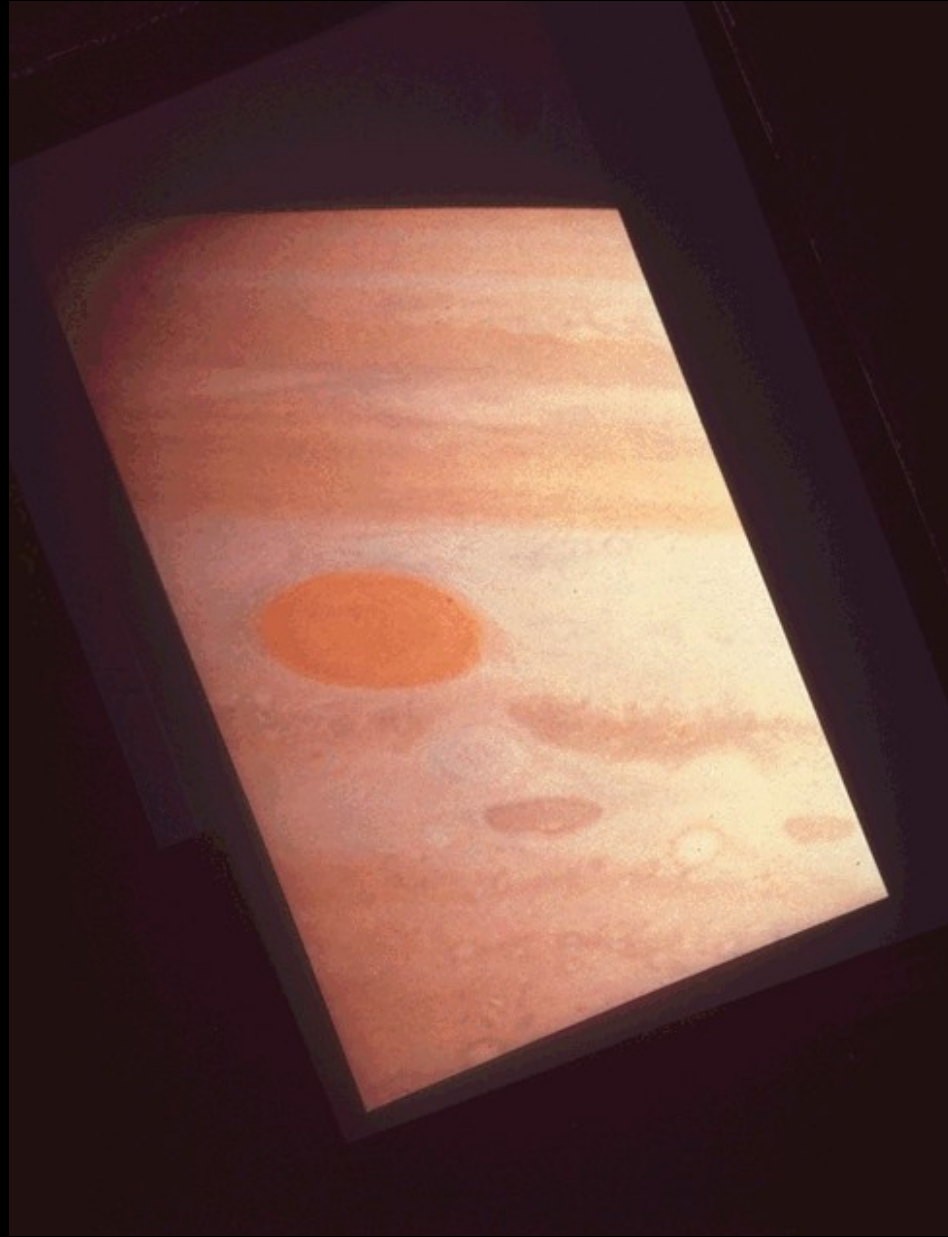
- La sonde Pioneer 11 survole Jupiter à 42 828 km au dessus du sommet des nuages, le 2 décembre 1974, soit moins de 2 ans après son lancement.



- Ci-contre, Jupiter en approche depuis l'oeil de la sonde Pioneer 11.
Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde Pioneer 11 a notamment obtenu des images détaillées de la Grande Tache rouge de Jupiter.



- Ci-contre, la Grande Tache rouge de Jupiter capturée par l'oeil de la sonde Pioneer 11.
Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

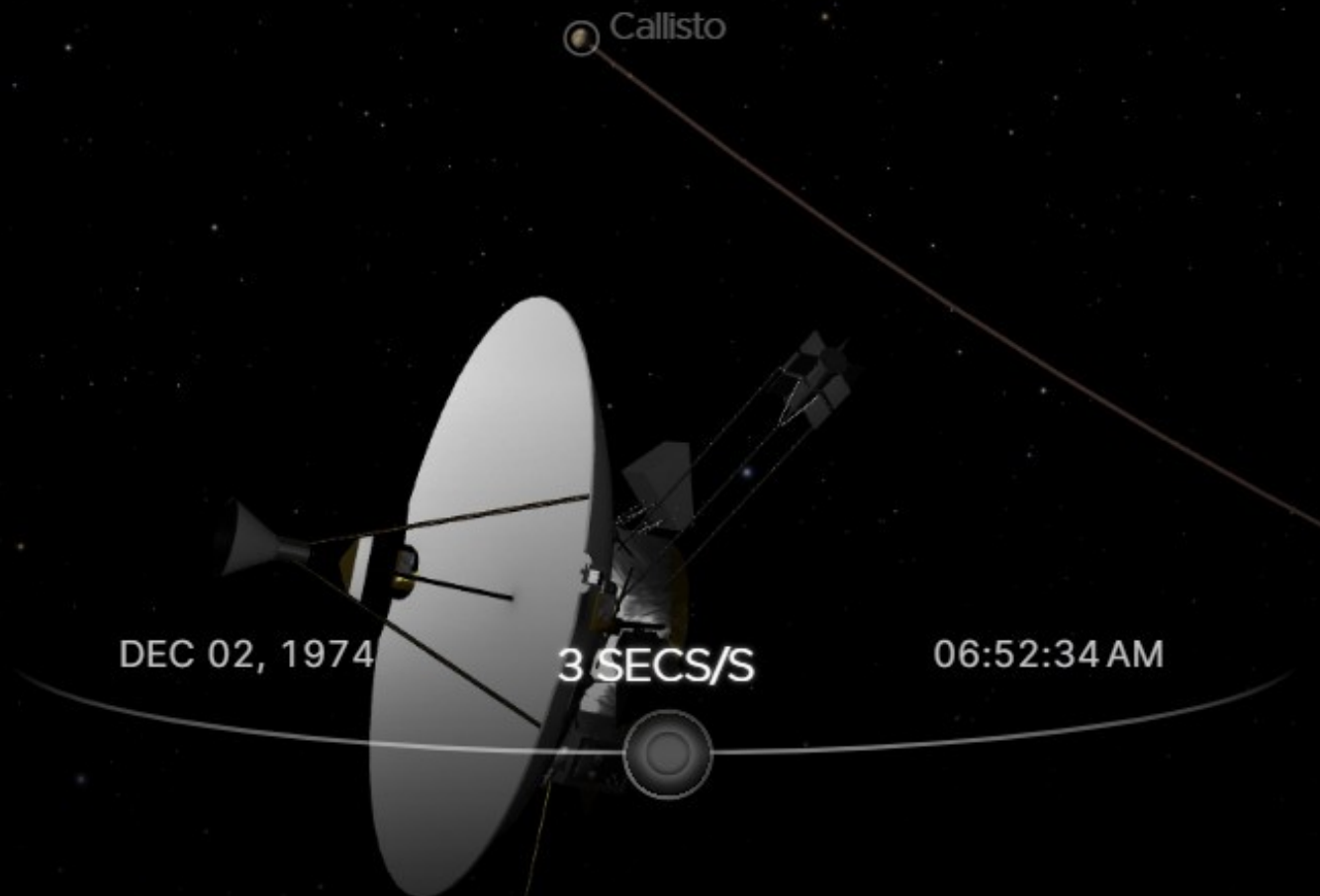
- La sonde Pioneer 11 a également obtenu les premières images des régions polaires de Jupiter.



- Ci-contre, la planète Jupiter au début de l'assistance gravitationnelle polaire dont a bénéficié la sonde Pioneer 11 pour entamer une trajectoire vers Saturne. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde Pioneer 11 a été en mesure de permettre la détermination de la masse de la lune Callisto.



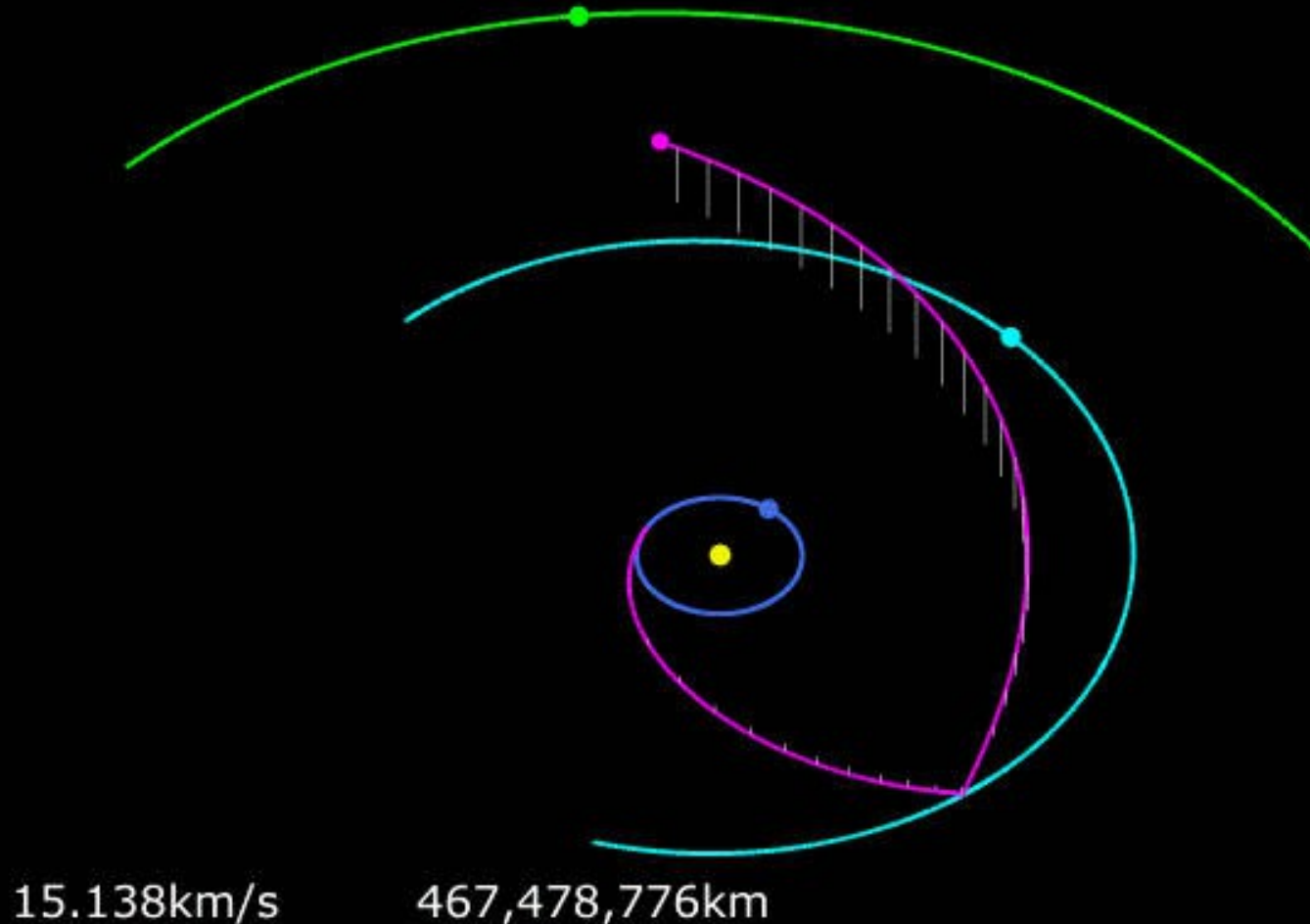
- Ci-contre, représentation 3D de la sonde Pioneer 11 avec la lune Callisto au loin le 2 décembre 1974 à l'aide du logiciel Eyes on the Solar System proposé par la NASA.
Source de l'image d'origine: [Eyes on the Solar System / NASA / https://eyes.nasa.gov/apps/solar-system.](https://eyes.nasa.gov/apps/solar-system/)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde Pioneer 11 prend appui sur Jupiter pour augmenter sa vitesse jusqu'à 173 000 km/h (environ 48 km/s) et se diriger vers Saturne.

1977-12-30

Pioneer 11



- Ci-contre, arrêt sur image d'une animation de la trajectoire de la sonde Pioneer 11 de l'orbite terrestre à l'environnement de Jupiter jusqu'à l'itinéraire de destination vers la géante gazeuse Saturne. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#) [Crédit du programme de l'animation des planètes: HORIZONS System/JPL/NASA.](#)

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

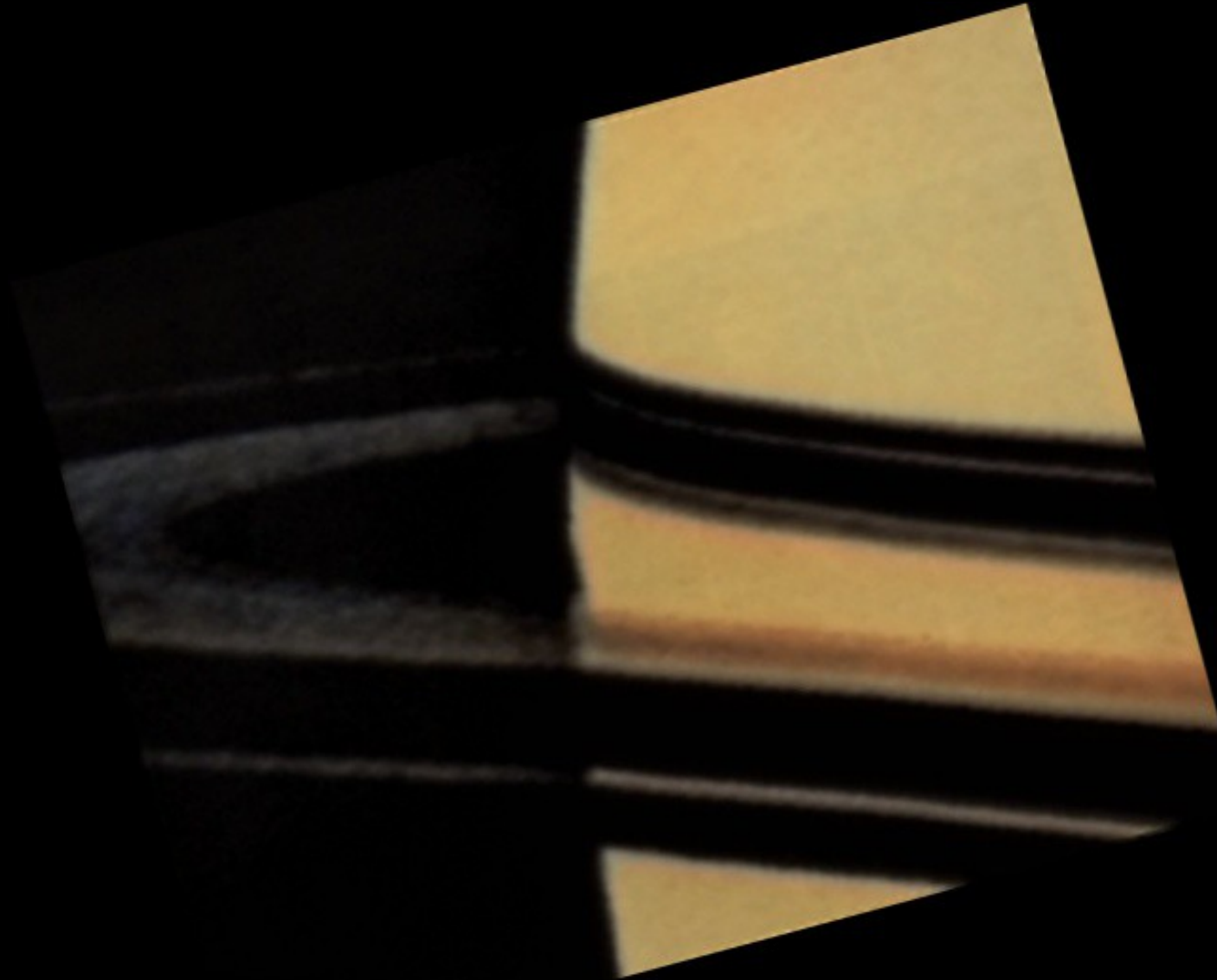
- La sonde Pioneer 11 survole Saturne le 1er septembre 1979 à une distance de 21 000 km du sommet des nuages.
- Les experts estiment alors les chances de survie de la sonde à une chance sur deux du fait des collisions potentielles (quatre impacts identifiés finalement).



- Ci-contre, la planète Saturne photographiée par la sonde Pioneer 11 en approche le 26 août 1979. L'image a été retraitée pour réduire le bruit.
Source de l'image: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- Durant son survol rapproché, la sonde Pioneer 11 obtient de remarquables images de Saturne et de ses anneaux.

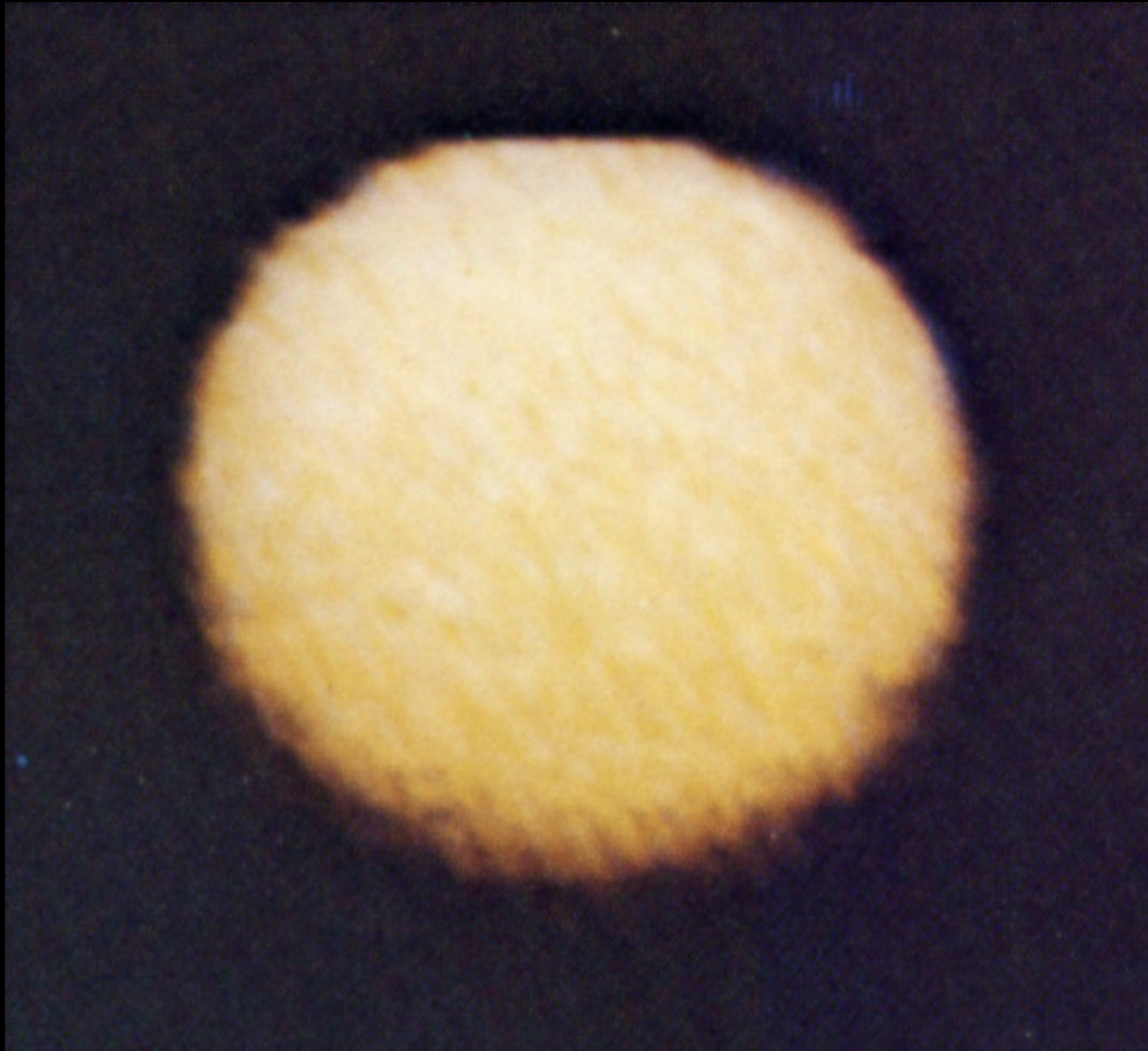


- Ci-contre, une vue d'une portion de Saturne et de ses anneaux obtenue par la sonde Pioneer 11 durant son survol historique du 1er septembre 1979. L'image a été retravaillée pour réduire le bruit et corriger la balance des couleurs.

Source de l'image: [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

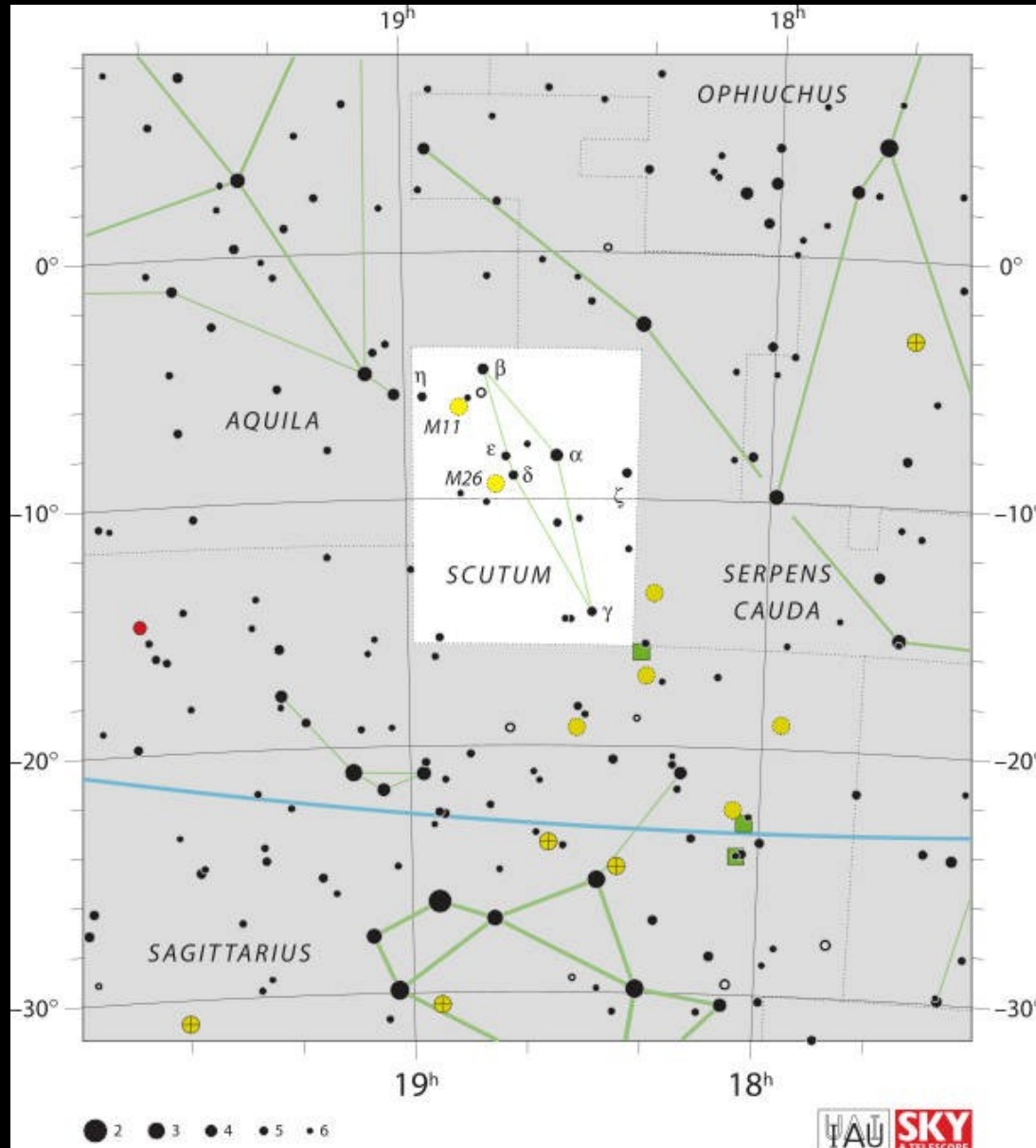
- Durant son survol du système de Saturne, la sonde Pioneer 11 obtient des images de Titan à une distance de 360 000 kilomètres le 2 septembre 1979.
- Les chercheurs réalisent que la lune est probablement trop froide pour qu'on puisse envisager une forme de vie malgré la présence de méthane dans l'atmosphère qui peut provoquer un effet de serre.



- Ci-contre, le disque de Titan qui révèle une atmosphère uniforme. L'image a été générée à partir de données obtenues par la sonde Pioneer 11 le 2 septembre 1979 à une distance de 360 000 km. **Source de l'image:** [Wikipedia](#).

La percée des missions ambitieuses Pioneer 10 et Pioneer 11 dans les années 1970

- La sonde Pioneer 11 se dirige désormais vers la constellation Scutum ou Ecu de Sobieski à une vitesse de 40 160 km/h à la date du 24 juin 2024 et à 114,089 Unités Astronomiques au 24 juin 2024.

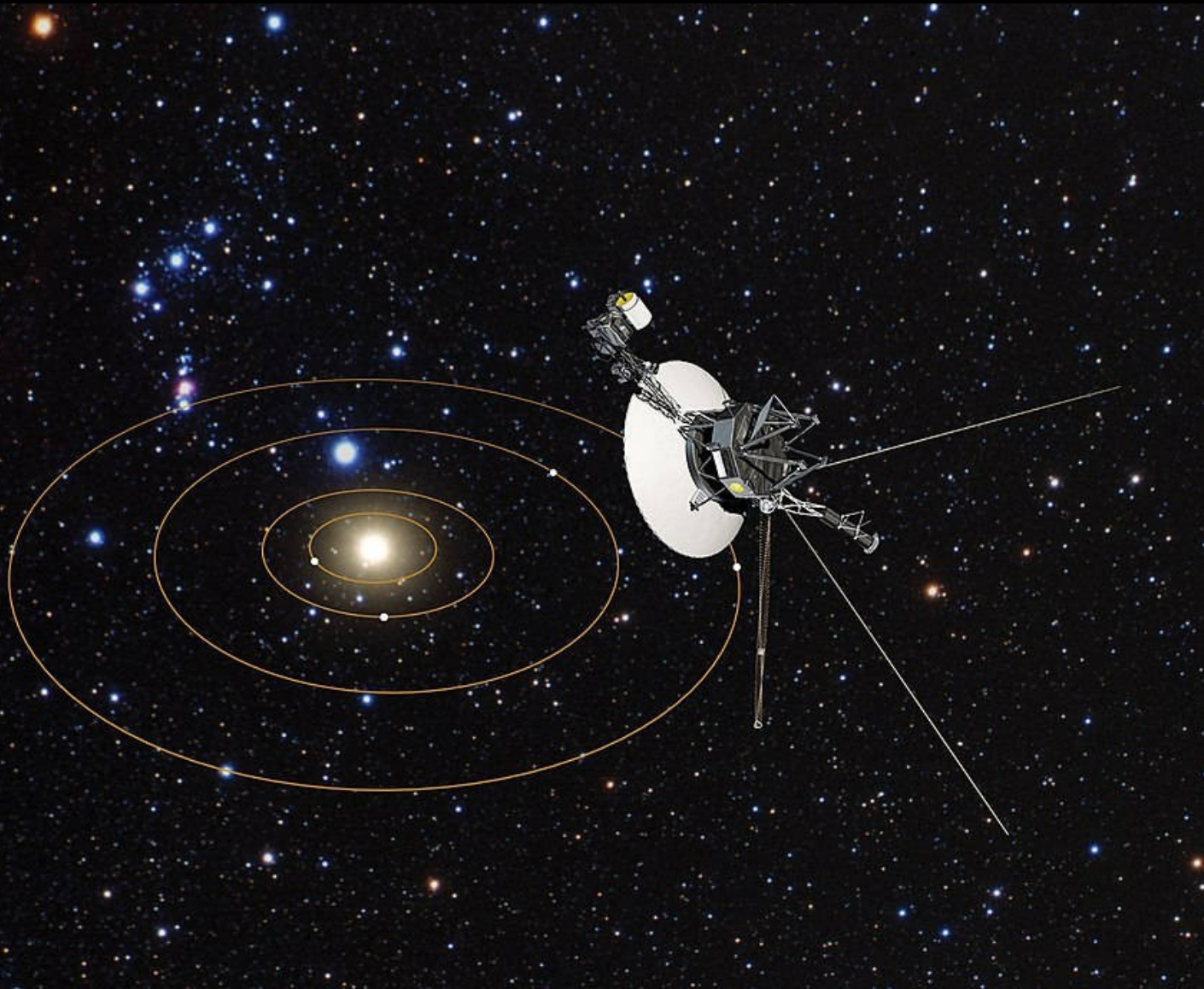


- Ci-contre, la constellation de l'Ecu de Sobieski vers laquelle la sonde Pioneer 11 se dirige. [Source de l'image d'origine: Wikipedia](#). [Crédit de l'image d'origine: IAU et Sky & Telescope magazine \(Roger Sinnott et Rick Fienberg\)](#).

Le programme Voyager

Le programme Voyager

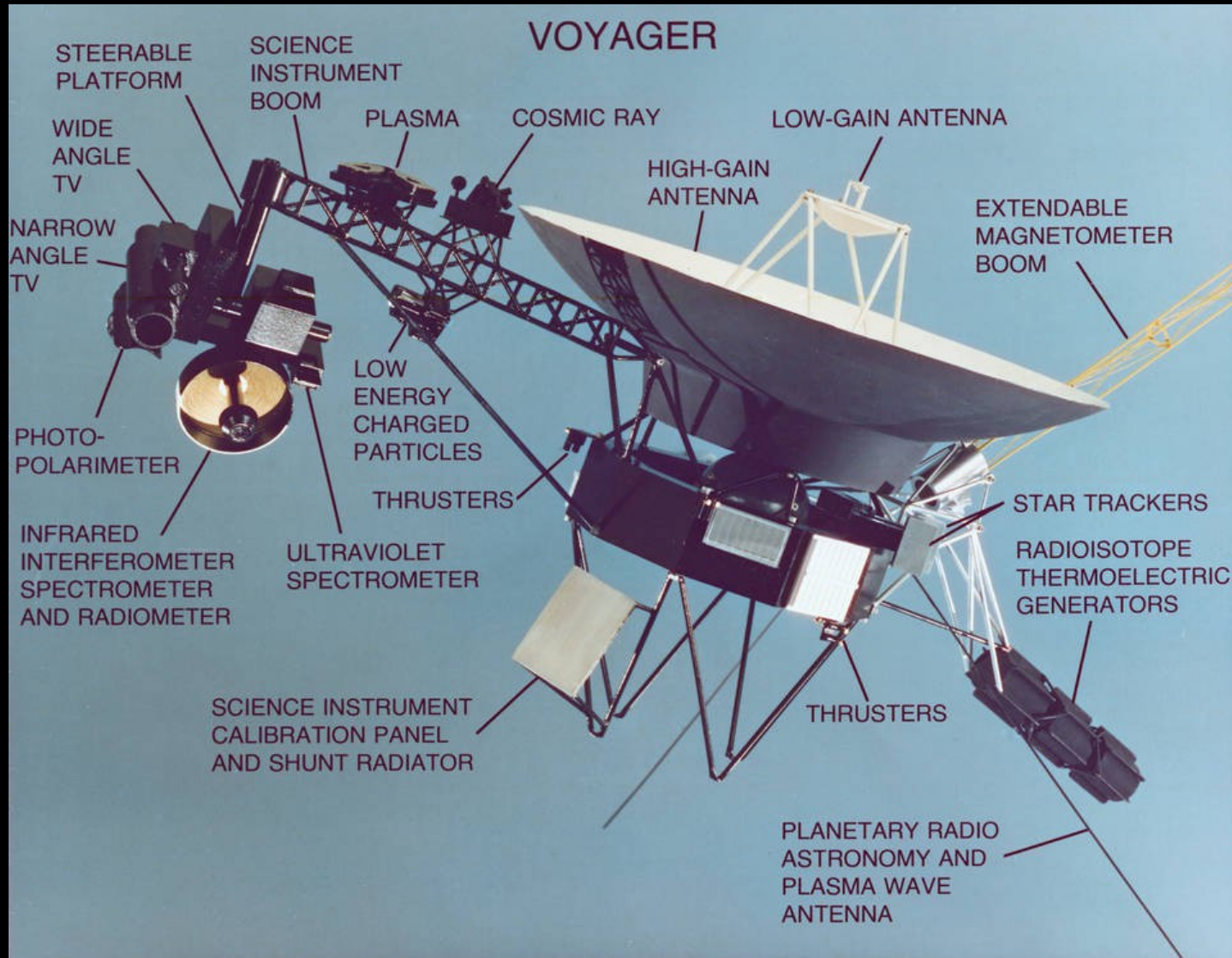
- Les sondes Pioneer 10 et Pioneer 11 ont préparé le terrain pour le programme Voyager.
- Le programme Voyager est officiellement lancé le 1er juillet 1972 soit quelques mois après le lancement de la sonde Pioneer 10.



- Ci-contre, représentation artistique de la sonde Voyager 1 avec le Soleil au loin et les orbites de certaines planètes. **Source de l'image d'origine: Wikipedia.** **Crédit de l'image d'origine: NASA / ESA / G. Bacon (STScI).**

Le programme Voyager

- Les sondes Voyager 1 et Voyager 2 vont pouvoir bénéficier d'une conjonction exceptionnelle des planètes externes qui ne se produit que tous les 176 ans.
- Les sondes Voyager 1 et Voyager 2 sont beaucoup plus massives et plus performantes que les sondes Pioneer 10 et Pioneer 11.



- Ci-contre, les différents instruments et systèmes des sondes Voyager.
Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).

Le programme Voyager

- Les sondes jumelles Voyager 1 et Voyager 2 comprennent un disque d'or de 30 cm de diamètre qui comprend des images et des sons de la Terre et qui représente une “bouteille à la mer interstellaire”.



- Ci-contre, le disque d'Or Voyager Golden Record intitulé “The sounds of Earth” et qui regroupe des sons et des images de la Terre et de l'humanité. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#) [Crédit de l'image d'origine: NASA.](#)

Le programme Voyager

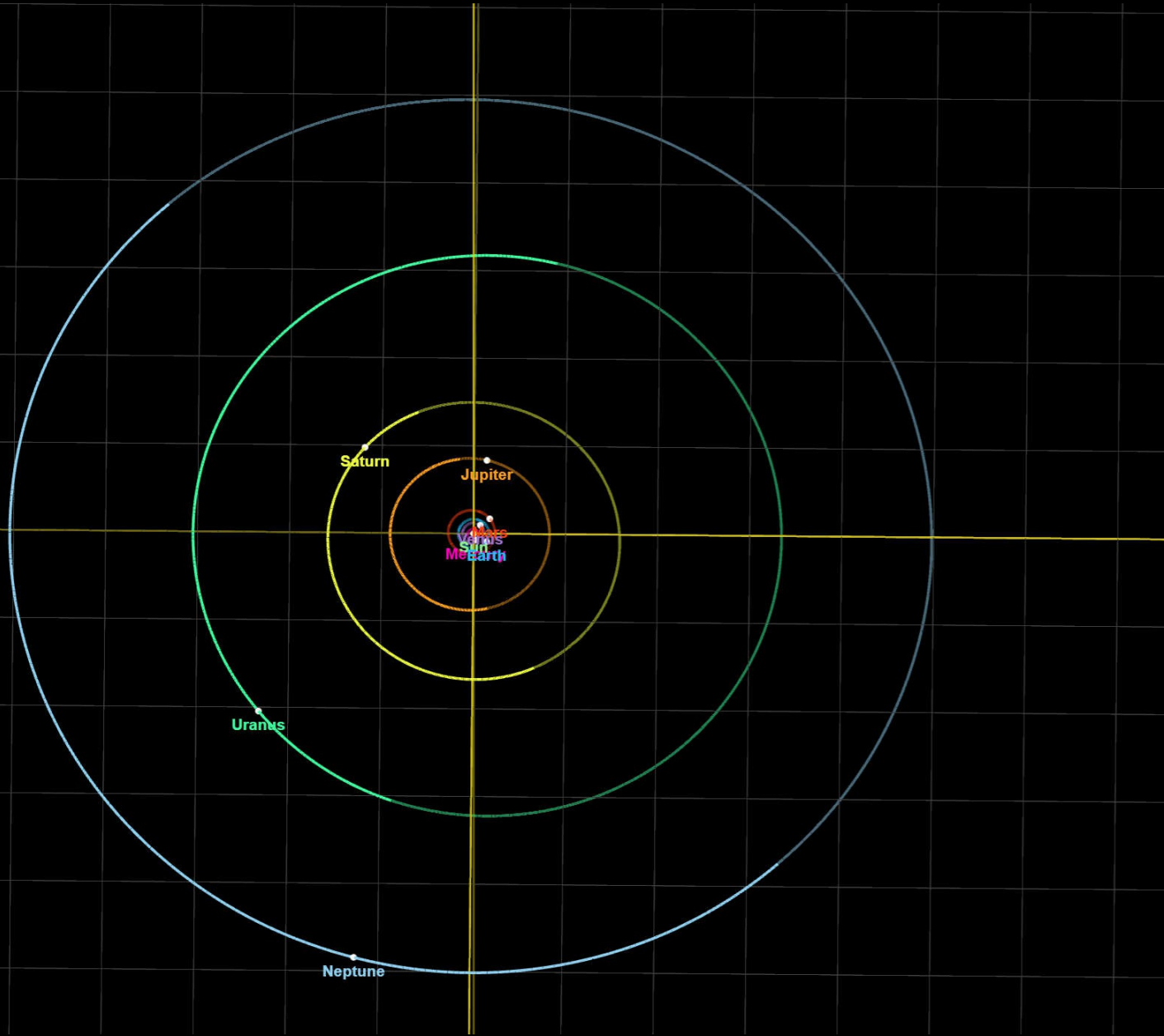
- La sonde Voyager 2 conçue et produite par le JPL est lancée le 20 août 1977 à l'aide d'un lanceur Titan IIIE/Centaur.



- Ci-contre, le lancement de la sonde Voyager 2 par le lanceur Titan IIIE/Centaur. **Source de l'image d'origine:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image d'origine:** [NASA/MSFC](#).

Le programme Voyager

- La configuration orbitale des géantes gazeuses lors du lancement de la sonde Voyager 2 est idéale pour leur survol grâce à l'appui gravitationnel planétaire.



- Ci-contre, la configuration orbitale des planètes lors du lancement de la sonde Voyager 2 le 20 août 1977. **Source de l'image d'origine:** ssd.jpl.nasa.gov/tools/orbit_viewer.html. **Crédit de l'image d'origine:** SSD/JPL/NASA/Orbit Viewer.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 est lancée quant à elle quelques semaines plus tard, le 5 septembre 1977 à l'aide d'un lanceur Titan IIIE/Centaur depuis la base de lancement de Cap Canaveral en Floride.

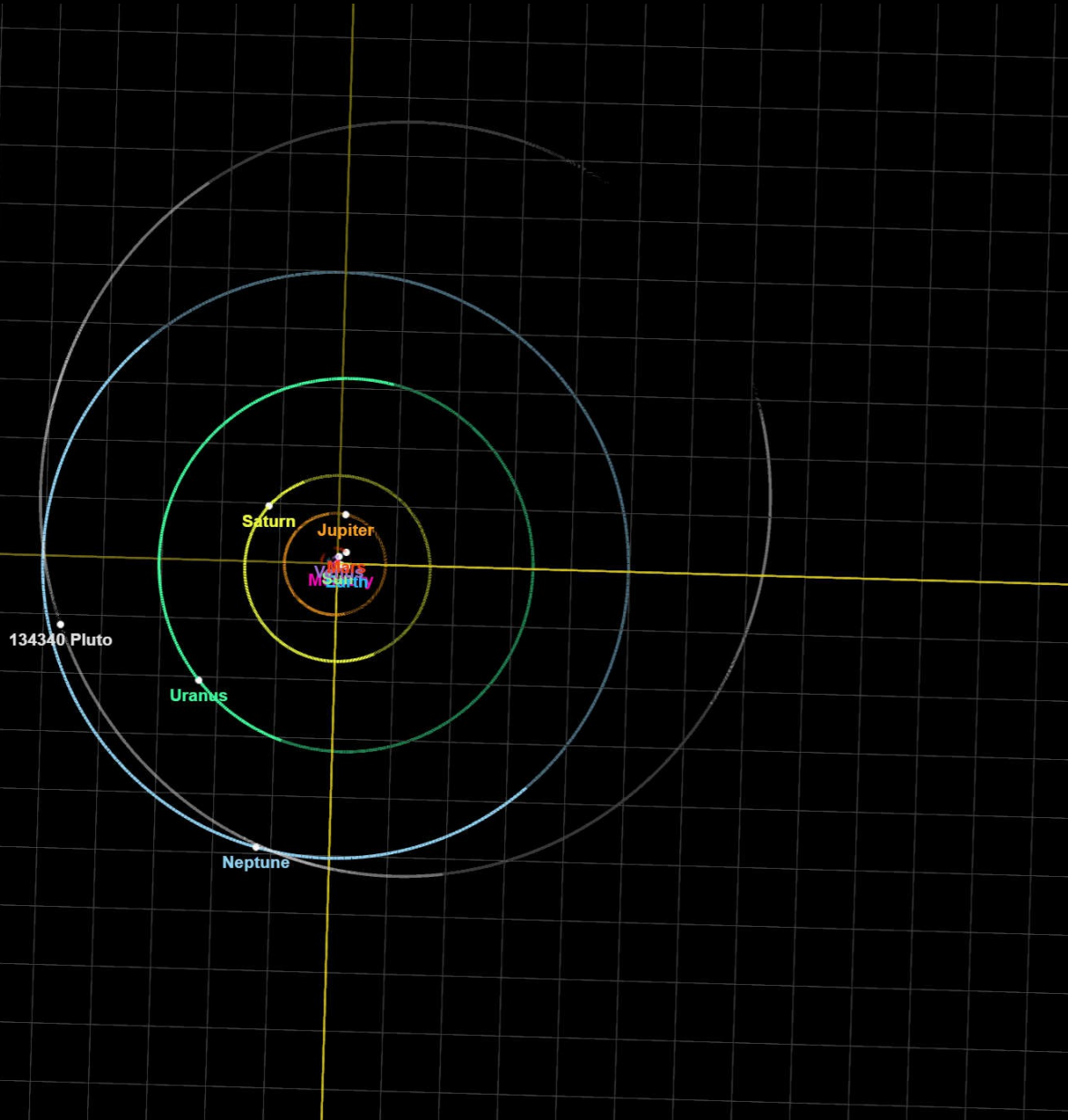


- Ci-contre, le lancement de la sonde Voyager 1 avec le lanceur Titan IIIE/Centaur et l'étage supérieur Star 37E.

Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).
Crédit de l'image d'origine: [NASA/MSFC](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 lancée un peu plus tard bénéficie elle aussi d'une configuration orbitale attractive pour l'exploration des géantes gazeuses et de Pluton.



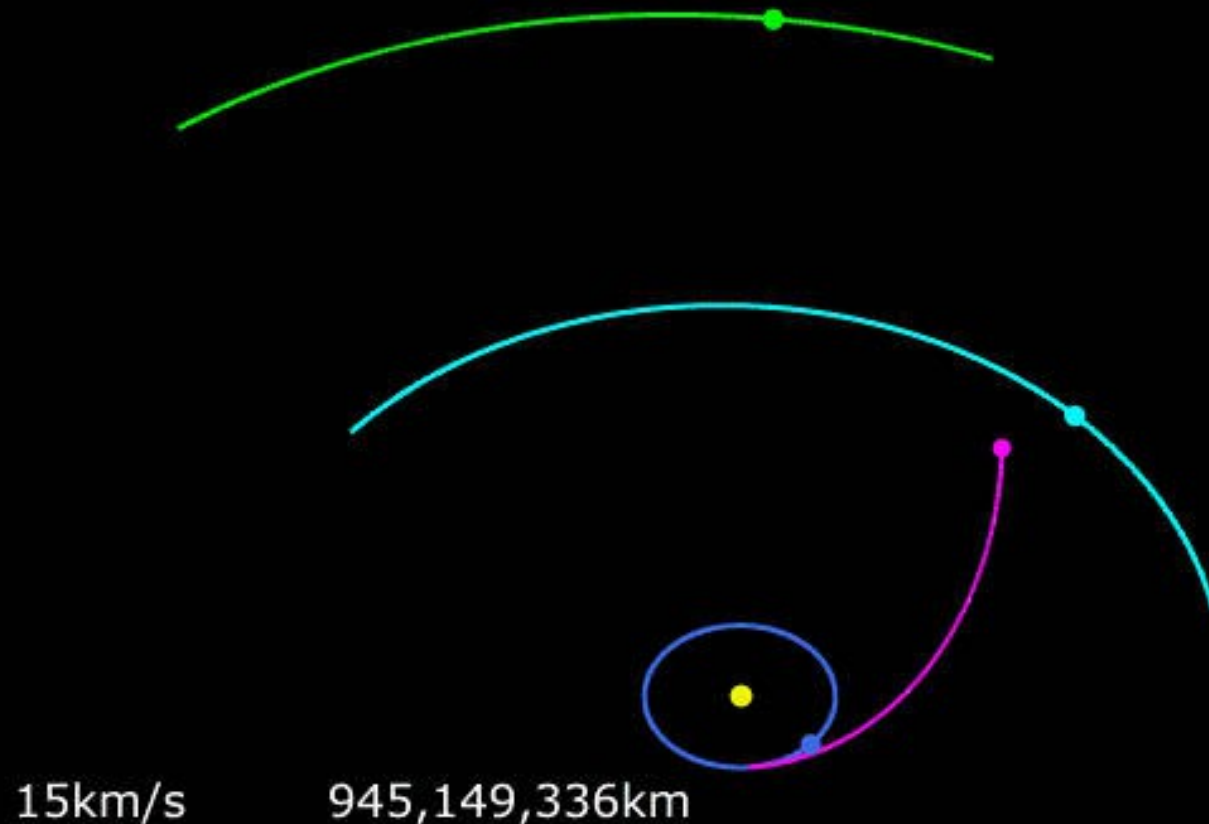
- Ci-contre, la configuration orbitale des planètes lors du lancement de la sonde Voyager 1 le 5 septembre 1977. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)
[Crédit de l'image d'origine: NASA/MSFC.](#)

Le programme Voyager

- Voyager 1 passe au plus près de Jupiter le 5 mars 1979 soit moins de 2 ans après son lancement.
- Sa vitesse au passage de Jupiter est de l'ordre de 16 km/s (57 600 km/h).

1978-10-18

Voyager 1

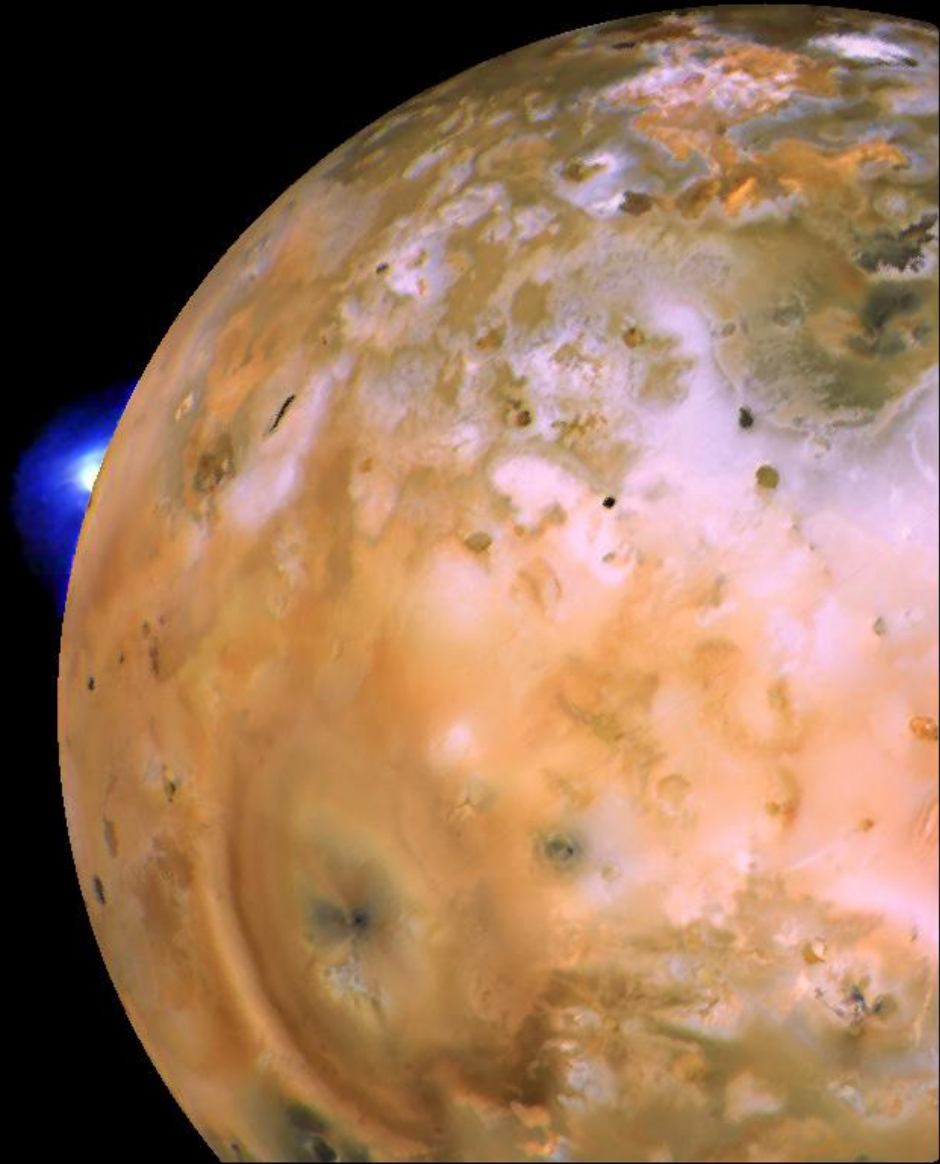


- Ci-contre, arrêt sur image d'une animation de la trajectoire de la sonde Voyager 1, au 18 octobre 1978, avant le survol de Jupiter.
Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 survole la petite lune Io à très faible distance (18 460 km) le 5 mars 1979.
- Les chercheurs découvrent alors le volcanisme de Io.

- Ci-contre, une mosaïque d'images de la lune Io générée à partir de données acquises par la sonde Voyager 1 à une distance élevée de Io. Le volcanisme actif du volcan Loki peut clairement être identifié sur cette image. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL-Caltech//USGS](#).



Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 passe ensuite à 112 030 km de Ganymède.

- Ci-contre, une image de Ganymède obtenue par la sonde Voyager 1 lors du survol du 5 mars 1979 à une distance de 272 000 km.. **Crédit de l'image:** NASA/JPL-Caltech.



Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 survole Europe à une distance relativement élevée (732 270 km) le 5 mars 1979.

- Les planétologues avancent que le réseau de lignes à la surface pourrait être d'origine tectonique.

- Ci-contre, une vue de la lune Europe générée à partir de données obtenues par la sonde Voyager 1 le 3 mars 1979. **Source de l'image:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image:** [NASA/JPL-Caltech/Kevin M. Gill](#).

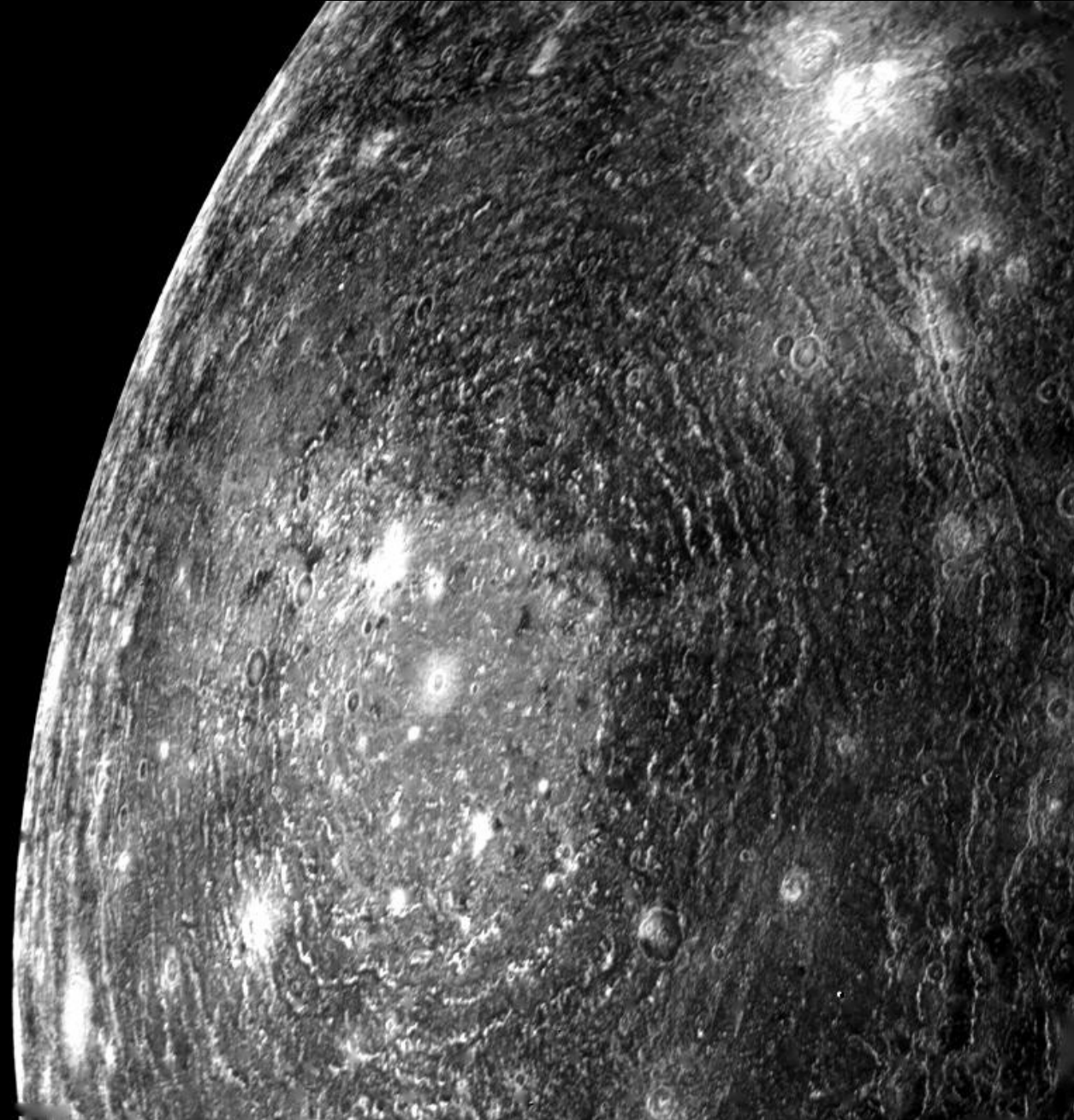


Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 survole Callisto à une distance de 123 950 km le 6 mars 1979.

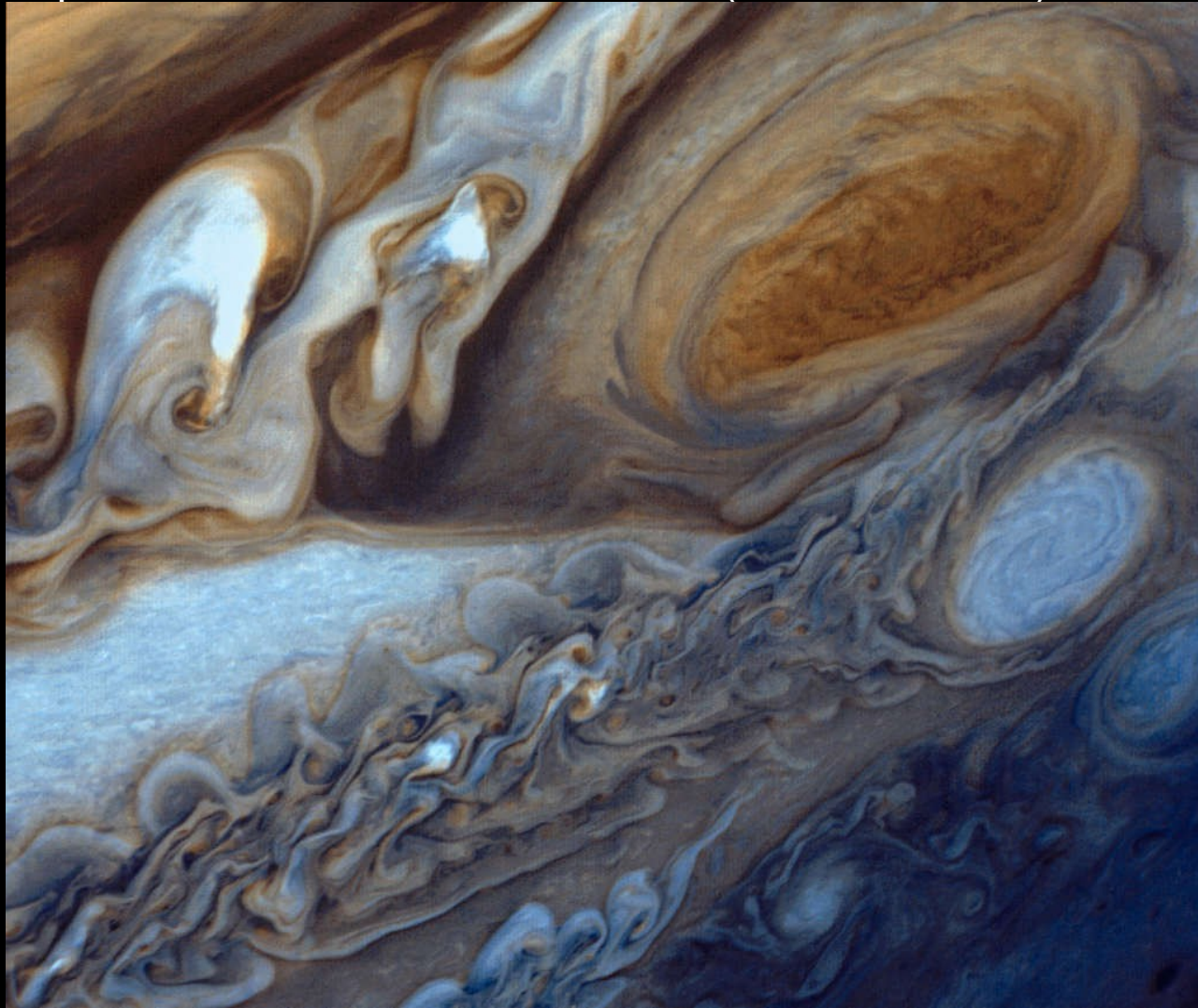
- Ci-contre, une image de Callisto obtenue par la sonde Voyager 1 le 6 mars 1979 à une distance d'environ 200 000 km de la lune de Jupiter. Une structure en anneaux peut clairement être identifiée sur cette image.

Crédit de l'image: [NASA/JPL-Caltech](#).



Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 obtient les premières photos à faible distance des nuages de Jupiter.
- La Grande Tache rouge représente une gigantesque tempête qui se déplace dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.
- Voyager 1 découvre les anneaux de Jupiter avec deux lunes à l'intérieur (Thébé et Métis).



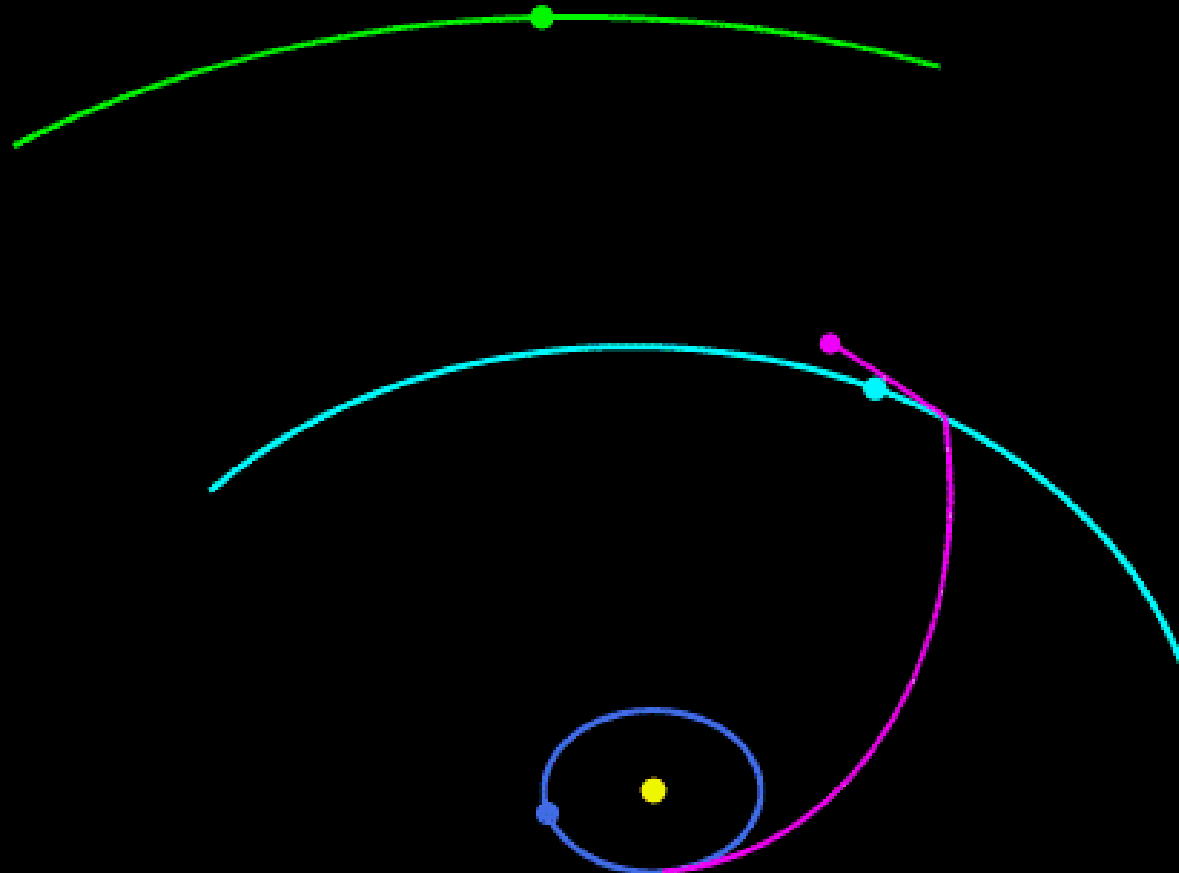
- Ci-contre, une vue de Jupiter générée à partir de données obtenues par la sonde Voyager 1. La Grande Tache rouge peut clairement être identifiée sur cette image. **Crédit de l'image d'origine:** NASA/JPL-Caltech.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 prend appui sur Jupiter pour se diriger ensuite vers Saturne.

1979-06-15

Voyager 1



- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 1 après son survol de Jupiter. Voyager 1 se dirige alors vers la géante gazeuse Saturne. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#) [Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.](#)

23km/s

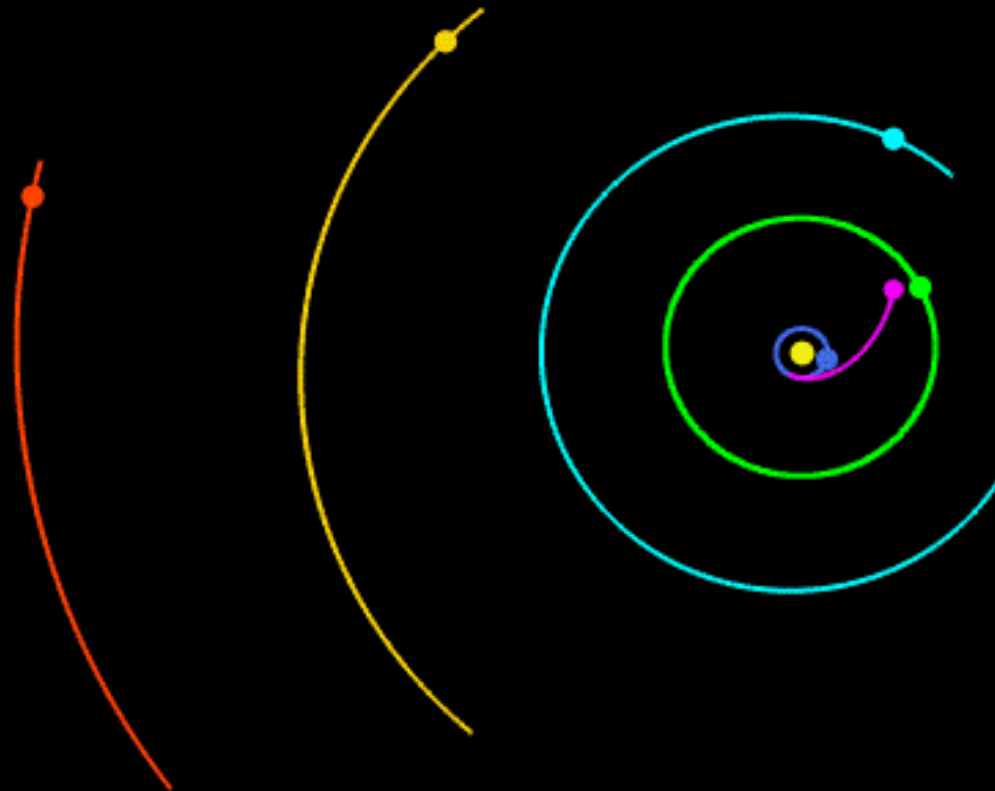
701,666,036km

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 effectue un survol de Jupiter après Voyager 1, le 9 juillet 1979, à une distance de 721 670 km du centre de la géante gazeuse.

1978-12-06

Voyager 2



- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 en route vers un survol de Jupiter. **Source de l'image d'origine:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image d'origine:** [NAIF/NASA](#).

12.8km/s

4,992,271,046km

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 effectue notamment un survol rapproché de Europe, à 63 130 km.

- Ci-contre, une image de Europe obtenue le 9 juillet 1979 par la sonde Voyager 2. Les chercheurs découvrent un monde fracturé avec peu de relief et très peu de cratères. La surface est manifestement relativement jeune. Les planétologues avancent l'idée d'une épaisse croûte de glace et de phénomènes de marée qui peuvent significativement alimenter l'activité interne. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL-Caltech](#).



Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 effectue un survol à 62 130 km de Ganymède.



- Ci-contre, une image de la lune Ganymède obtenue le 7 juillet 1979 par la sonde Voyager 2 à une distance de 1,2 million de km, peu de temps avant le survol rapproché du 8 juillet 1979. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 passe à 214 930 km de la lune Callisto.



- Ci-contre, une image de Callisto (en couleurs fausses) générée à partir de données obtenues par la sonde Voyager 2 le 7 juillet 1979 à une distance de 1 094 666 kilomètres de la lune. Callisto apparaît comme la lune la plus cratérisée des 4 lunes galiléennes. **Crédit de l'image: NASA/JPL.**

Le programme Voyager

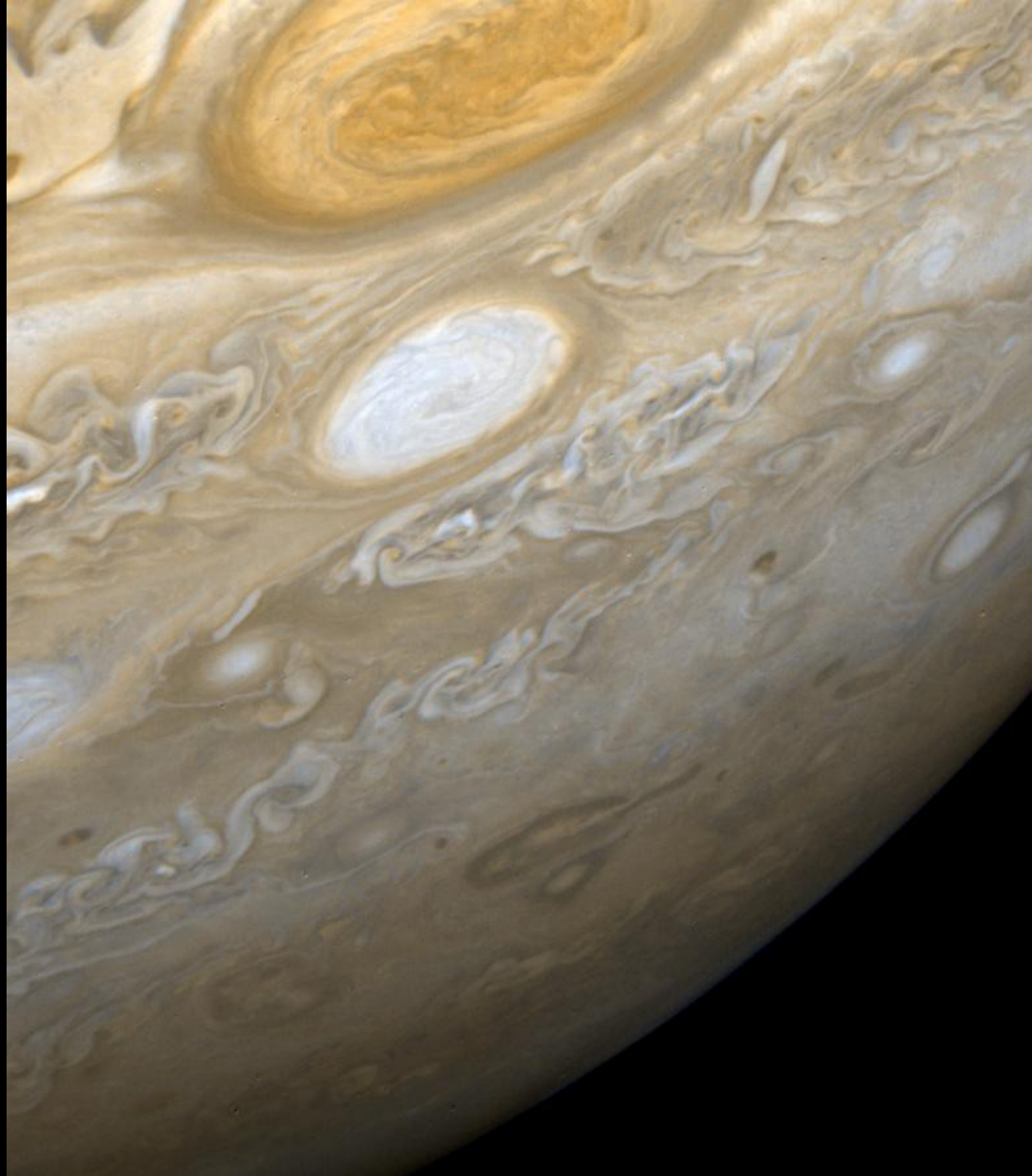
- La sonde Voyager 2 confirme le volcanisme actif de Io !



- Ci-contre, une image de la lune Io générée à partir de données obtenues par la sonde Voyager 2 le 10 juillet 1979. **Source de l'image d'origine:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image d'origine:** [NASA/JPL-Caltech/Kevin M. Gill](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 passe à 570 000 km du sommet des nuages de Jupiter et obtient une multitude d'images remarquables de son atmosphère.



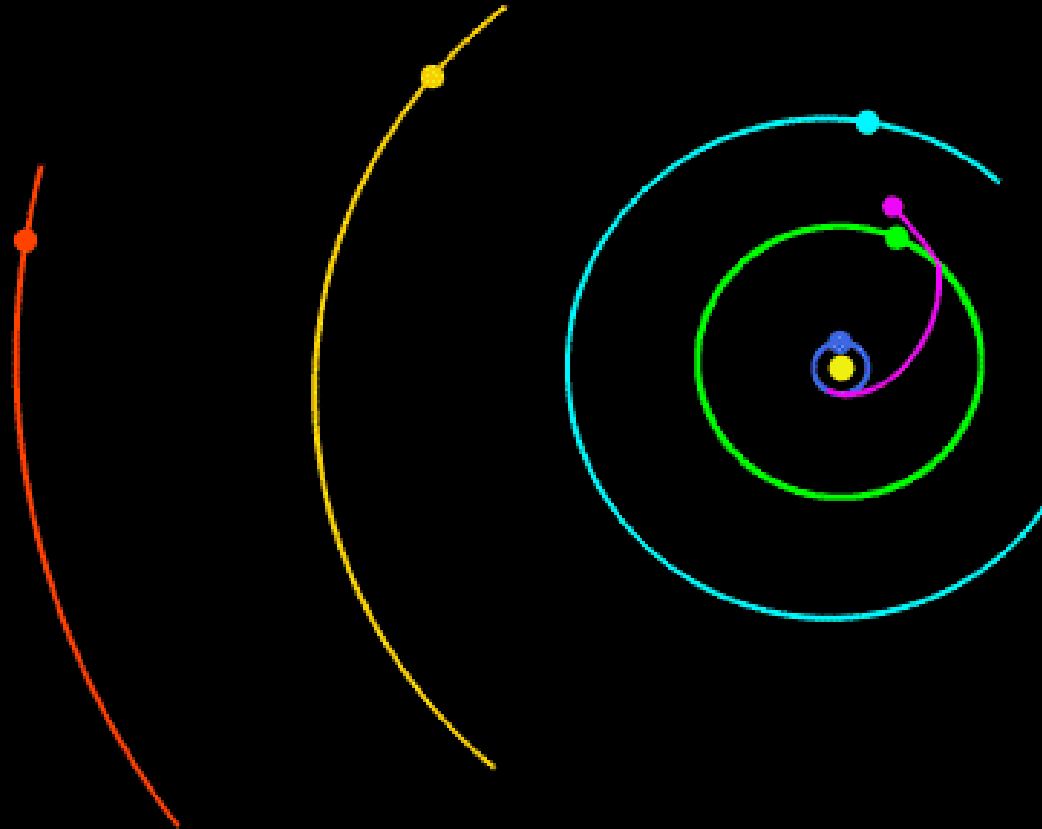
- Ci-contre, une image de Jupiter obtenue avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 2. L'on peut clairement identifier la fameuse Grande Tache rouge et une structure ovale impressionnante juste en dessous. **Crédit de l'image: NASA/JPL.**

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 prend appui sur Jupiter pour se diriger ensuite vers Saturne.

1980-03-23

Voyager 2



- Ci-contre, représentation de la trajectoire de la sonde Voyager 2 après le survol de Jupiter. La sonde se dirige alors vers Saturne.

Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.

18.1km/s

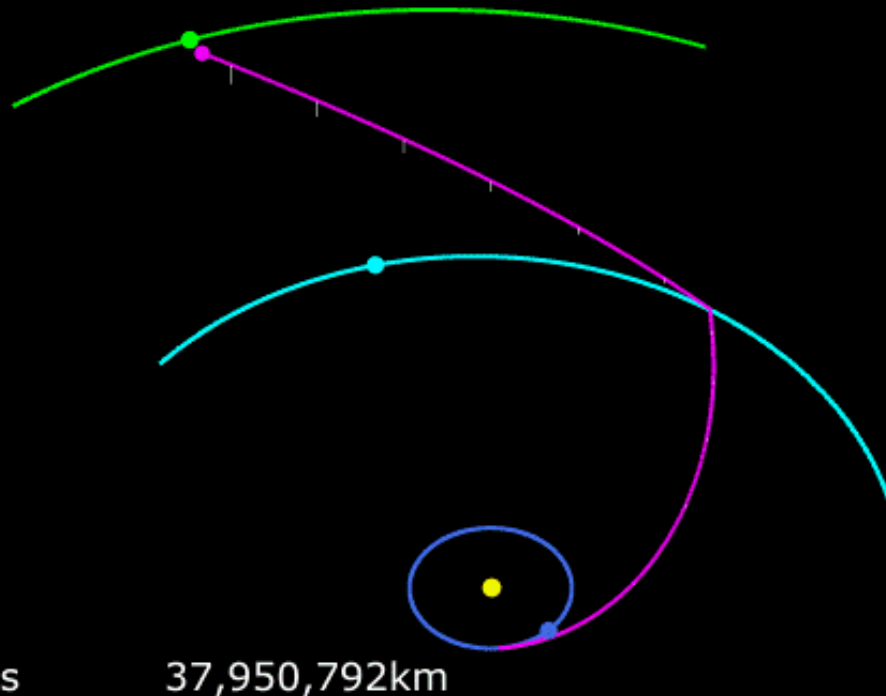
4,758,977,349km

Le programme Voyager

- Les responsables de la mission Voyager 1 ont étudié deux options pour le survol du système de Saturne.
- Dans la première option, la sonde Voyager 1 survole Titan à une distance de 20 000 km et se dirige ensuite vers Pluton.
- Dans la deuxième option, la sonde Voyager 1 survole Titan à une distance de l'ordre de 6 000 km ce qui élimine la possibilité de survoler Pluton.

1980-10-15

Voyager 1

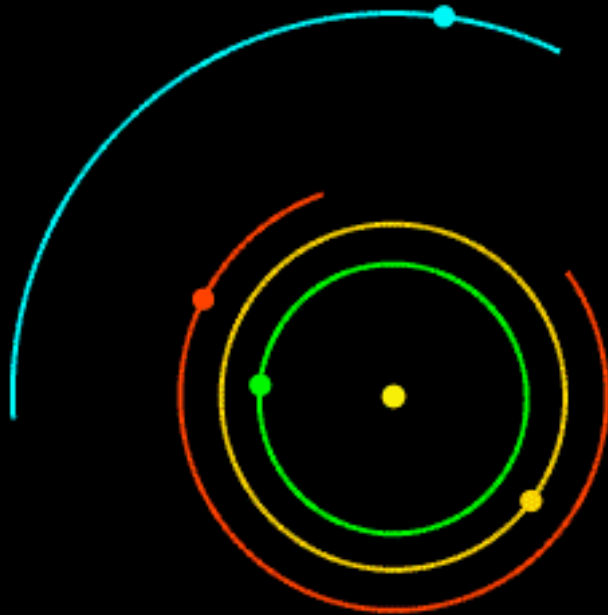


- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 1 approchant le système de Saturne. **Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.**

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 arrive dans le système de Saturne le 10 novembre 1980.
- La sonde survole Titan à seulement 6 940 km de la lune 1 jour plus tard.

1980-11-12 05:30 Voyager 1



17.137km/s

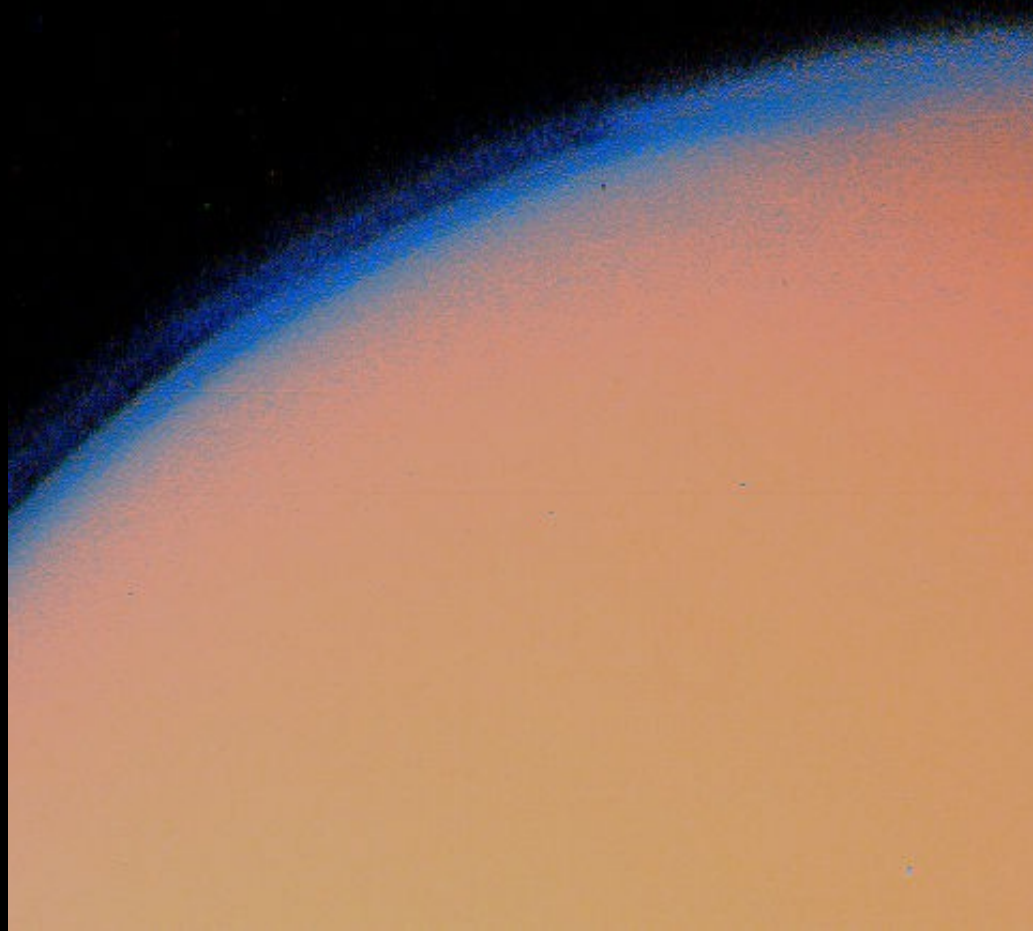


(87.8 -45.0)

- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 1 avec le survol de Titan (cercle bleu). Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.

Le programme Voyager

- Les images rapprochées de Titan obtenues par Voyager 1 révèlent une atmosphère complètement opaque dans le spectre visible et peut-être plus dense que celle de la Terre !



- Ci-contre, une image de Titan obtenue par la sonde Voyager 1 le 12 novembre 1980 à une distance de 435 000 km. **Source de l'image d'origine: Wikipedia.** **Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.**

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 survole Saturne à 124 000 km de son centre le 12 novembre 1980.



- Ci-contre, une image de Saturne obtenue par la sonde Voyager 1 le 3 novembre 1980 à une distance de 13 millions de km. Les lunes Thétyss et Dioné (à gauche) peuvent être clairement identifiées sur cette image. **Crédit de l'image:** NASA/JPL.

Le programme Voyager

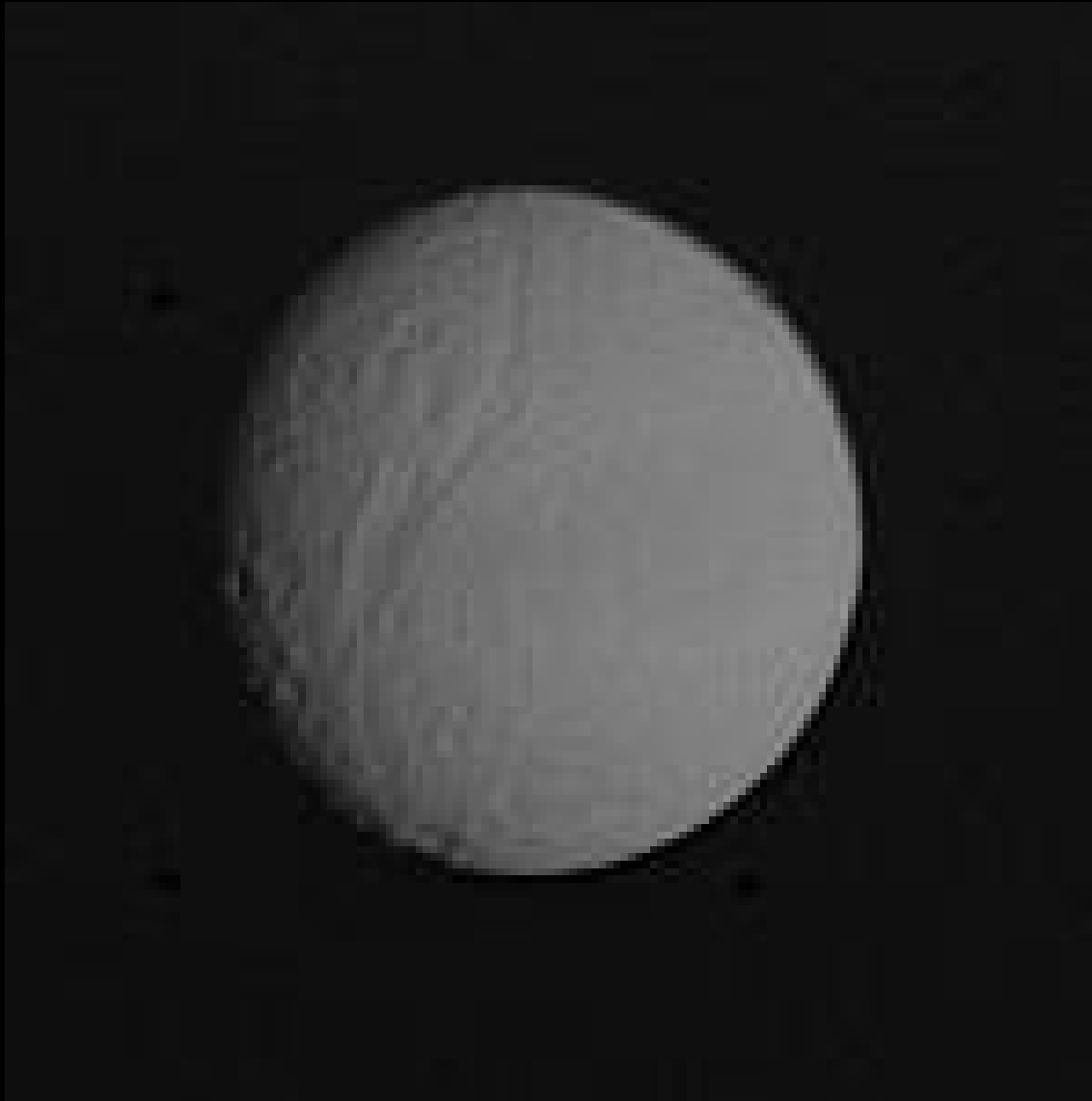
- La sonde Voyager 1 survole notamment la petite lune Mimas révélant notamment un cratère impressionnant.



- Ci-contre, la petite lune Mimas photographiée depuis la sonde Voyager 1 avec l'instrument NAC le 12 novembre 1980 à une distance de 425 000 km. **Crédit de l'image:** NASA/JPL.

Le programme Voyager

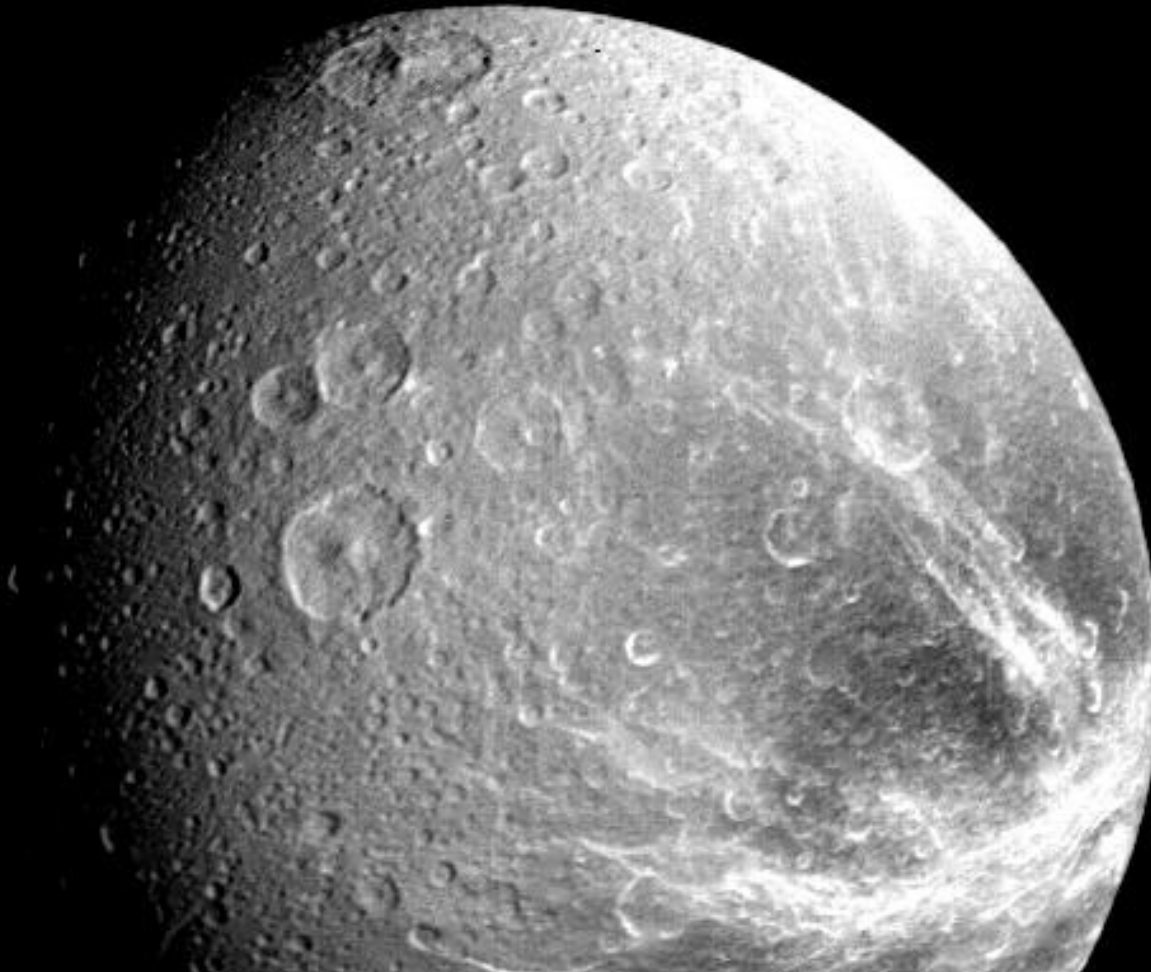
- La sonde Voyager 1 survole également Téthys dont le diamètre est de l'ordre de 1 000 km.
- Une vallée gigantesque (Ithaca Chasma) peut être identifiée.



- Ci-contre, la lune Téthys photographiée avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 1 le 12 novembre 1980 à une distance de 1,2 million de km. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

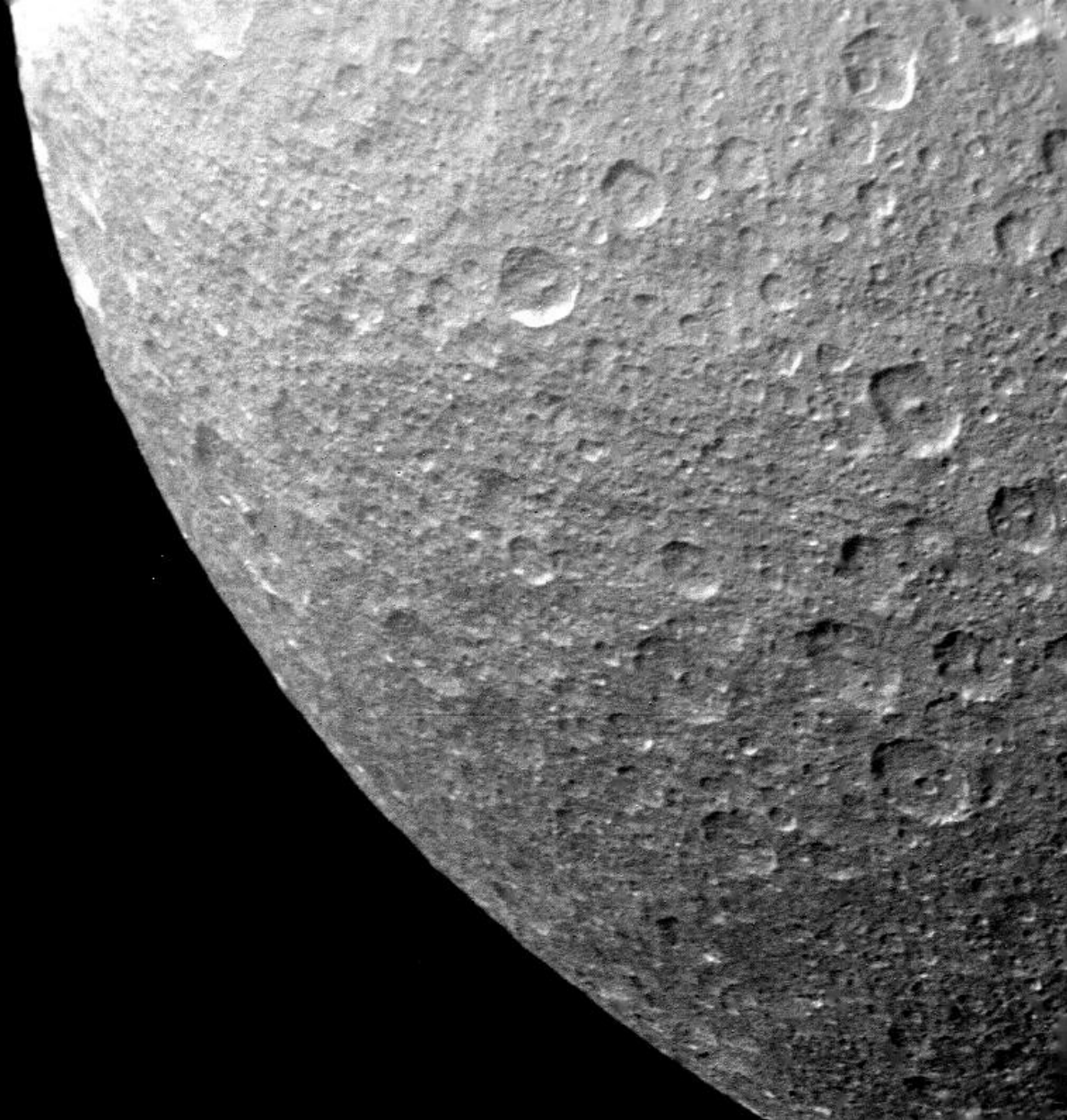
- La sonde Voyager 1 survole Dioné, une autre lune de glace fortement cratérisée avec des traînées blanches notamment.



- Ci-contre, la lune Dioné photographiée avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 1 le 12 novembre 1980 à une distance d'environ 240 000 km.
Crédit de l'image: [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 survole également Rhéa, une autre lune de glace de taille plus importante que Téthys et Dioné.



- Ci-contre, la lune Rhéa photographiée avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 1 le 12 novembre 1980 à une distance de 73 000 km.
Crédit de l'image: [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 obtient les premières images claires qui révèlent bien le contraste d'albédo à la surface de la lune Japet.



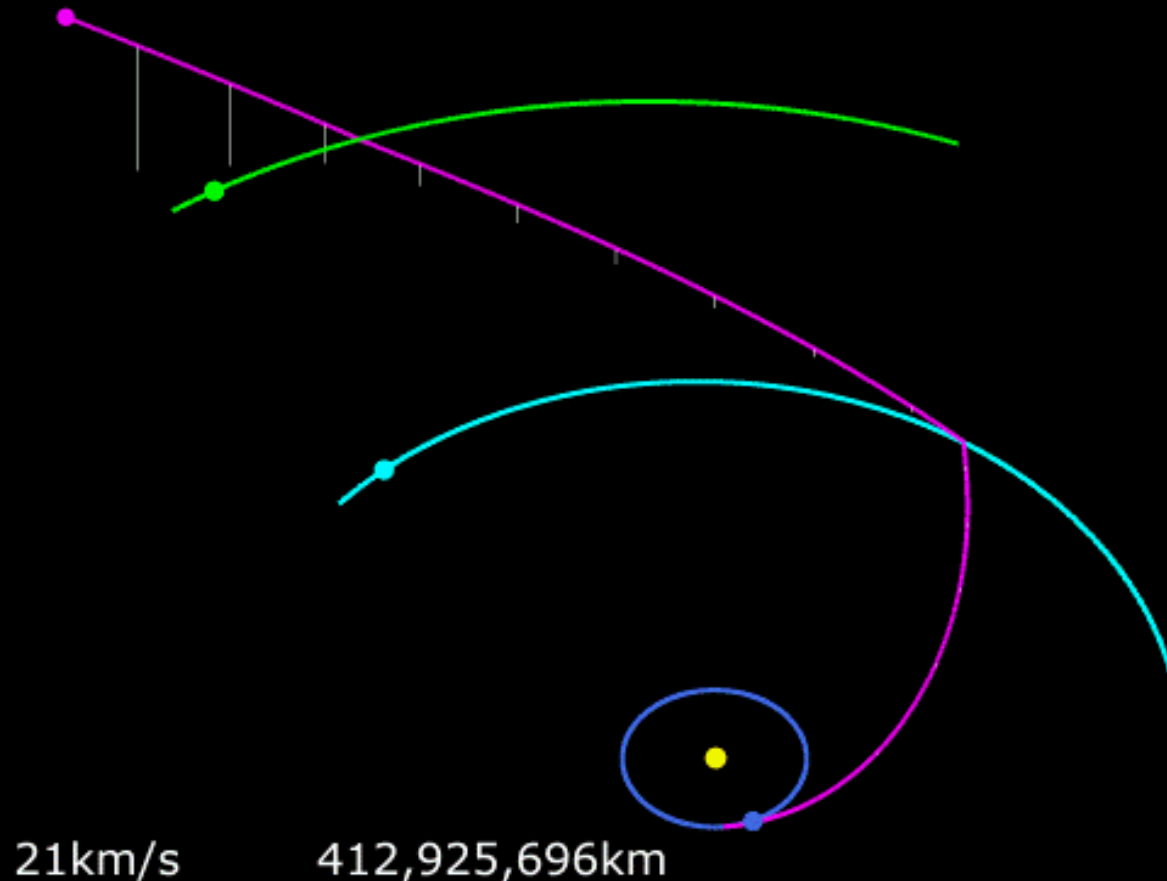
- Ci-contre, l'une des premières images qui montrent le contraste de régions claires et sombres à la surface de Japet. La vue a été obtenue le 12 novembre 1980 à une distance de 3,2 millions de kilomètres. **Source de l'image:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 1 aurait pu survoler Pluton en 1986 mais le choix d'un survol extrêmement rapproché de l'intrigante lune Titan a rendu cette option impossible.
- La sonde Voyager 1 est passée sous le pôle sud de Saturne se dirigeant alors en dehors et au dessus du plan de l'écliptique.

1981-09-24

Voyager 1



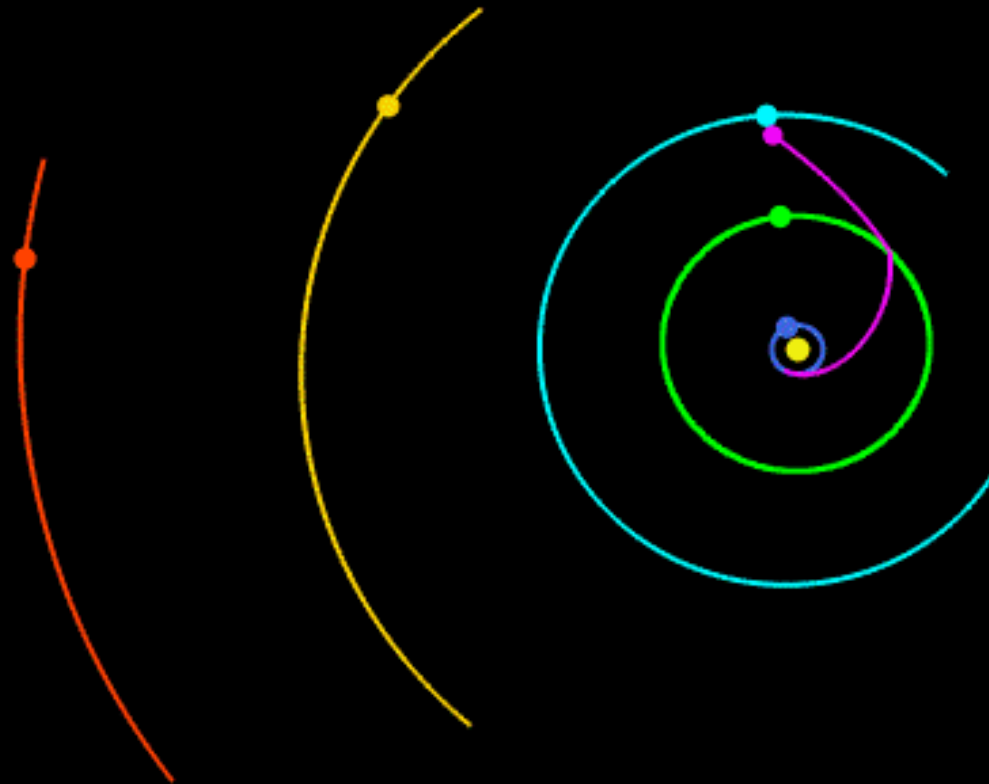
- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 1 après le survol du système de Saturne. **Source de l'image d'origine:** Wikipedia. **Crédit de l'image d'origine:** NAIF/NASA.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole à son tour Saturne le 26 août 1981 à 161 000 km du centre de la géante gazeuse.

1981-04-14

Voyager 2



- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 approchant le système de Saturne. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)
[Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.](#)

15.9km/s

4,421,564,023km

Le programme Voyager

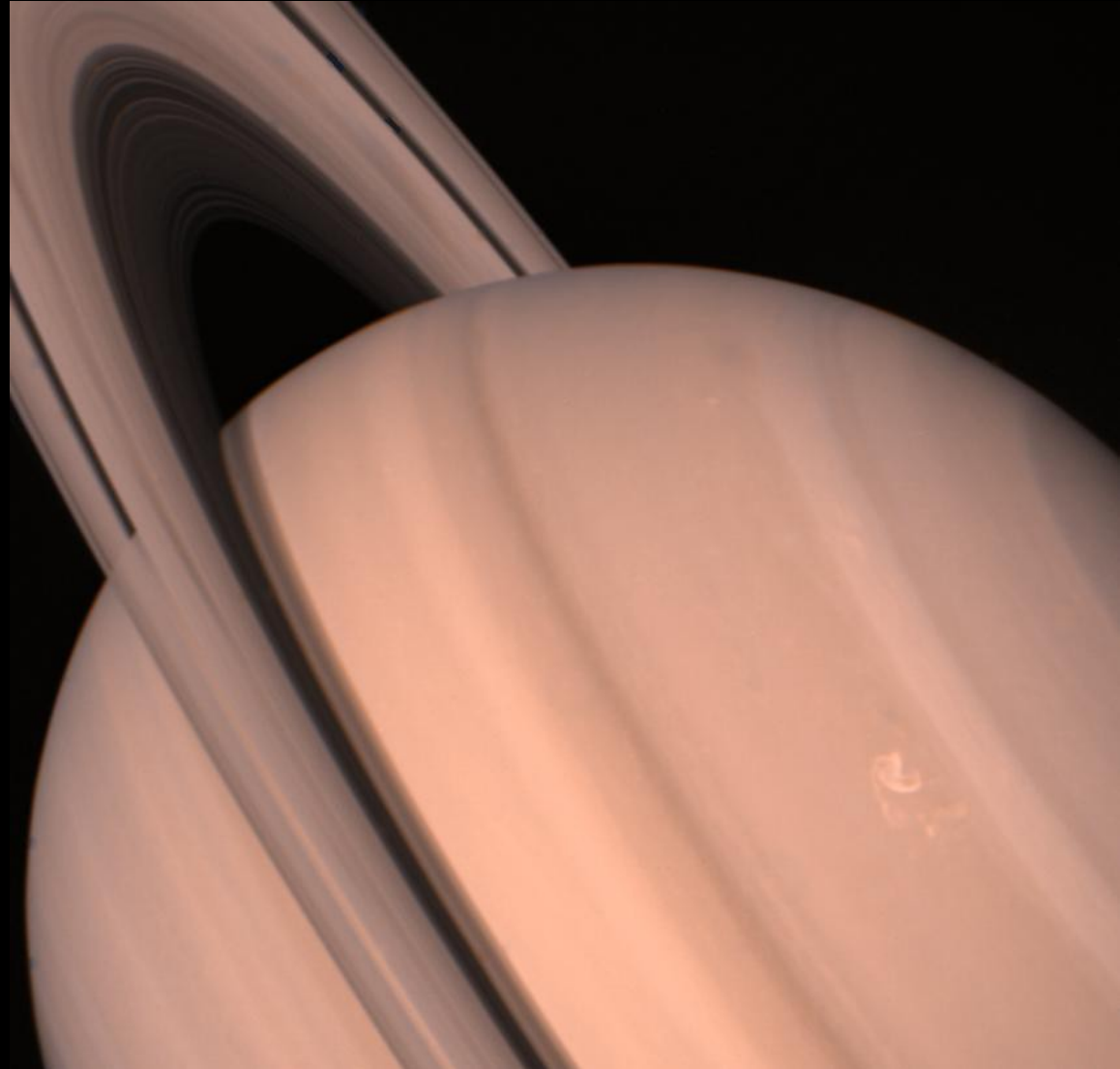
- La sonde Voyager 2 obtient des images bien plus nettes de la lune Japet que celles de la sonde Voyager 1.
- Le pôle nord de Japet se révèle lors de l'entrée de la sonde Voyager 2 dans le système de Saturne.



- Ci-contre, une image du pôle nord de Japet obtenue depuis la sonde Voyager 2 le 22 août 1981 à une distance de 910 000 kilomètres. **Source de l'image:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 a rencontré un problème technique avec la plate-forme orientable deux heures après le survol rapproché de Saturne ce qui a entraîné une perte importante de données.
- La sonde Voyager 2 a néanmoins obtenu de superbes images du système de Saturne.

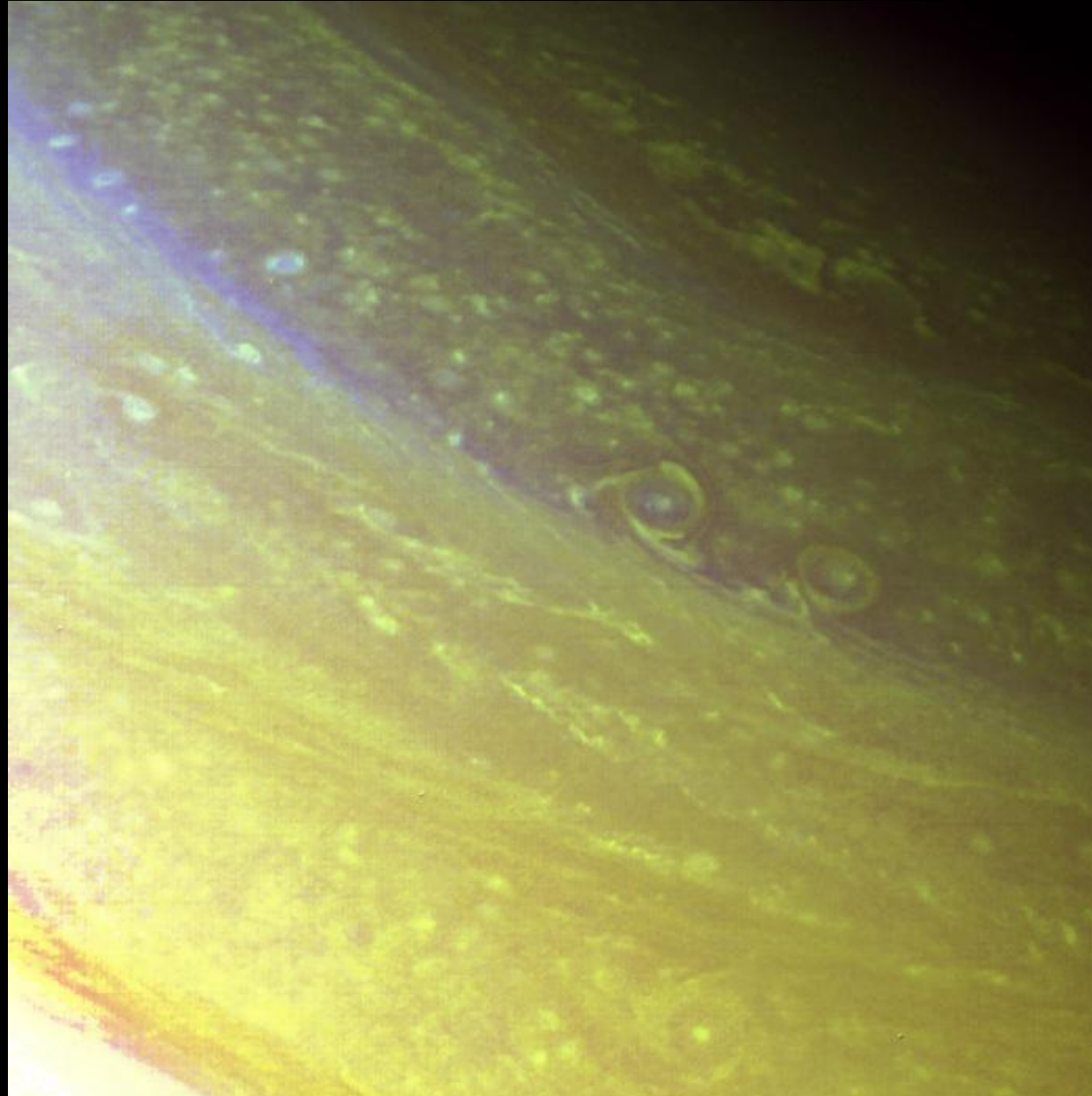


- Ci-contre, une image de Saturne obtenue le 11 août 1981 depuis la sonde Voyager 2 en approche du système, à une distance de 13,9 millions de kilomètres de la géante gazeuse. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL-Caltech](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 révèle notamment en détail les nombreux vortex ou systèmes de nuages de la région du pôle nord de Saturne.

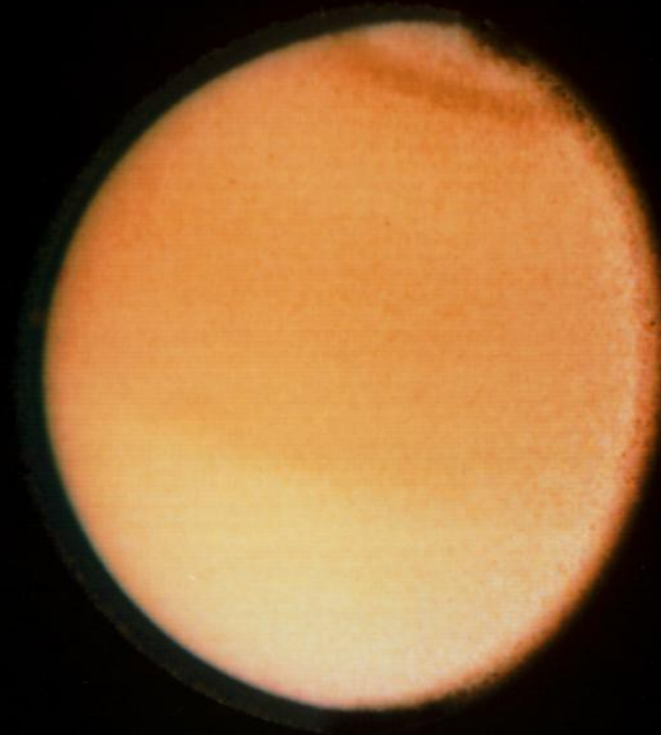
- Ci-contre, une image de la région du pôle nord de Saturne obtenue avec l'instrument VG Imaging Science Subsystem-Narrow Angle de la sonde Voyager 2 le 25 août 1981 à une distance de 633 000 kilomètres de la géante gazeuse. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).



Le programme Voyager

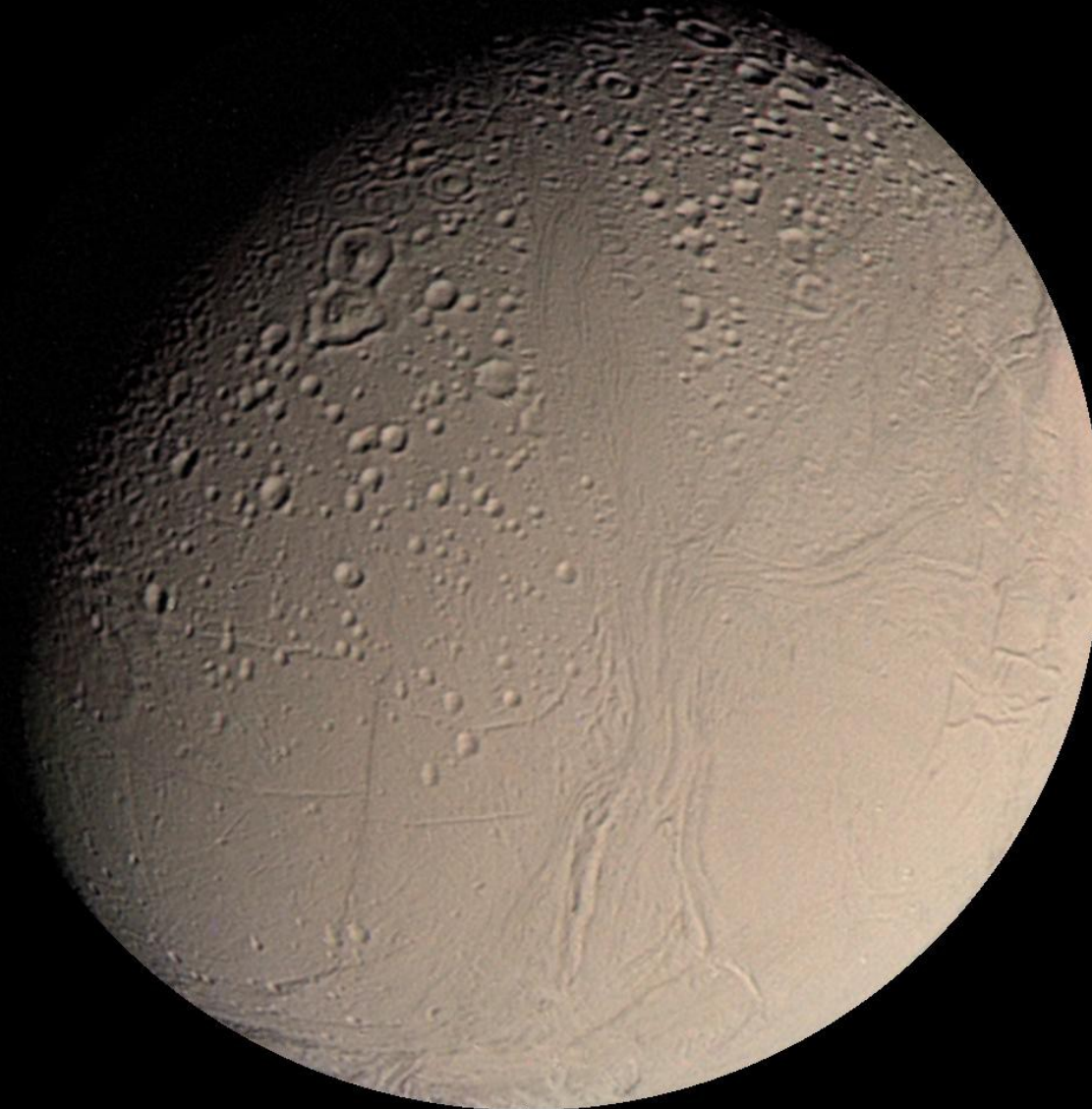
- La sonde Voyager 2 obtient des images de Titan à une distance relativement élevée lors du survol du système de Saturne.

- Ci-contre, une image de la lune Titan obtenue depuis la sonde Voyager 2 le 23 août 1981 à une distance de 2,3 millions de kilomètres. Un contraste hémisphérique dans les couleurs ainsi qu'une bande foncée au pôle nord peuvent être clairement identifiés. **Crédit de l'image: NASA/JPL.**



Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 révèle que la petite lune de glace Encelade est un monde à la surface relativement jeune.



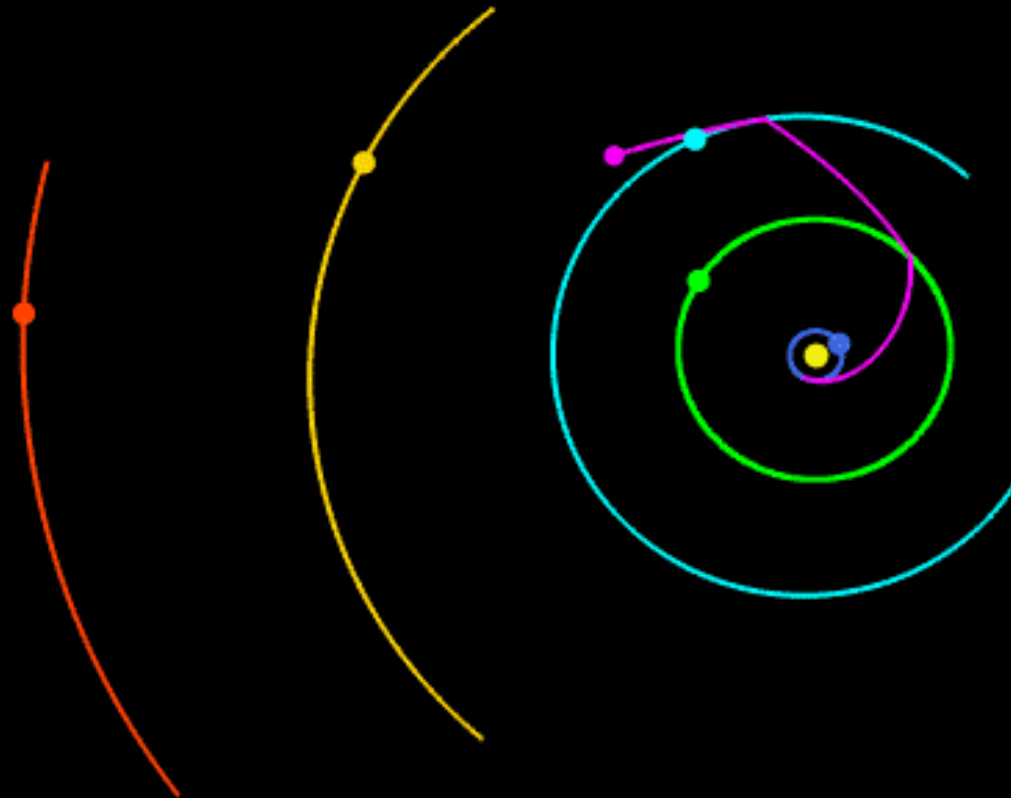
- Ci-contre, une mosaïque de la petite lune Encelade générée à partir de données acquises par la sonde Voyager 2 durant son survol du système de Saturne. La sonde a survolé la lune à une distance de 87 010 km le 26 août 1981. Une portion de la surface semble géologiquement active comme l'avaient suggéré les données de Voyager 1. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL/USGS](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 quitte le système de Saturne et se dirige ensuite vers la géante gazeuse Uranus.

1983-01-19

Voyager 2



- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 après le survol de Saturne. La sonde se dirige alors vers Uranus. [Source de l'image d'origine: Wikipedia.](#)
[Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.](#)

19.7km/s

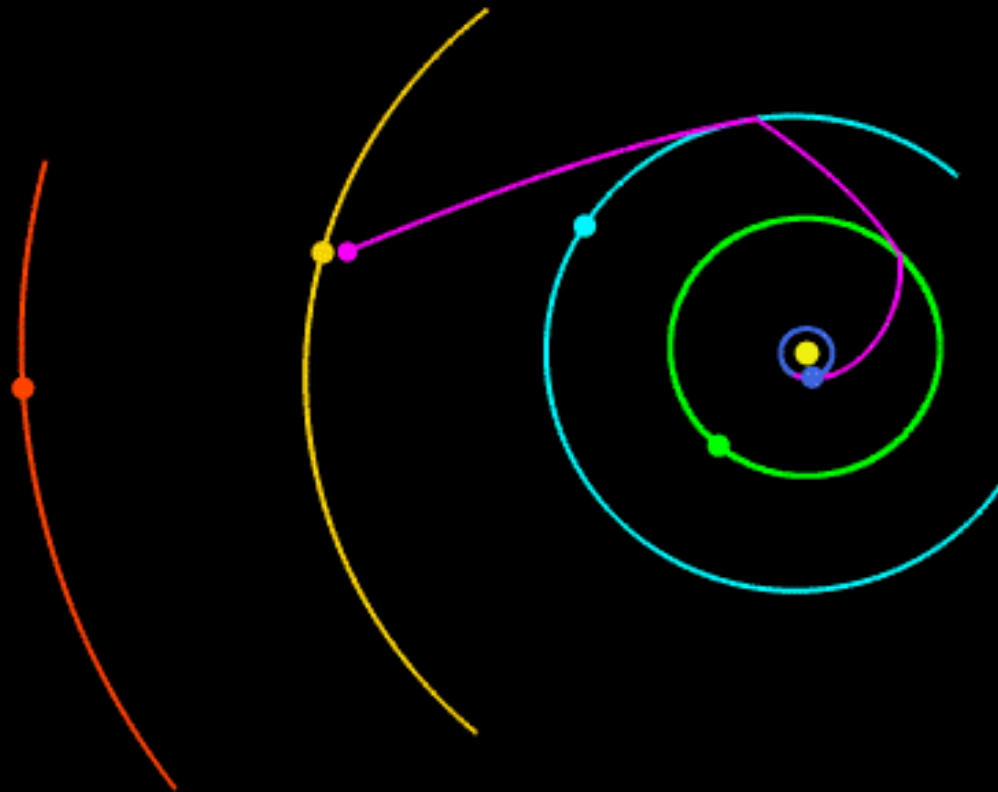
3,506,038,000km

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole Uranus à 81 500 km du sommet de ses nuages le 24 janvier 1986.

1985-10-04

Voyager 2



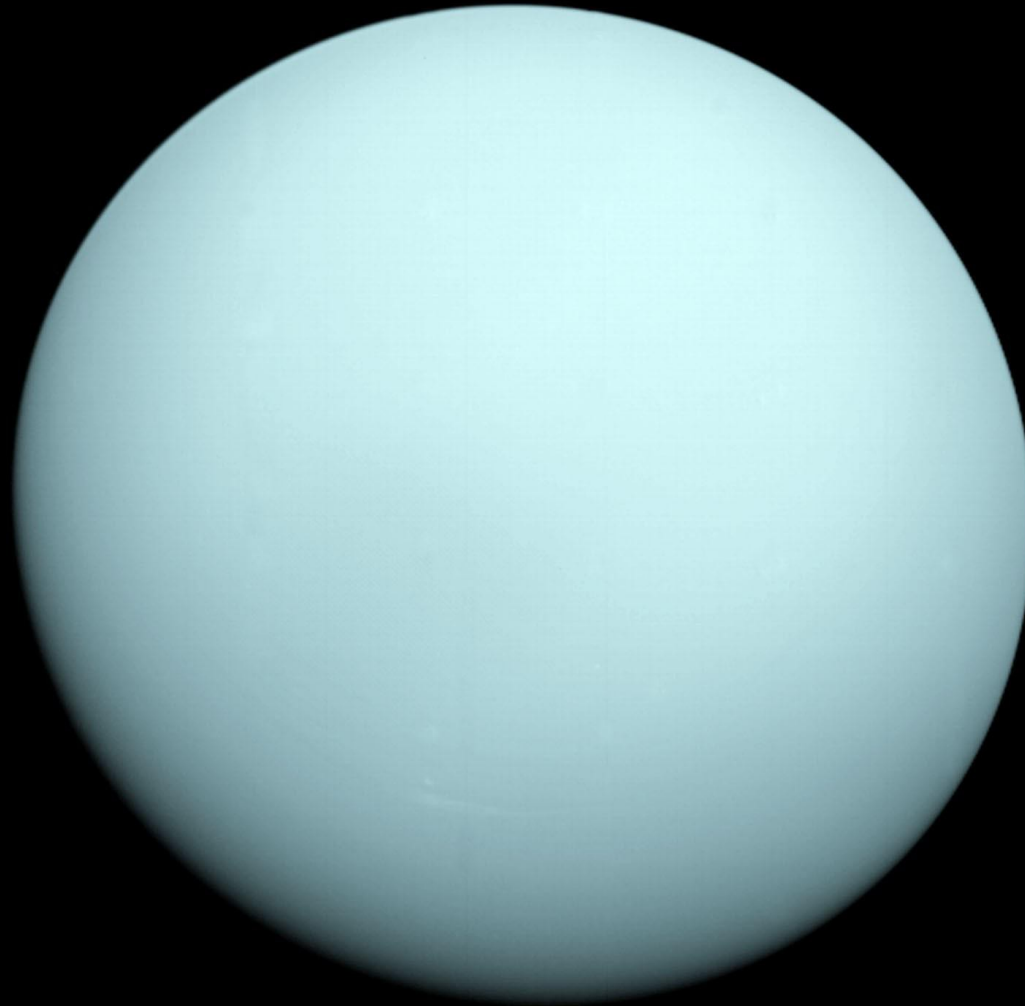
- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 approchant le système de la géante gazeuse Uranus. Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.

18.0km/s

2,059,481,570km

Le programme Voyager

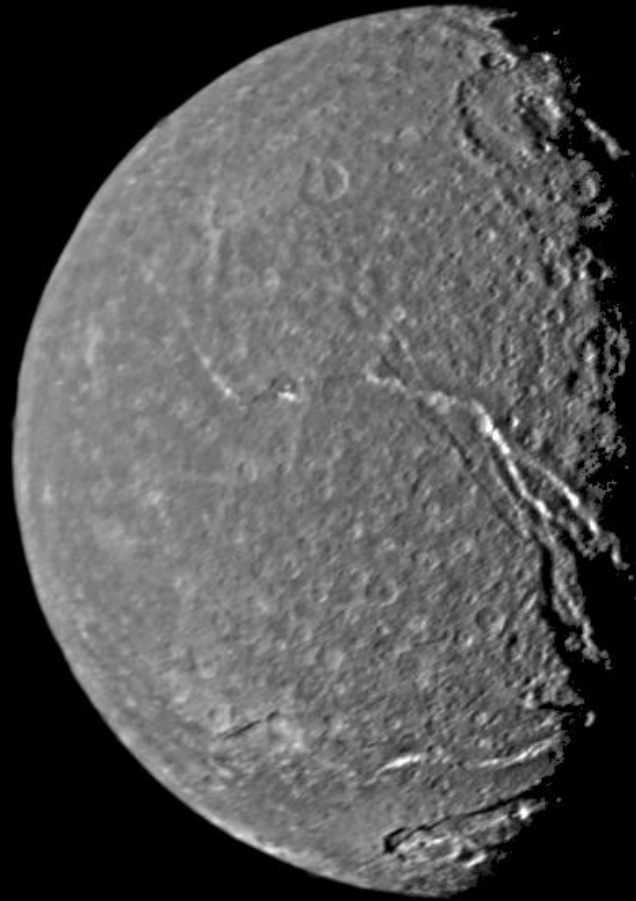
- La sonde Voyager 2 obtient les premières images rapprochées d'Uranus, un monde dont l'atmosphère apparaît remarquablement uniforme dans le spectre visible !



- Ci-contre, le disque de la géante gazeuse Uranus obtenu avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 2. **Crédit de l'image:** NASA/JPL-Caltech.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole Titania, la plus grande lune d'Uranus, à une distance de 365 200 km.



- Ci-contre, une image composite basée sur deux images acquises le 24 janvier 1986 avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 2 à une distance de 369 000 kilomètres de la lune. **Crédit de l'image:** [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 s'approche à 127 000 km de la lune Ariel.



- Ci-contre, une image composite de la lune Ariel générée à partir de données obtenues depuis la sonde Voyager 2 le 24 janvier 1986 à une distance de 170 000 kilomètres.

Source de l'image: [Wikipedia](#). Crédit de l'image: [NASA/JPL](#).

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 s'approche à 325 000 km de la lune Umbriel.



- Ci-contre, la lune Umbriel photographiée à l'aide de l'instrument NAC de la sonde Voyager 2 le 24 janvier 1986 à une distance de 557 000 kilomètres. **Crédit de l'image:** NASA/JPL.

Le programme Voyager

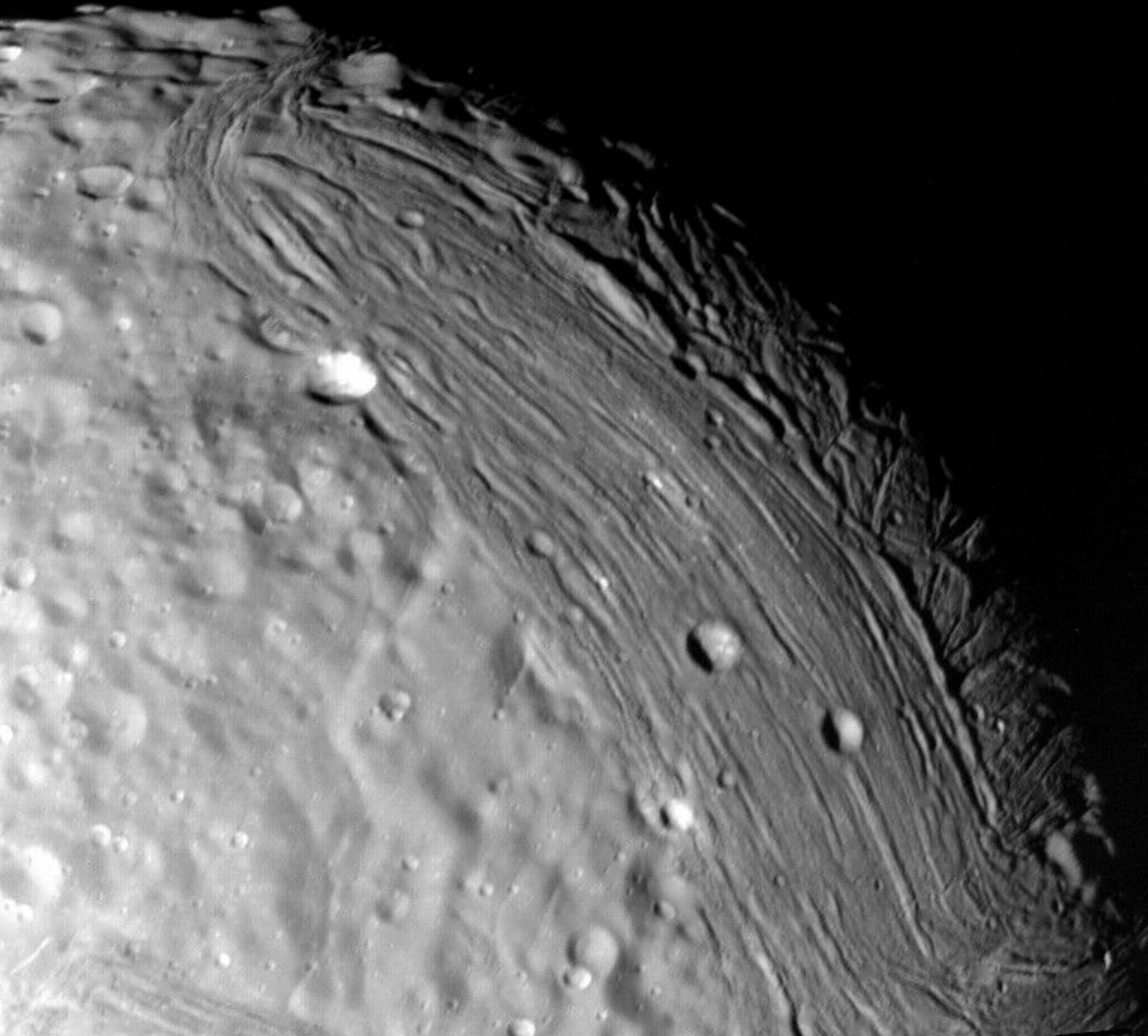
- La sonde Voyager 2 s'approche à 470 600 km de la lune Obéron.



- Ci-contre, une image de la lune Obéron obtenue le 24 janvier 1986 depuis la sonde Voyager 2 à une distance de 660 000 kilomètres. **Crédit de l'image:** NASA/JPL.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole Miranda à une distance de 29 000 km de la petite lune.



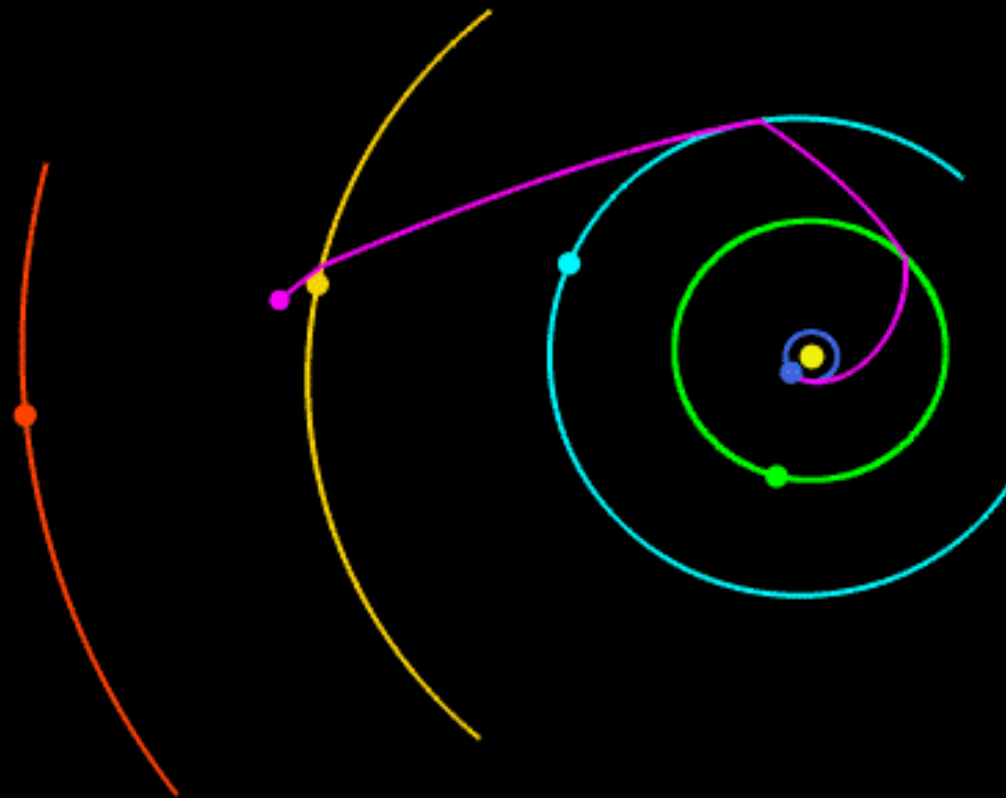
- Ci-contre, une portion de la petite lune étrange Miranda capturée par la sonde Voyager 2 le 24 janvier 1986. **Crédit de l'image:** NASA/JPL.

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 quitte le système d'Uranus et poursuit sa route vers la géante gazeuse Neptune.

1986-08-01

Voyager 2



- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 quittant le système de la géante gazeuse Uranus. Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.

19.6km/s

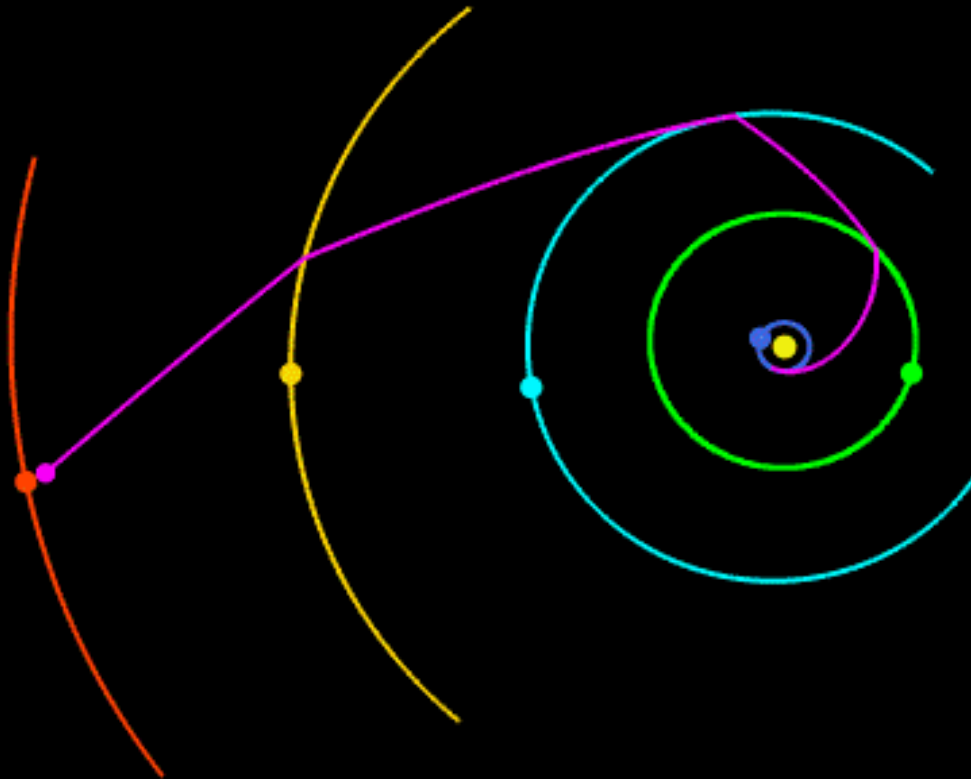
1,627,339,670km

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole Neptune le 25 août 1989 à une distance de 4 950 km du pôle nord de la planète.

1989-05-29

Voyager 2



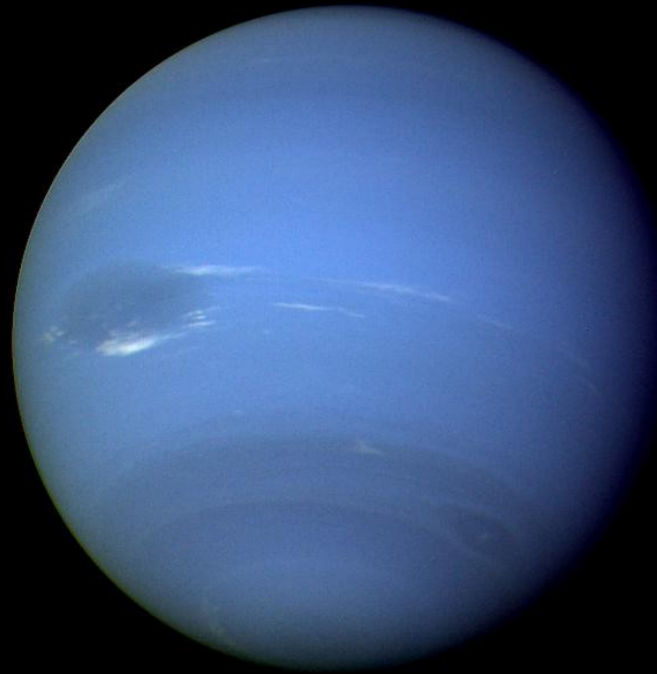
- Ci-contre, la trajectoire de la sonde Voyager 2 peu de temps avant le survol historique du système de Neptune. **Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NAIF/NASA.**

18.9km/s

126,786,552km

Le programme Voyager

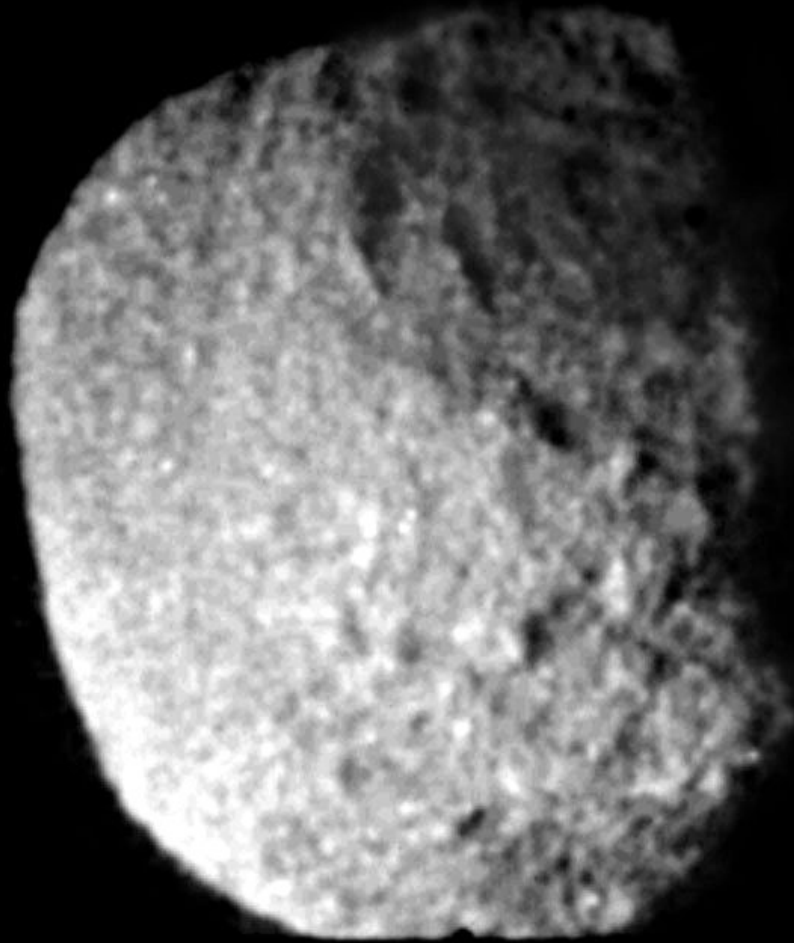
- La sonde Voyager 2 révèle des structures nuageuses avec notamment la “Grande Tache sombre” sur Neptune.
- La sonde permet de mesurer une vitesse de vents de 2 000 km/h !



- Ci-contre, une photo de la géante gazeuse Neptune obtenue avec l'instrument NAC de la sonde Voyager 2 durant la phase d'observations s'étalant du 16 au 17 août 1989 . **Crédit de l'image: NASA/JPL.**

Le programme Voyager

- La sonde Voyager 2 survole la petite lune Protée dont la surface est très sombre.



- Ci-contre, une photo de Protée obtenue depuis la sonde Voyager 2 le 25 août 1989 à une distance de 146 000 kilomètres de la petite lune. [Source de l'image: Wikipedia.](#)
[Crédit de l'image: NASA/JPL.](#)

Le programme Voyager

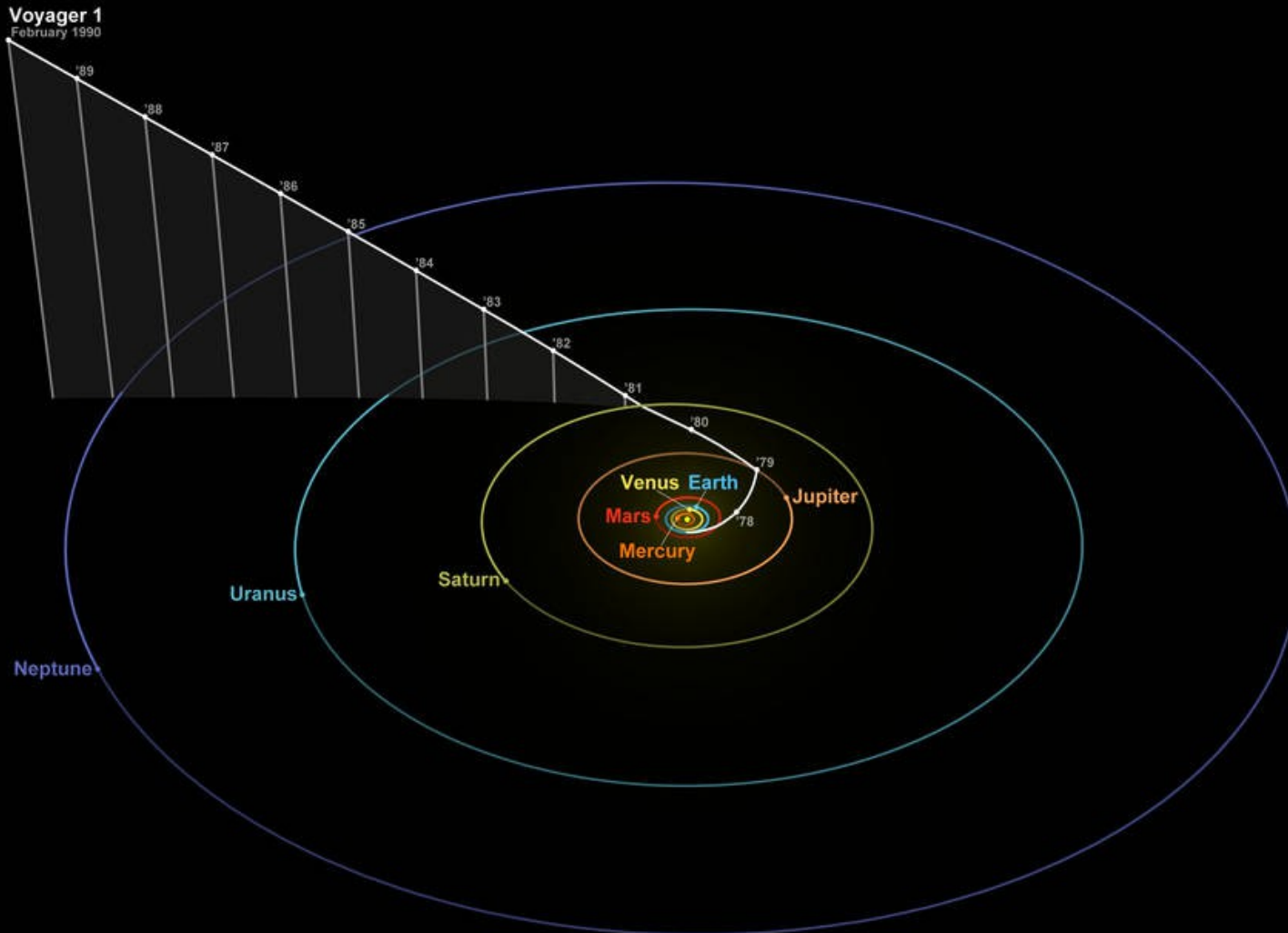
- La sonde Voyager 2 survole Triton à une distance de 39 790 km révélant un monde apparemment actif !



- Ci-contre, une mosaïque de Triton basée sur des données obtenues lors du survol historique du système de Neptune par la sonde Voyager 2. **Source de l'image d'origine: Wikipedia. Crédit de l'image d'origine: NASA/JPL.**

Le programme Voyager

- A l'initiative de l'astronome américain Carl Sagan, la sonde Voyager 1 s'apprête à produire le "portrait de famille" du Système solaire le 14 février 1990 alors qu'elle se trouve à environ 6 milliards de km de la Terre.

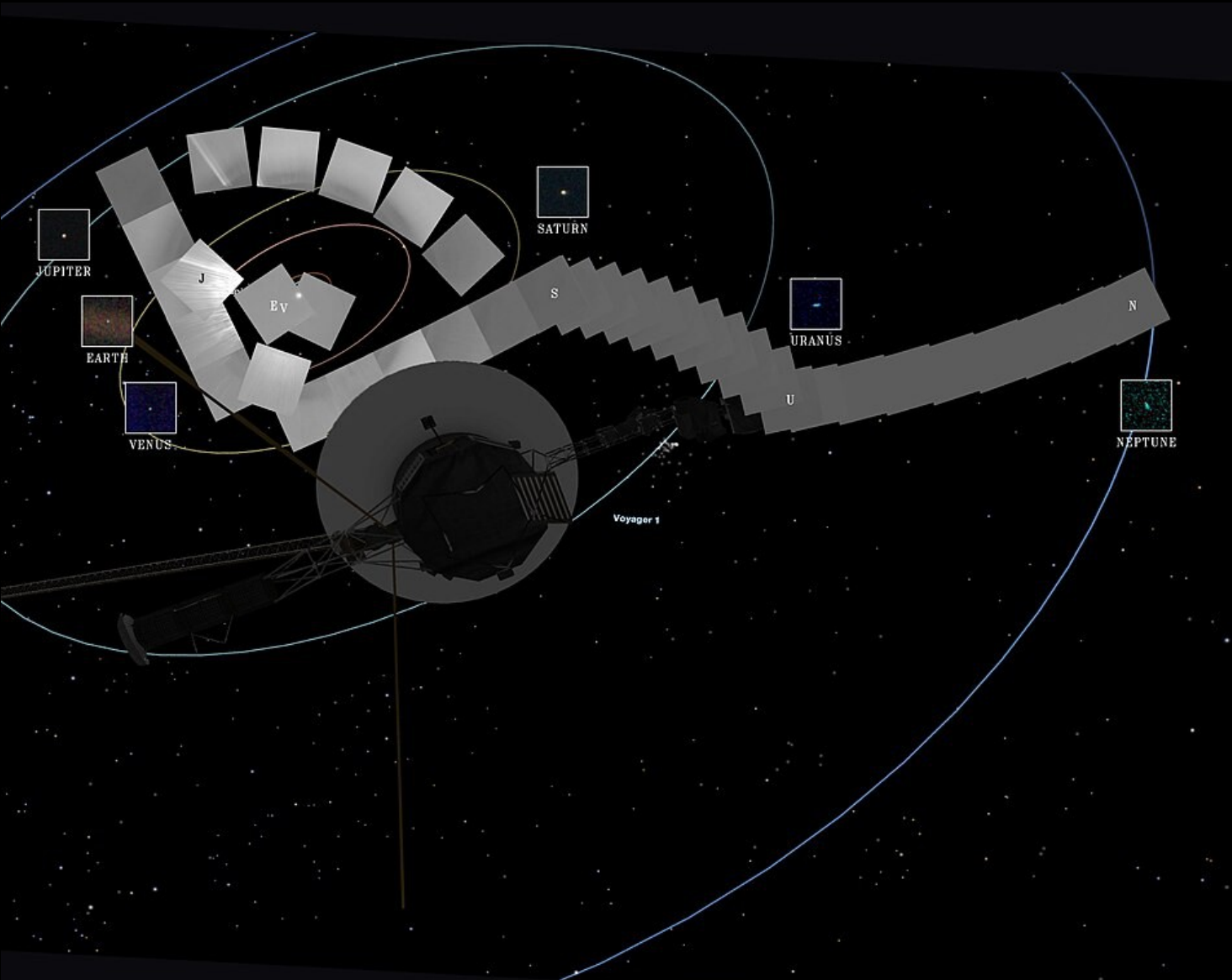


- Ci-contre, le schéma de la position relative de la sonde Voyager 1 en février 1990 lorsqu'elle s'apprête à produire le portrait de famille du Système solaire.

Source de l'image d'origine: [Wikipedia](#).
Crédit de l'image d'origine: [Joe Haythornthwaite](#) et [Tom Ruen](#).

Le programme Voyager

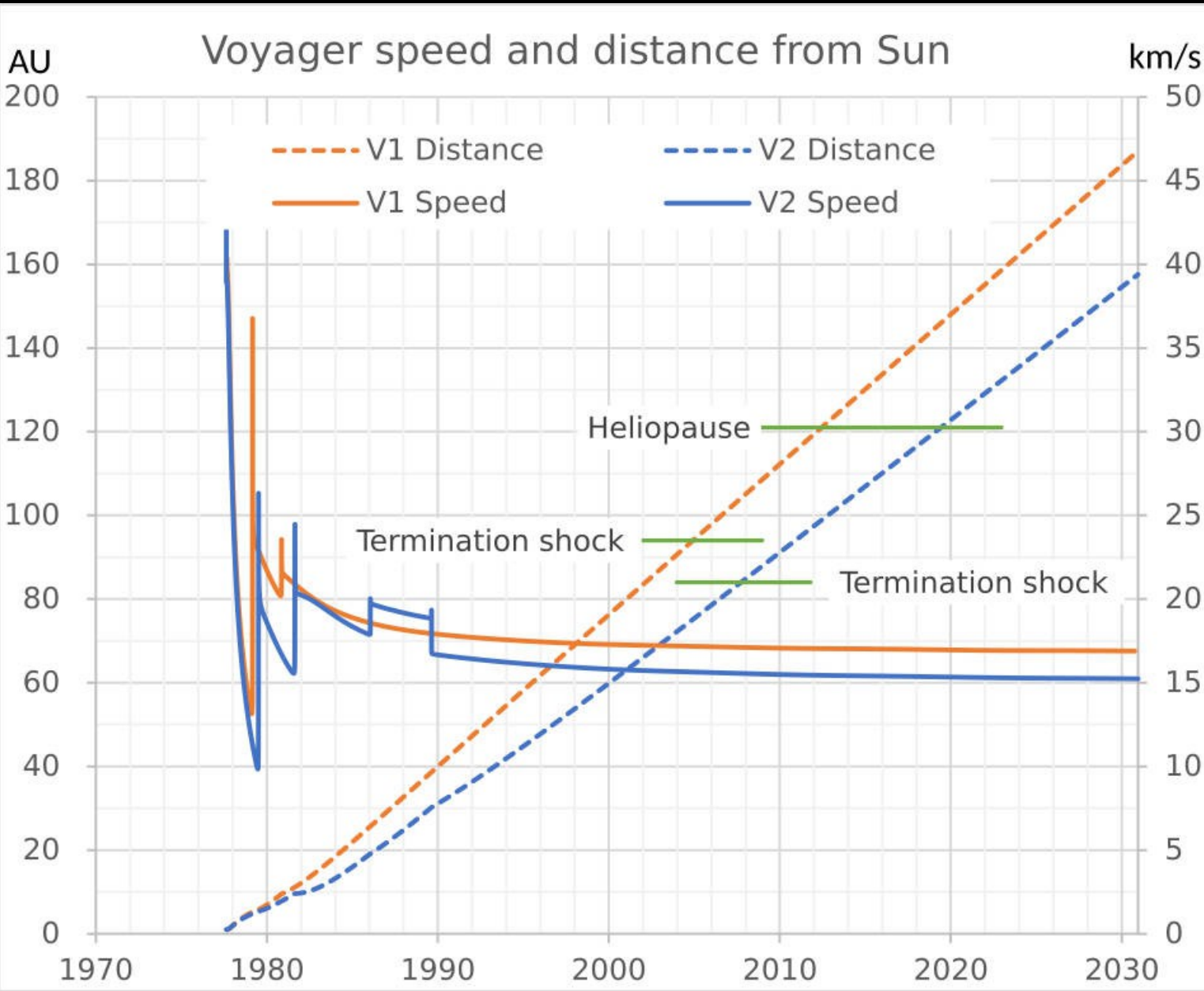
- Les chercheurs vont mobiliser 60 images prises par la sonde Voyager 1 le 14 février 1990 pour générer la mosaïque du fameux "portrait de famille" avec le non moins fameux point bleu pâle (Pale Blue Dot) cher à Carl Sagan.



- Ci-contre, la mosaïque du portrait de famille et du point bleu pâle avec notamment la représentation des orbites des planètes obtenue via l'application de la NASA Eyes on the Solar System. La sonde se trouvait alors à environ 40,11 Unités Astronomiques de la Terre et était inclinée à 32 degrés au dessus du plan de l'écliptique. **Source de l'image:** [Wikipedia](#). **Crédit de l'image:** [NASA/JPL-Caltech](#).

Le programme Voyager

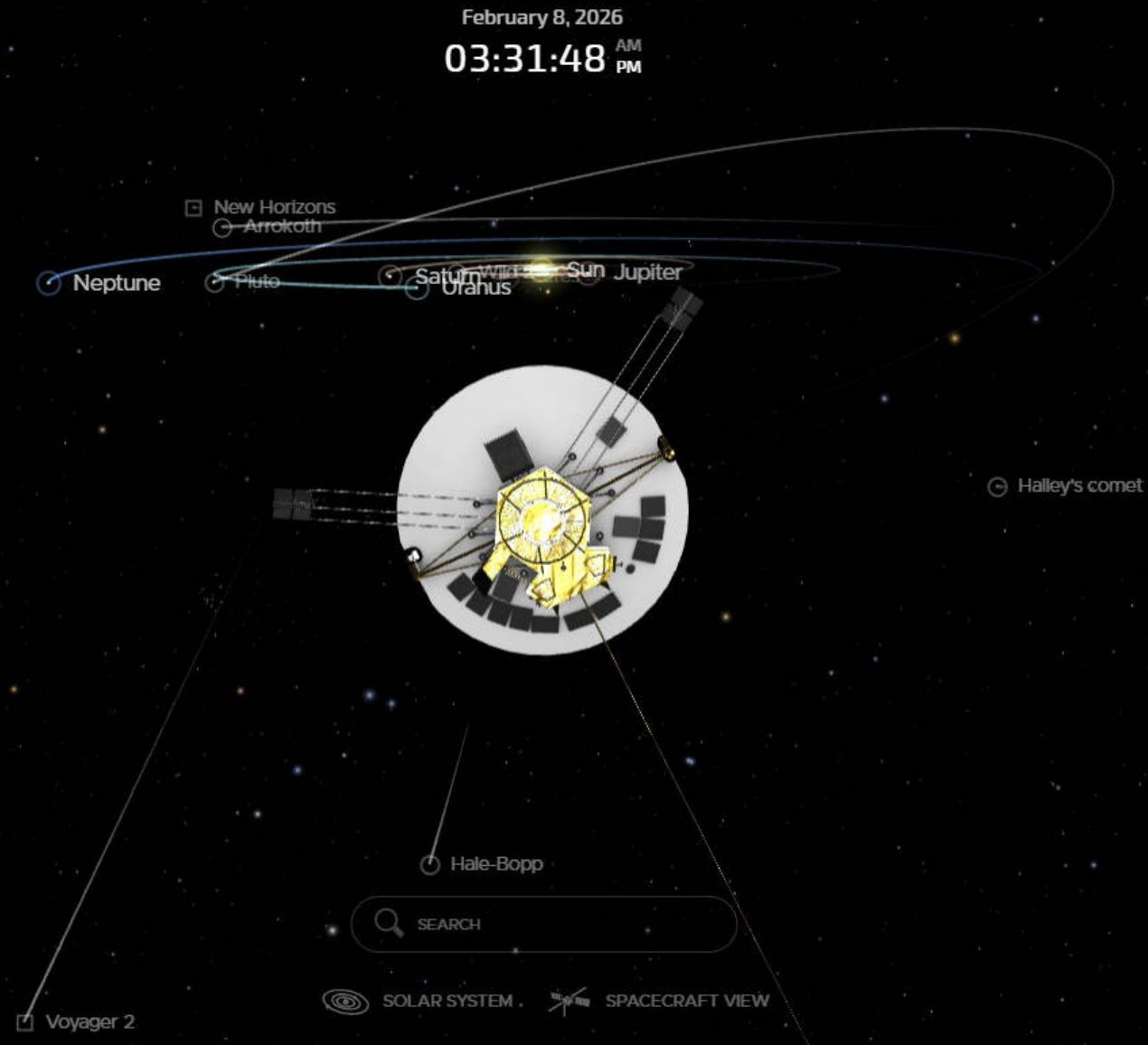
- Les sondes Voyager 1 et Voyager 2 ont atteint le milieu interstellaire le 25 août 2012 et le 5 novembre 2018 respectivement.



- Ci-contre, un graphique révélant l'évolution de la distance au Soleil et de la vitesse relative des sondes Voyager 1 et Voyager 2 jusqu'en 2030. Source de l'image d'origine: [Wikipedia/HORIZONS System/JPL/NASA](#).

Le programme Voyager

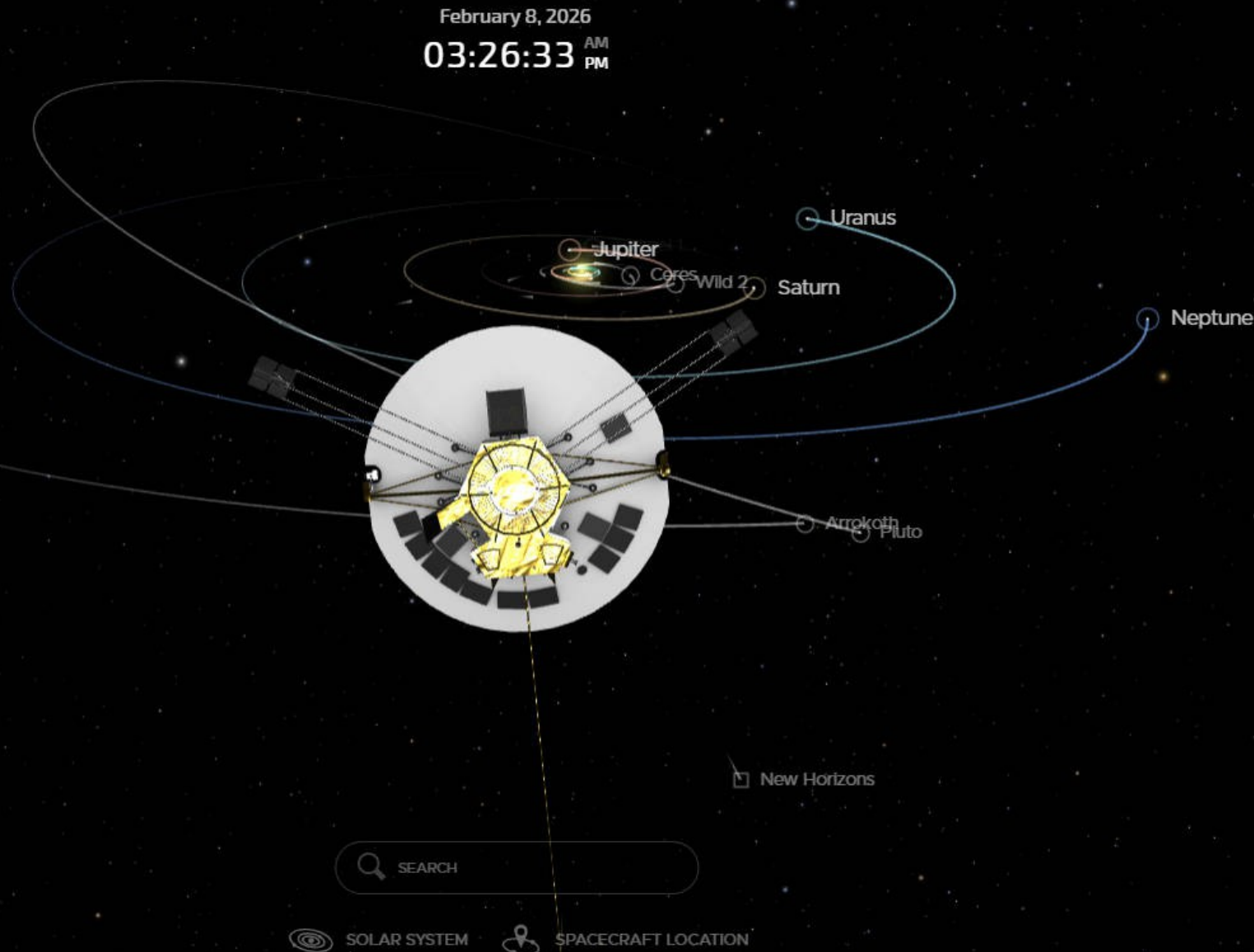
- Au 8 février 2026, la sonde Pioneer 10 se situe à environ 21 milliards de km du Soleil, dans la constellation du Taureau et se déplace à la vitesse relative d'environ 42 750 km/h (environ 11,875 km/s).



- Ci-contre, une simulation de la position de la sonde Pioneer 10 le 8 février 2026 à l'aide de l'application Eyes On The Solar System de la NASA. **Source de l'image d'origine:** [Eyes On The Solar System/NASA](#).

Le programme Voyager

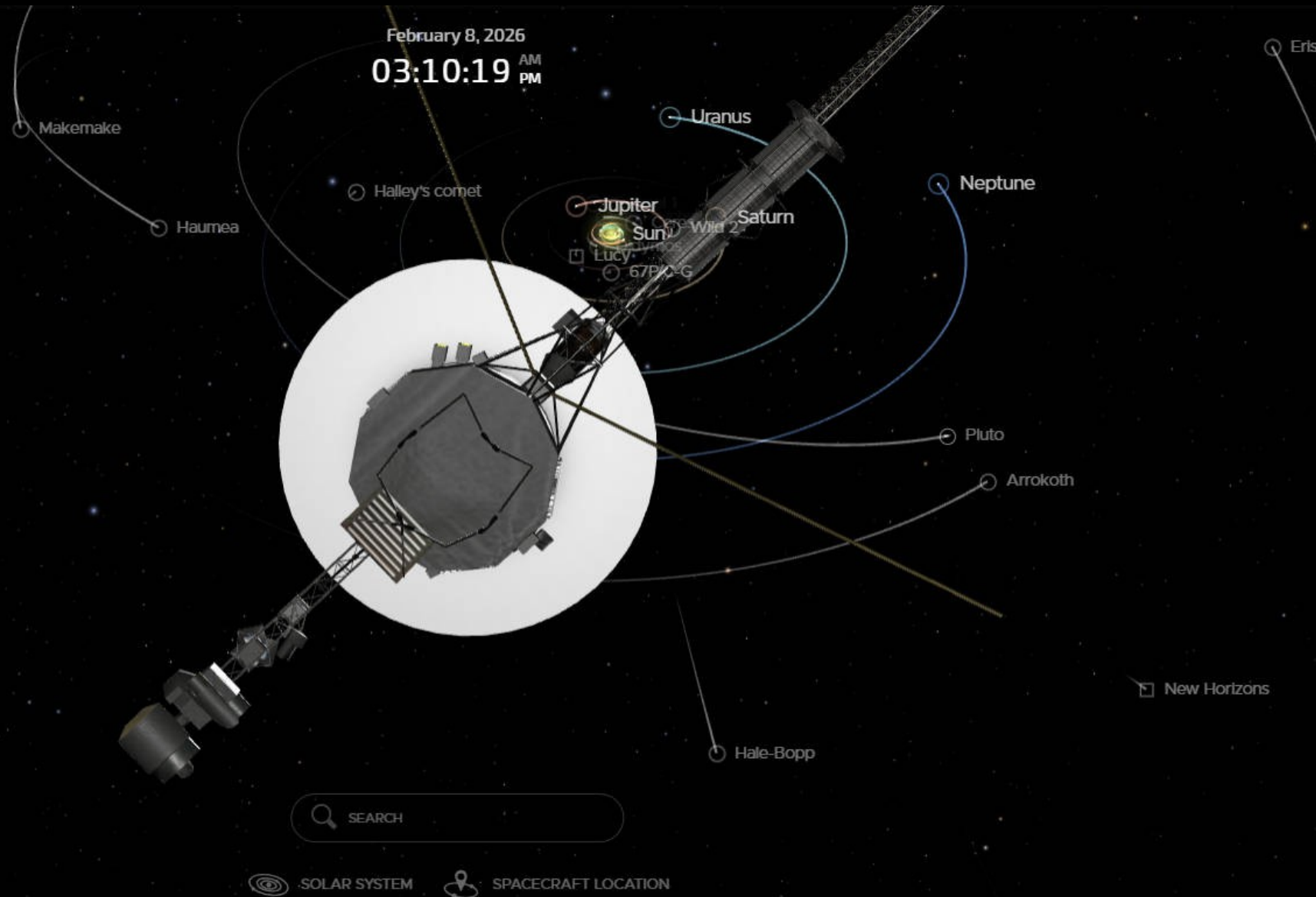
- Au 8 février 2026, la sonde Pioneer 11 se situe à environ 17,42 milliards de km du Soleil, dans la constellation de l'Ecu de Sobieski (Scutum) et se déplace à la vitesse relative d'environ 40 180 km/h (environ 11,16 km/s).



- Ci-contre, une simulation de la position de la sonde Pioneer 11 le 8 février 2026 à l'aide de l'application Eyes On The Solar System de la NASA. **Source de l'image d'origine: Eyes On The Solar System/NASA.**

Le programme Voyager

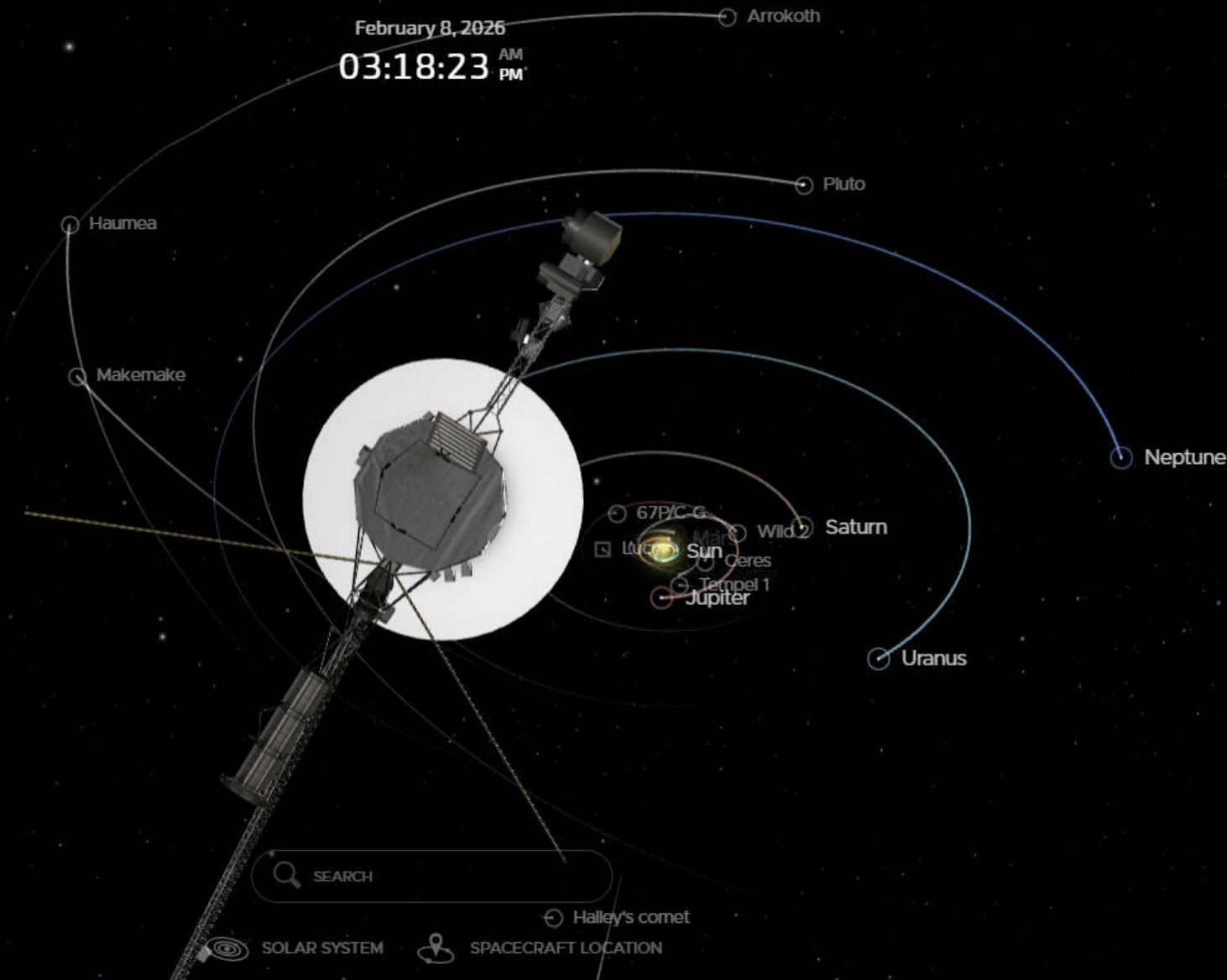
- Au 8 février 2026, la sonde Voyager 1 se situe à environ 25,38 milliards de km du Soleil, dans la constellation de Ophiuchus et se déplace à la vitesse relative d'environ 60 910 km/h (environ 16,92 km/s).



- Ci-contre, une simulation de la position de la sonde Voyager 1 le 8 février 2026 à l'aide de l'application Eyes On The Solar System de la NASA. [Source de l'image d'origine: Eyes On The Solar System/NASA.](#)

Le programme Voyager

- Au 8 février 2026, la sonde Voyager 2 se situe à environ 21,25 milliards de km du Soleil, dans la constellation du Paon et se déplace à la vitesse relative d'environ 54 990 km/h (environ 15,275 km/s).



- Ci-contre, une simulation de la position de la sonde Voyager 2 le 8 février 2026 à l'aide de l'application Eyes On The Solar System de la NASA. **Source de l'image d'origine:** Eyes On The Solar System/NASA.

Conclusion

Conclusion

- L'exploration robotique du Système solaire externe a donc pris son envol dans les années 1970 grâce aux programmes Pioneer et Voyager !
- Notre connaissance sur ces mondes reculés qui reçoivent peu d'énergie du Soleil a fait un grand bond en avant.
- Comme souvent en astronomie, l'exploration amène plus de questions que de réponses et c'est bien toute la magie de l'exploration de notre recoin de l'Univers !
- Le programme Voyager aura été suivi de missions toujours plus ambitieuses telles que les missions orbitales Galileo, Cassini-Huygens et Juno et bien sûr la mission New Horizons qui a survolé le surprenant système de Pluton le 14 juillet 2015.
- Nous n'aurons finalement fait qu'effleurer ces mondes lointains et les prochaines missions toujours plus ambitieuses vers ces lointaines contrées repousseront encore et toujours les limites de notre connaissance !

Crédit

- **Réalisation:** Marc Lafferre, 2025/2026.
- **Présentation:** Marc Lafferre, le 20 mars 2026 au GAPRA, 367 Route de Nice, 06600 Antibes.