

An artistic rendering of the Pioneer 10 spacecraft in orbit around Jupiter. The spacecraft is shown from a perspective that highlights its complex structure, including a large parabolic antenna dish, various scientific instruments, and a long boom extending to a smaller antenna. The planet of Jupiter, with its characteristic orange, red, and white bands, dominates the right side of the frame. The background is a deep blue space filled with numerous stars.

Il y 50 ans – Pioneer 10

Première exploration de Jupiter

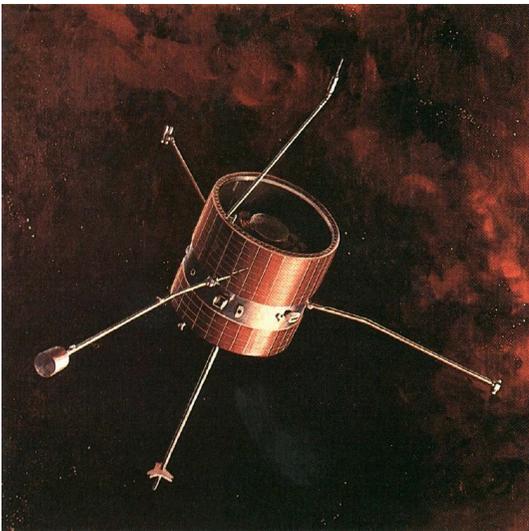


## Vers la première exploration des planètes supérieures

1<sup>ère</sup> moitié de la décennie 1960, les missions d'exploration du système solaire se concentrent sur la Lune et les deux planètes les plus proches de la Terre, Mars et Vénus.

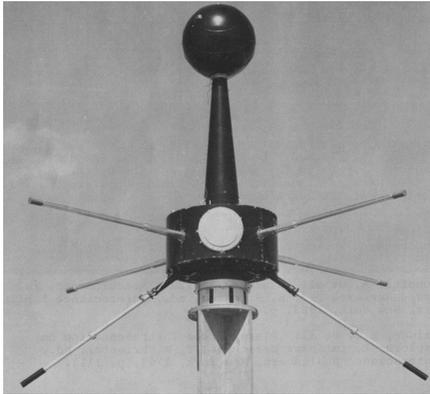
Trois centres spatiaux de la NASA sont impliqués dans les missions interplanétaires :

- **Le centre de recherche Ames**

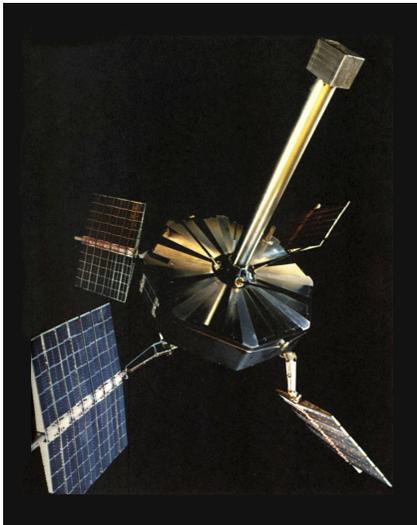


Vue artiste d'une sonde Pioneer série 6 à 9





Satellite Explorer 10



Satellite Explorer 12

## Le centre de vol spatial Goddard





Sonde Mariner 2



Sonde Mariner 4

## Le Jet Propulsion Laboratory

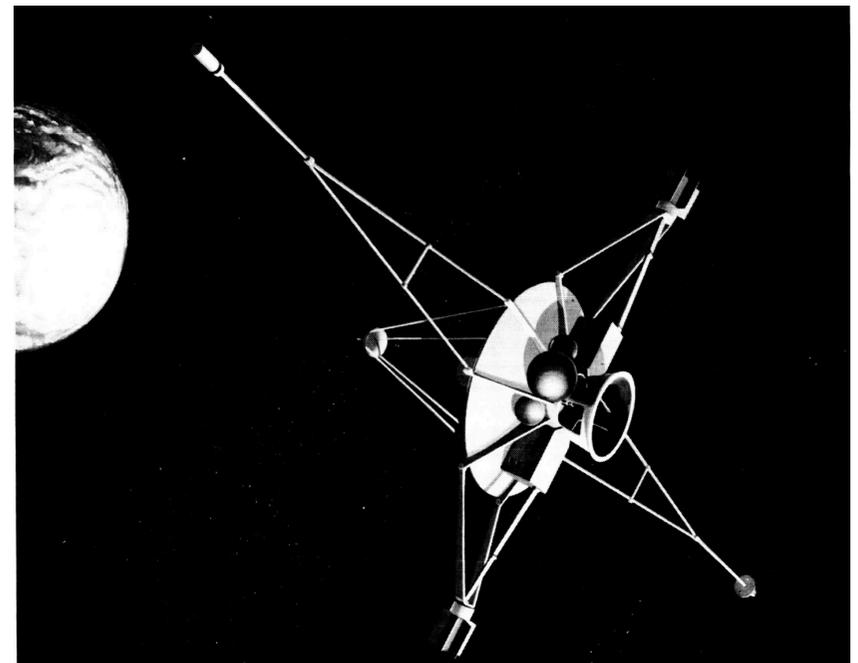




## Vers la première exploration des planètes supérieures

Au milieu des années 1960, chaque centre étudie des missions visant des objectifs plus éloignés dans le système solaire :

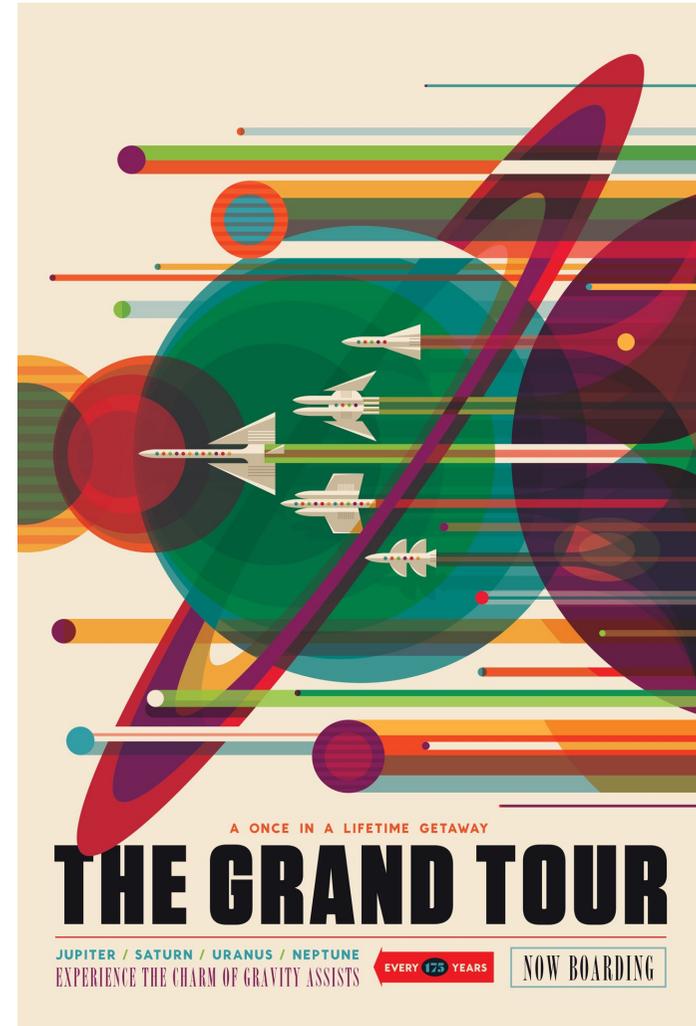
- Le centre de recherche Ames débute la conception de deux nouvelles sondes spatiales, ***Pioneer F et Pioneer G***, avec un programme d'étude du milieu interplanétaire jusqu'à 4 unités astronomiques
- Le centre Goddard étudie la mission ***Galactic Jupiter Probe***, dont les objectifs comprennent l'exploration de la ceinture d'astéroïdes et de l'environnement autour de la planète Jupiter. Le centre Goddard propose de construire quatre sondes spatiales de 300 kg lancées par paires, pour un budget total de 100 M\$.





## Vers la première exploration des planètes supérieures

- Le JPL propose de son côté la mission **Navigator**, un projet de sonde spatiale particulièrement ambitieux, avec une masse de 1 000 kg et un ensemble très complet d'instruments scientifiques.
- Ce projet est remplacé par le programme **Grand Tour** qui doit permettre à des sondes spatiales, grâce à l'assistance gravitationnelle, de survoler plusieurs des planètes supérieures





## Sélection de la mission

- A la même époque, l'Académie nationale des sciences des États-Unis donne, dans un rapport, une priorité maximale à l'étude de la planète Jupiter.
- Sur ces bases, la NASA décide en 1967 de modifier l'objectif des missions *Pioneer F* et *G* pour y inclure l'étude de la planète géante et de rattacher celles-ci au JPL .
- Parallèlement, l'agence spatiale annule le projet ***Galactic Jupiter Probe*** du Centre spatial Goddard, jugé trop coûteux
- La NASA décide d'équiper les sondes Pionner F et G de RTG envisagés par le centre Goddard.





## Sélection de la mission

- Un groupe de travail, baptisé *Outer Space Panel* et présidé par James Van Allen, est mis en place pour définir les objectifs scientifiques qui seront assignés à ces deux sondes
- Le JPL est chargé de définir les caractéristiques techniques de ces sondes spatiales.
- Le projet *Pioneer Jupiter* est lancé officiellement par la NASA en février 1969.

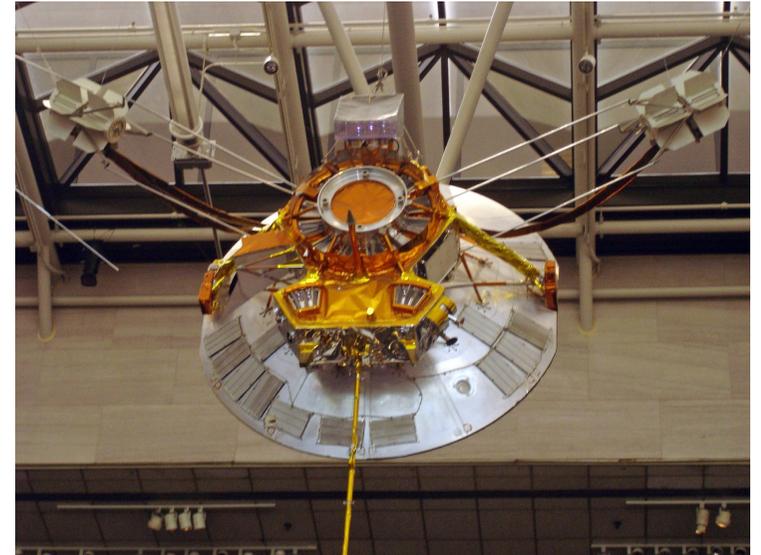


La société **TRW** est sélectionnée pour fabriquer les sondes *Pioneer F* et *Pioneer G*.



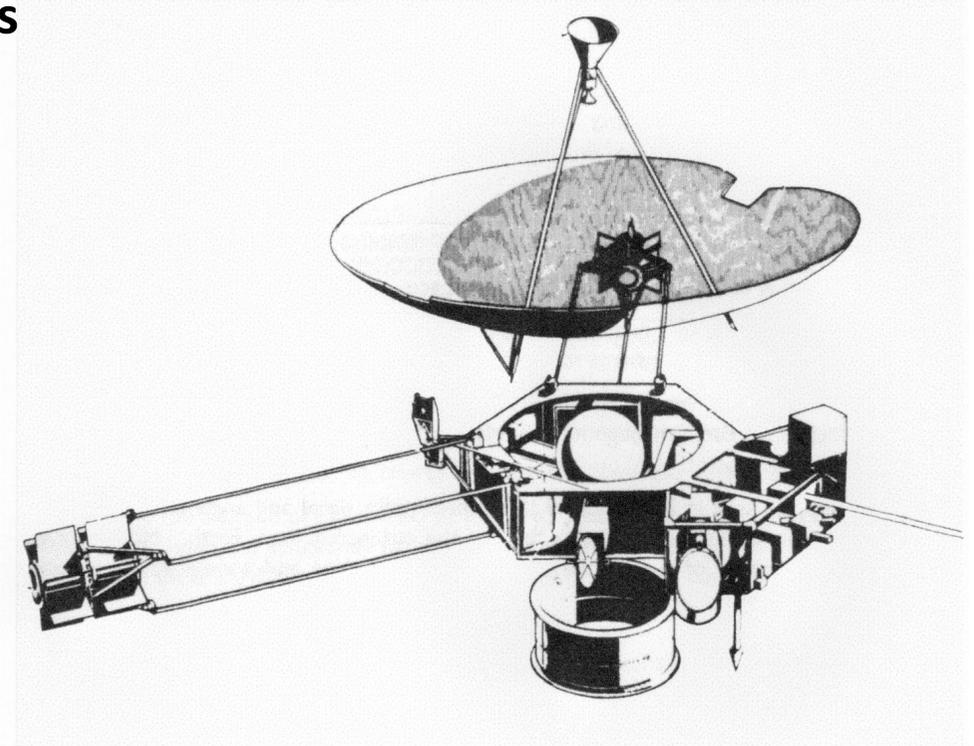
## La mission de Pioneer 10 et 11

- Etude du milieu interplanétaire au-delà de l'orbite de la planète Mars
- Evaluation du risque de collision dans la ceinture d'astéroïdes
- Etude de la planète Jupiter et son environnement.
- La première sonde spatiale *Pioneer 10* est prévue de jouer un rôle d'éclaireur en effectuant la première traversée de la ceinture d'astéroïdes et le survol de Jupiter et de ses lunes.
- *La seconde sonde, Pioneer 11*, lancée un an plus tard, doit suivre initialement une trajectoire de même nature que sa sœur aînée mais ensuite de profiter l'assistance gravitationnelle de Jupiter pour se diriger vers Saturne et la survoler.
- Le lancement de ces sondes est assuré le lanceur Atlas-Centaur D surmonté d'un troisième étage à propergol solide Star 37E.
- Lancement prévu des Pioneer-10 et 11 dans la première moitié des années 1970.



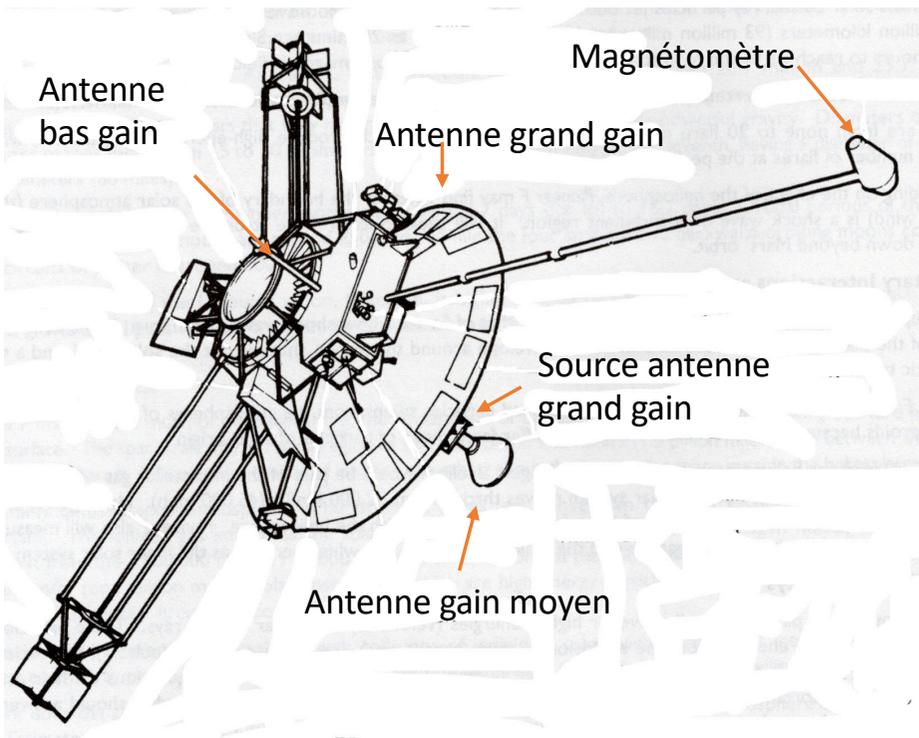
## Pioneer 10 - Caractéristiques techniques

- *Pioneer 10* est une sonde spatiale de petite taille d'une masse de 270 kg, dont 30 kg d'instruments scientifiques et 27 kg d'hydrazine.
- La sonde spatiale est stabilisé par rotation à une vitesse de 4,8 tours par minute.
- Pour ses corrections de trajectoire et le contrôle de son orientation, elle utilise 6 moteurs-fusées à ergols liquides placés par bloc de trois à la périphérie de l'antenne grand gain.
- Son énergie est fournie par quatre générateurs thermoélectriques à radioisotopes (RTG).
- La partie centrale de *Pioneer 10* est constituée d'un boîtier hexagonal de 36 cm de haut et de 142 cm de diamètre avec six faces larges de 76 cm. Il contient le réservoir d'hydrazine utilisé par les propulseurs, huit des onze instruments scientifiques, ainsi que l'ensemble des équipements nécessaires au fonctionnement de la sonde spatiale.
- À la base du boîtier se trouve l'adaptateur circulaire qui permet de fixer la sonde spatiale au sommet du dernier étage du lanceur Atlas-Centaur.



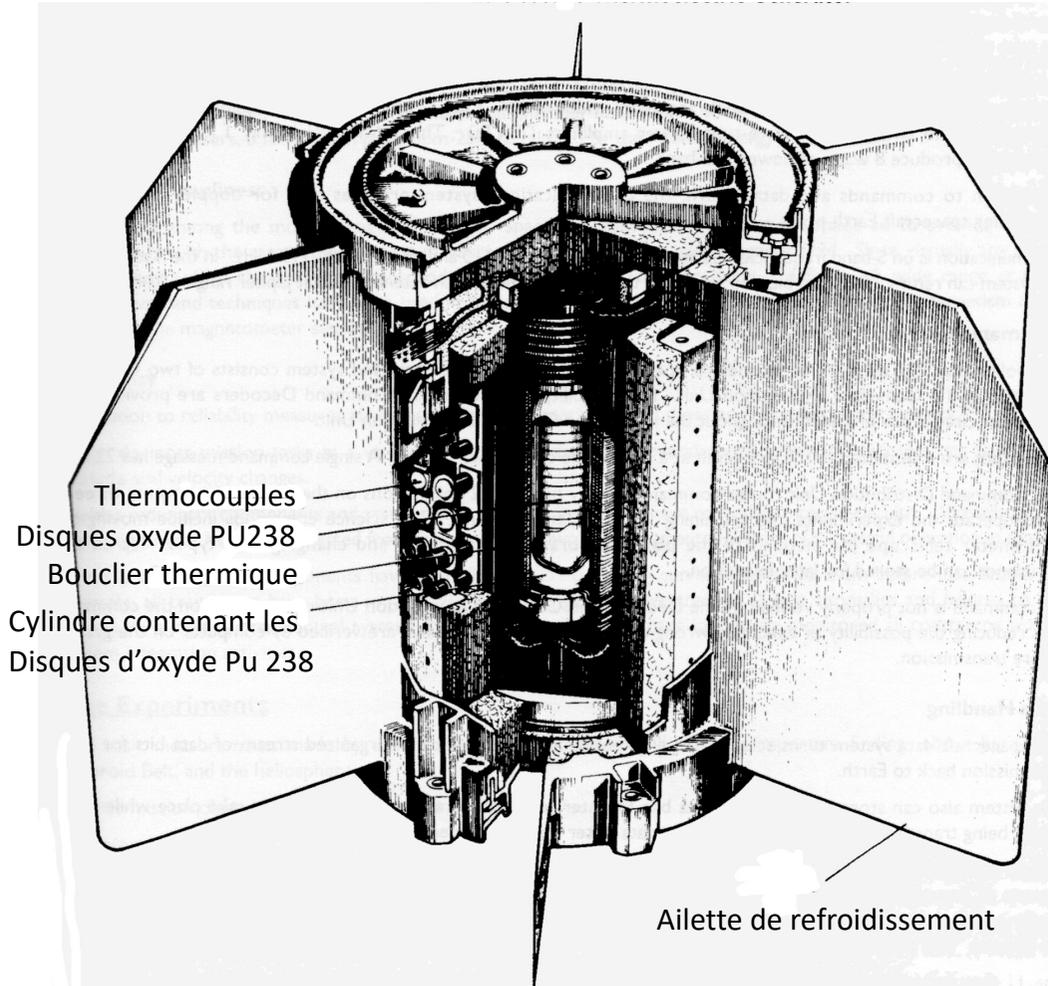


## Pioneer 10 - Caractéristiques techniques



- Une antenne parabolique de 2,74 mètres de diamètre est fixée sur l'une des faces du boîtier. Transmission des données avec un débit compris entre 2 048 Bits/s au niveau de la ceinture d'astéroïdes et 1024 bits/s au niveau de Jupiter.
- De l'antenne moyen gain installée au sommet de l'antenne parabolique jusqu'à l'antenne faible gain omnidirectionnelle installée à la base, la sonde spatiale mesure 2,7 mètres de haut.
- Les capteurs du magnétomètre sont fixés sur un mât long de 5,2 mètres pour les éloigner de la masse métallique de la sonde spatiale, qui perturbe également les mesures.
- Les mâts portant les RTGs ont une longueur de 2,7 m.

## Pioneer-10 - Énergie



- Au niveau de Jupiter (5 UA), le flux électromagnétique fournit par le Soleil est 25 fois inférieur à celui disponible au niveau de l'orbite terrestre.
- Le rendement des panneaux solaires à l'époque est tel que leur taille serait rédhibitoire et la NASA choisit pour la première fois sur ses sondes spatiales de les remplacer par des générateurs thermoélectriques à radio-isotope (RTG)
- Chaque RTG utilisent 90 thermocouples permettant de générer 39 Watts d'énergie électrique au lancement
- Chaque RTG pèse 14 kg et dispose de 6 ailettes de refroidissement.
- 4 RTG nécessaires pour satisfaire les besoins en énergie de Pioneer 10 (100 Watts)

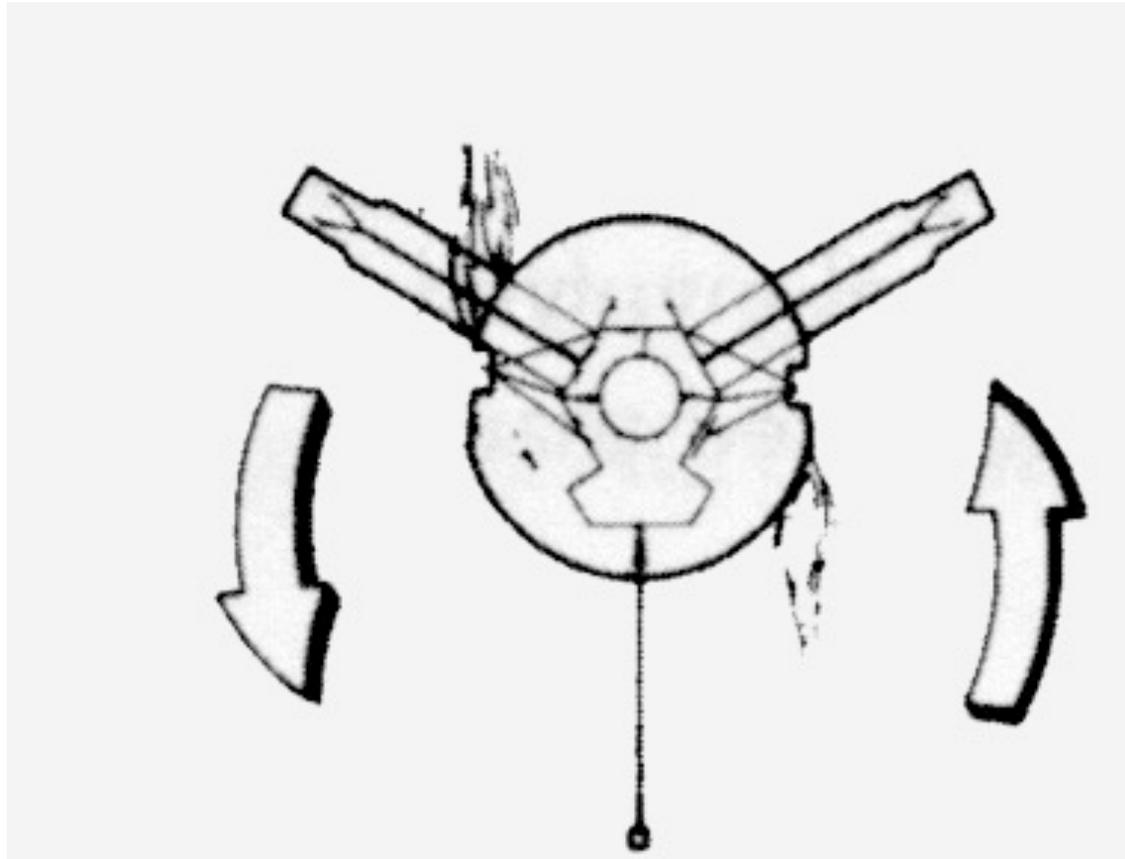


## Pioneer 10 - Contrôle d'attitude et correction de la trajectoire

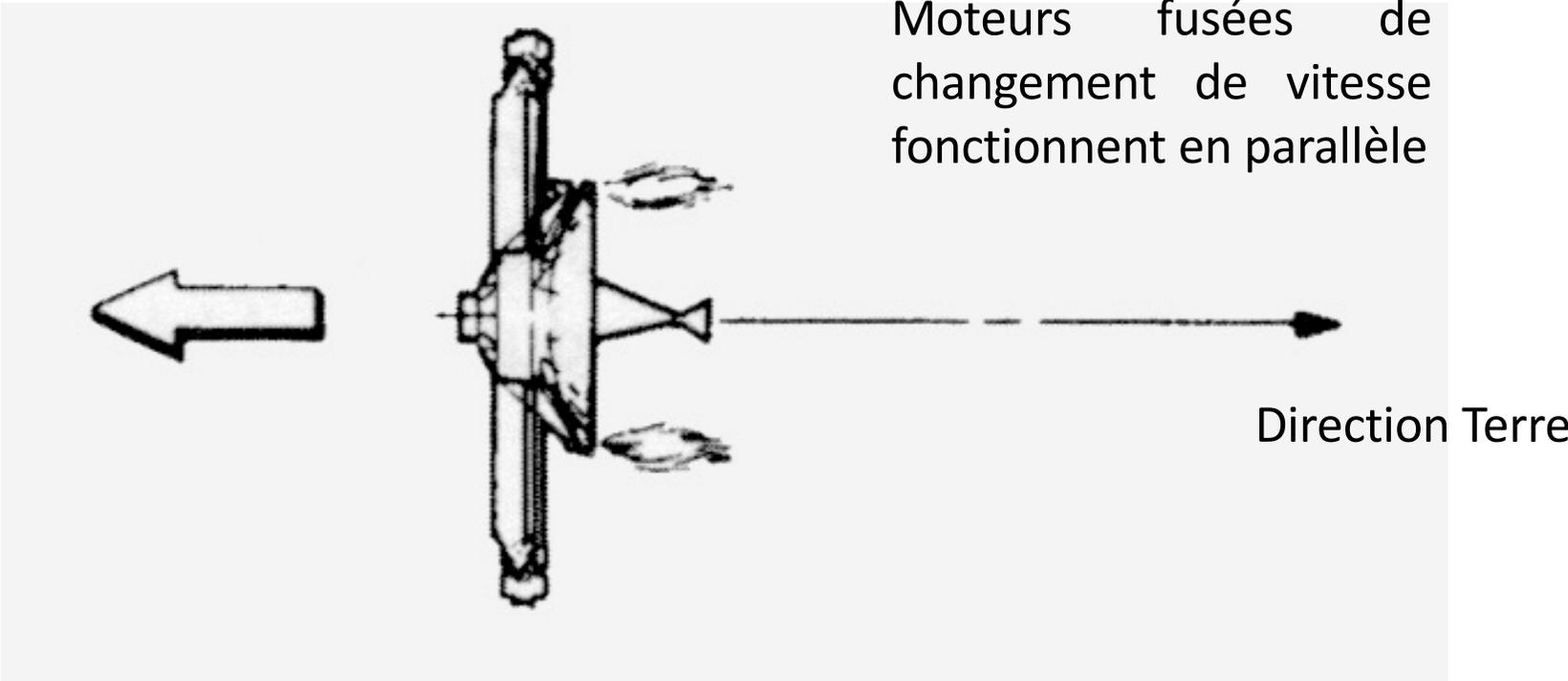
- Stabilisée par rotation (4,8 RPM), Pioneer 10 dispose de trois paires de moteurs-fusées à propergol liquide (hydrazine) de poussée allant de 1,5 à 6,2 Newtons lui permettant d'assurer les manœuvres de changement de trajectoire, de changement d'attitude et de maintien de la vitesse de spin. Ces moteurs sont placés sur le bord de l'antenne parabolique par groupe de 3.
- Embarquant 27 kilogrammes d'hydrazine, Pioneer 10 possède une capacité de changement de trajectoire de 187,5 m/s, de 1200° pour le changement d'attitude et de 50 tours/minute pour le contrôle de la vitesse de spin.
- L'orientation est déterminée à l'aide de capteurs déterminant la position du Soleil et de l'étoile Canopus et contrôlée par un dispositif appelé CONSCAN.



## Pioneer 10 - Contrôle vitesse de rotation



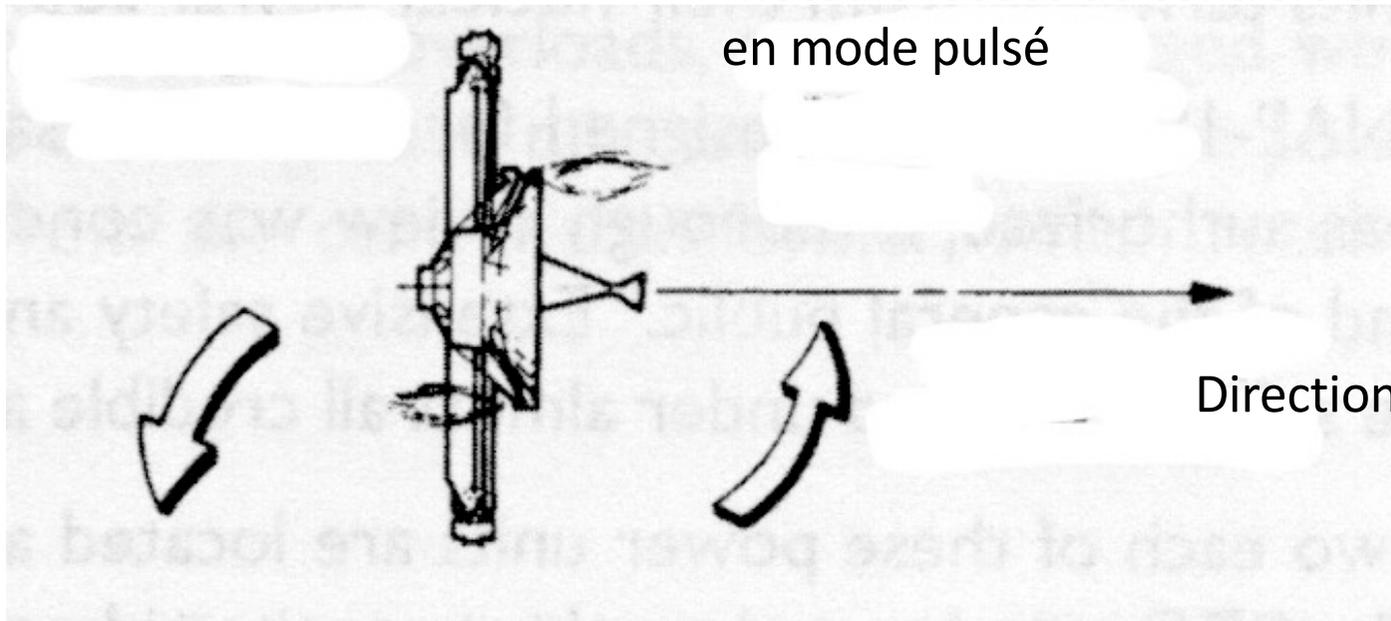
# Pioneer 10 - Correction de la trajectoire





## Pioneer 10 – Changement d'attitude

Moteurs fusées de contrôle d'attitude  
en mode pulsé



Direction Terre



## Pioneer 10 - Déclenchement des opérations à bord

Comme les sondes spatiales qui l'ont précédé, *Pioneer 10* ne dispose pas d'ordinateur de bord mais de deux unités de décodage des télécommandes envoyées par la Terre et d'une Unité de distribution des commandes .

Pour les phases critiques, cinq commandes peuvent être enregistrées à l'avance. La contrainte associée est que l'ensemble des opérations à exécuter doivent être préparées plusieurs mois à l'avance.

Les équipes au sol disposent de 222 commandes différentes pour contrôler la sonde :

- 73 pour la mise en œuvre des expériences scientifiques
- 149 pour le contrôle du reste des systèmes de la sonde

Les commandes sont envoyées à la sonde avec un débit de 1 bit de donnée par seconde. Un message de commande est constitué de 22 bits.

Capacité de stockage des données scientifiques et techniques à bord est de 49 152 bits. La sonde peut utiliser 11 formats différents de message de 192 bits de longueur pour la transmission.

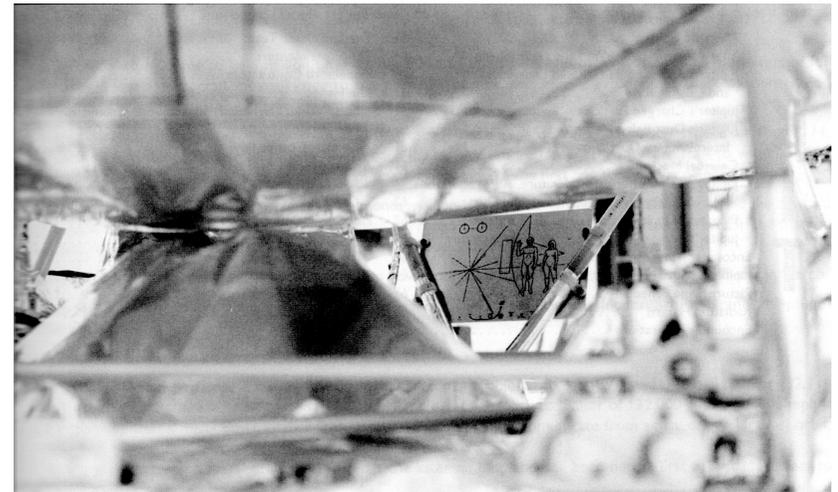
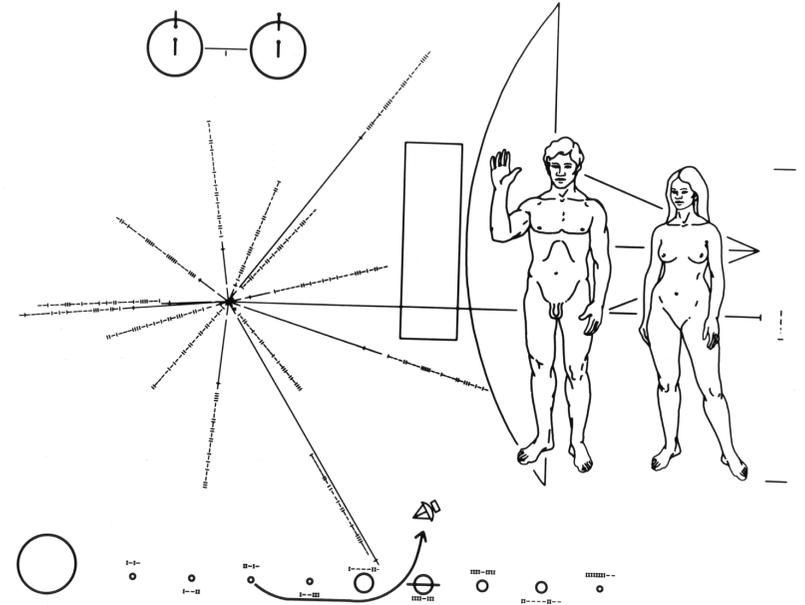


## Plaque de Pioneer 10

À l'initiative d'Eric Burgess, Carl Sagan et son épouse Salzman Sagan ont conçu un message destiné à communiquer des informations sur l'origine de la sonde spatiale à un hypothétique représentant d'une intelligence extraterrestre rencontrée sur son chemin.

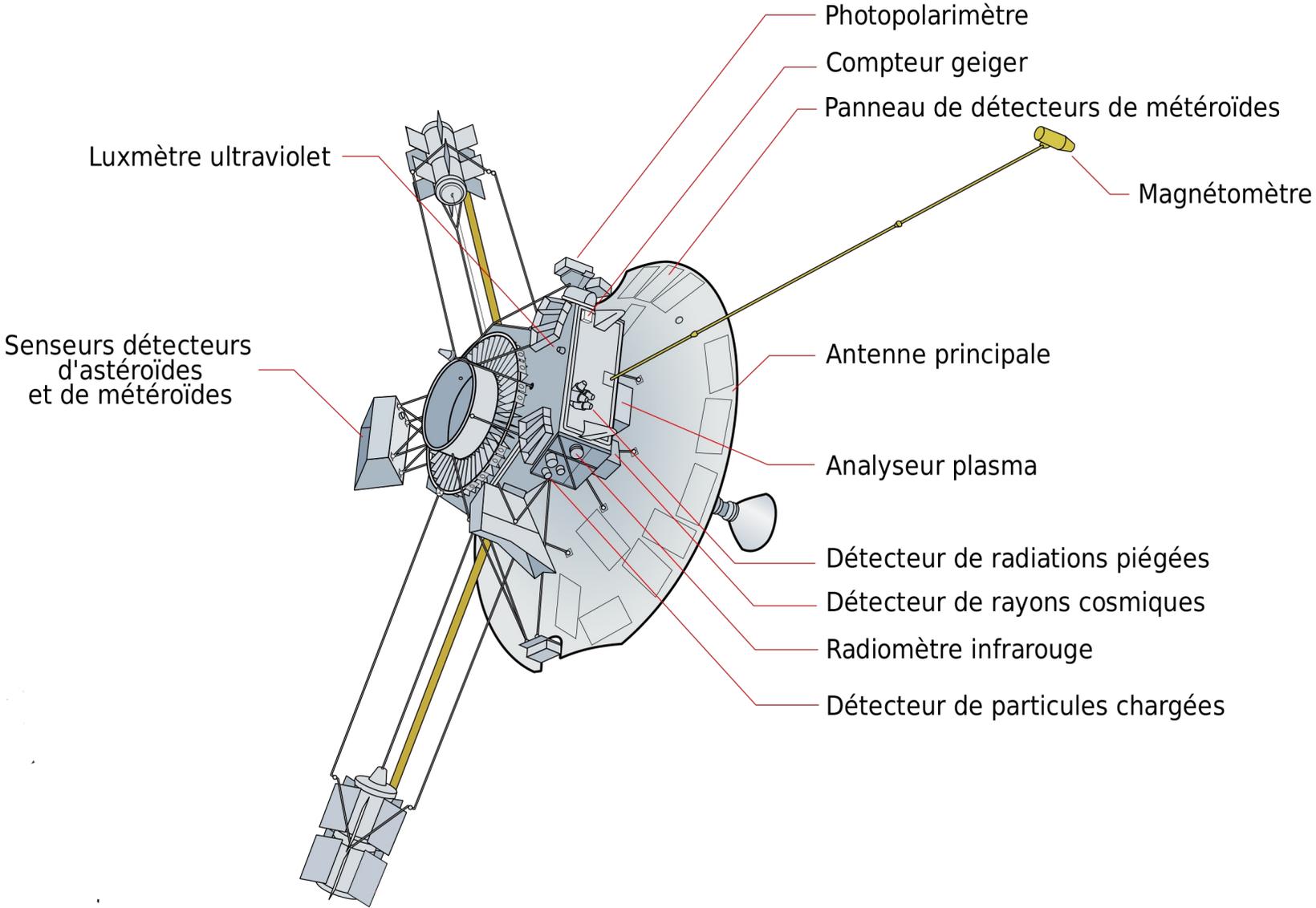
Le message, gravé sur une plaque d'aluminium dorée, fait figurer des représentations :

- d'un homme, d'une femme,
- du système solaire (avec la trajectoire approximative de la sonde),
- de la transition hyperfine d'un atome d'hydrogène,
- de la position relative du Soleil par rapport au centre de la galaxie et de 14 pulsars

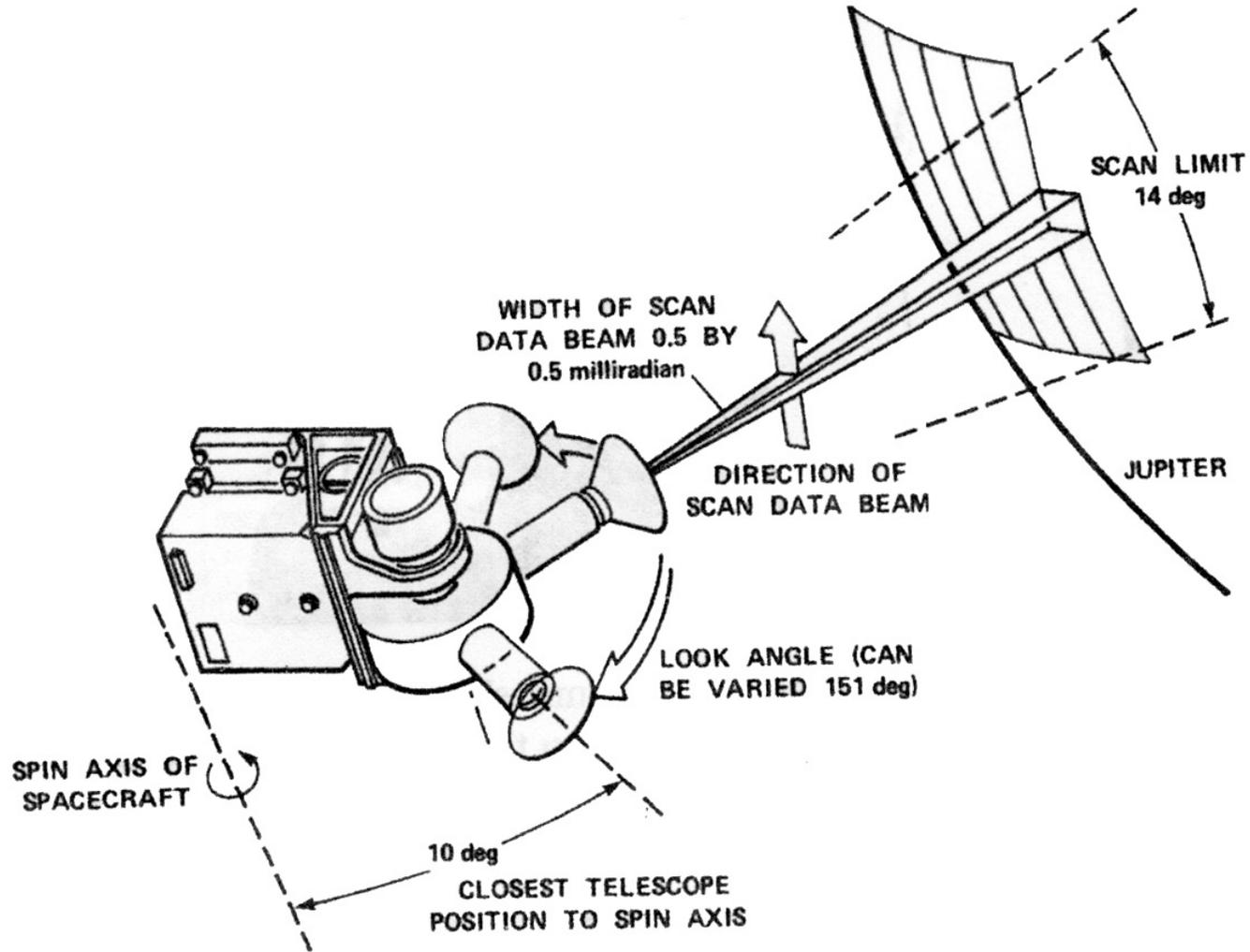




# Pioneer 10 – Les instruments scientifiques



# Pioneer 10 – Principe de fonctionnement du Photopolarimètre Imageur





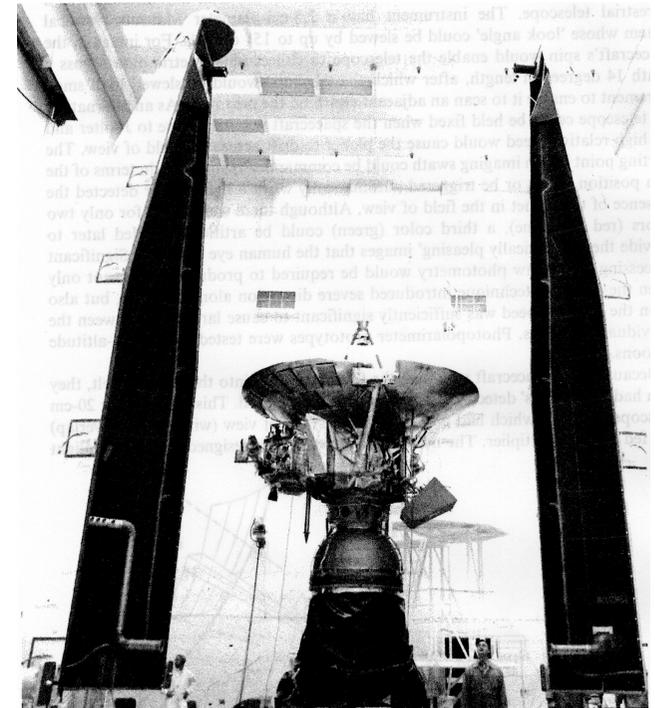
## Pioneer 10 – Déroulement de la mission

- Décembre 1971 – Erection du lanceur Atlas Centaur D (AC 27) sur le pad de tir 36 à Cap Canaveral
- Janvier 1972 – Transport par voie aérienne de Pioneer 10 de la Californie à Cap Canaveral
- Janvier – février 1972 :
  - Intégration des RTGs et remplissage réservoir d'hydrazine
  - Placement Pioneer 10 sur le moteur TEM-364-4 à propergol solide



## Pioneer 10 – Déroulement de la mission

- Décembre 1971 – Erection du lanceur Atlas Centaur D sur le pad de tir 36 à Cap Canaveral
- Janvier 1972 – Transport par voie aérienne de Pioneer 10 de la Californie à Cap Canaveral
- Janvier – février 1972 :
  - Intégration des RTGs et remplissage réservoir d'hydrazine
  - Placement Pioneer 10 sur le moteur TEM-364-4 à propergol solide
  - Mise sous coiffe de Pioneer 10





## Pioneer 10 – Déroutement de la mission

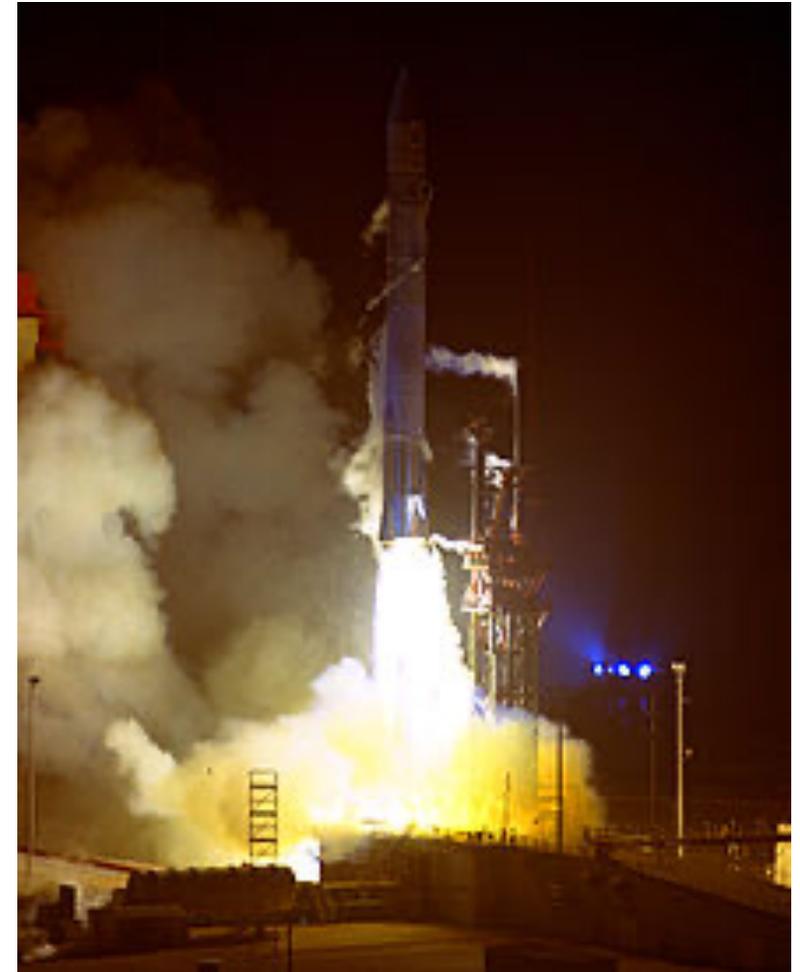
- Ouverture de la fenêtre de lancement le 25 février jusqu'au 20 mars
- Trois tentatives de lancement les 28 et 29 février et le 2 mars\*





## Pioneer 10 – Déroulement de la mission

- Ouverture de la fenêtre de lancement le 25 février jusqu'au 20 mars
- Trois tentatives de lancement les 28 et 28 février et le 2 mars à cause des vents à haute altitude
- 3 mars 1972 – 01 h 49 mn 04 UTC – Décollage Atlas Centaur
- 11 mn 46 s après le décollage, fin de fonctionnement de l'étage Centaur. La vitesse est de 10 262 m/s et l'altitude est de 161 km.
- Mise en rotation à 21 tours par minute de l'étage Centaur avant le largage du moteur TEM-364-4 surmonté de Pioneer 10
- 13 mn 11 s après le décollage, mise à feu de l'étage TEM-364-4.
- 13 mn 55 s après le décollage, fin de fonctionnement de l'étage TEM-364-4, la vitesse est de 14,356 km/s \*





## Pioneer 10 – Déroulement de la mission

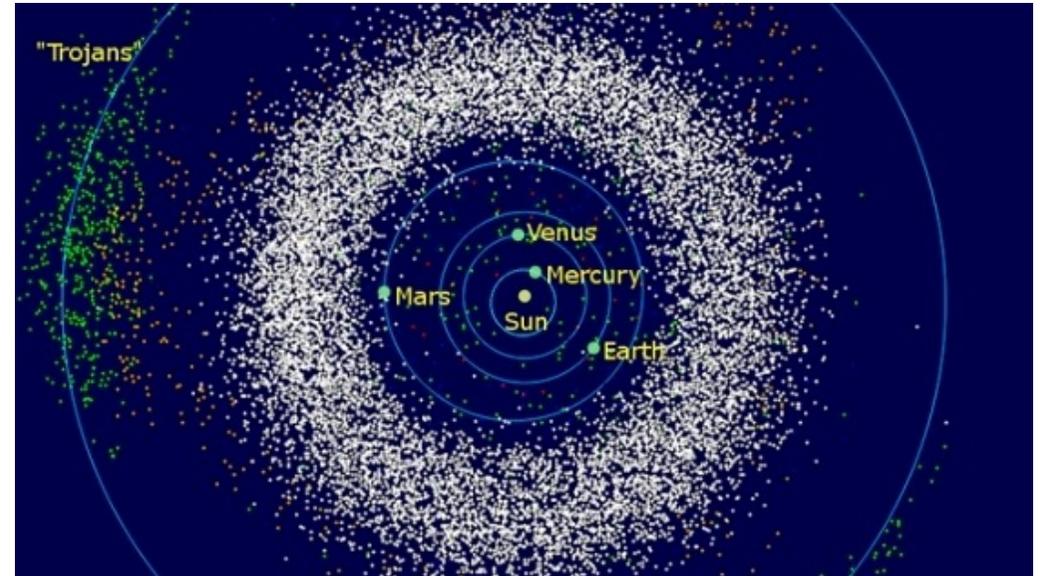
- Largage du moteur TEM-364-4 et déploiement des deux poutres portant les paires de RTG et du mât portant le magnétomètre.
- Ce déploiement permet de réduire la vitesse de rotation de Pioneer 10 à 5 tours par minute.
- 11 h 40 mn après le décollage, Pioneer 10 franchit l'orbite lunaire
- Le 5 mars, alors que Pioneer 10 est à 1,6 millions de km de la Terre, les contrôleurs au sol ajustent à 4,8 tours par minutes la rotation de la sonde.
- Le 7 mars, alors que Pioneer 10 est à 3,6 millions de km de la Terre, les contrôleurs au sol lancent une première correction de trajectoire. La manœuvre, qui dure 8 mn 07 s, permet de modifier la vitesse de Pioneer 10 de 14 m/s.
- Le 26 mars, deuxième correction de vitesse de 3,3 m/s.





## Pioneer 10 – Traversée de la ceinture principale d'astéroïdes

- 15 juillet 1972, entrée de Pioneer 10 dans la ceinture principale d'astéroïdes
- Croisement à 9 millions de km de deux astéroïdes :
  - 2 août 1972 un astéroïde d'une taille d'1 km non encore baptisé
  - 2 décembre 1972 l'astéroïde Nike (307) d'une taille de 58 km

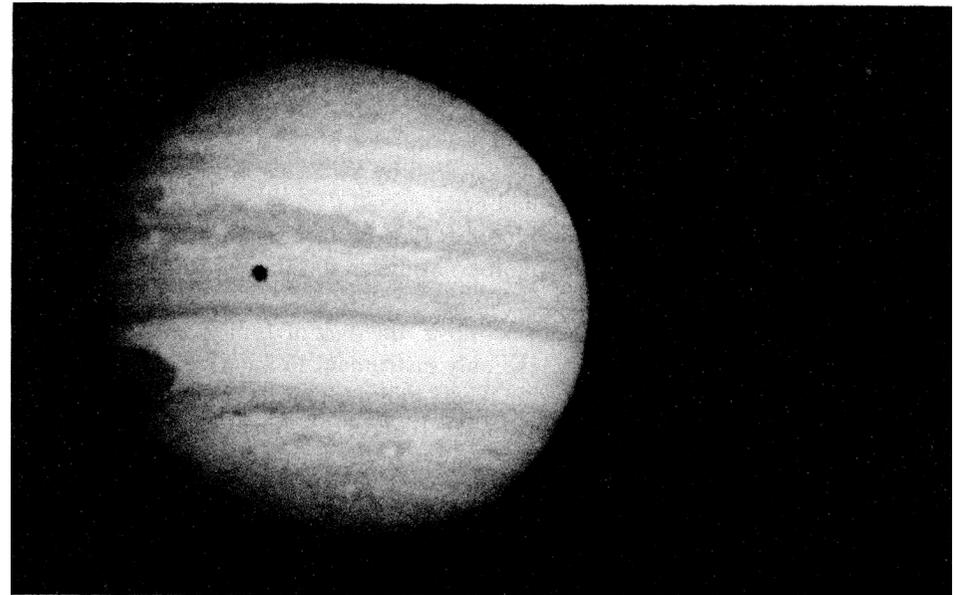


- Le détecteur d'astéroïdes « Sisiphus » enregistre 283 événements (détection supposée d'astéroïdes) mais les données collectées sont insuffisantes pour déterminer l'orbite de ces objets \*
- Pendant cette traversée, les détecteurs de micrométéorites enregistrent 55 impacts malgré la défaillance de 126 sur 234 cellules de détection\*\*
- Pendant cette traversée, le photopolarimètre imageur prouve l'origine « astéroïdale » de la lumière zodiacale en détectant une chute brutale de la luminosité dès la sortie de la ceinture principale d'astéroïdes en février 1973



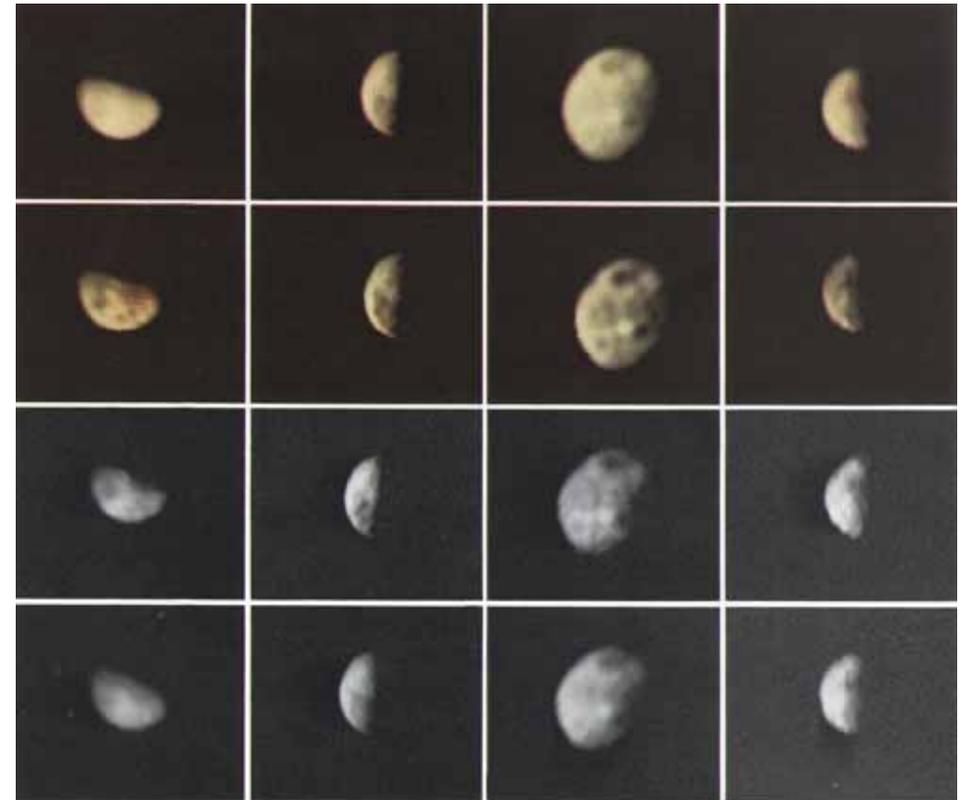
## Pioneer 10 – Le survol de Jupiter

- 6 novembre 1973, première prise de vue de Jupiter alors que la sonde est à 25 millions de km de la planète géante
- 8 novembre 1973, Pioneer 10 croise l'orbite du satellite naturel Sinope,
- 26 novembre 1973, alors qu'elle est à 6,4 millions de km (109 Rj) de Jupiter, Pioneer 10 traverse la zone de choc entre le vent solaire et la magnétosphère jovienne \*
- 2 décembre 1973, Pioneer 10 commence à prendre des images dont la résolution est meilleure que celle des télescopes terrestres malgré un fonctionnement parfois erratique du photopolarimètre
- 16 h avec le passage au périapsis, Pioneer 10 passe à 1,42 millions de km de Callisto.



## Pioneer 10 – Le survol de Jupiter

- 4 heures plus tard Pioneer 10 s'approche à 440 000 km de Ganymède
- 6,4 heures avant son passage au periapsis la sonde passe à 330 000 km d'Europe
- 3,3 heures avant le passage au plus près de Jupiter, Pioneer 10 passe enfin à 340 000 km d'Io
- 2 heures avant le passage au peripasis, le disque de Jupiter entre dans le champ de vision du radiomètre infrarouge qui va mesurer pendant 82 minutes la température au sommet des nuages joviens.



IO



EUROPA



GANYMEDE



CALLISTO



## Pioneer 10 – Le survol de Jupiter

- Le 4 décembre 1973 à 2 h 26 UTC, Pioneer 10 passe à seulement 132 000 km au-dessus des nuages de Jupiter à une vitesse relative de 35 km/s.
- Les mesures de vitesse et de trajectographie conduisent les scientifiques à réviser légèrement à la baisse la masse de la plus grosse planète du système solaire.
- 10 minutes après son passage au periapsis, la sonde survole à une distance de 30 000 km le petit satellite Amalthea.
- 6 minutes après, le satellite IO occulte la liaison entre Pioneer 10 et la Terre pendant 1 minute\*
- 78 minutes après le passage au periapsis, Pioneer 10 passe derrière Jupiter
- La NASA considère la fin du survol le 2 janvier 1974 alors que la sonde sort de la magnétosphère jovienne.





## Pioneer 10 – Vers la sortie du système solaire

- 13 juin 1983 – Pioneer 10 dépasse l'orbite de Neptune, planète la plus éloignée du Soleil à l'époque
- 31 mars 1997 – La NASA décide la fin de la mission de Pioneer 10
- 2 mars 2002 – Réception réussie pendant 39 mn de la télémesure transmise par Pioneer 10 alors qu'elle se trouve à une distance de 79,83 UA.
- 27 avril 2002 – Dernière réception réussie de télémesure en provenance de Pioneer 10. Durée 33 mn. La sonde se trouve alors à 12 milliards de km.
- 23 janvier 2003 – Dernière réception d'un signal très faible,
- 7 février 2003 – Tentative infructueuse de contact avec la sonde
- 4 mars 2006 – Dernière tentative de contact sans succès





## Pioneer 10 – Principaux résultats scientifiques de la mission

- Découverte que Jupiter comme le Soleil dégage un excédent significatif de chaleur
- Première mesure de la proportion d'hélium présent dans l'atmosphère de Jupiter
- Estimation de la température de l'atmosphère et réalisation d'une première carte de la pression atmosphérique (à 0,03 bar, la température est de  $-163$  °C)
- Mesures du champ de gravité permettant d'évaluer la densité de Jupiter. Cela permet d'en déduire que la planète ne dispose que d'un très petit noyau rocheux, voire aucun
- Mesure de la taille et de la masse des quatre satellites galiléens. Première photo de ces lunes avec une résolution de 170 à 400 km par pixel
- Découverte d'une ionosphère autour de Io
- Observation de la Grande Tache rouge: celle-ci se situe au-dessus de la couverture nuageuse
- Découverte de la grande taille de la magnétosphère jovienne



## Bibliographie - Webographie

- Robotic Exploration of the Solar System – Part 1 – Golden Age 1957 - 1982 (Paolo Ulivi with David M. Harland) – Springer - Praxis
- Jupiter Odissey – The story of NASA's Galileo Mission – David M. Harland – Springer - Praxis
- NASA - Press kit Pioneer 10 – Release 72-25 – February 20, 1972
- NASA - Press kit Pioneer 10 Jupiter Encounter – Release 73-243 – November 19, 1973
- NASA – A New look at Jupiter – Results from the Pioneer 10 Mission to Jupiter – Release 74-238 – September 10, 19734
- Revue Air & Cosmos
- Revue Aviation Week & Space Technology
- Sites internet de la NASA (Ames, Goddard, JPL)

