

A black and white photograph of Saturn and its rings, with a small crescent moon in the foreground. The planet's rings are visible on the left side, and the planet's surface is partially visible. A thin line, likely a power line, crosses the image diagonally. The background is dark, suggesting a night sky.

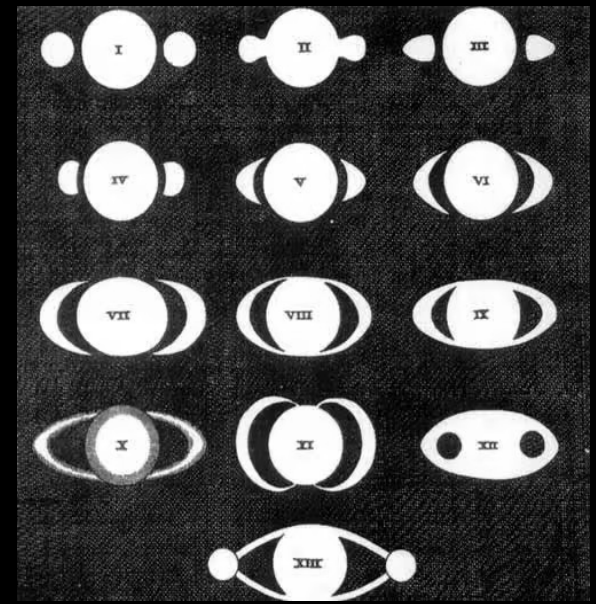
LES
MONDES DE
SATURNE

- **Présentation de Saturne : ses caractéristiques**
- **L'exploration spatiale : Pioneer, Voyager, Cassini-Huygens**
- **L'atmosphère de Saturne**
- **Les anneaux de Saturne**
- **Les satellites de saturne**
- **Titan**



PRESENTATION DE SATURNE :

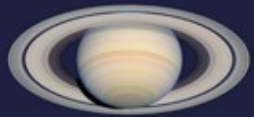
- Elle est située à environ 10 UA du Soleil
- Une révolution dure presque 30 ans (29,5 ans)
- Une journée dure 10h39mn (10h32 ??!!)
- C'est la planète la plus aplatie (R= 60.000 km)
- Composée à 98 % en volume d'hydrogène et d'hélium,
- C'est la planète la moins dense du système solaire
- Sa densité moyenne est de 0,7g/cm³ pour 5,5 g/cm³ pour la terre



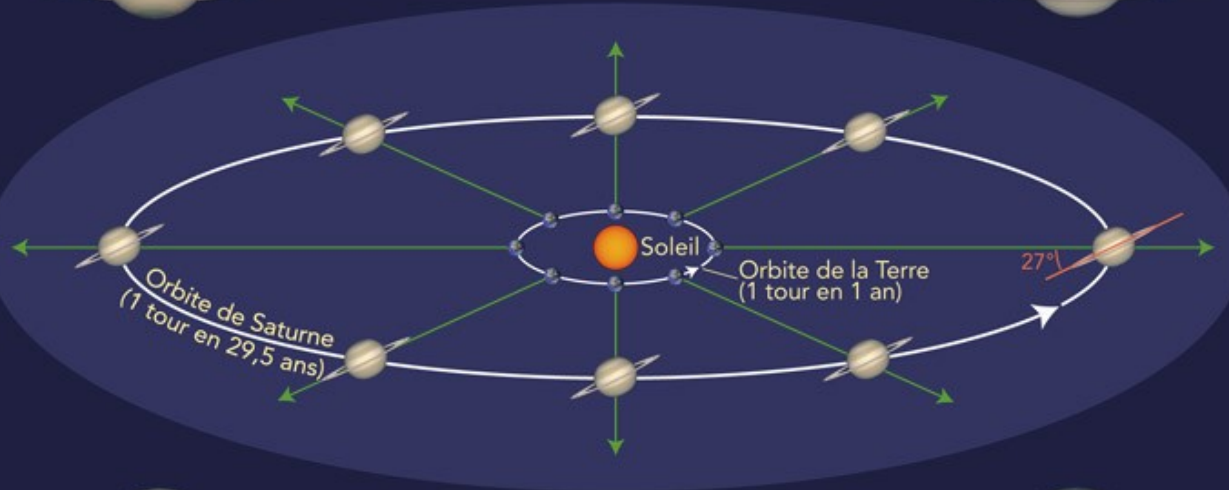
- En 1610 Galilée braque sa lunette vers Saturne
- Il croit observer un système de planètes triple
- Deux plus tard, les excroissances autour de Saturne ont disparues...

PRESENTATION DE SATURNE : les saisons de saturne

Les anneaux deviennent invisibles depuis la Terre



Les anneaux sont à leur maximum d'ouverture

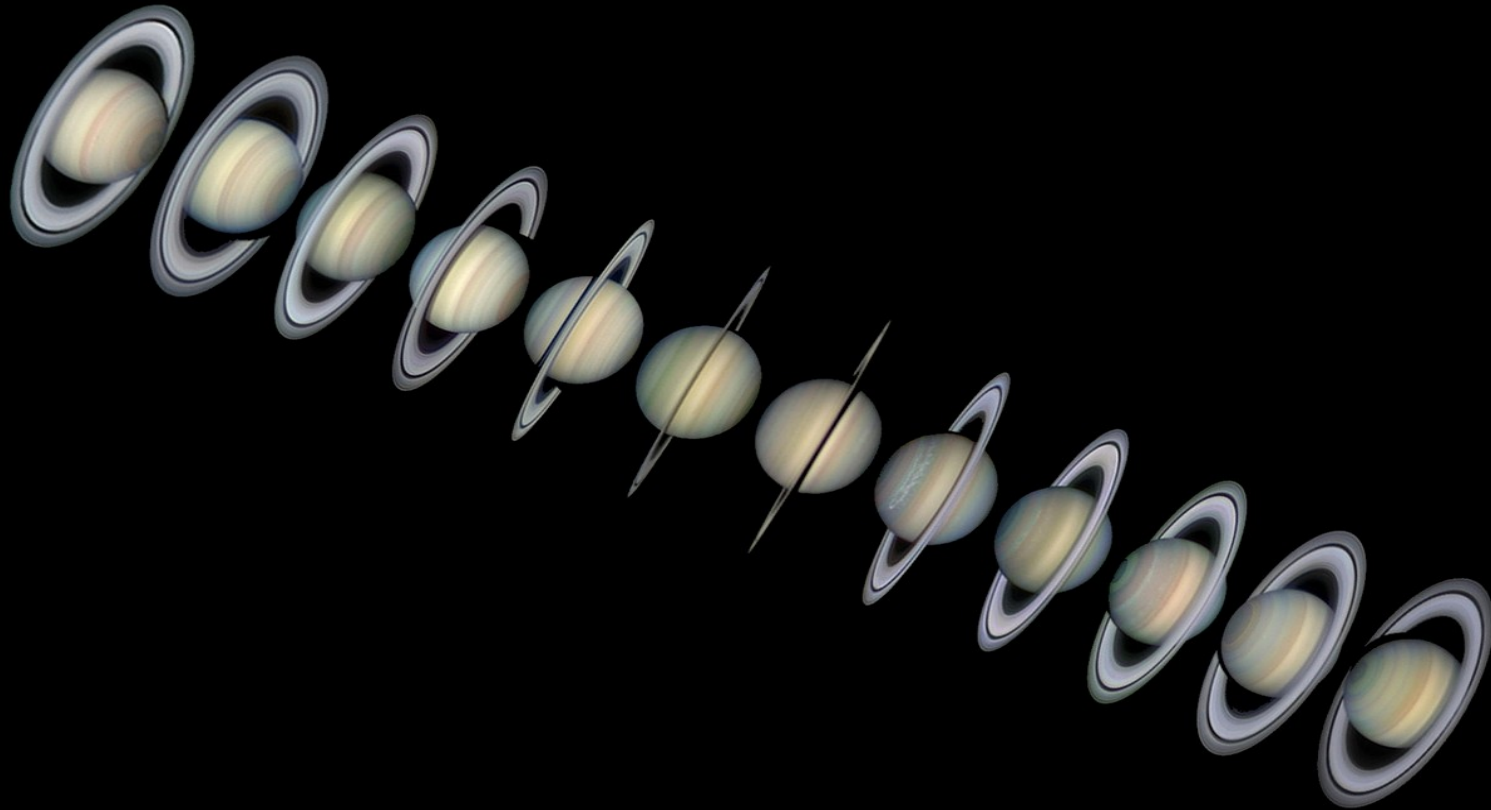


Les anneaux sont à leur maximum d'ouverture



Les anneaux deviennent invisibles depuis la Terre

PRESENTATION DE SATURNE : les inclinaisons des anneaux

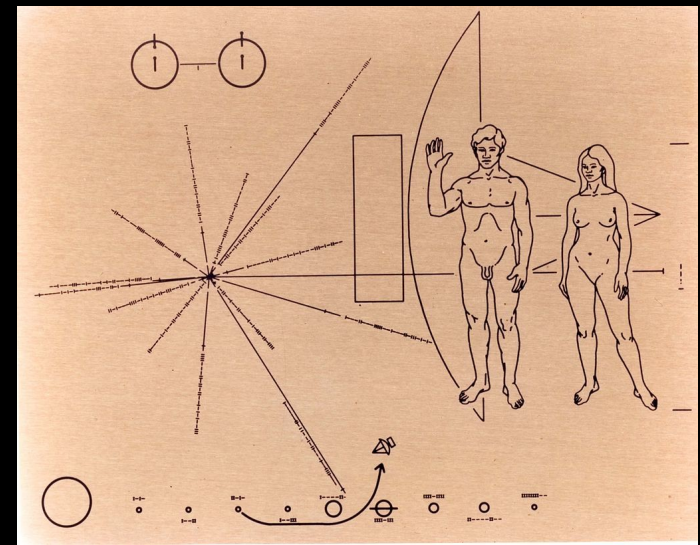


L'EXPLORATION SPATIALE :

- les sondes Pioneer - année 70
- En 1972 et 1973 les sondes Pioneer 10 et 11 sont envoyées vers Jupiter
- Elles font des découvertes surprenantes sur Titan

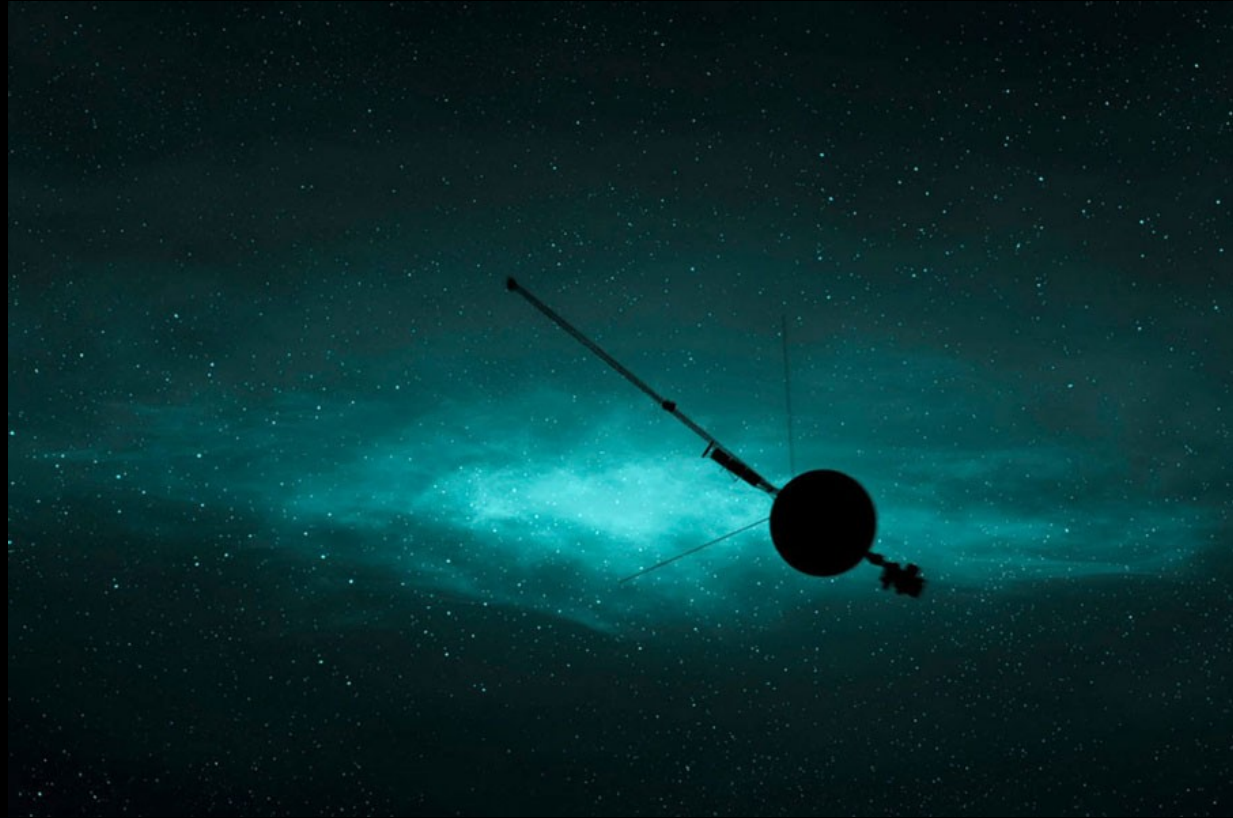
- les sondes Voyager – années 80
- A l'été 1977 les sondes Voyageurs 1 et 2 sont lancées
- La trajectoire de Voyager 1 est choisie pour survoler Titan
- Voyager 1 survole Saturne et Titan en novembre 80
- C'est la déception : une épaisse atmosphère orangée masque la surface de Titan
- Puis c'est l'excitation : une chimie de l'atmosphère de Titan proche de celle de la Terre...

- Et une foule d'autres observations passionnantes sur Saturne et ses satellites



L'EXPLORATION SPATIALE : le voyage des sondes

- Les sondes Voyager émettent encore
- Elles sont à 25 milliards de km de la Terre
- Elles quitteront le système solaire dans 28.000 ans (influence du champ gravitationnel du Soleil située à 2al, soit 19.000 milliard de km)
- Elles atteindront Proxima de Centaure dans 80.000 ans (4,2 al)



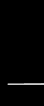
L'EXPLORATION SPATIALE : mission Cassini-Huygens (années 2000)

- Les sondes Pioneer et Voyager : trop vite, trop court
- Une coopération Nasa ESA débute en 1982
- Une sonde qui se met en orbite autour de Saturne : Cassini de la Nasa
- Un atterrisseur sur Titan : module Huygens de l'ESA
- Le lancement a lieu le 15 octobre 1997 pour sept ans de voyage
- Le 25 décembre 2004, le module Huygens est largué et atterrit en douceur le 14 janvier 2005 et fonctionne pendant 70 minutes
- La sonde Cassini restera plus de 13 ans en orbite : 294 orbites ; 127 survols de Titan à 950 km ; 23 survol d'Encelade à 25 km
- Le "*Grand Final*" le 15 septembre 2017, après 20 ans dans l'espace, Cassini plonge vers Saturne



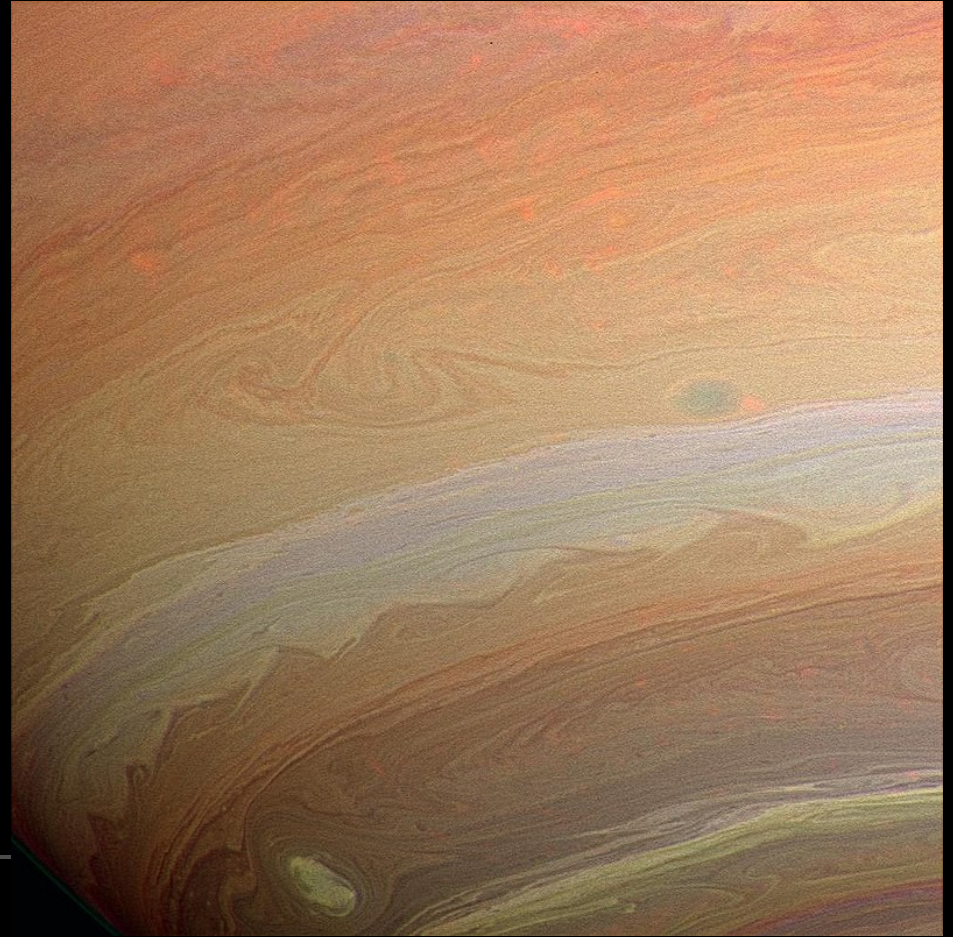
L'ATMOSPHERE DE SATURNE :

VENTS, ONDES ET TOURBILLONS



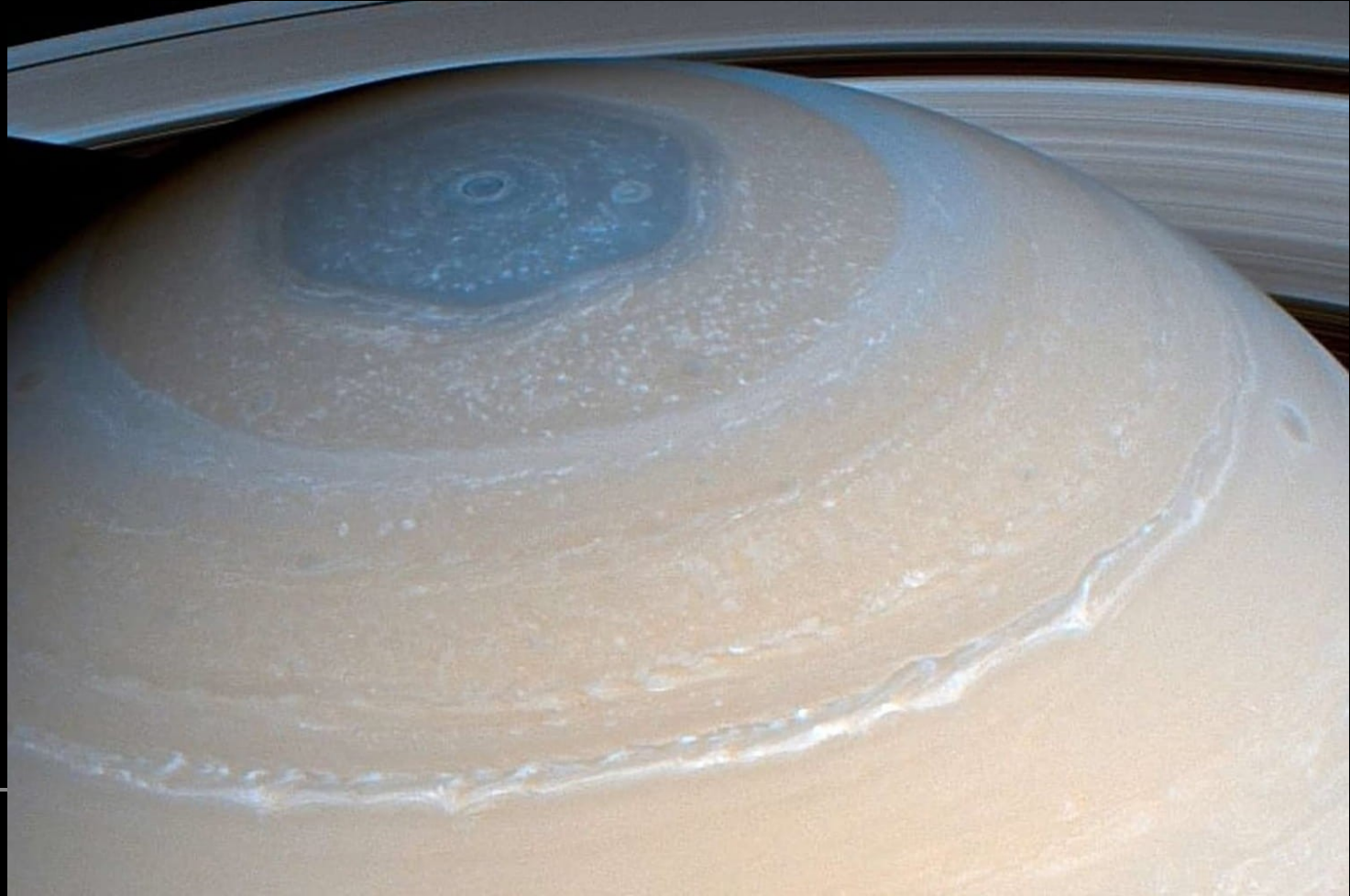
L'ATMOSPHERE DE SATURNE : Les vents

- De prime abord, Saturne présente une apparence plus lissée et uniforme que Jupiter.
- Une couche de brume de méthane gazeux masque l'activité météorologique
- La complexité et la richesse de la météorologie de Saturne rivalise avec celle de Jupiter
- Le régime de vent sur Saturne est constitué d'une alternance, selon la latitude, de puissants courants encerclant la planète et soufflant alternativement d'est en ouest et d'ouest en est
- Dans la région équatoriale, les courants atteignent les 1.500 km/h
- Aux autres latitudes, on dénombre 4 autres courants par hémisphère, aux vitesses plus modérées de l'ordre de 300 à 400 km/h



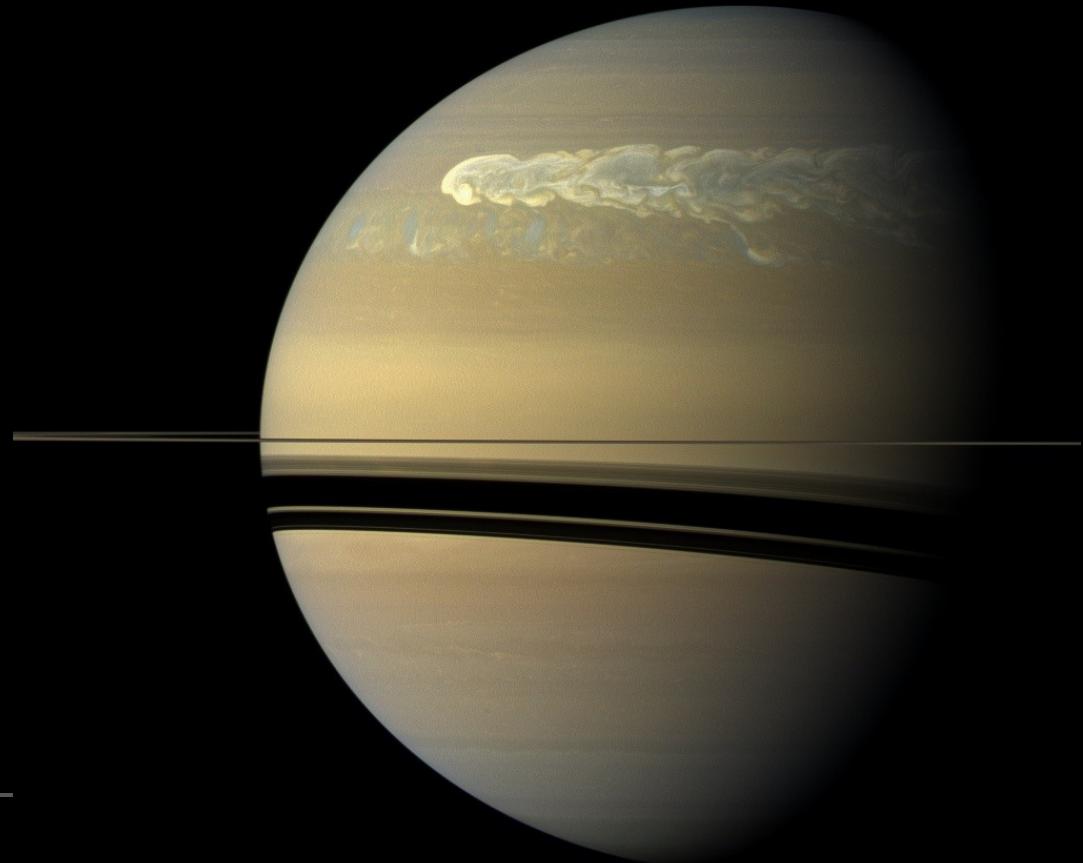
L'ATMOSPHERE DE SATURNE : les méandres du vent

- Un de ces courants prend la forme particulière d'un hexagone, mais seulement au pôle nord
- Cette forme est stable dans le temps et tourne avec la planète
- Cet hexagone est le résultat de vents qui effectuent des méandres qui suivent une sinusoïde très régulière autour de la planète



L'ATMOSPHERE DE SATURNE : avis de tempête

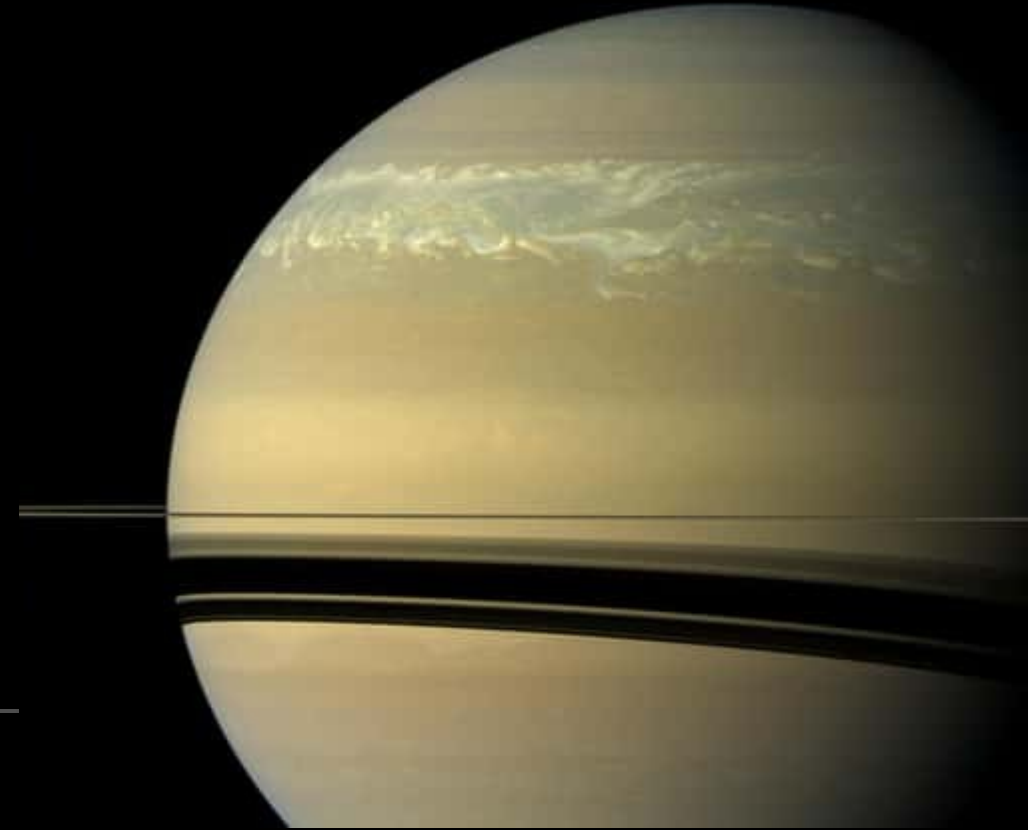
- Jupiter est connue pour abriter de nombreux cyclones et anticyclones (Grande tache Rouge)
- Saturne présente des épisodes orageux très violents mais moins fréquents que ceux de Jupiter (tous les 27 à 30 ans...)
- Ils sont dénommés les "Grandes Tâches Blanches"
- La couleur blanche indique qu'il s'agit de particules blanches peu polluées composées pour moitié d'ammoniaque (NH_3) et pour 1/4 de glace d'eau.
- C'est la première fois que de l'eau est détectée sur Saturne....



Tempête du 5 décembre 2010 photographiée par Cassini

L'ATMOSPHERE DE SATURNE : avis de tempête

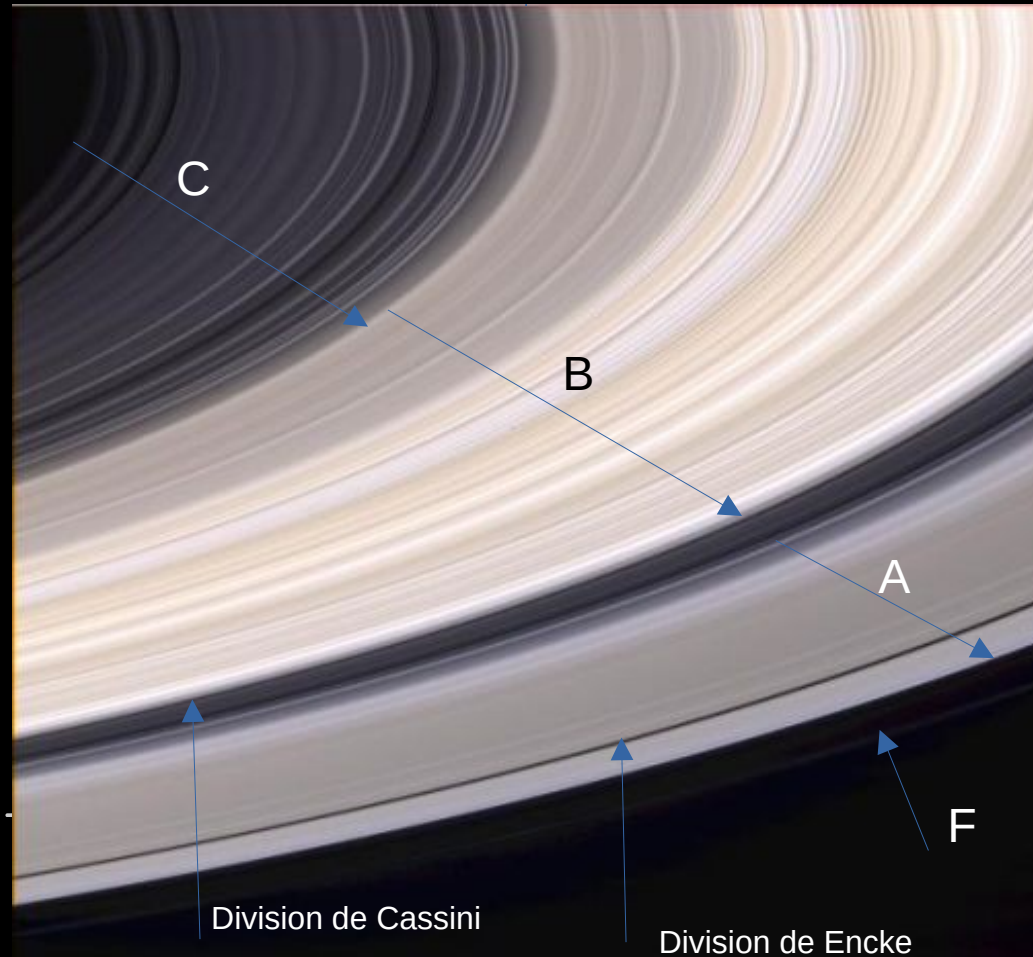
- Les tempêtes se développent très rapidement ($200 \text{ km}^2/\text{s}$)
- La tempête a fait le tour de la planète en quelques jours
- La fréquence des éclairs est très élevée : plusieurs par seconde durant des mois...
- La variation des vitesses des vents rend difficile l'estimation de la durée de rotation de la planète



LES ANNEAUX DE SATURNE



LES ANNEAUX DE SATURNE (de 1,2 à 2,3 rs)



- C : le plus sombre, presque transparent (l'anneau D plus interne et plus diffus)
- B : le plus clair, le plus brillant et le plus dense.
- A : un peu plus gris.
- F : extrêmement fin.
- La division de Cassini, entre les anneaux A et B n'est pas totalement vide.
- La division de Encke partage l'anneau A
- L'anneau E, très étendu, formé de particules de glace éjectées par Encelade qui s'étend jusqu'à 8 rayons de Saturne
- L'anneau G formé de poussières issues de l'érosion des surfaces des satellites
- L'anneau de Phoébé, gigantesque, qui a une rotation inverse de celle des satellites

LES ANNEAUX DE SATURNE

Les anneaux en vraie couleur

Cette photographie montre l'extraordinaire complexité des anneaux, qui semblent constitués de multiples anneaux concentriques.

Les limites externes comme internes des anneaux sont extrêmement nettes.

Les anneaux sont composés de blocs de glace d'environ 1 mm jusqu'à 10 m qui roulent les uns sur les autres

Ils sont très fins : quelques dizaines de mètres seulement pour un diamètre de 280.000 km

Ils sont composés à 97 % de glace d'eau



LES SATELLITES QUI FACONNENT LES ANNEAUX DE SATURNE

Des satellites « bergers » et des satellites « bûcherons »

Les satellites bergers qui confinent le anneaux

MIMAS pour l'anneau B

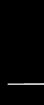
ATLAS pour l'anneau A (et G)

PANDORE pour l'anneau F

Les satellites bûcherons qui tronçonnent les anneaux

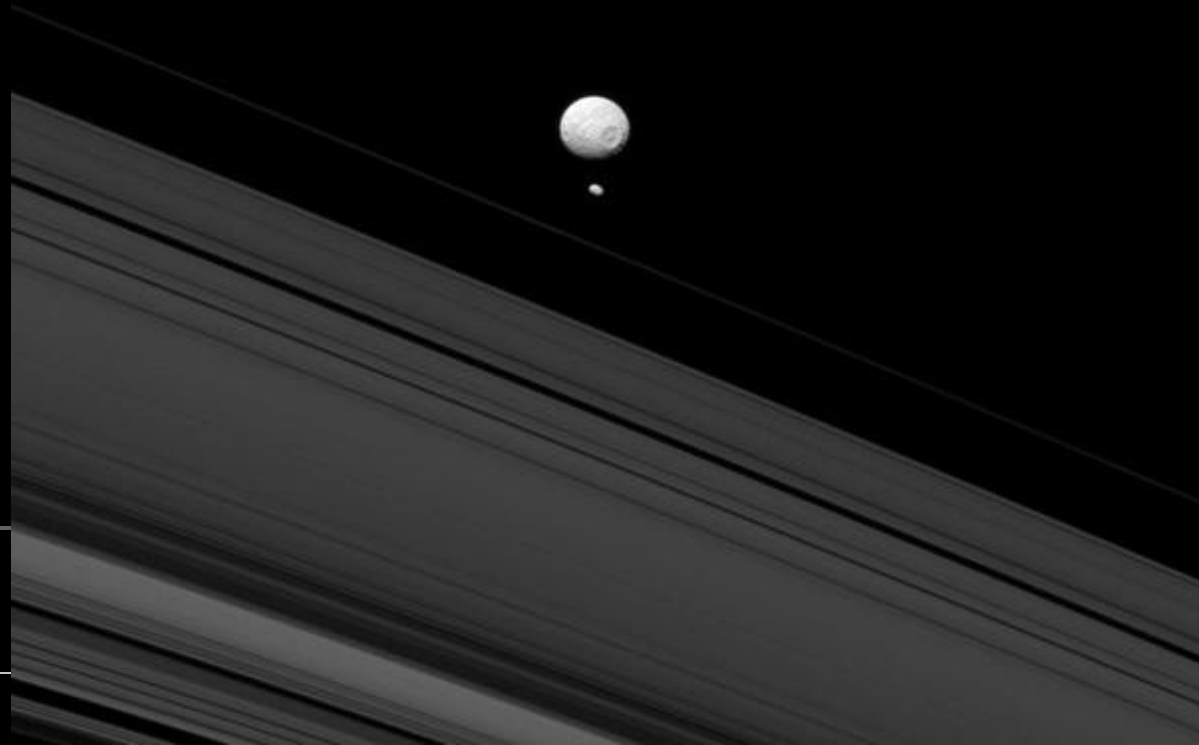
PAN et DAPHNEE pour l'anneau A

PROMETHEE l'anneau F



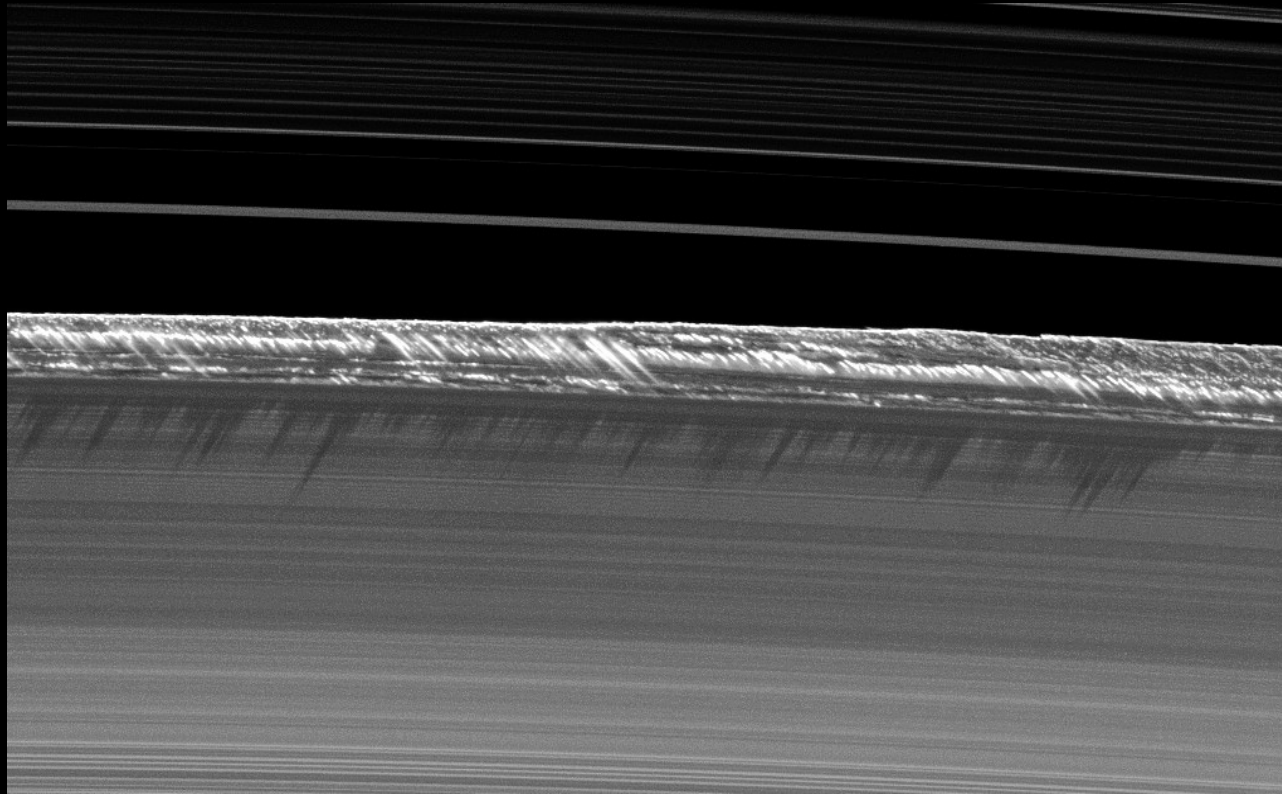
ANNEAU B

MIMAS le berger de l'anneau B, situé à l'extérieur des anneaux



Les effets de Mimas sur l'anneau B

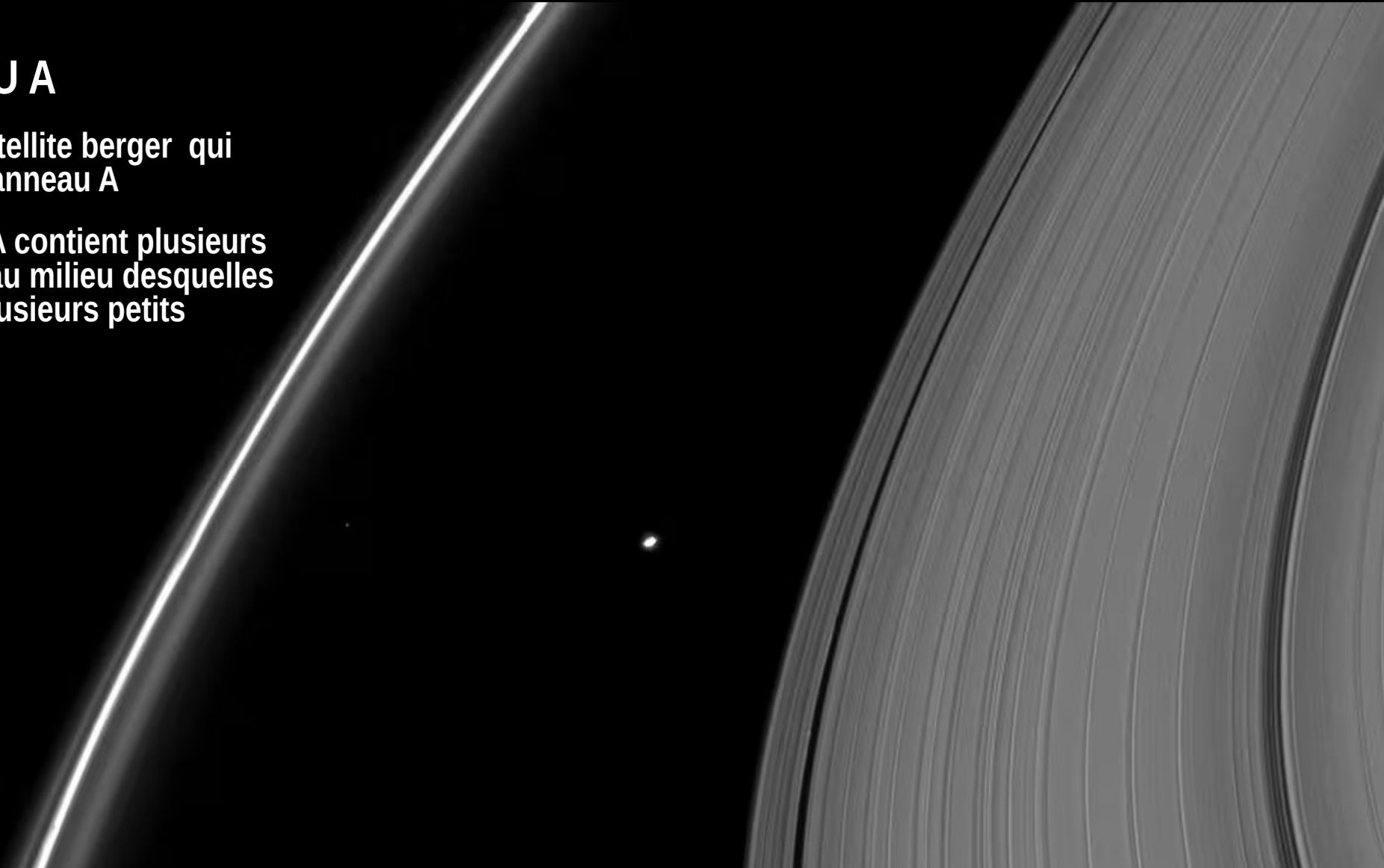
- L'anneau B s'arrête très brutalement : une bille de glace sur le bord externe est en résonance 2:1 avec MIMAS
- Au bord externe de l'anneau, de grandes structures verticales de 2,5 km sont le résultat de cet effet de confinement
- Au delà commence la division de Cassini qui contient de fins annelets séparés par des grands vides



ANNEAU A

ATLAS, satellite berger qui confine l'anneau A

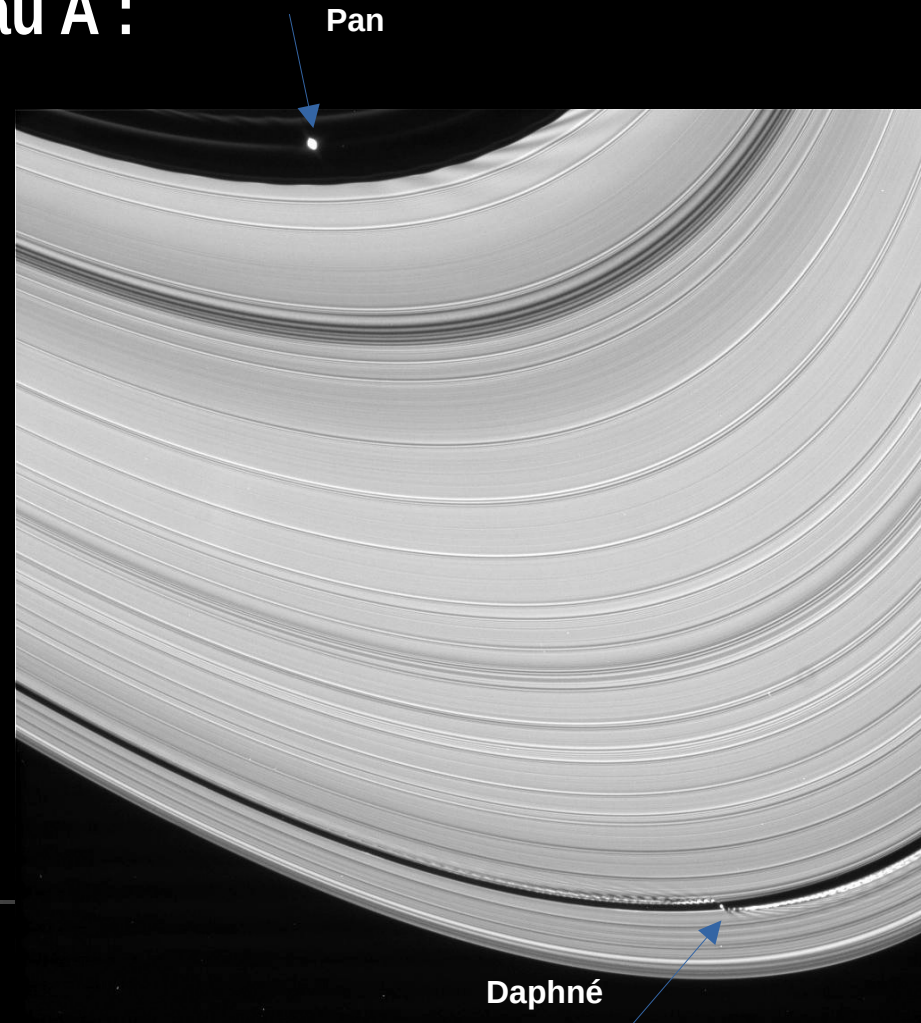
L'anneau A contient plusieurs divisions au milieu desquelles orbitent plusieurs petits satellites



Les petits satellites bûcherons de l'anneau A :

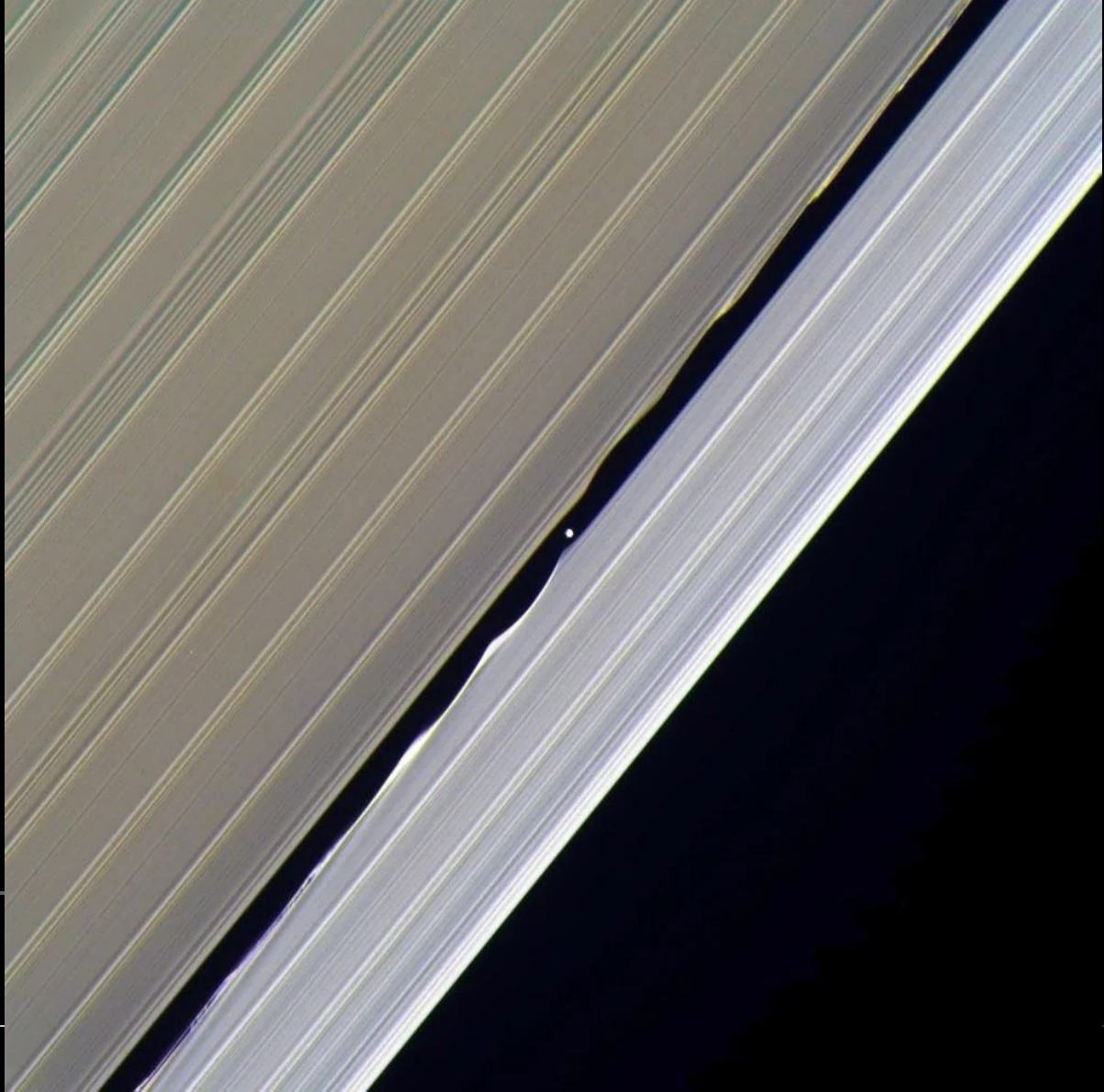
PAN, DAPHNÉ,

- PAN et DAPHNÉ orbitent dans des régions vides de l'anneau A
 - PAN (≈ 30 km) dans la division de Encke (320 km de large)
 - DAPHNÉ (≈ 9 km) dans la division de Keeler (35km) laisse des vagues dans les anneaux
 - Ils sont à l'origine de la division dans laquelle ils naviguent en faisant le ménage sur leur orbite
 - Le sillon est proportionnel à la taille du satellite
-
- ATLAS (≈ 30 km) est extérieur à l'anneau A et le confine en l'empêchant de s'étaler



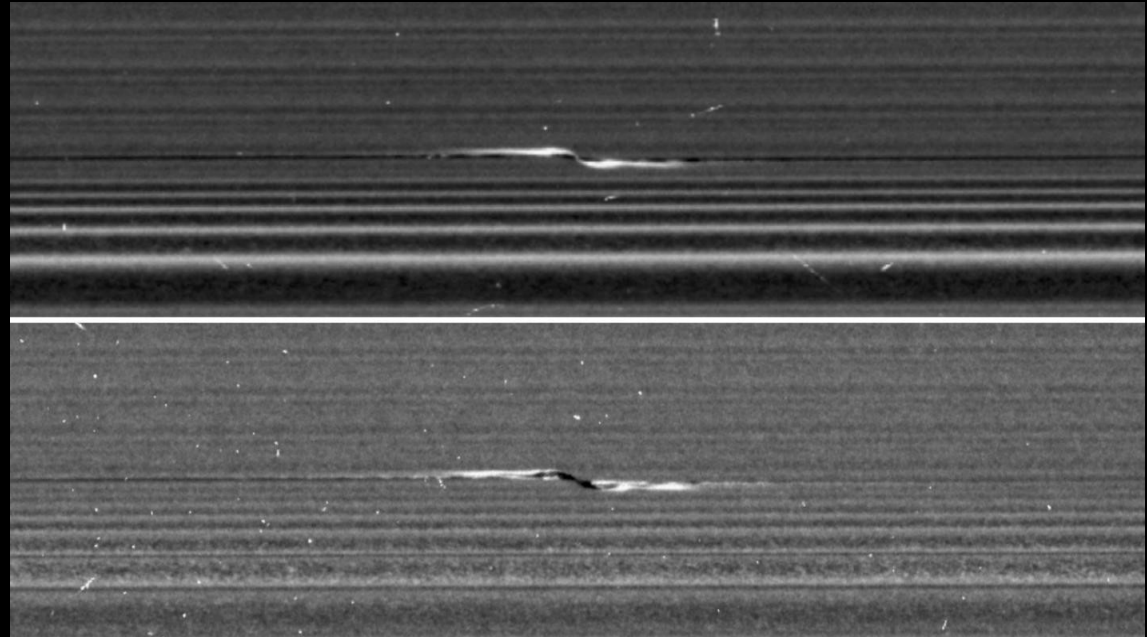
DAPHNÉ dans l'anneau A

Les ondes que génère DAPHNÉ dans
la division de Keeler



Une foule de mini-lunes dans l'anneau A

- L'anneau A abrite également des structures en forme d'hélice de quelques centaines de km de long (propeller)
- Ces hélices se forment autour de satellite de moins de 500 m pas assez massif pour nettoyer l'espace
- Les propellers trahissent la présence de centaine voire de millier de mini lunes dans l'anneau A



Hélice SANTOS- DUMONT dans l'anneau A 21 fevrier 2017

Les effets des satellites bergers et bûcherons sur l'anneau A

- L'anneau A est parcouru par d'étranges ondulations

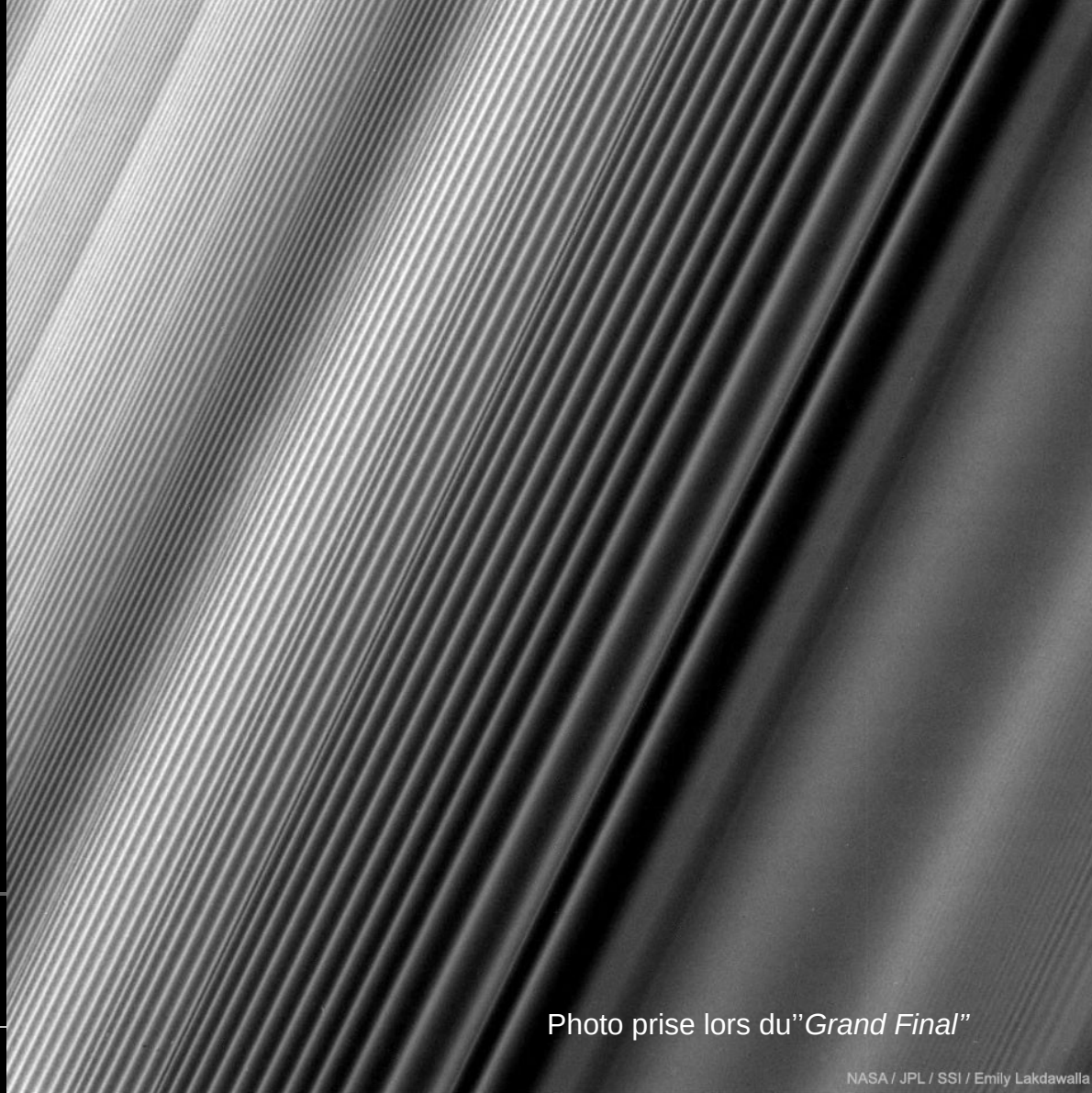
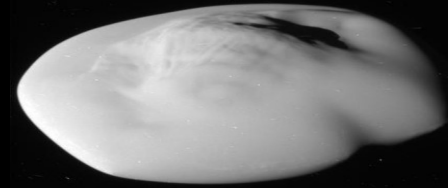


Photo prise lors du "Grand Final"

Les petits satellite de l'anneau A : PAN, DAPHNÉ, ATLAS

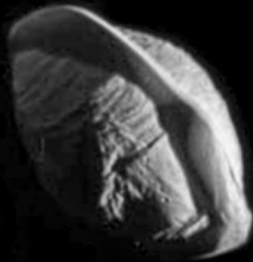
- ATLAS, PAN et DAPHNE sont entourés d'un surprenant bourrelet équatorial conférant une forme de soucoupe résultant de l'accrétion des particules de glace des anneaux , visiblement plus jeune que le noyau davantage cratérisé.



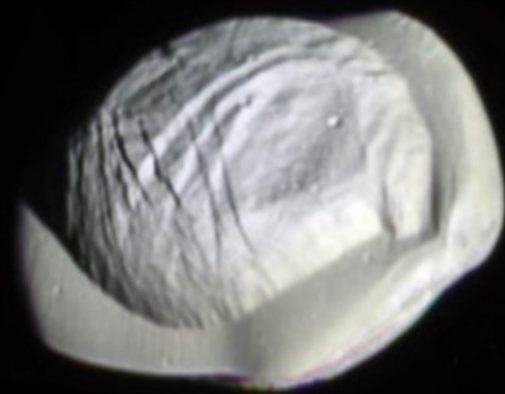
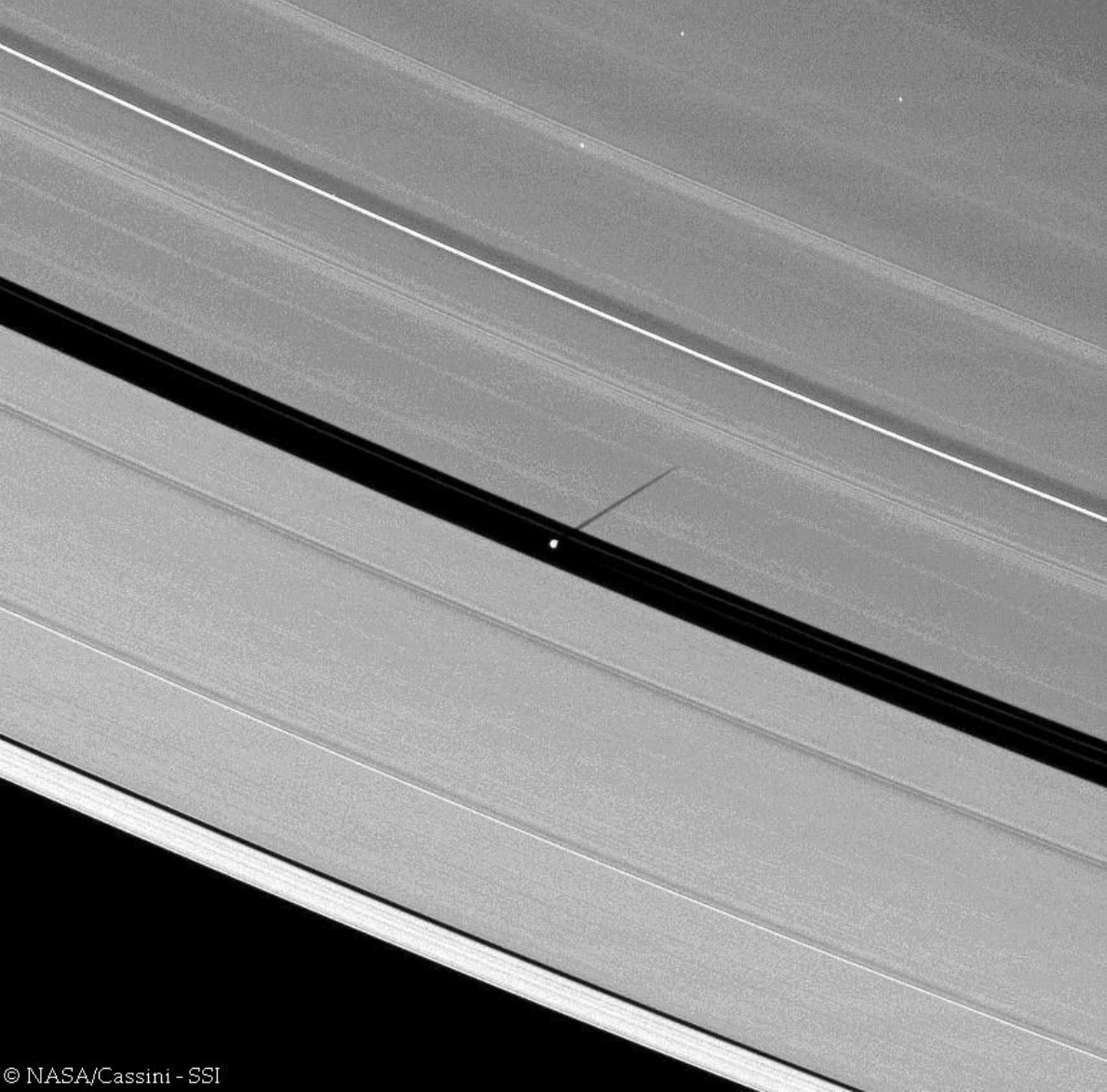
Atlas (février 2007- NASA)



Pan (7 mars 2017-NASA)

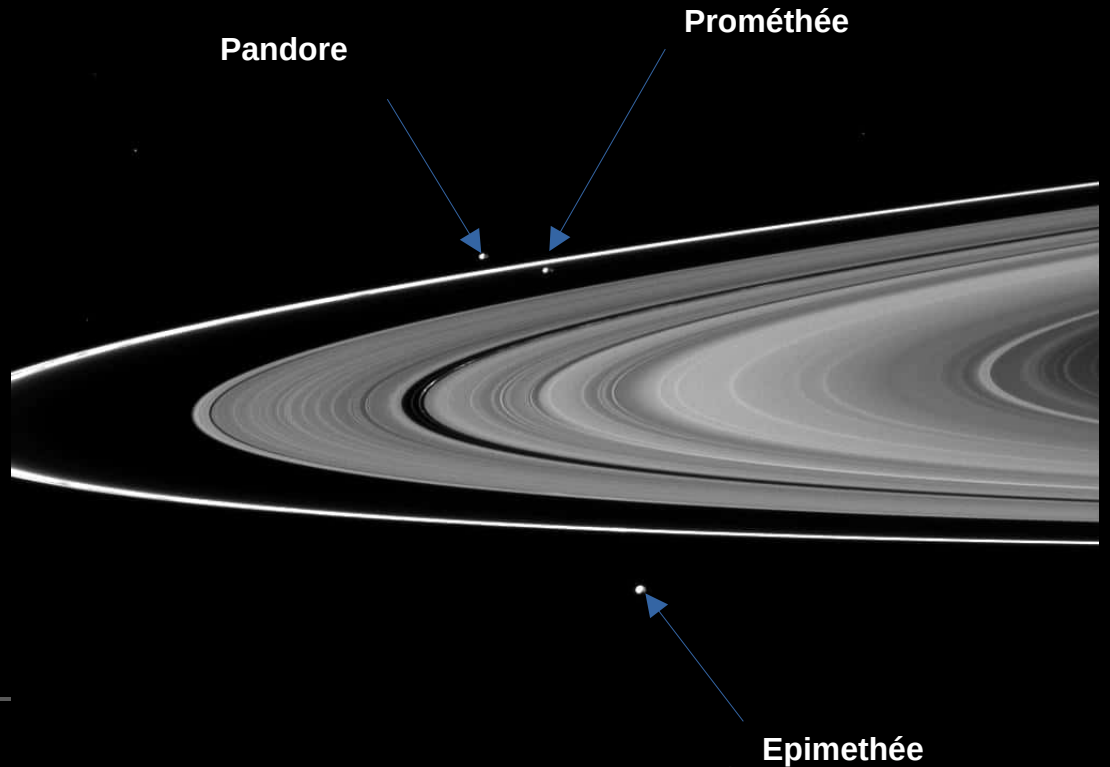


**L'ombre de PAN sur les anneaux
dans sa division de Encke**



L'ANNEAU F

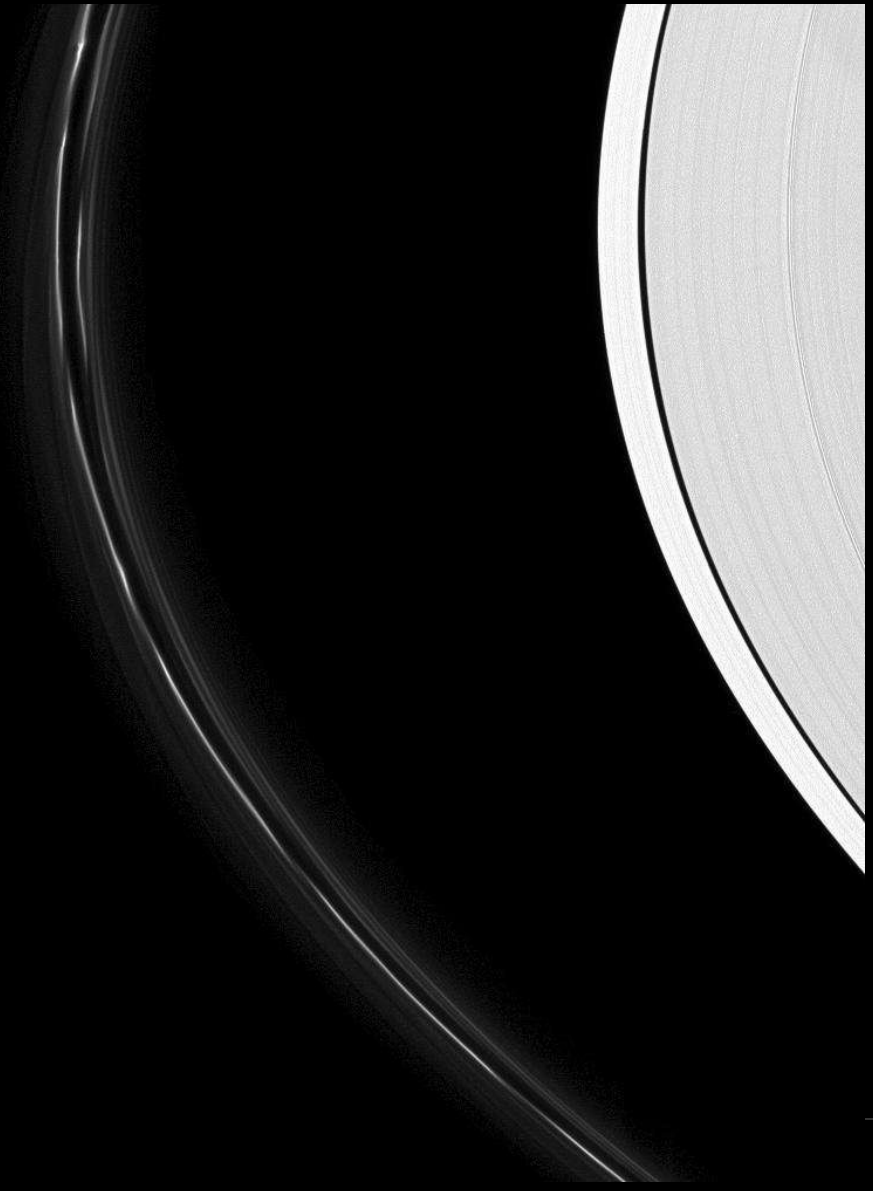
- L'anneau F est un anneau très étroit à la structure complexe qui présente des torsions
- Il est flanqué de deux satellites : PROMETHEE et PANDORE
- PROMETHEE et PANDORE sont-ils de satellites berger ou bûcheron ?



L'ANNEAU F

PROMETHEE et PANDORE

- Jusqu'à peu on pensait que l'anneau F était sous la surveillance étroite des satellites PROMETHEE et PANDORE
- En fait PROMETHEE dont l'orbite est elliptique rentre dans l'anneau F à chaque orbite et le tronçonne toutes les 15 heures laissant un sillon noir vide de matière

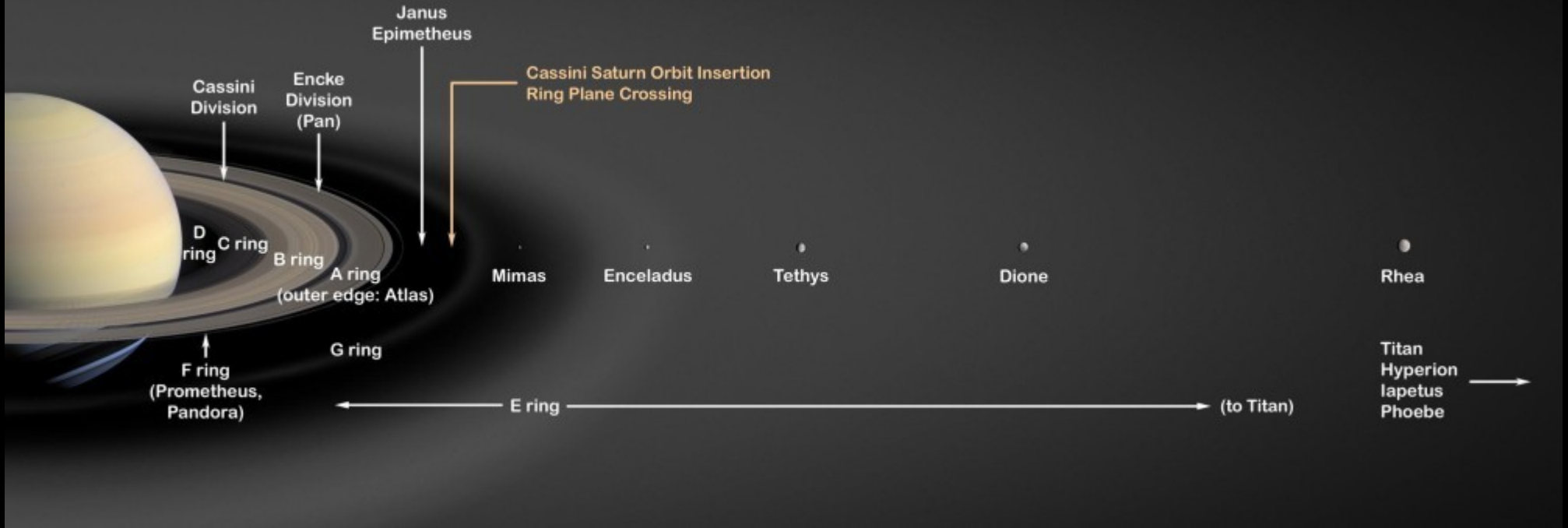


LES SATELLITES

- Les satellites réguliers :
 - proches de Saturne,
 - décrivent des orbites circulaires dans le plan équatorial,
- Les satellites irréguliers :
 - loin de Saturne,
 - décrivent des orbites elliptiques et inclinées
 - Ils ont des mouvements progrades ou rétrogrades
 - Très nombreux : plus de 70 !

Nous nous intéresserons essentiellement aux satellites réguliers

LES SATELLITES REGULIERS DE SATURNE : les principaux satellites



- Les cinq "satellites intérieurs" : Minas, Encelade, Thétys, Dioné, et Rhéa (8,7 rs)
- Des "petits satellites" qui façonnent les anneaux : Prométhée, Pandore, Pan, Atlas, Daphnée, Epiméthée ;
- Les "satellites lointain" : Titan (20,3 rs), Hypériorion (24,6 rs), Japet (59,1 rs), Phoebé (214,9 rs)

LES SATELLITES DE SATURNE : tailles comparées des satellites



Ganymède (2643 km) - Callisto (2410 km) - Lune (1737 km) - Europe (1560 km)

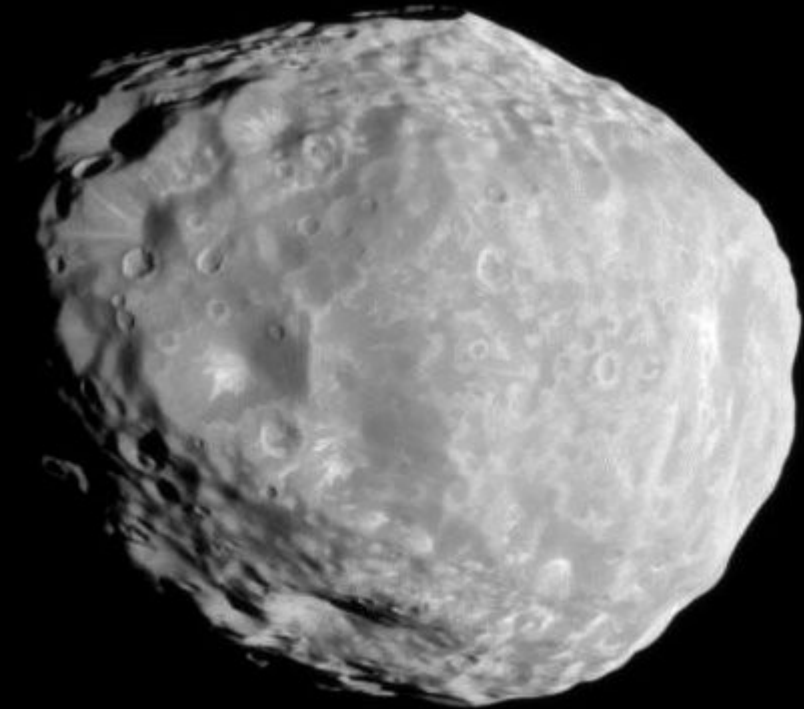
LES PETITS SATELLITES : Epiméthée et Janus: danse en couple

Ces satellites décrivent des trajectoires très proches,
moins de 50 km

Ils se croisent tous les 4 ans et échangent leur orbite



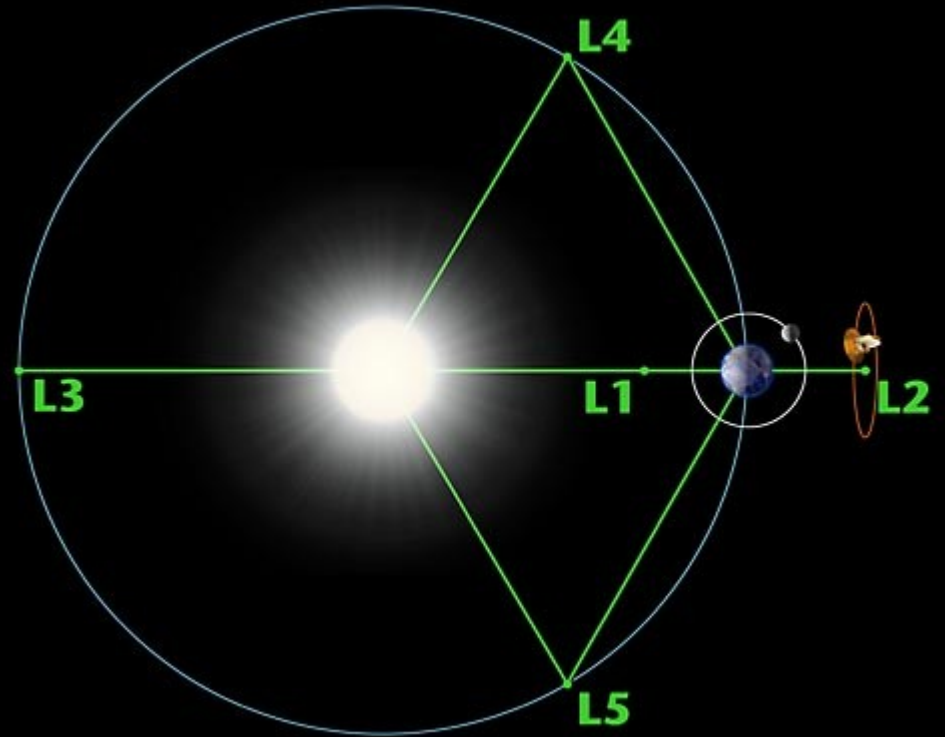
Epiméthée



Janus

LES PETITS SATELLITES : Pollux et Hélène

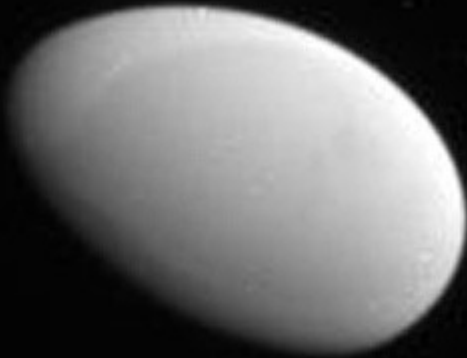
- Comme Janus et Epiméthée, Pollux et Hélène sont des satellites co-orbitaux
- Plus précisément, ils sont parqués aux points de Lagrange stables L4 et L5 du système Saturne-Dioné
- Télesto et Calypso ont la même configuration avec le système Saturne-Téthys
- La surface de ces satellites est particulièrement lisse, couverte d'un épais régolite



LES PETITS SATELLITES : les lunes lisses

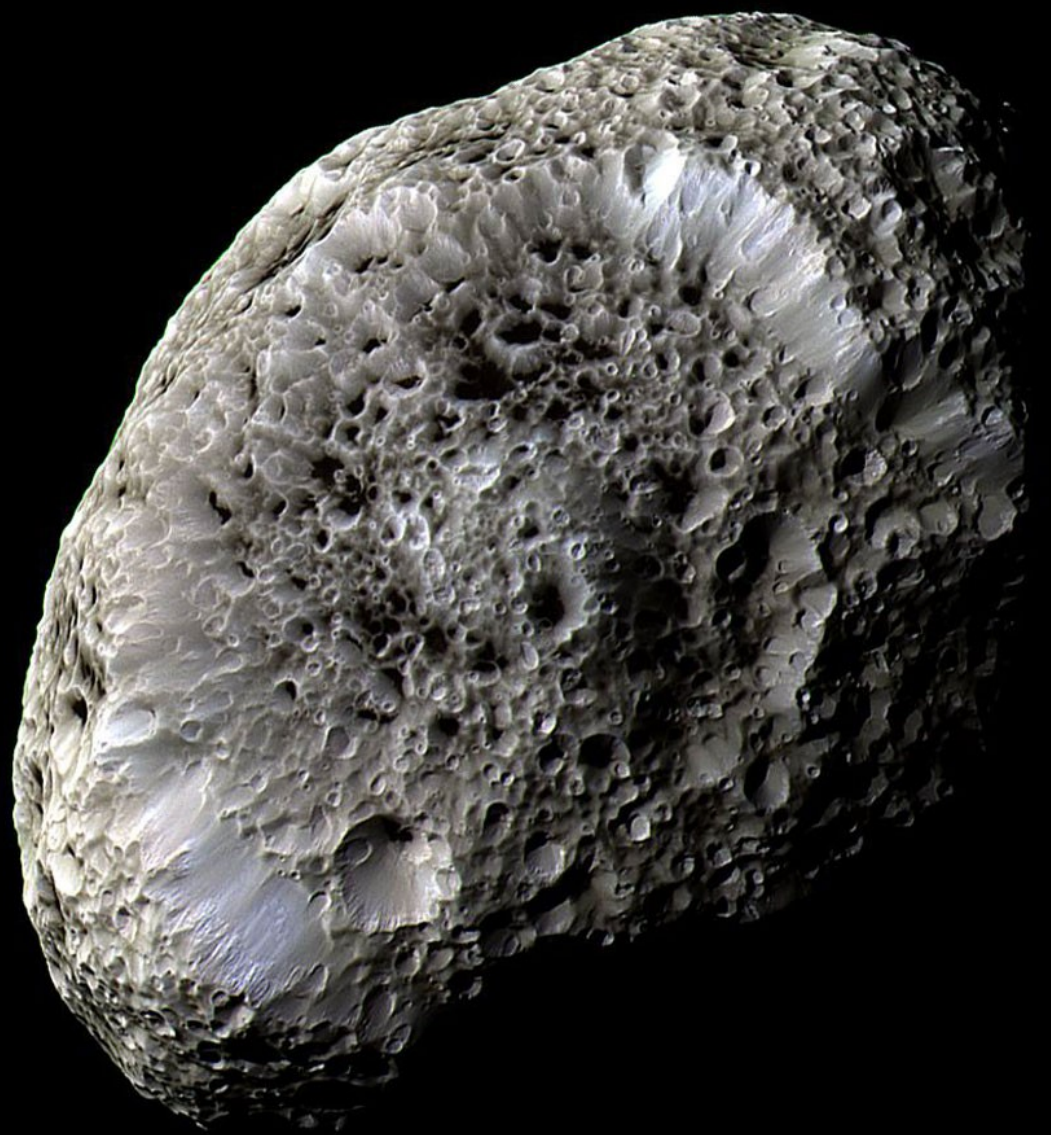
Hélène (45 km) et ses
ravines résultant de
glissement de terrain

Méthone (4 km) et sa
surface lisse et ovale
comme un œuf



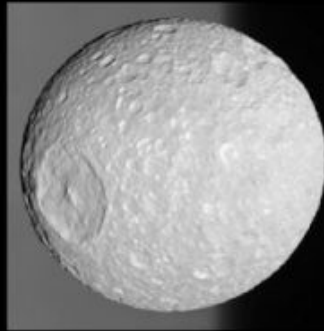
HYPERION : l'insaisissable

- Hyperion est le plus gros objet du système solaire(360 km) à présenter une forme irrégulière
- Son apparence est celle d'une pierre ponce ou d'une éponge
- Sa rotation est chaotique : son axe, sa vitesse et son orientation change tout le temps



LES SATELLITES REGULIERS INTERIEURS :

- Des dimensions plus imposantes (de 400 à 1000 km)
 - De forme sphérique
 - Orbites circulaires
 - Pas d'atmosphère
 - Surfaces glacées particulièrement brillantes
 - Leur taille et leur masse augmente avec leur distance à la planète
-



Mimas



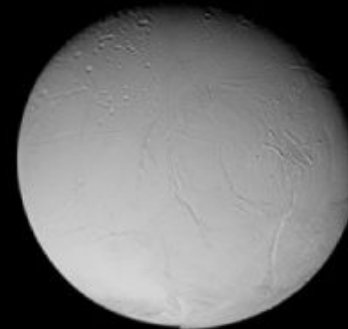
Dione



Rhea



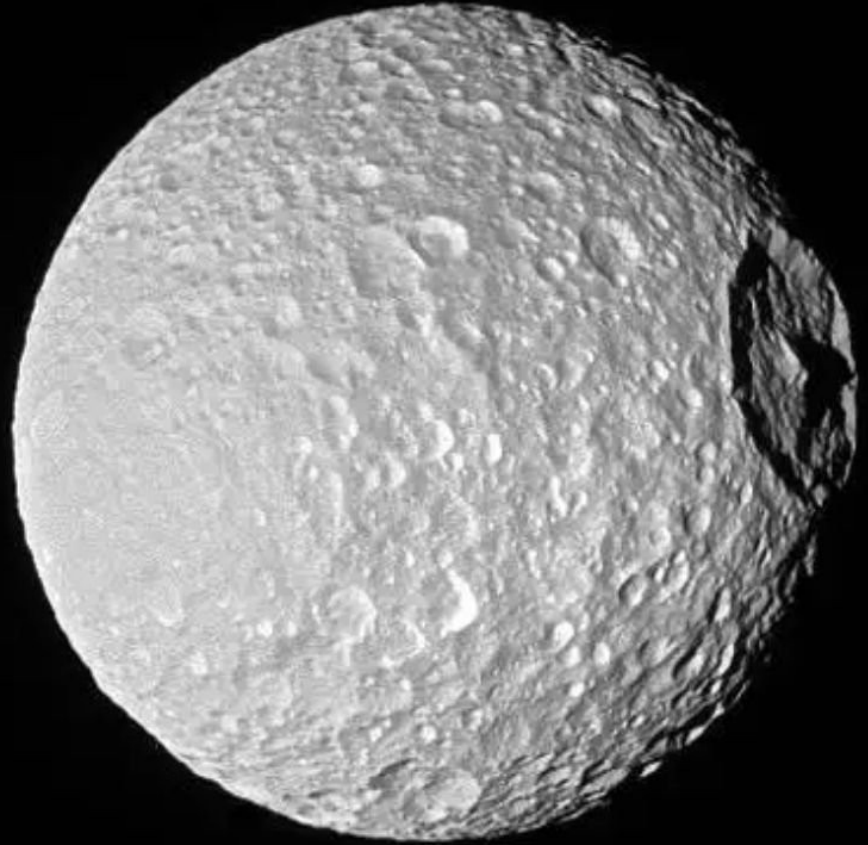
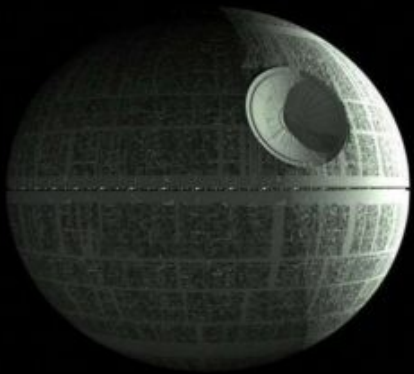
Tethys



Encelade

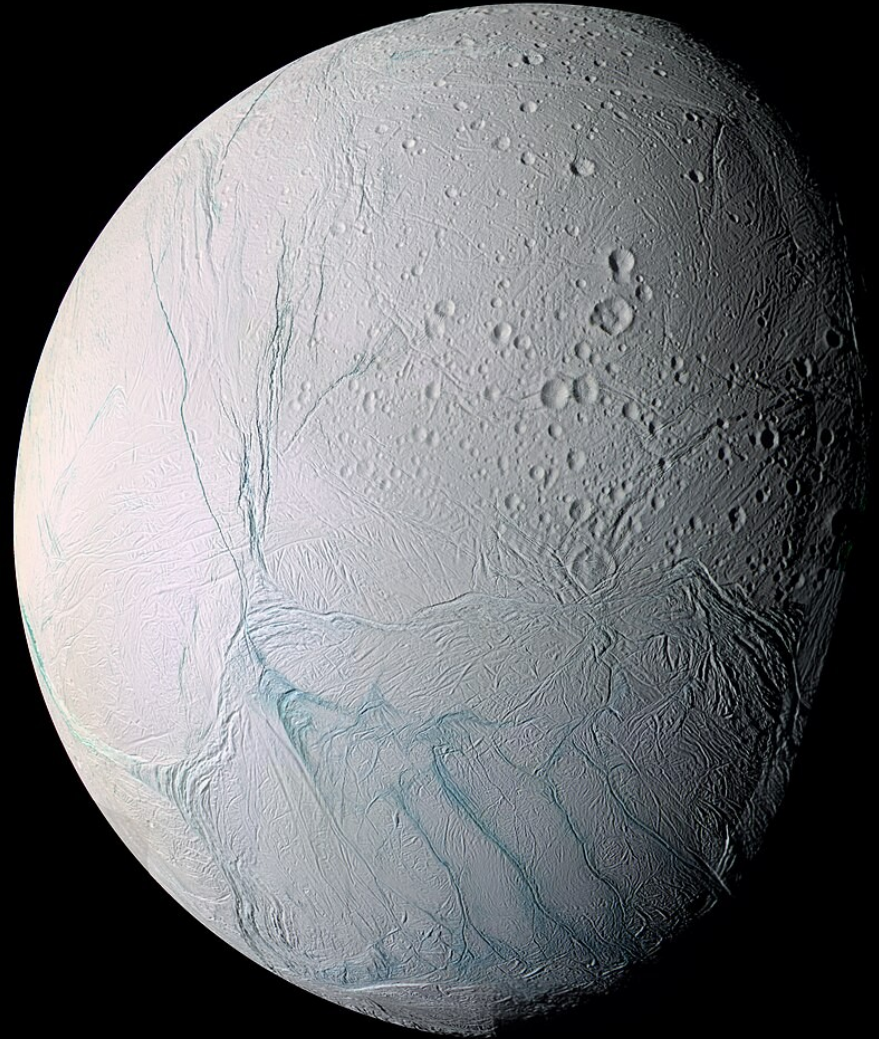
MIMAS (Ø 396 km)

- En résonance avec l'anneau B, il le confine
- La surface est criblée de cratères
- Le plus proéminent d'entre eux (nommé Herschel) à un diamètre de 130 km et un pic central plus haut que le mont Everest
- Ressemble étrangement à l'étoile de la mort de Star Wars !!!



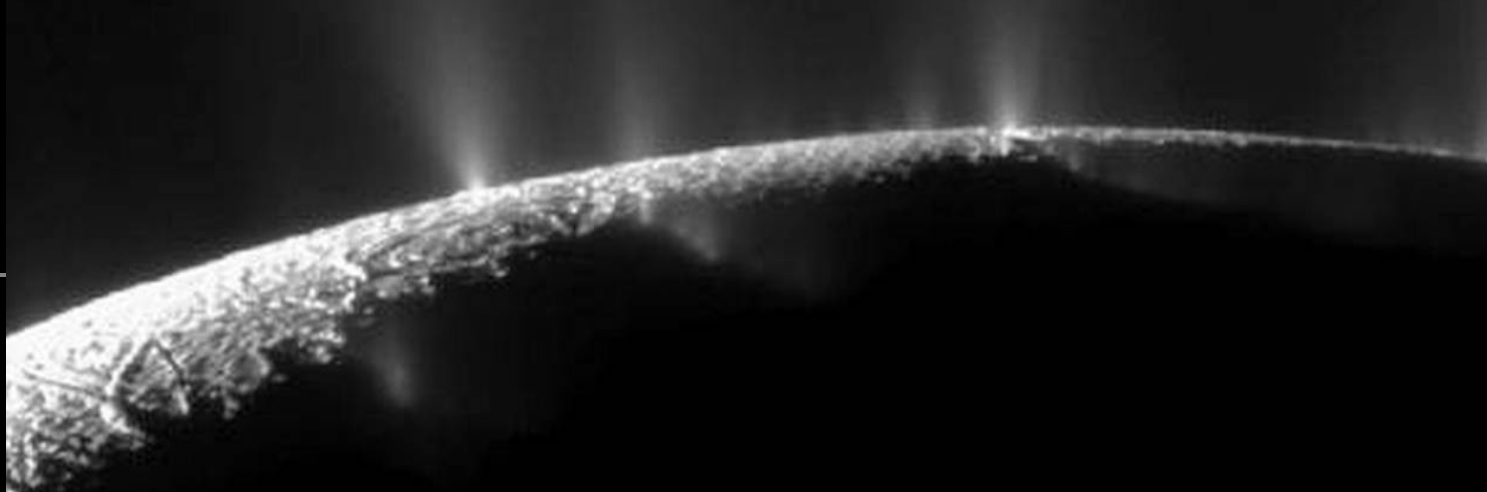
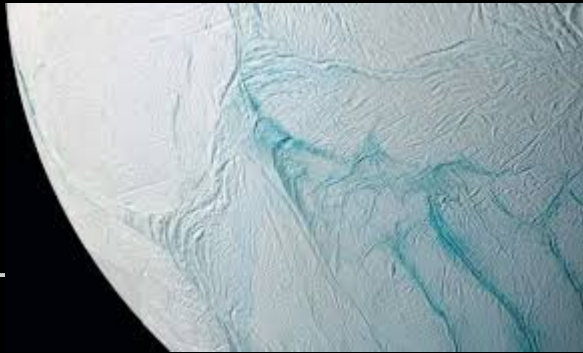
ENCELADE (Ø 504 km)

- La sonde Voyager remarque l'absence totale de cratère dans certaine région d'Encelade
- La surface de cette petite lune a été récemment remodelée
- Pourrait-elle être active ?
- Cassini répondra positivement
- Des panaches de matière jaillissent du pôle sud et alimentent l'anneau E



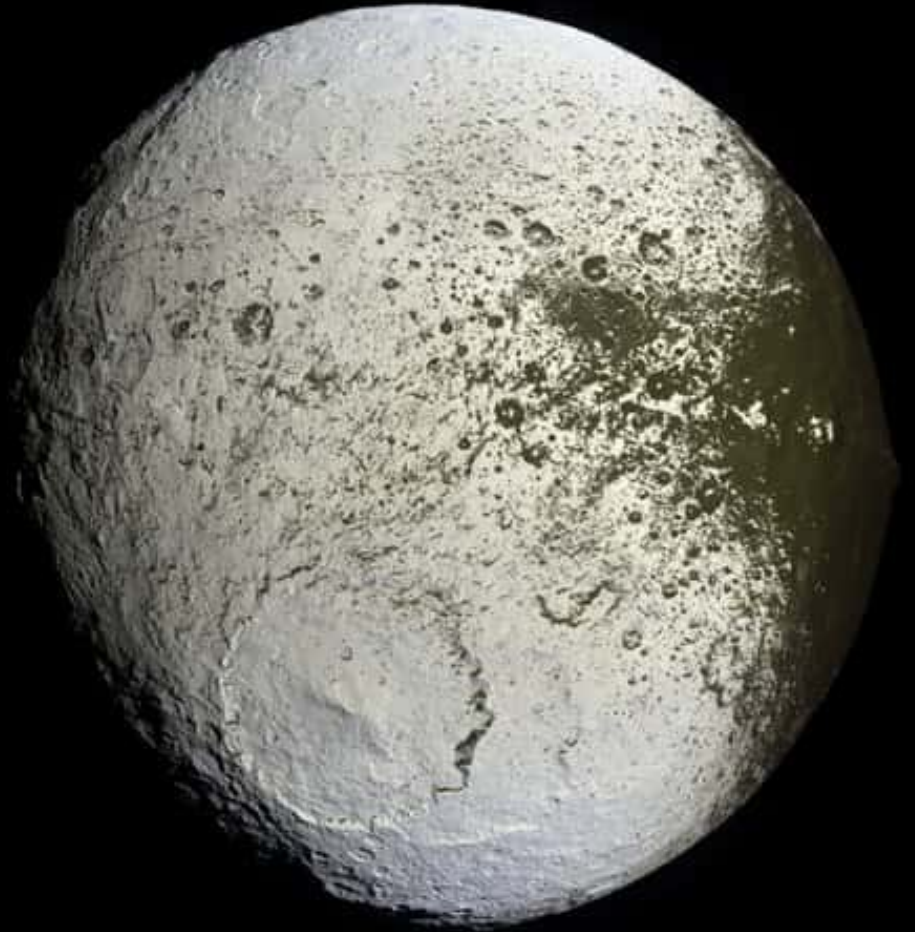
ENCELADE : des panaches de glace

- Ils s'apparentent à des geysers jaillissant de 4 failles (rayures du tigre)
- On parle de cryovolcanisme dû aux effets de marée
- Les geysers sont constitués de 90 % d'eau
- Il est établi que la source des geysers est un océan subglaciaire salé en contact avec le noyau rocheux
- Encelade possède tous les ingrédients nécessaires à la vie
- C'est le coup d'envoi à l'exploration des « mondes océaniques » (mission Europa Clipper)



JAPET: la lune Yin-Yang (Ø 1470 km)

- Une face blanche comme neige et l'autre noire comme du charbon
- Japet est synchronisé avec Saturne, comme la lune avec la Terre
- La face avant de Japet est "sale" parce qu'elle récolte des poussières en provenance de Phœbé en traversant à contre sens l'anneau du même nom



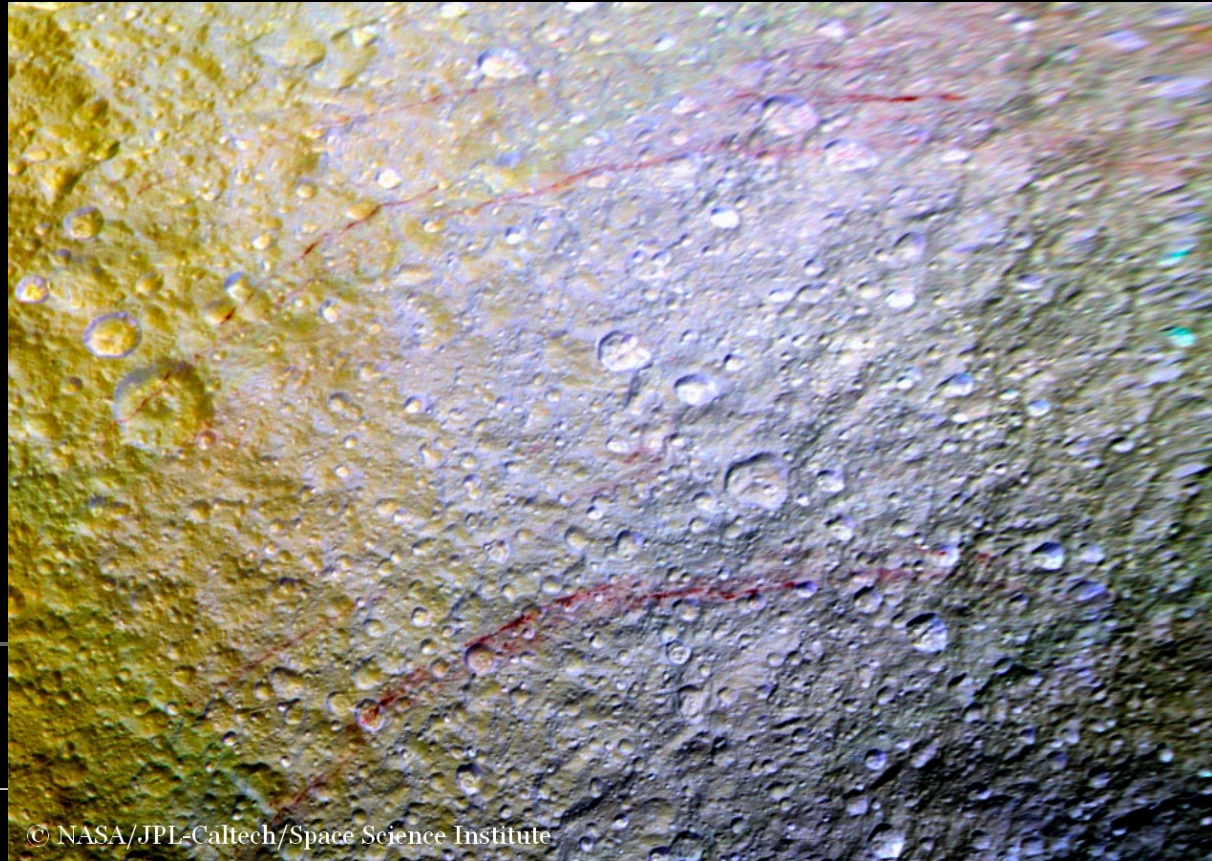
JAPET

- Une chaîne de montagne culminant à 20 km d'altitude ceinture l'équateur de Japet
- Ce bourrelet équatorial pourrait être
 - le vestige d'un ancien anneau
 - ou le résultat d'une compression de l'équateur due à un très brusque ralentissement
- A titre anecdotique, c'est sur Japet que l'astronome solitaire Bowman découvre un monolithe noir de confection extraterrestre dans *2001, l'Odyssée de l'espace*

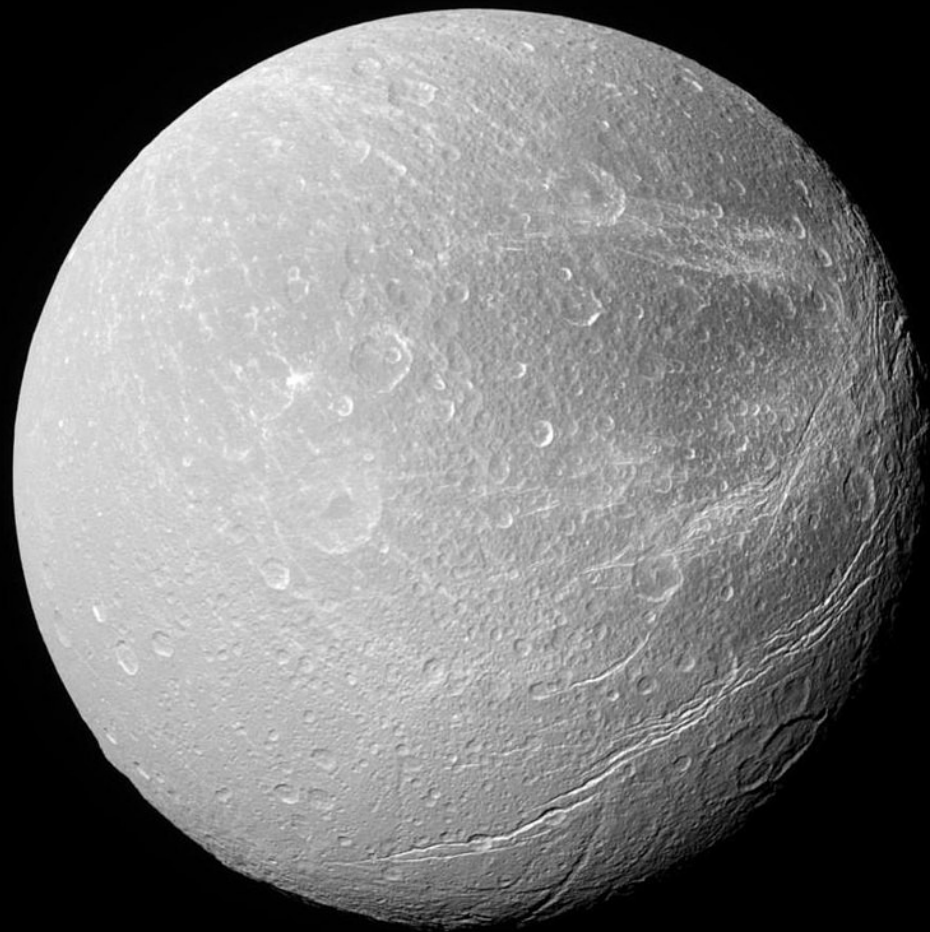


TÉTHYS (Ø 1 066 km)

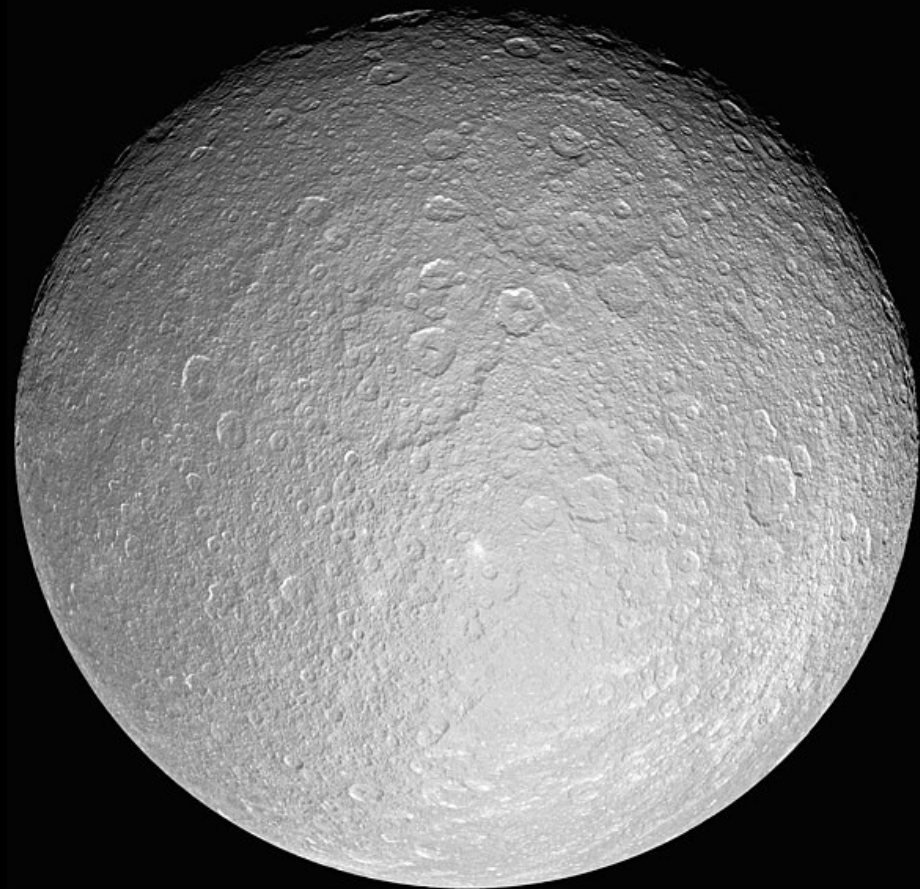
- Composée à 90 % de glace
- Surface marquée par un énorme cratère de 400 km de diamètre , appelé Odyssée
- Des énigmatiques lignes rouges en forme d'arc de cercle



Dioné 1126 km

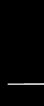
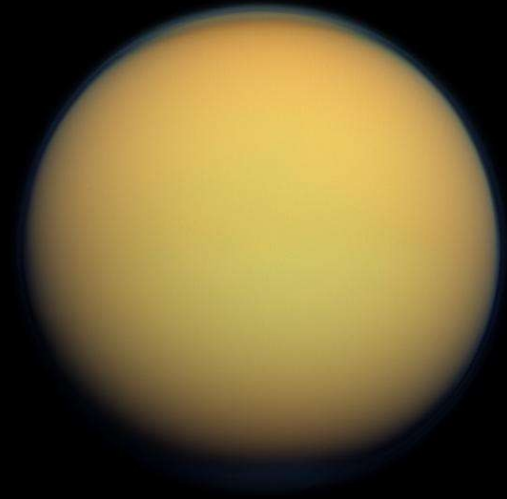


Rhóa 1525 km




TITAN

- Son atmosphère : tous les ingrédients pour des molécules prébiotiques
- Ses paysages : ses lacs d'hydrocarbures

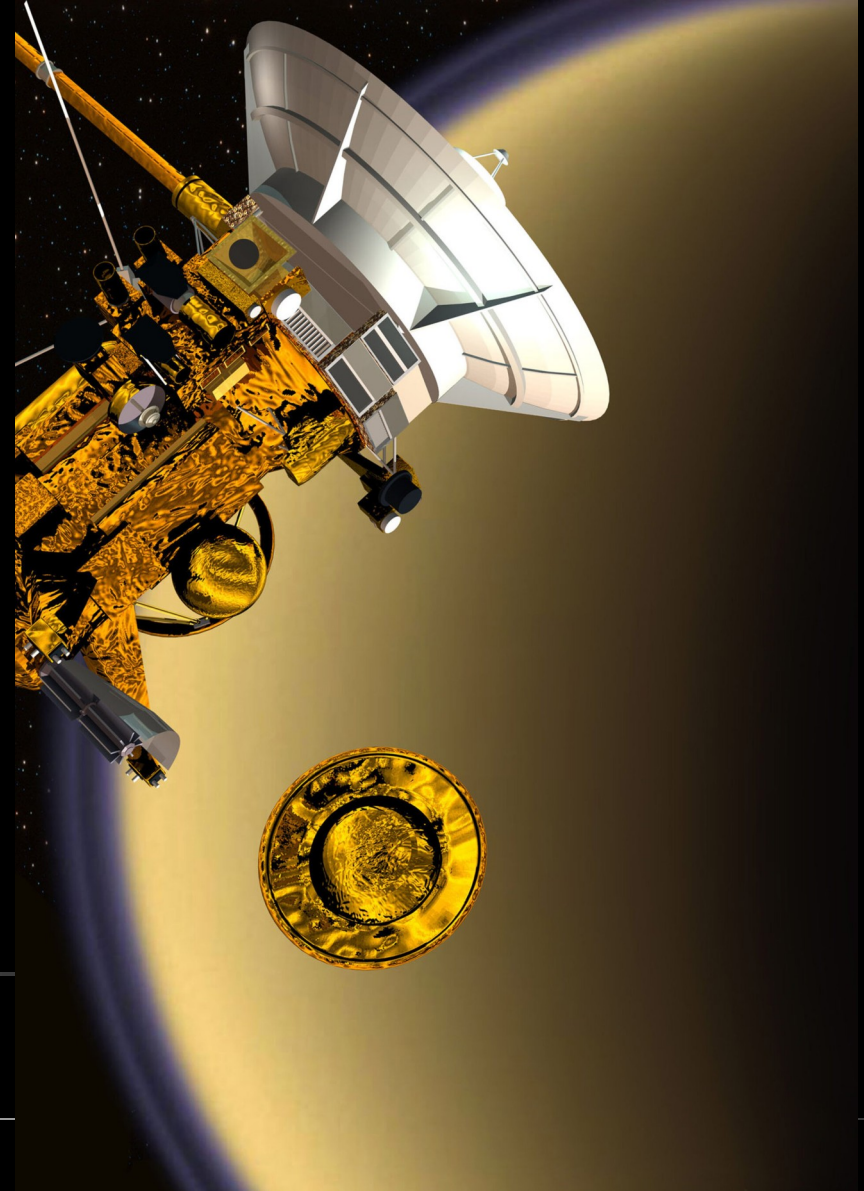


UN PEU DE CHIMIE

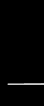
- En 1944, Kuiper prouve que Titan possède une atmosphère en y détectant des molécules de méthane (CH_4)
 - En 1972, c'est le dihydrogène (H_2) qui est observé
 - Le dihydrogène aurait du s'échapper de l'atmosphère sur le temps de vie du système de Saturne
 - Une source chimique de dihydrogène pourrait-elle exister dans l'atmosphère ?
 - Toutes les études et expériences converge vers la même conclusion : une chimie organique est active dans l'atmosphère de Titan et pourrait constituer un laboratoire formant des molécules d'intérêt prébiotique (avant l'apparition de la vie)
 - Ces questions sont d'une telle importance qu'elle motiveront la modification de trajectoire de Voyager 1 pour qu'elle survole au plus près Titan au détriment de Pluton qui devait être son objectif initial
 - En novembre 1980, Voyager 1 survole Titan mais n'observe qu'une brume jaune qui ne laisse pas entrevoir la surface
 - Mais découvre du diazote (N_2) en très grande proportion et une grande diversité de molécules carbonées, dont du CO_2
 - Il n'y a que deux objets dans le système solaire possédant une atmosphère dense en diazote : la Terre et Titan
-
- 

LA MISSION CASSINI -HUYGENS POUR CONFIRMER ET VOIR

- Tous les ingrédients pour reproduire le chimie de la vie semblent être présents dans l'atmosphère de Titan
- Ce sont ces raisons qui ont conduit à lancer la mission CASSINI HUYGENS
- Durant sa descente vers Titan le module HUYGENS confirme toutes ces données : présence et production dans l'atmosphère de Titan de CHON , les briques de la vie

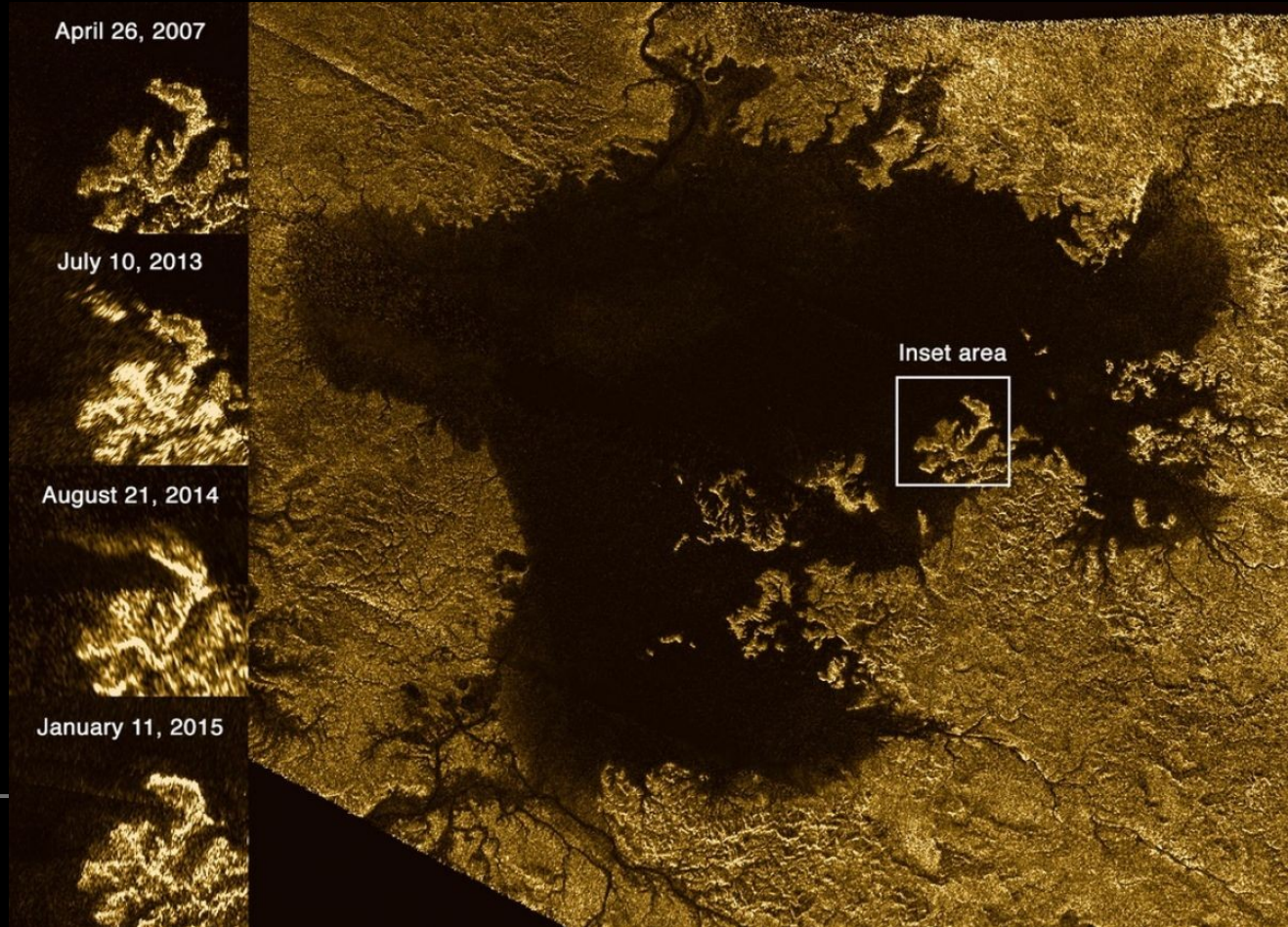


Le 14 janvier 2005, le module Huygens se pose sur un sol jonché de galets, sans doute constitués de glace d'eau, dont l'aspect arrondi et poli témoigne de l'érosion fluviale sur Titan



ET LES HYDROCARBURES ?

- Titan est le seul corps du système solaire avec la Terre a posséder des étendues liquides à sa surface (méthane et de l'éthane liquide)
- Ces surfaces liquides sont confinées aux pôles, essentiellement au pôle nord
- Leurs contours varient avec le temps



TITAN PASSIONNE LES SCIENTIFIQUES

En 2019, la NASA sélectionne la mission Dragonfly pour retourner sur Titan en 2027
Il s'agit d'un drone capable de prélever et d'analyser des échantillons de sol



Remerciements :
Alice Le Gall
Sandrine Guerlet
Sandrine Vinatier
Sébastien Charnoz
Photos : NASA et ESA

