

A black and white photograph of Saturn's rings, showing the complex structure of the rings with various gaps and bands. A thin, dark line representing a moon is visible in the background, positioned between the rings and the viewer. The overall scene is set against a dark, starry space background.

LES
MONDES DE
SATURNE

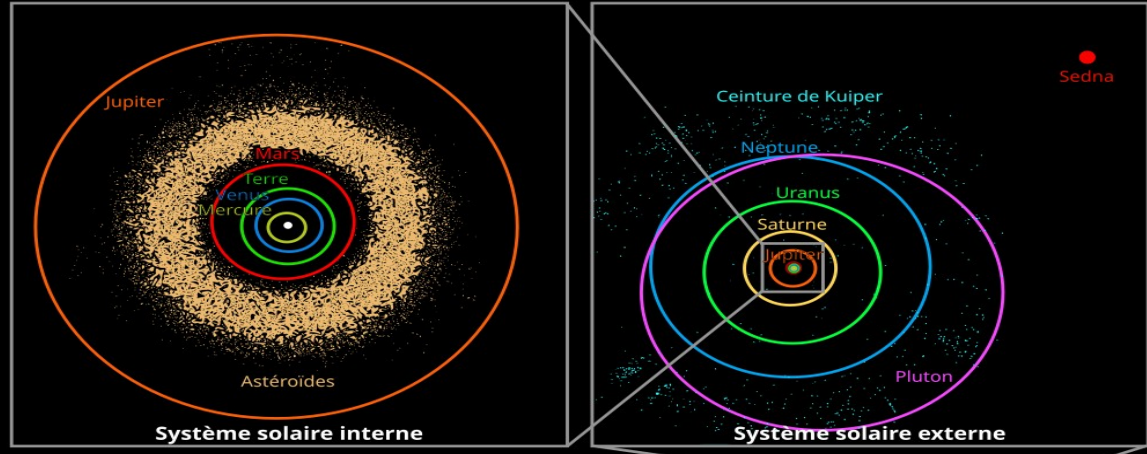
En orbite avec Rhéa

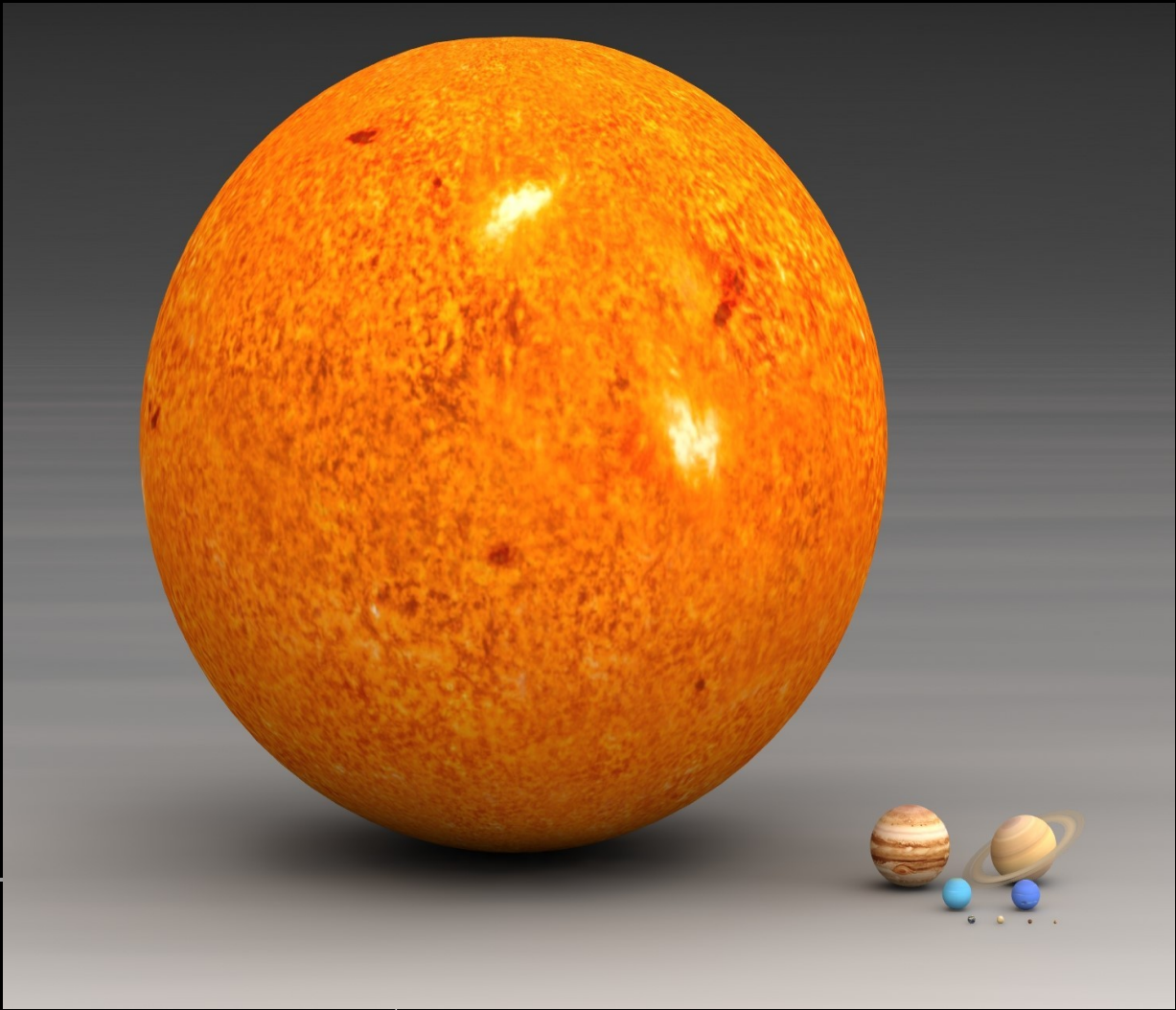
- **Présentation de Saturne**
- **L'exploration spatiale**
- **L'atmosphère de Saturne**
- **Les anneaux de Saturne : présentation générale**
- **Les anneaux autour des autres planètes**
- **Les anneaux de Saturne : présentation détaillée**
- **Les satellites de saturne**
- **L'atmosphère et les paysages de Titan**

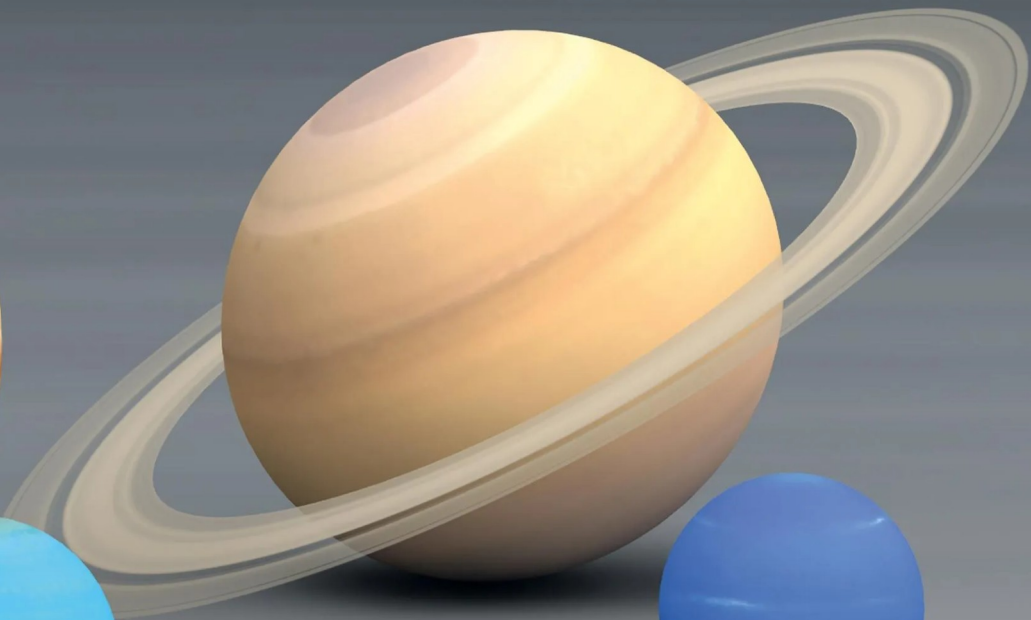
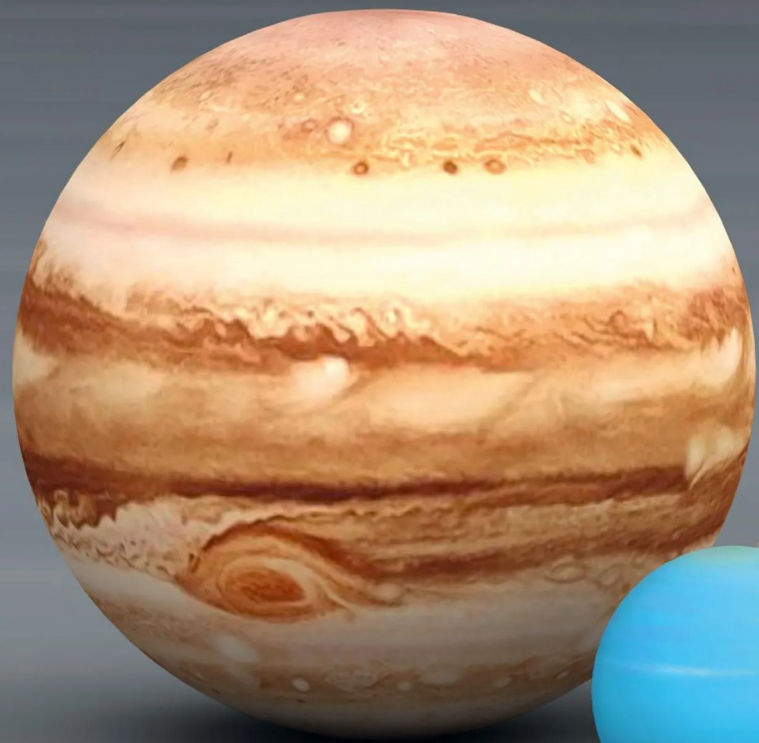


PRESENTATION DE SATURNE :

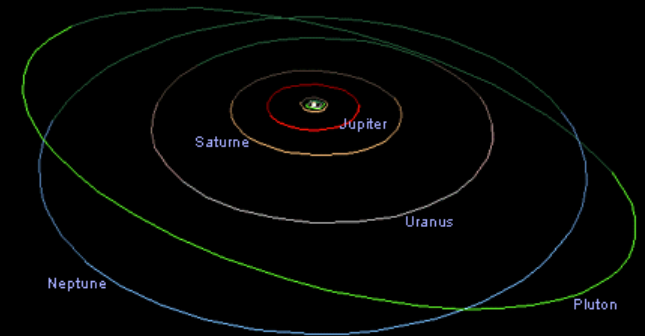
- Saturne est la sixième planète du système solaire
- Elle est située à environ 10 UA du Soleil
- Une révolution dure presque 30 ans (29,5 ans)
- Une journée dure 10h39mn (10h32 ??!!)
- C'est la planète la plus aplatie
- Son rayon à l'équateur est de 60.268 km
- Son rayon au pôle est de 54.360 km
- Composée à 98 % en volume d'hydrogène et d'hélium, c'est la planète la moins dense du système solaire
- Sa densité moyenne est de $0,7\text{g/cm}^3$ pour $5,5\text{g/cm}^3$ pour la terre



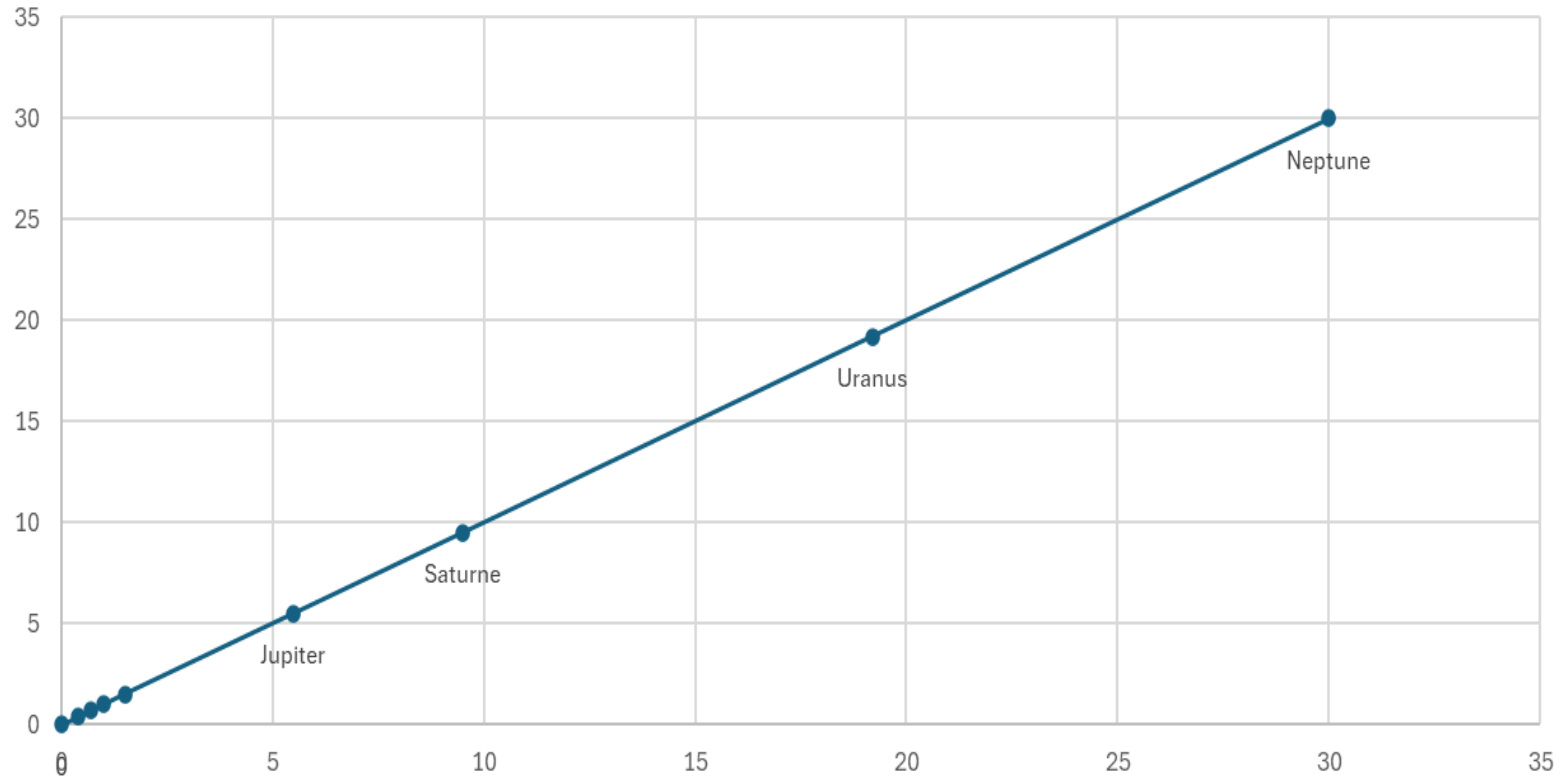




OBJET	DISTANCE AU SOLEIL	
	en Mkm	en UA
SOLEIL	0	
MERCURE	58 Mkm	0,4 UA
VENUS	108 Mkm	0,7 UA
TERRE	150 Mkm	1 UA
MARS	220 Mkm	1,5 UA
CERES	414 Mkm	2,8 UA
JUPITER	780 Mkm	5,5 UA
SATURNE	1.427 Mkm	9,5 UA
URANUS	2.870 Mkm	19,2 UA
NEPTUNE	4.497 Mkm	30 UA

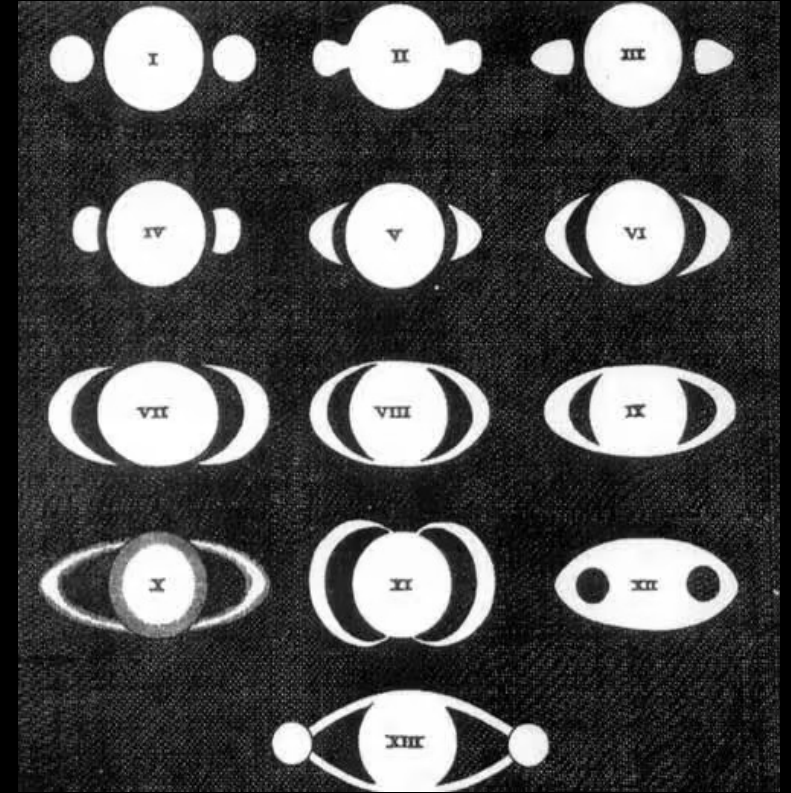


La répartition des planètes en unité astronomique



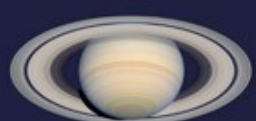
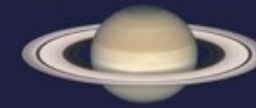
PRESENTATION DE SATURNE : un peu d'histoire

- En 1610 l'astronome et physicien italien Galilée braque sa lunette vers Saturne,
- Il croit observer un système de planètes triple
- Deux plus tard, les excroissances autour de Saturne ont disparu...
- Il faut attendre un demi siècle pour que Christian Huygens comprenne que Saturne est entourée d'anneaux.
- En 1655, Huygens découvrira Titan
- Puis dans les années 1670, Cassini découvre Japet, Rhéa, Téthys et Dioné et la fameuse division de Cassini
- En 1789, William Herschel qui découvre Mimas et Encelade 10 fois plus petit que Titan

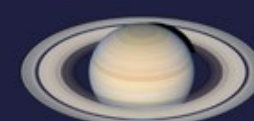
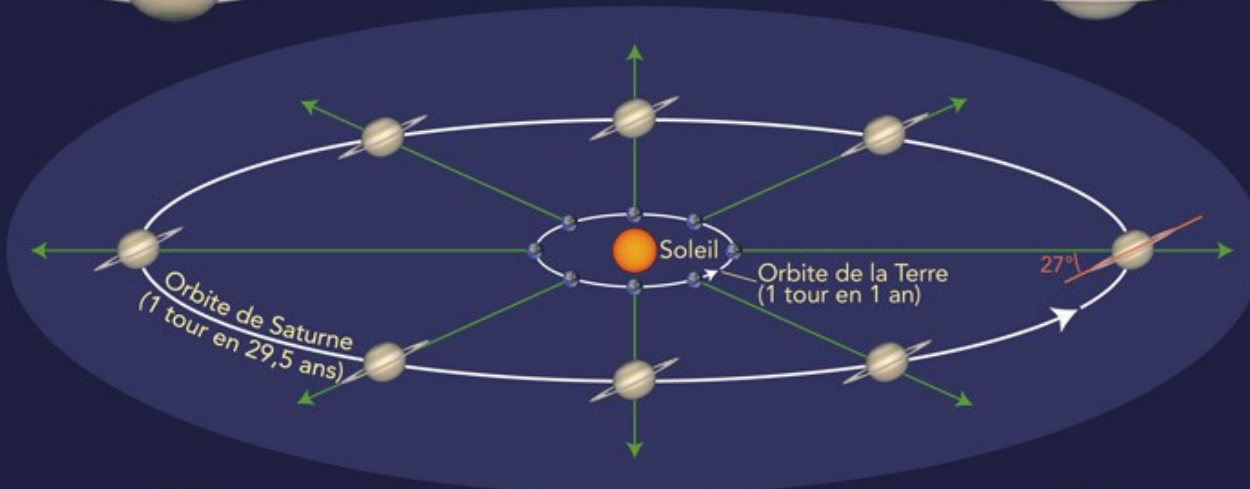


PRESENTATION DE SATURNE : les saisons de saturne

Les anneaux deviennent invisibles depuis la Terre



Les anneaux sont à leur maximum d'ouverture

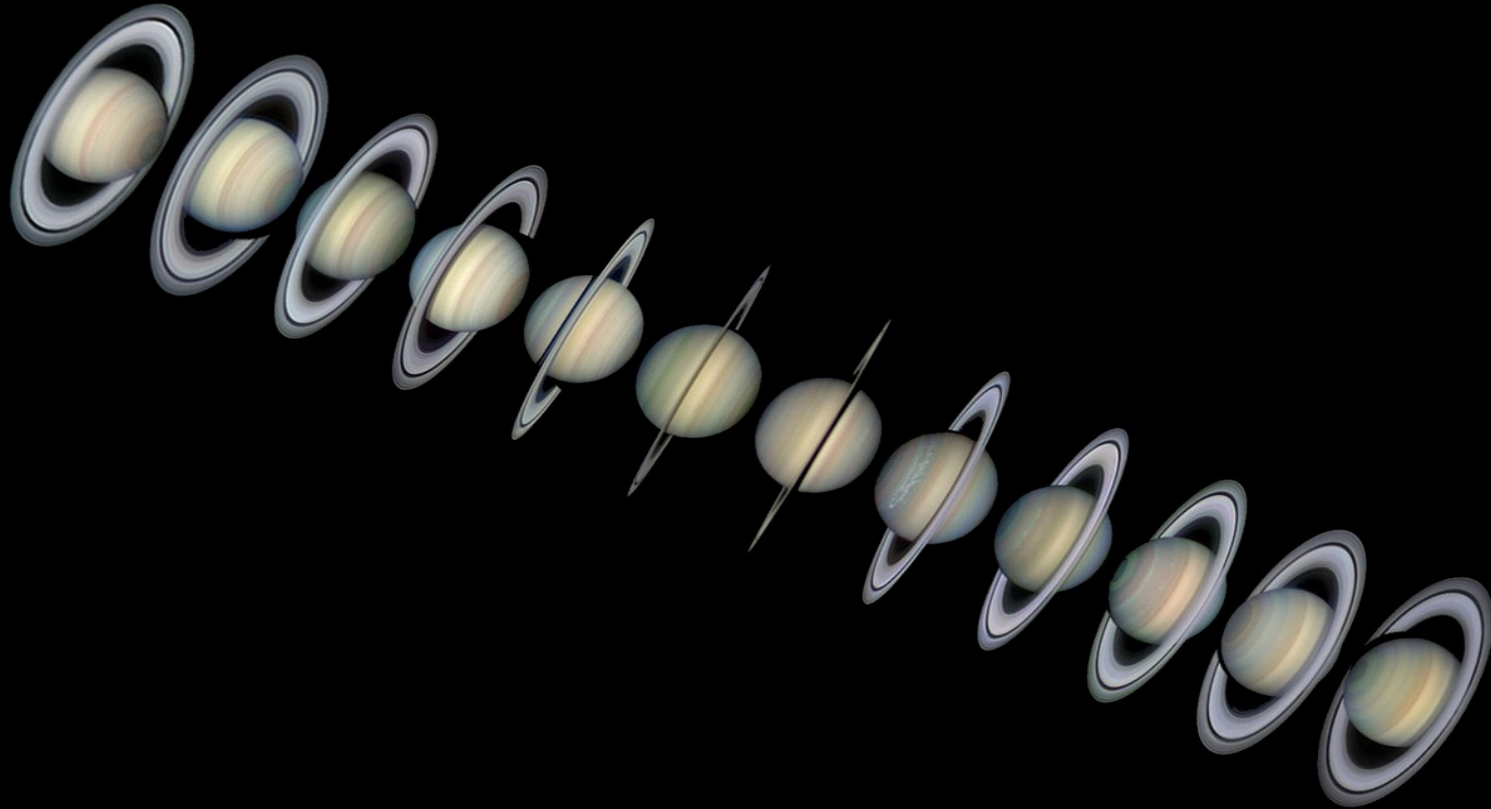


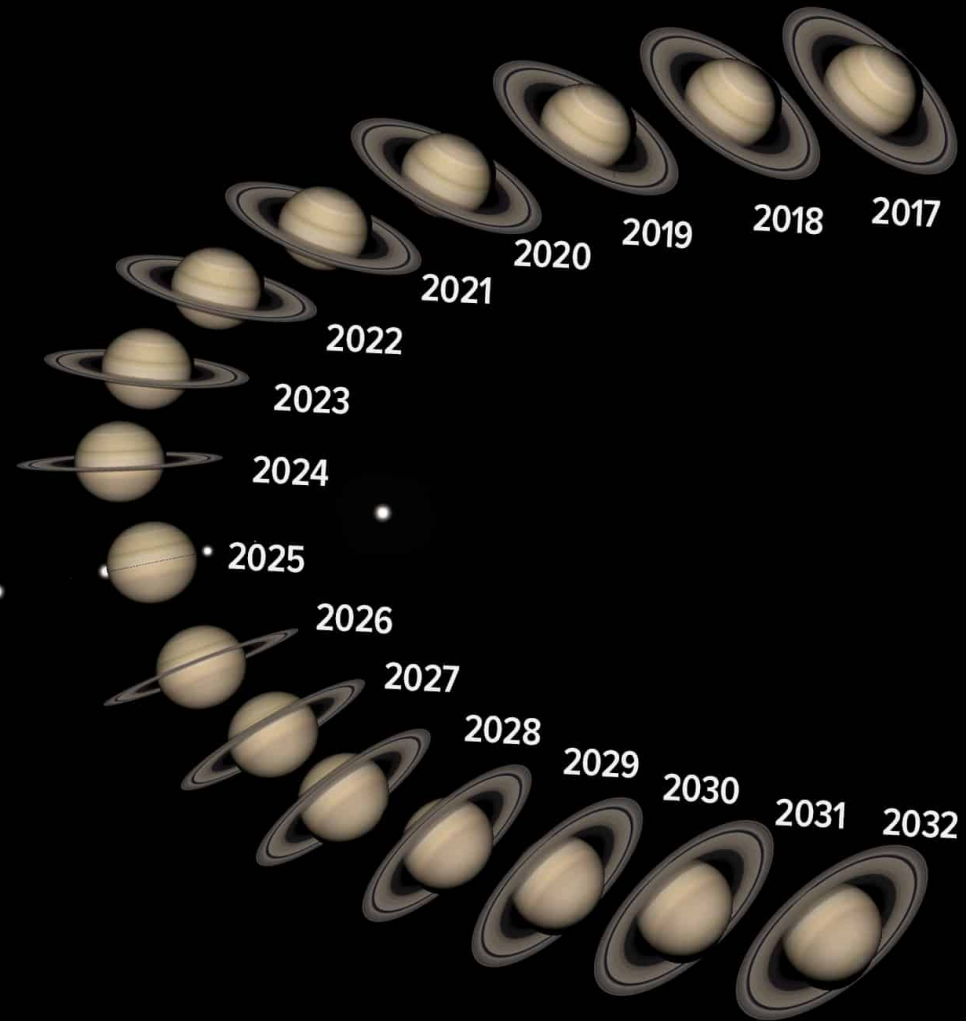
Les anneaux sont à leur maximum d'ouverture



Les anneaux deviennent invisibles depuis la Terre

PRESENTATION DE SATURNE : les inclinaisons des anneaux

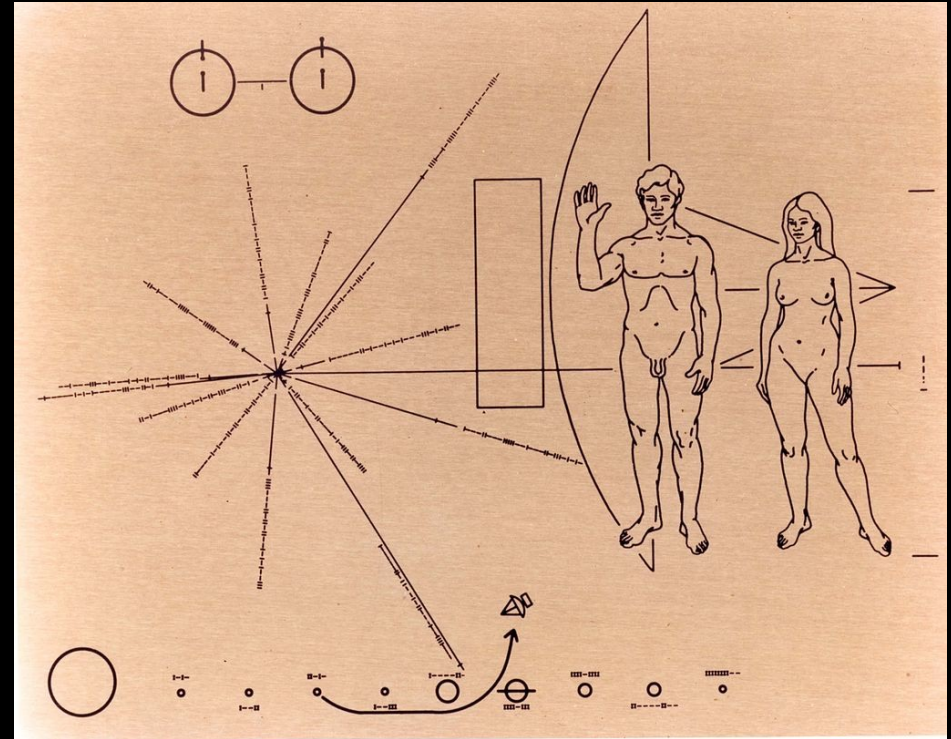




SATURNE LE 23 NOVEMBRE A20H30

L'EXPLORATION SPATIALE : les sondes Pioneer -année 70

- En 1972 et 1973 les sondes Pioneer 10 et 11 sont envoyées vers Jupiter et Saturne
- Pioneer 11 s'approche de Saturne en août 1979 et traverse le plan des anneaux le 1^{er} septembre 1979
- Puis les sondes s'éloignent dans des directions opposées
- Elles embarquent des informations sur notre Terre qui créent la polémique..



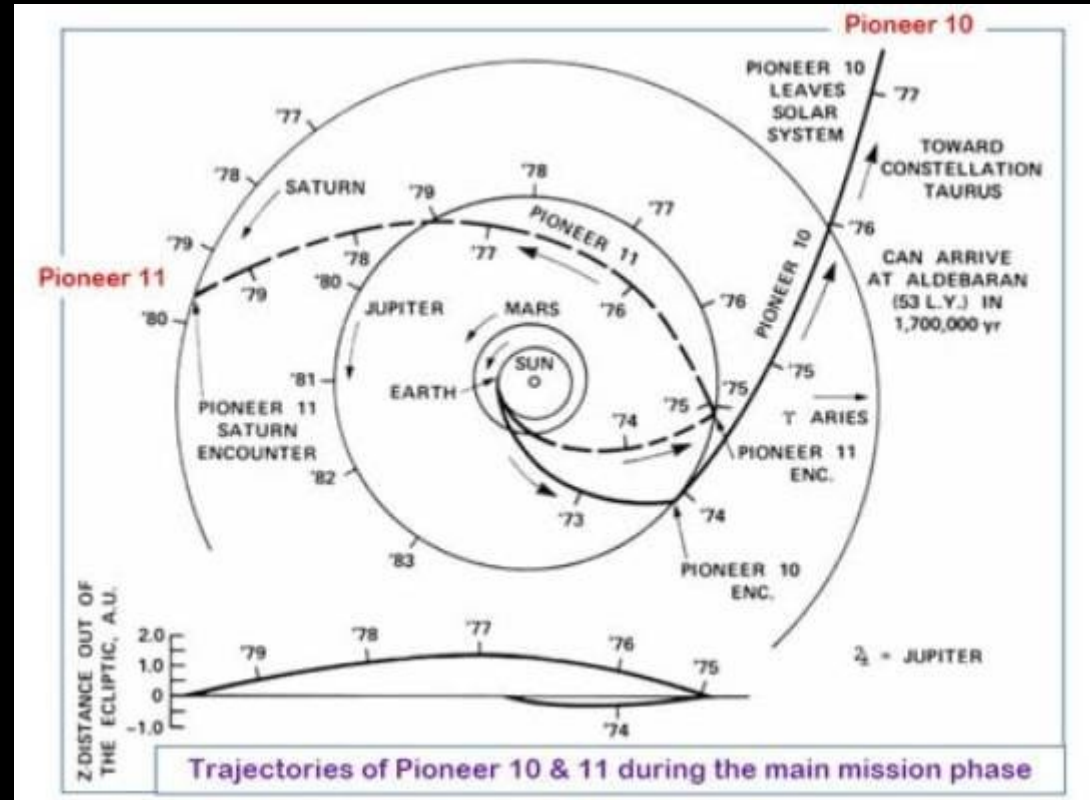
LES TRAJECTOIRES DES SONDES PIONEER

Une accélération gravitationnelle très fortes sur Jupiter (12km/s soit 43 000 km/h)

Elles partent dans des directions opposées

On a pensé à utiliser ces sondes pour vérifier les lois de la gravitation

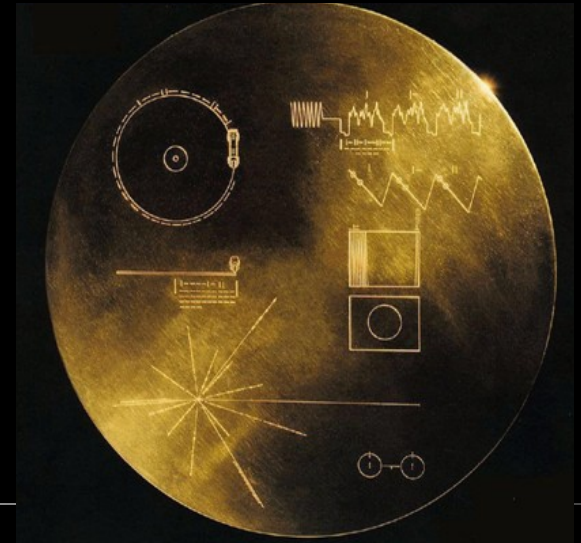
Anomalie Pioneer ou effet Pioneer : Il y a une force en direction du Soleil qui ralentit les 2 sondes de la même valeur..??!! ($\gamma = 9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$)



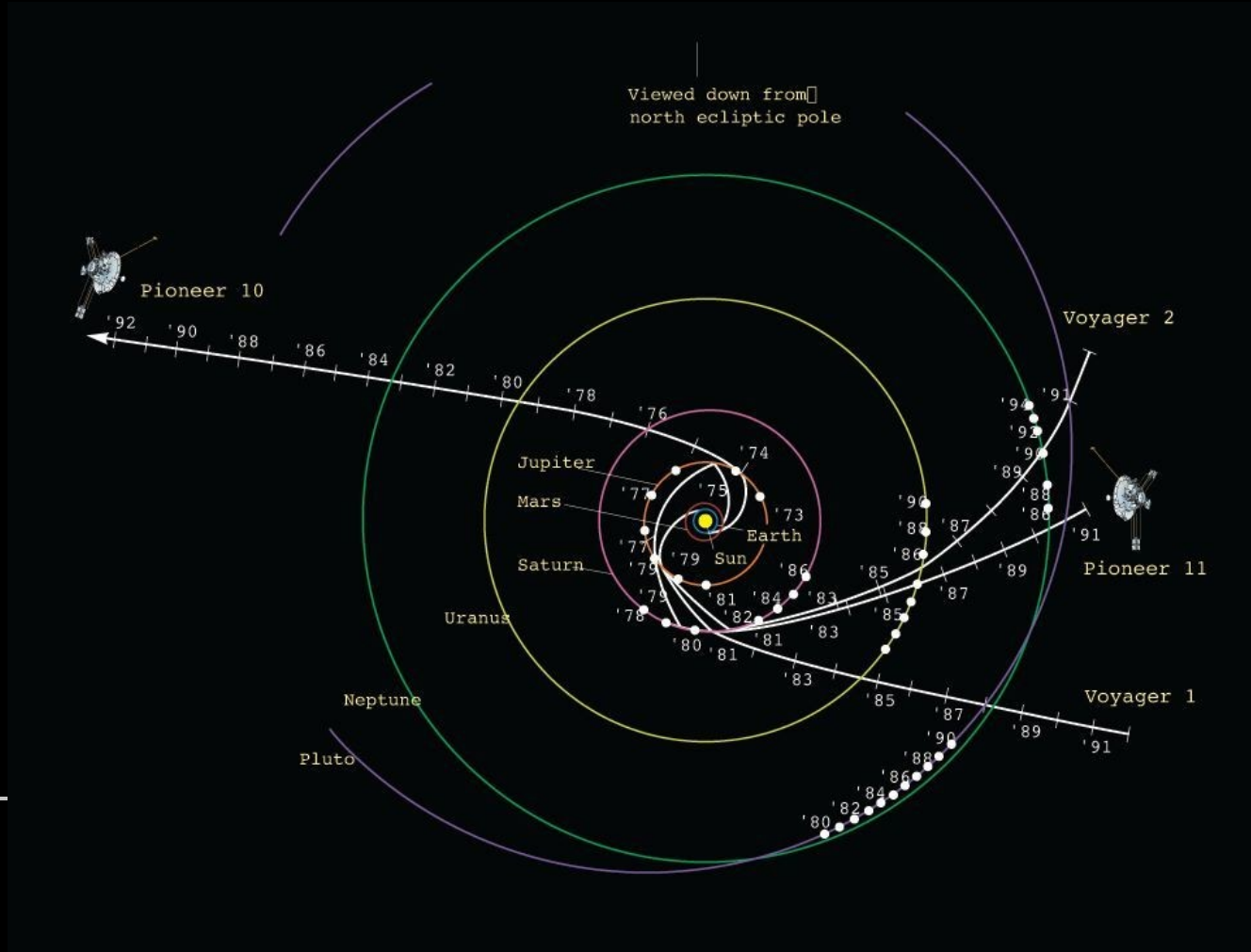
L'EXPLORATION SPATIALE : les sondes Voyager – années 80

- A l'été 1977 les sondes Voyageurs 1 et 2 sont lancées
- La trajectoire de Voyager 1 est choisie pour survoler Titan que l'on suspecte d'abriter des étendues liquides à sa surface
- Voyager 1 survole Saturne et Titan en novembre 80
- C'est la déception malgré un survol à 4.000 km de Titan, une épaisse atmosphère orangée masque sa surface
- Puis c'est l'excitation : une chimie de l'atmosphère de Titan proche de celle de la Terre...
- Voyager traverse les anneaux et observe les satellites : aucun des satellites ne se ressemble...
- Et une foule d'autres observations passionnantes :
 - Des vents violents
 - Hexagones encerclant le pôle nord
 - Les anneaux ne sont pas statiques
 - La planète émet deux fois plus d'énergie qu'elle en reçoit
 - Des émissions radio régulières

Mais des survols trop rapides...



L'EXPLORATION SPATIALE : le voyage des sondes

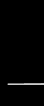
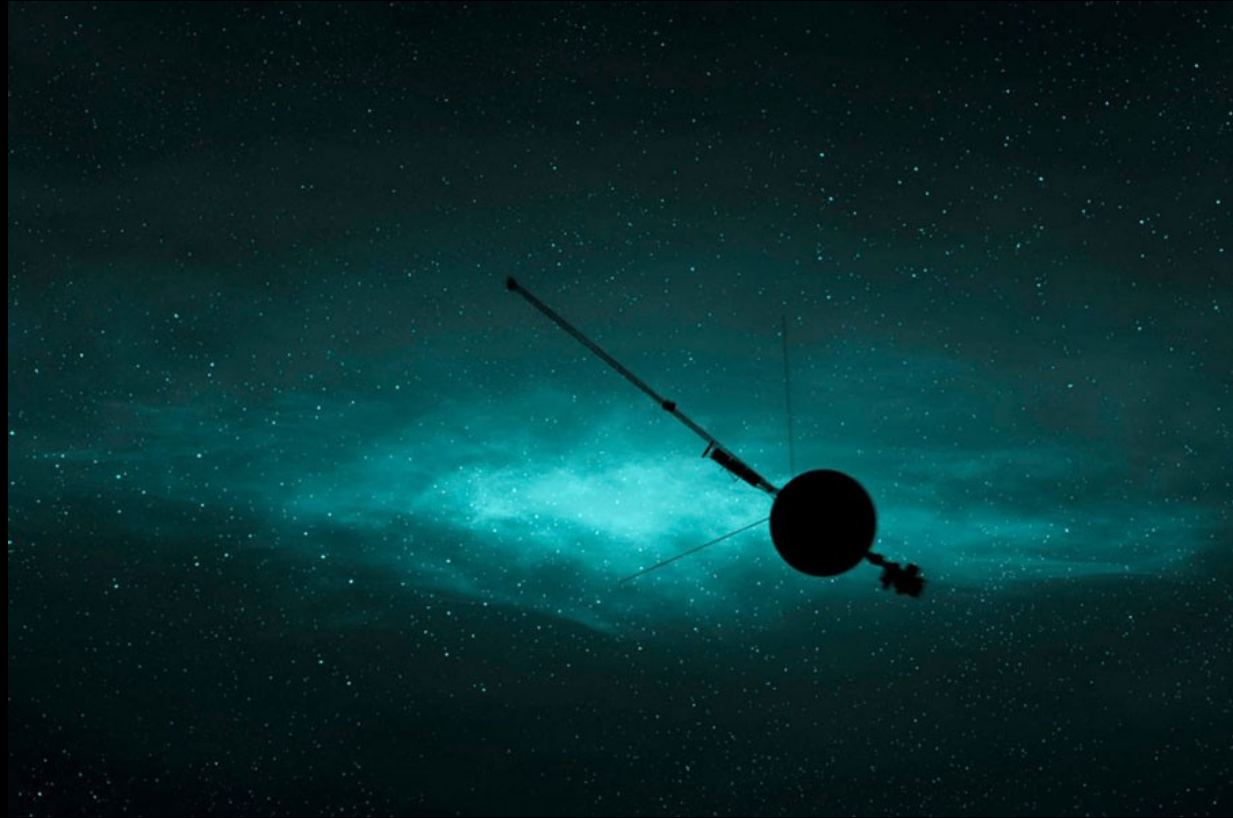


La trajectoire de Voyager 2 prévoit de visiter Uranus et Neptune grâce à l'effet fronde gravitationnelle de Saturne

La trajectoire de Voyager 1 est choisie pour survoler au plus près Saturne et ses satellites au détriment d'autres planètes lointaines dont Pluton

L'EXPLORATION SPATIALE : le voyage des sondes

- Les sondes Voyager émettent encore
- Elles sont (au 27 mai 2025) à 25 et 21 milliards de km de la Terre
- Elles quitteront le système solaire dans 14.000 et 28.000 ans (influence du champ gravitationnel du Soleil située à 2a1, soit 19.000 milliard de km)
- Elles atteindront Proxima de Centaure dans 80.000 ans
- Le 14 mai 2025, 47 ans et 8 mois après son lancement, les ingénieurs de JPL de la NASA ont réussi à raviver un propulseur...

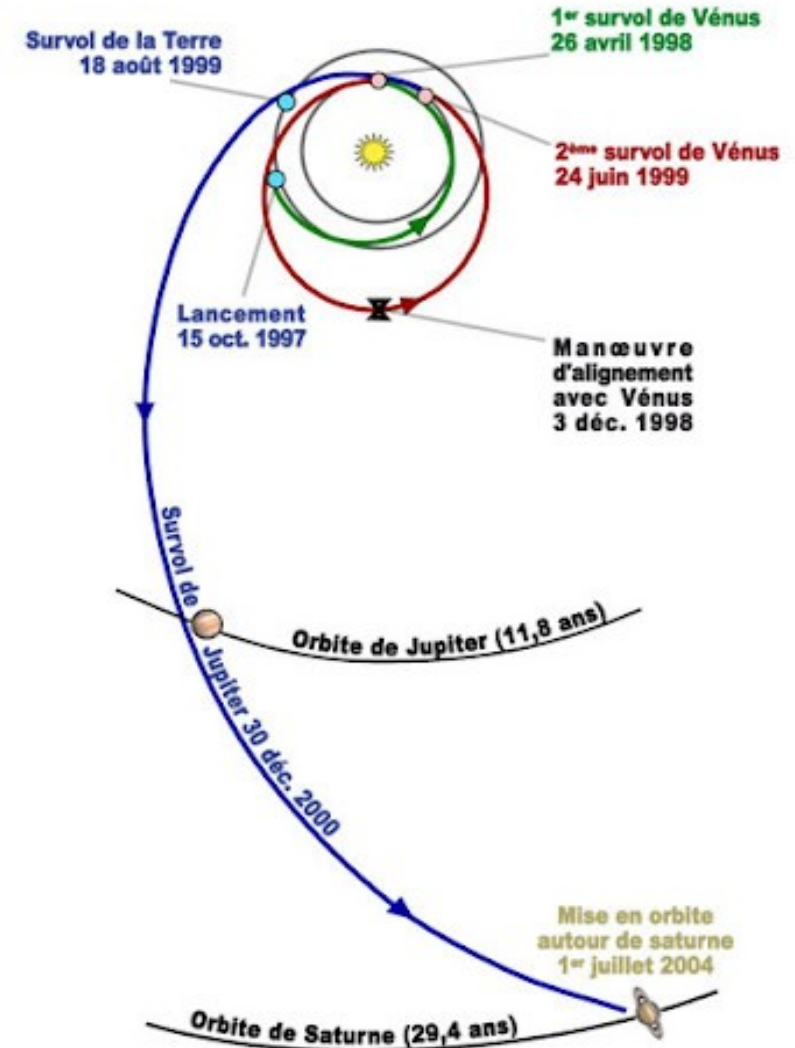
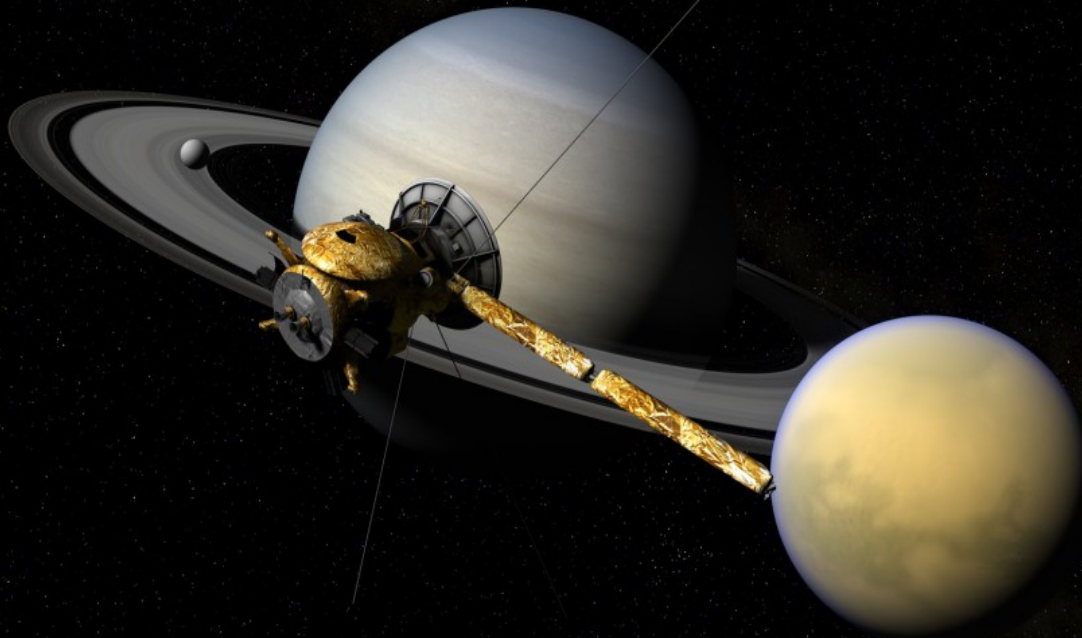


L'EXPLORATION SPATIALE : mission Cassini-Huygens (années 2000)

- Les sondes Pioneer et Voyager : trop vite, trop court
- Une coopération Nasa ESA débutée en 1982
- Une sonde qui se mette en orbite autour de Saturne : Cassini de la Nasa
- Un atterrisseur sur Titan : module Huygens de l'ESA
- Après des années de problème techniques, écologiques, financiers et politiques, le lancement a lieu le 15 octobre 1997
- Au terme de sept an de voyage la sonde s'approche à très grande vitesse (170.000 km/h)
- 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'EXPLORATION SPATIALE : les trajectoires



L'EXPLORATION SPATIALE : l'évolution de la technique...

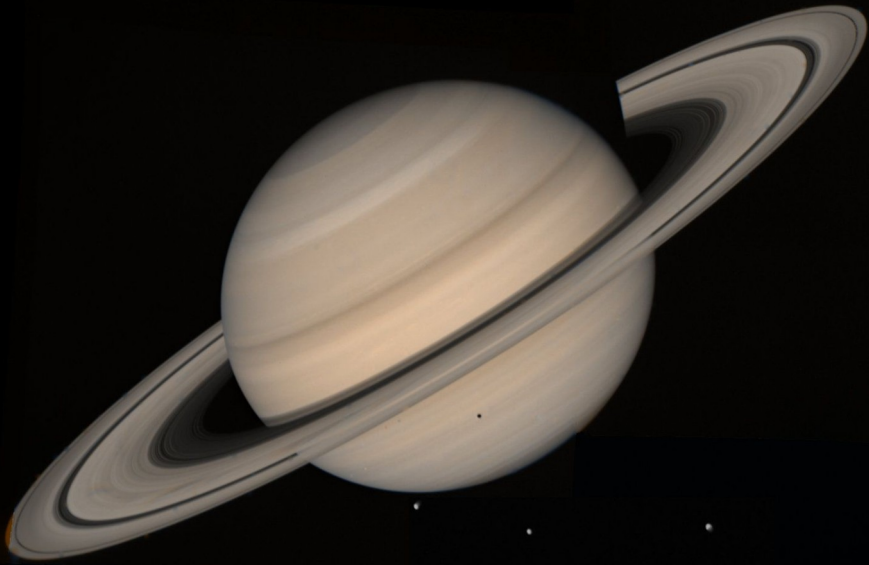


Photo prise par Cassini en 2004

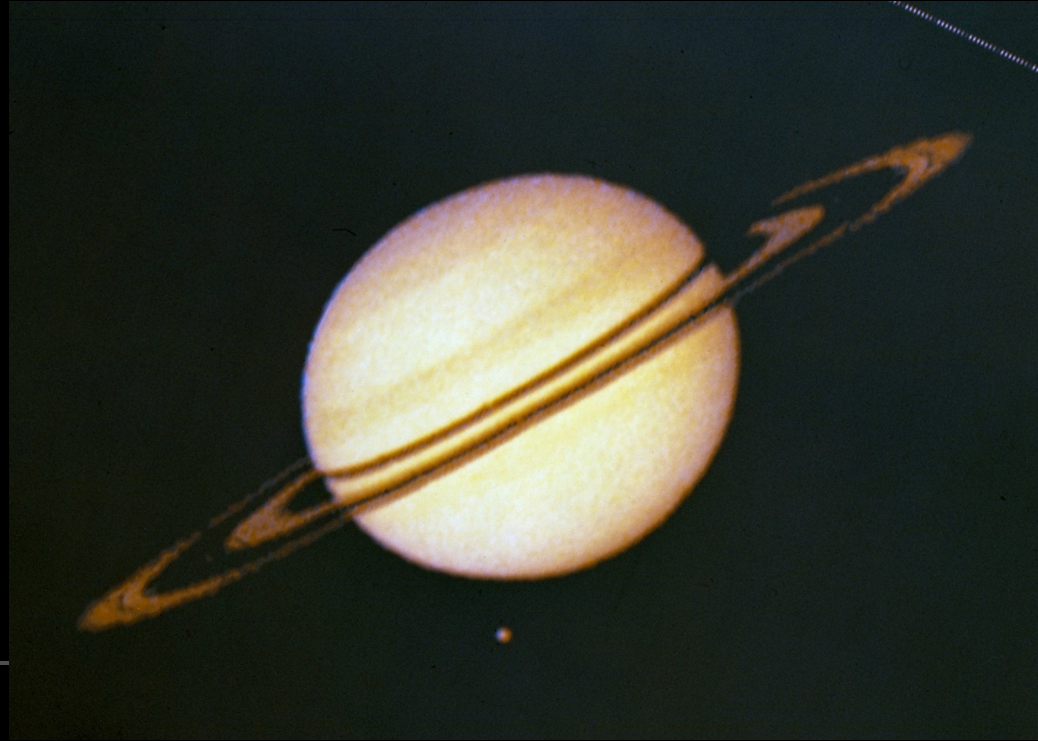
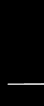


Photo prise par Pioneer 11 en 1979

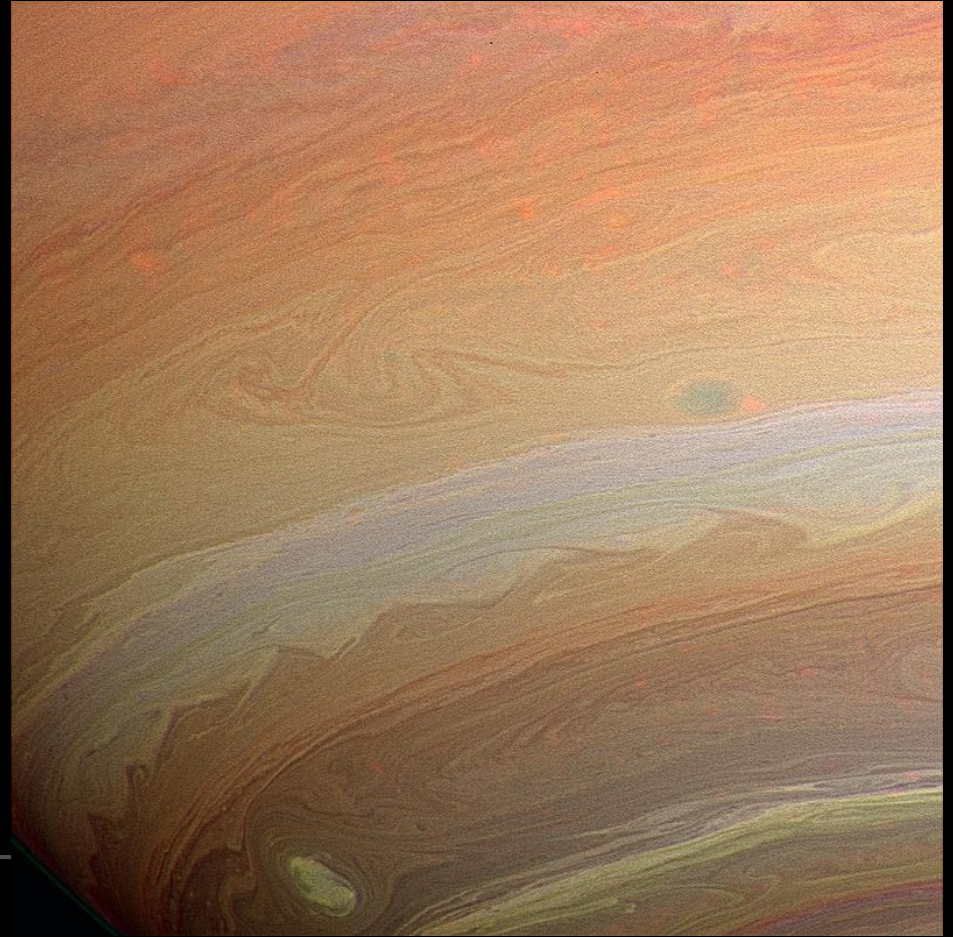
L'ATMOSPHERE DE SATURNE :

VENTS, ONDES ET TOURBILLONS



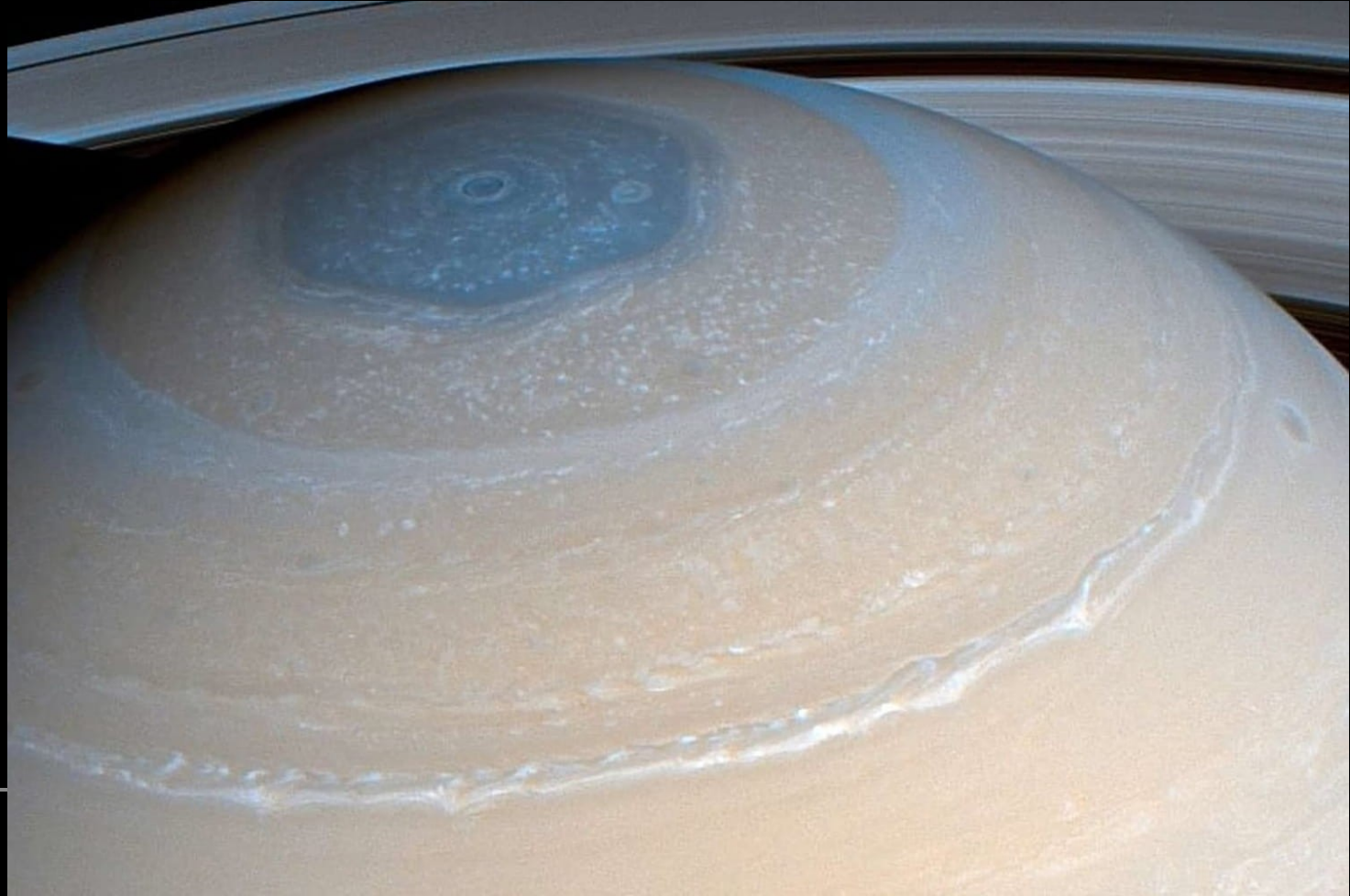
L'ATMOSPHERE DE SATURNE : Les vents

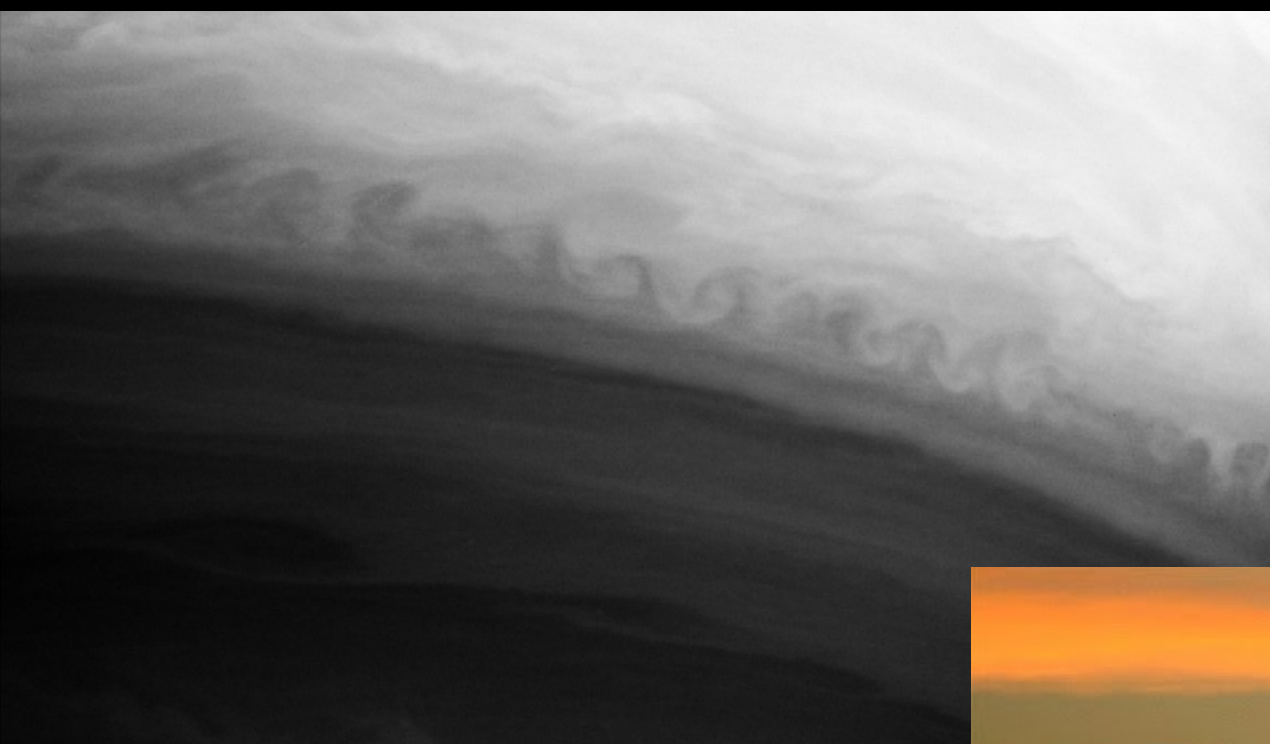
- De prime abord, Saturne présente une apparence plus lissée et uniforme que Jupiter.
- Une couche de brume de méthane gazeux masque l'activité météorologique
- La complexité et la richesse de la météorologie de Saturne rivalise avec celle de Jupiter
- Le régime de vent sur Saturne est constitué d'une 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 sud
- 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





- **Météorologues et astrophysiciens débattent de l'origine de ces courants aux écoulements complexes**
- **Le Phénomène de Kelvin-Helmholtz explique les phénomènes d'instabilité qui se produisent à la frontière entre deux écoulement allant à des vitesses différentes**
- **Sur Terre l'instabilité se développe entre deux couches horizontale...**

Instabilité entre deux courants sur Saturne

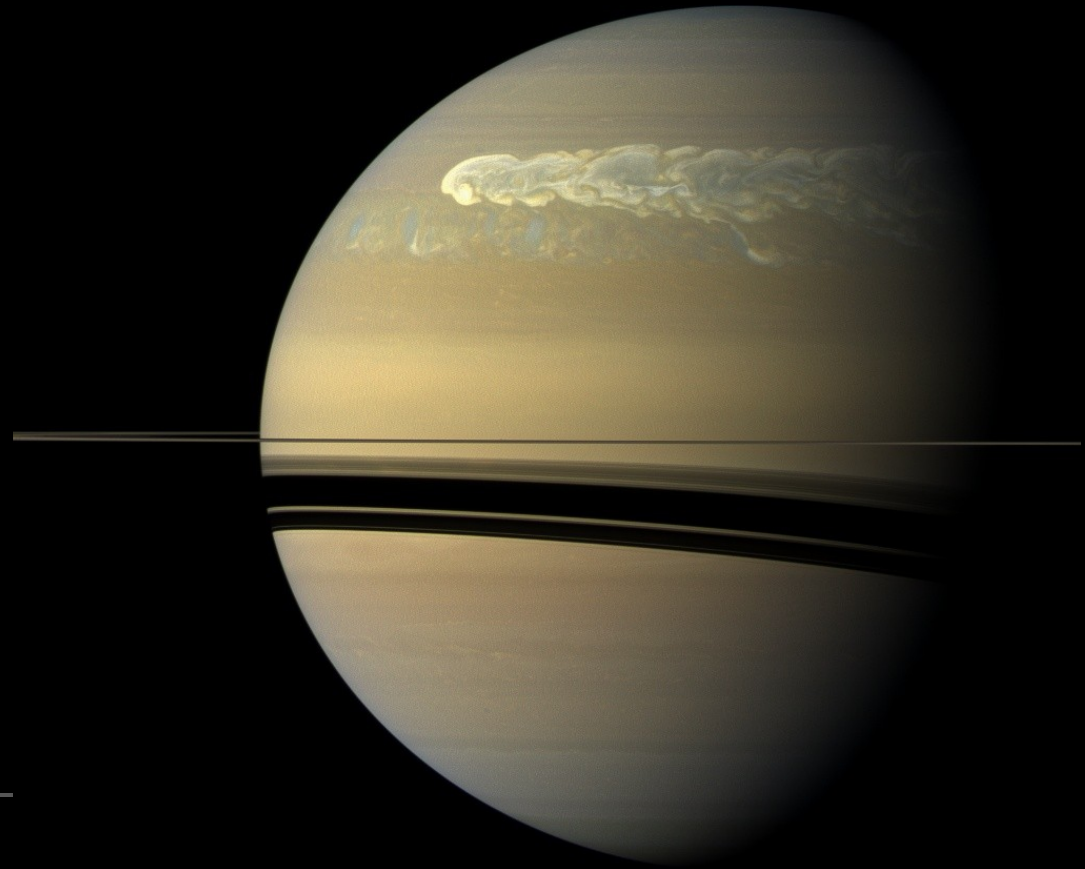


Nuages dans la baie de San Francisco

L'ATMOSPHERE DE SATURNE : avis de tempête

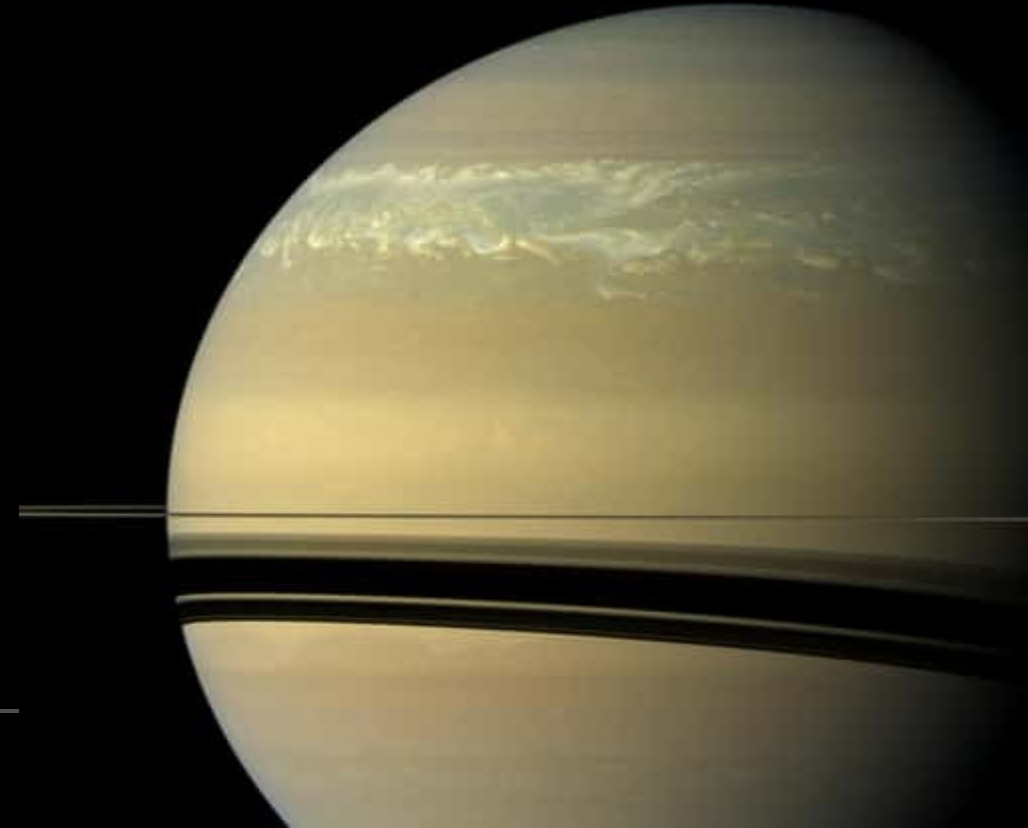
Tempête du 5 décembre 2010 photographiée par Cassini

- Jupiter est connue pour abriter de nombreux cyclônes et anticyclônes (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 tempête est caractérisée par une tête très aérodynamique qui génère de nombreux vortex dans son sillage
- La couleur blanche indique qu'il s'agit de particules blanches peu polluées composées pour moitié d'ammoniac et pour 1/4 de glace d'eau.
- C'est la première fois que de l'eau est détectée sur Saturne....



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



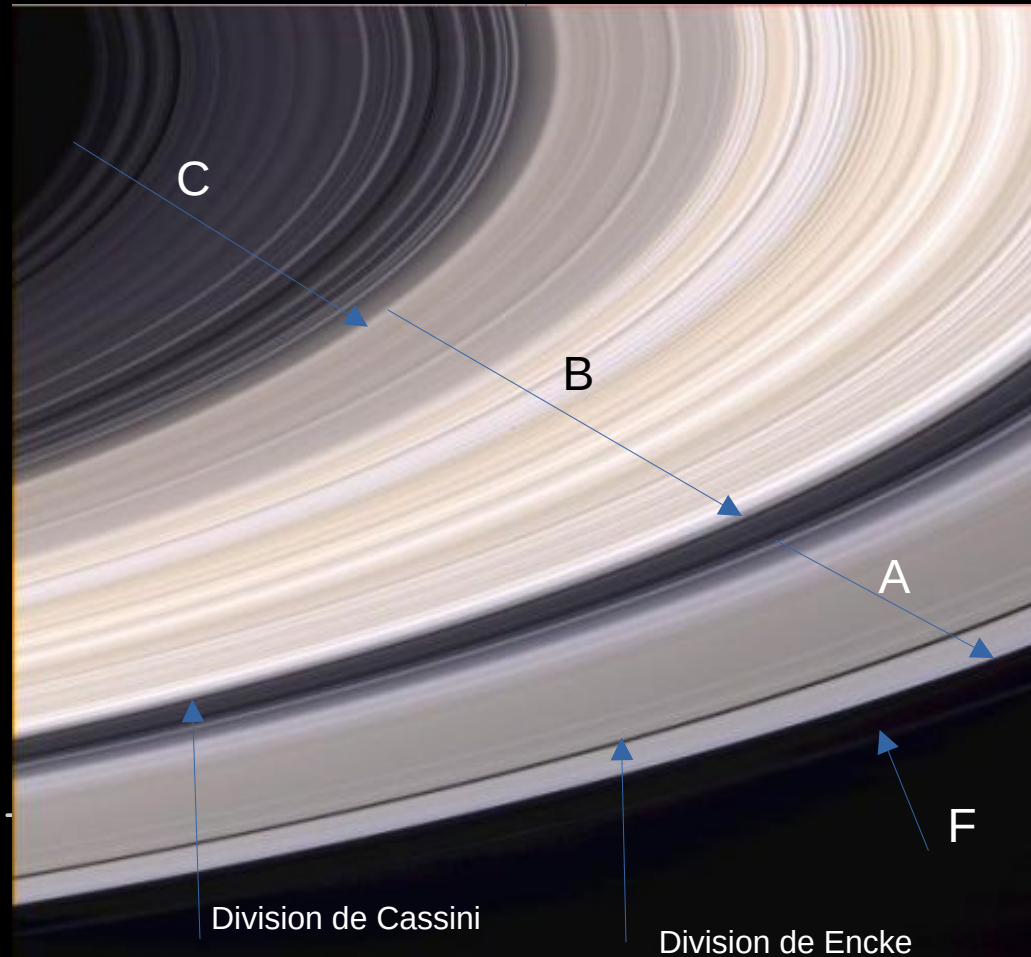
LES ANNEAUX DE SATURNE

Portrait succinct





LES ANNEAUX DE SATURNE : portrait succinct



Les anneaux sont désignés par des lettres de l'alphabet dans l'ordre de leur découverte.

- C : le plus interne et le plus sombre, presque transparent
- 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

LES ANNEAUX DE SATURNE : Portrait succinct

Les anneaux en vraie couleur

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

Les limites externes des anneaux, ainsi que les limites internes sont extrêmement nettes.

Les anneaux sont composés de blocs de glace d'environ 1 mm jusqu'à 10 m

Ils sont très fins : une dizaine de mètres seulement pour un diamètre de 280.000 km

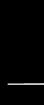
Ils sont composés à 97 % de glace d'eau

Leur masse est faible, équivalente à une boule de glace 200 km

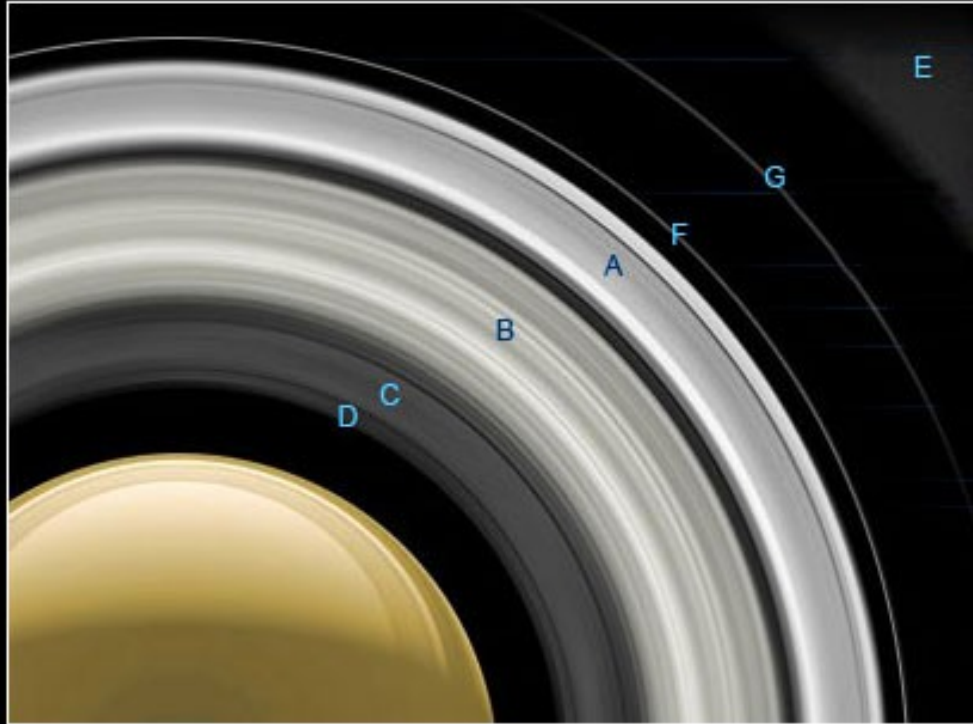


LES ANNEAUX DE SATURNE : l'épaisseur des anneaux

- Première mesure de l'épaisseur des anneaux lors de l'équinoxe de 1979-1980 à partir d'image prise par des télescopes terrestre
- Résultat : 1km vus par la tranche
- Puis les mesures faites par la sonde Voyager 1, confirmées par les mesures de Cassini :
 - 10 m dans l'anneau C
 - 50 m dans l'anneau A
- Les 1 km mesurés depuis la terre sont représentatif de l'épaisseur de l'anneau F perturbé par les satellites Prométhée et Pandore



LES ANNEAUX DE SATURNES : les anneaux plus discrets



Mais où sont les anneaux D, E et G ?

- Les anneaux principaux (A, B, C, D et F) s'étendent de 75 000 km à 140 000 km, soit 1,2 à 2,3 rayons de Saturne
- Au delà des anneaux principaux se trouvent deux anneaux G et E. (limite de Roche)
- L'anneau E 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 est gigantesque

LES AUTRES PLANÈTES AUX ANNEAUX

URANUS

Les deuxièmes anneaux observés

Par William Herchel en 1798 ??

5 anneaux découverts en 1977 par James Elliot qui observe l'occultation d'une étoile (SAO 158687) par Uranus pour étudier son atmosphère

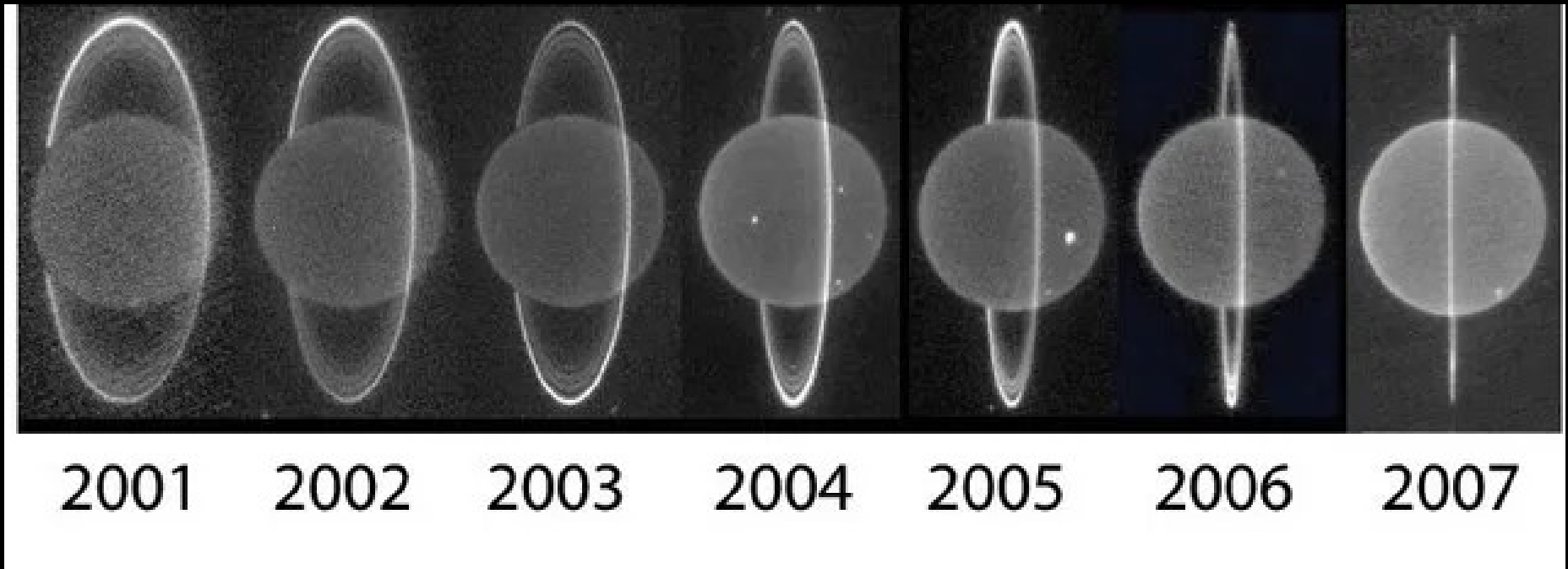
2 anneaux supplémentaires découverts par Voyager 2 en 1986

13 anneaux au total identifiés en 2005 par Hubble

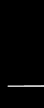
Constitués de particules de 0,2 à 20 m



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Uranus_rings_discovery.gif?uselang=fr



Les anneaux d'Uranus depuis 2001,
vus depuis l'Observatoire W. M. Keck à Hawaïi



JUPITER



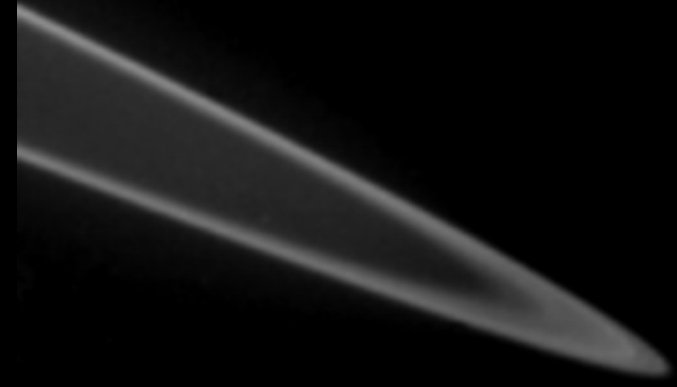
L'anneau principal de Jupiter observé par la caméra de la sonde Galileo

Observé pour la première fois en 1979 par la sonde Voyager 2

Un million de fois moins dense que ceux de Saturne

En 2000 la sonde Galileo passe à travers l'anneau principal et mesure des poussières de 0,2 à 5 μm

Un nouvel anneau vu par New Horizon en 2008 dans l'orbite d'Himalia pouvant résulter de l'impact de la petite lune Dia disparue...



Vue des anneaux de Jupiter par Voyager 2 en juillet 1979.



Mosaïque des anneaux de Jupiter réalisée par la sonde Galileo et publiée en septembre 1998

Neptune

Probablement
découverts en 1968
grâce à une
occultation stellaire
5 anneaux identifiés
à ce jour
L'anneau Adams
est constitué de
portions d'arc
confirmées par
Voyageur 2 en 1989



Image d'anneau prise
par Voyager, montrée en
luminosité accrue pour faire
ressortir des nuances plus fines



Anneaux de Neptune pris par le télescope spatial James Webb

A black and white photograph of Saturn's rings, showing the complex structure of the rings and a small moon in the background. The rings are on the left side of the image, and the moon is a small crescent shape in the center. The background is dark, suggesting space.

LES MONDES DE **SATURNE**

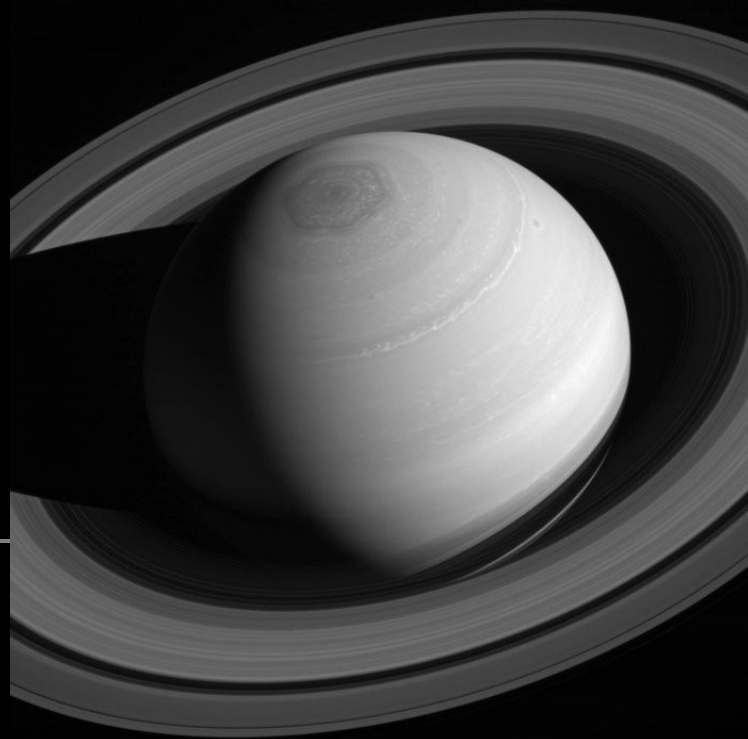
LES ANNEAUX ET
LES SATELLITES

En orbite avec Rhéa

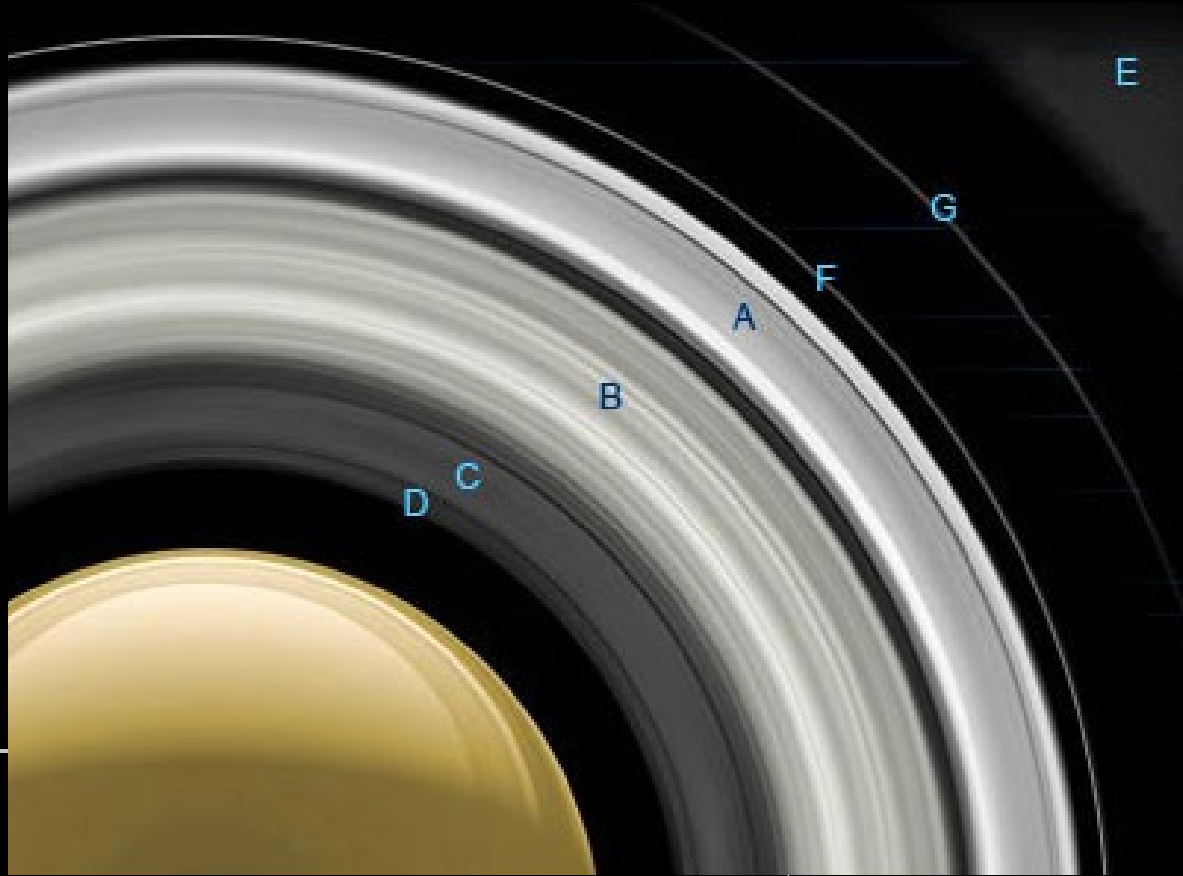
LES ANNEAUX DE SATURNE

ET QUELQUES SATELLITES

Portrait détaillé



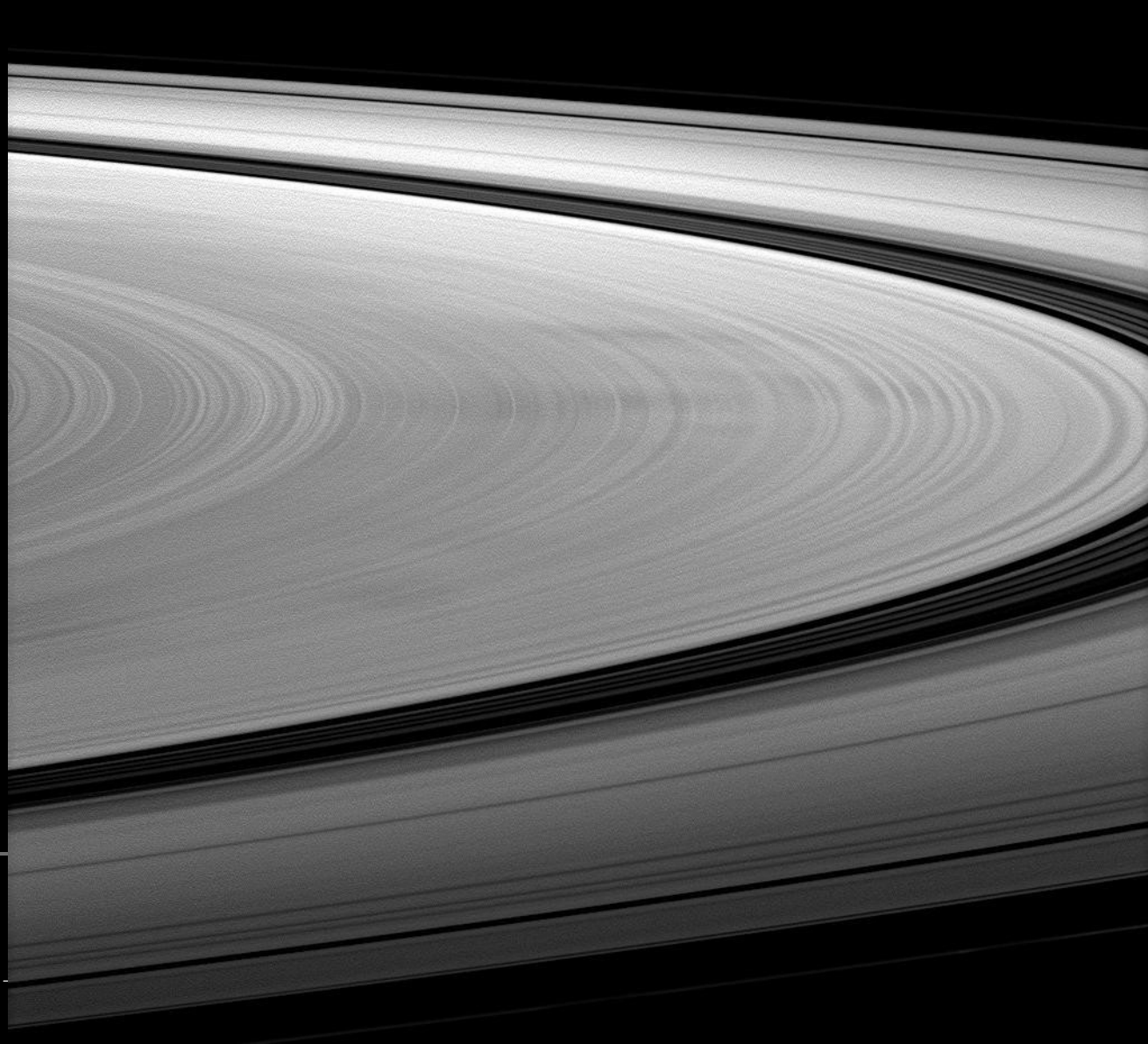
LES ANNEAUX DE SATURNE



- Les anneaux principaux (A,B,C,D et F) s'étendent de 75 000 km à 140 000 km, soit 1,2 à 2,3 rayons de Saturne
- Au delà des anneaux principaux se trouvent deux anneaux G et E très ténus
- L'anneau de Phœbé, très éloigné, est gigantesque

L'ANNEAU B

- L'anneau B est le plus grand, le plus brillant, le plus dense
- Il commence à 92.000 km du centre de Saturne et s'arrête à 117.850 km
- Il est composé de blocs de glace de quelques mètres qui roulent les uns sur les autres
- Il est séparé de l'anneau A par la division de Cassini qui contient de fins annelets séparés par des grands vides

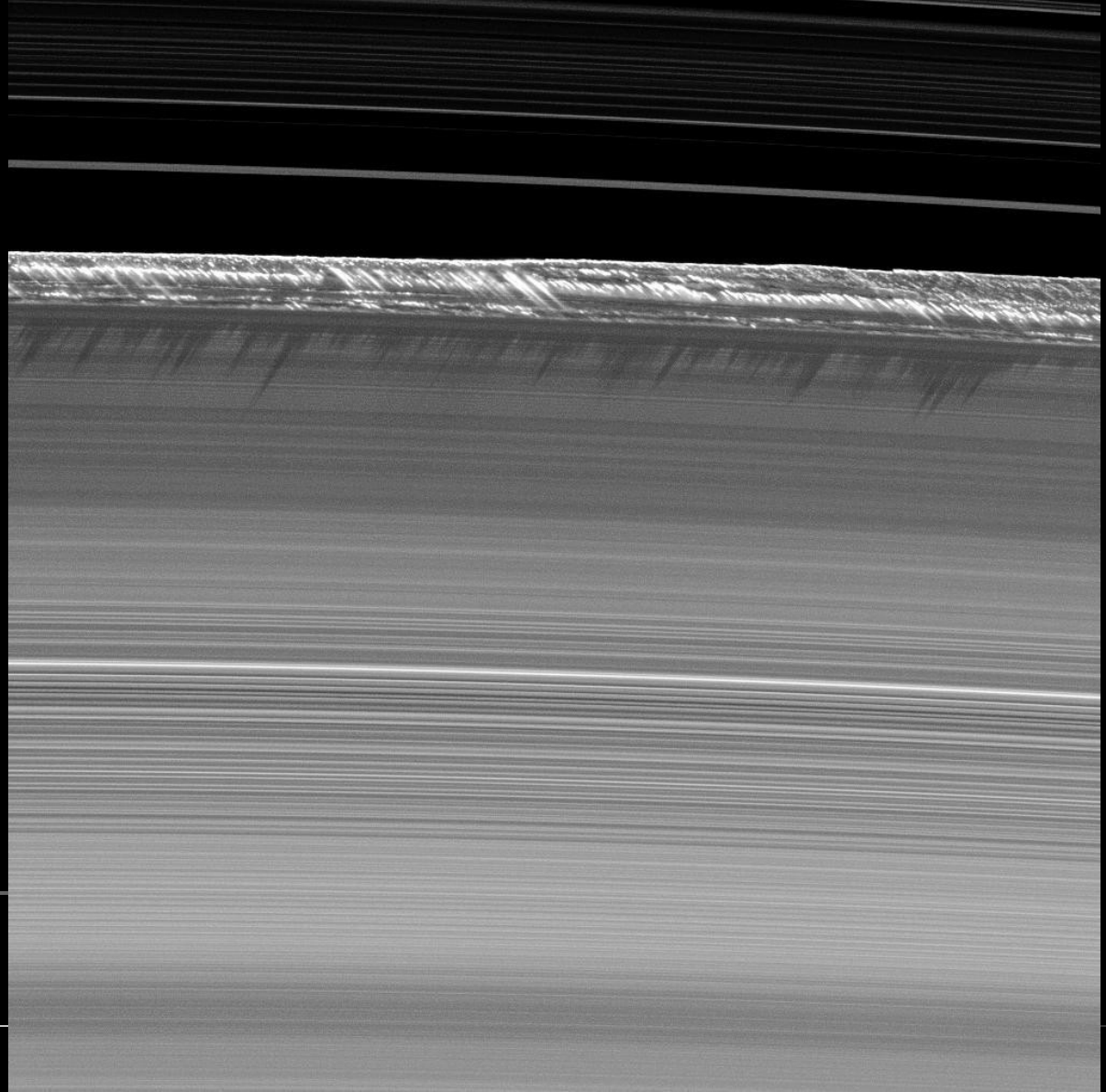




Partie centrale de l'anneau B à très haute résolution montrant l'irrégularité de sa structure

L'ANNEAU B

- Il s'arrête très brutalement : une bille de glace sur le bord externe est en résonance 2:1 avec **Mimas**
- C'est cette configuration qui confine l'anneau sous l'effet de la gravité
- 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 vides

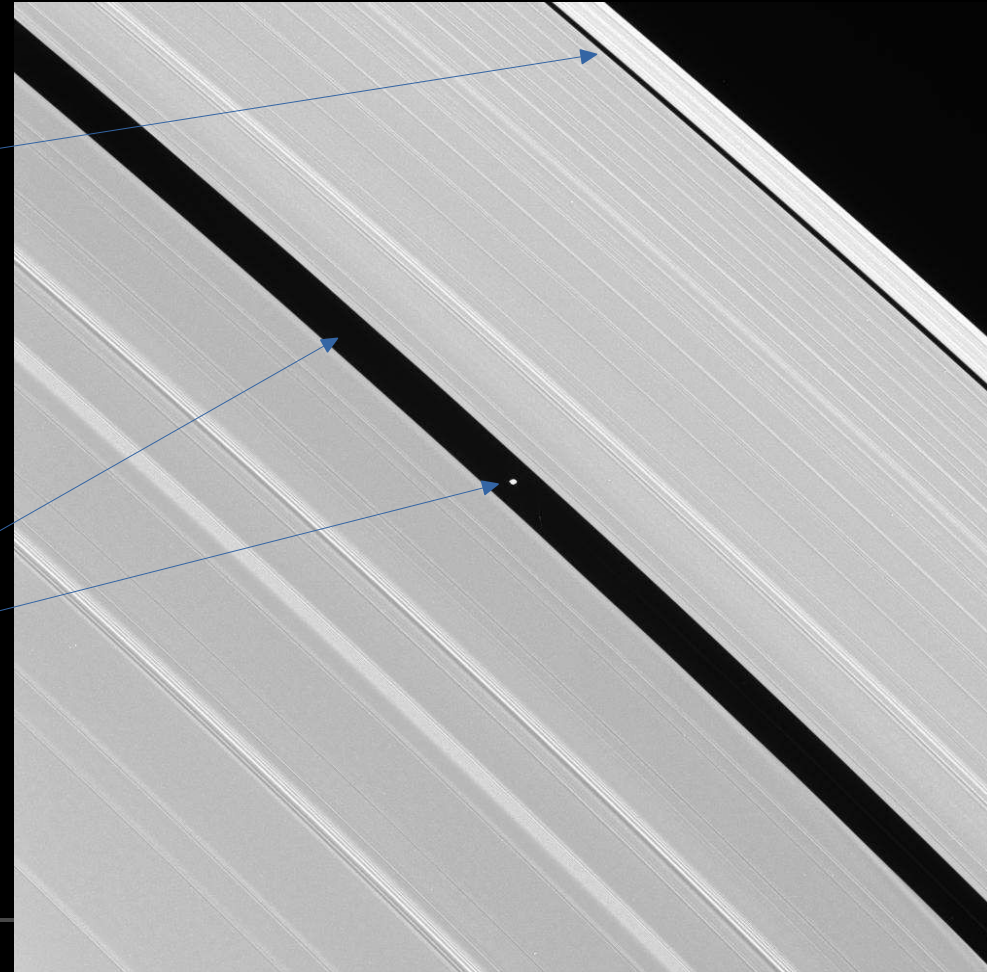


L'ANNEAU A

- Il contient plusieurs divisions au milieu desquelles orbitent plusieurs petits satellites
- **Pan** et **Daphné** orbitent dans des régions vides de l'anneau A

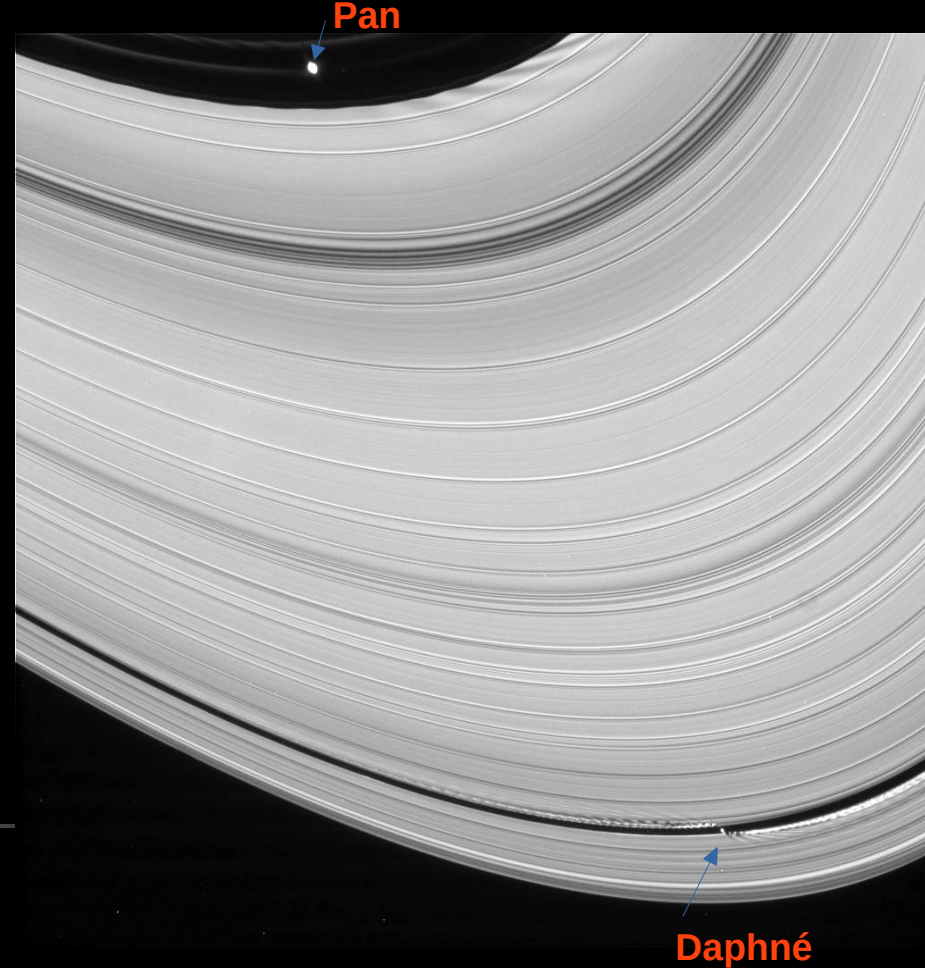
Division de Keeler
Daphnis

Division de Encke
Pan

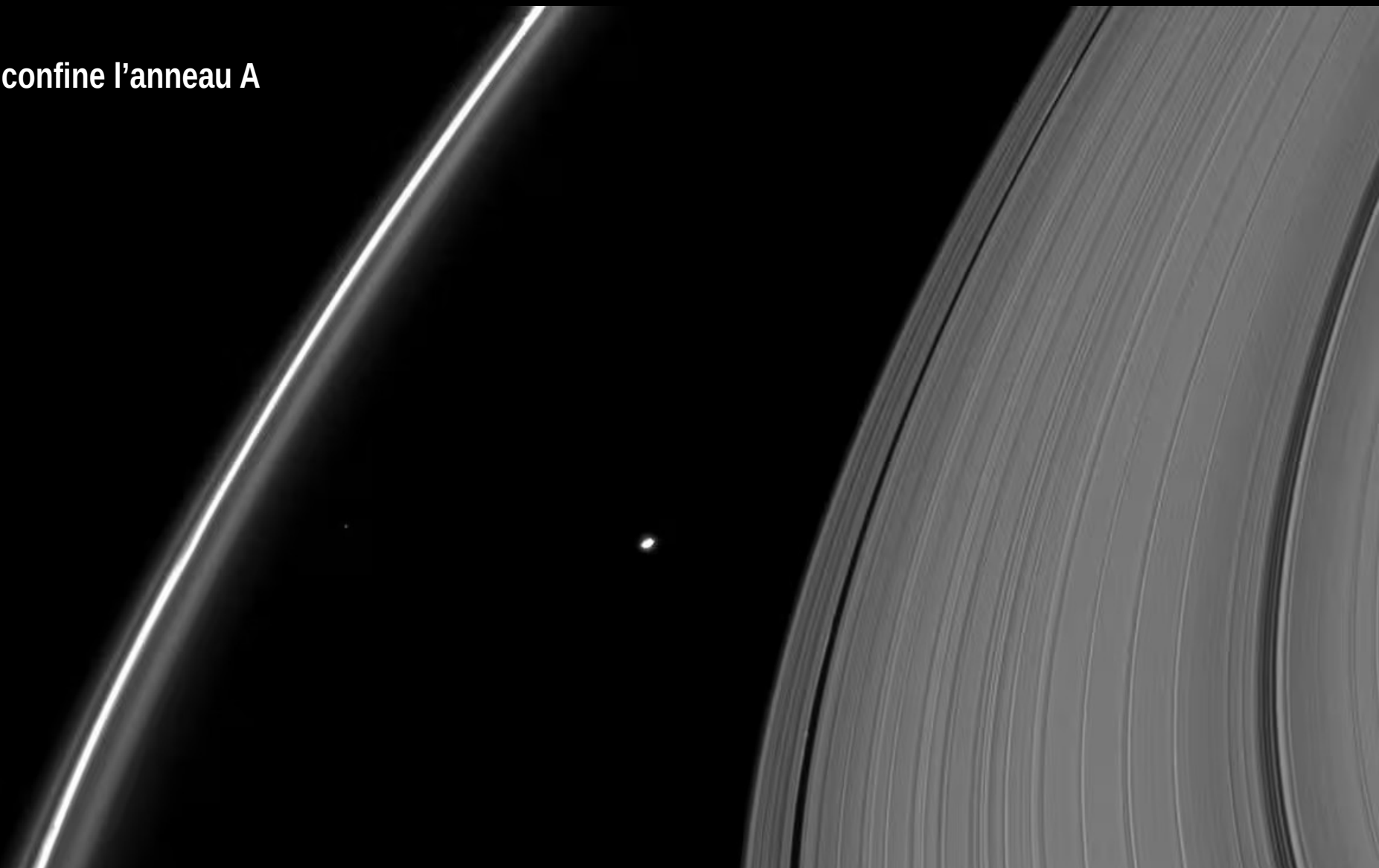


L'ANNEAU A : Pan, Daphné, Atlas

- 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

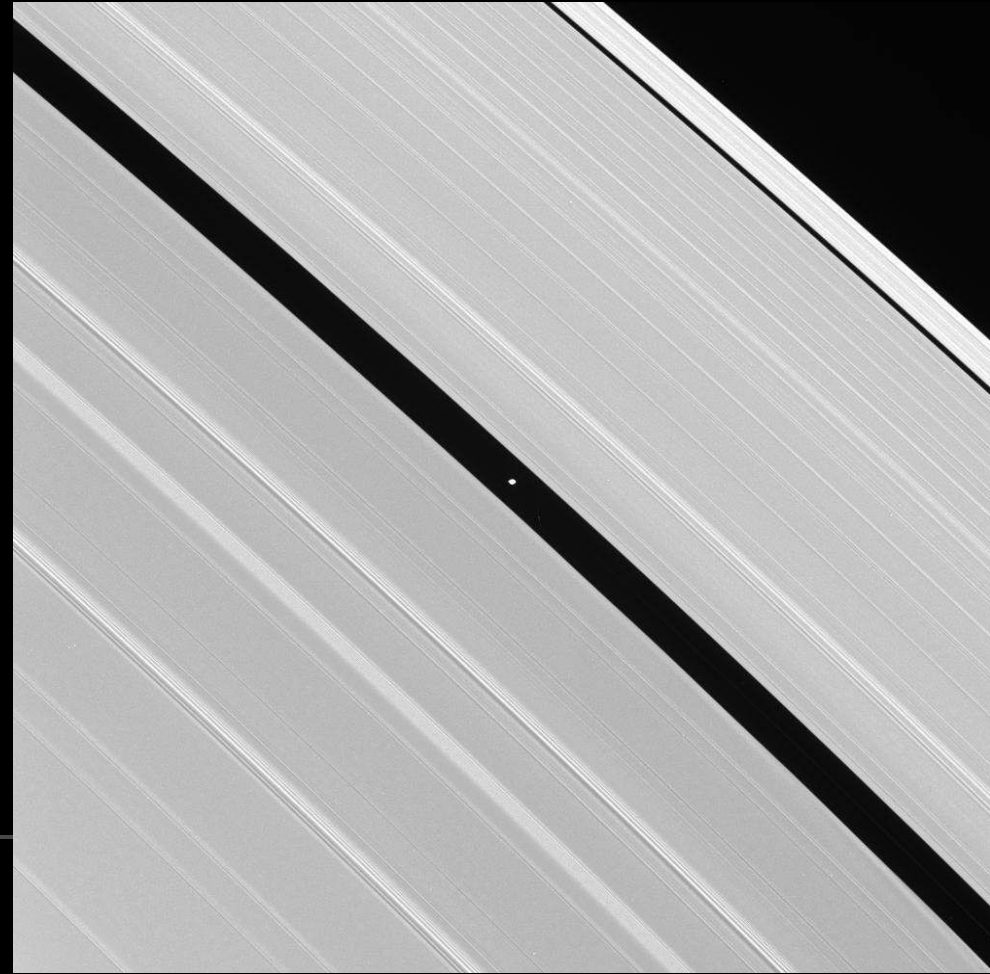


Atlas qui confine l'anneau A



L'ANNEAU A : Pan

Pan "dépasse" de l'anneau

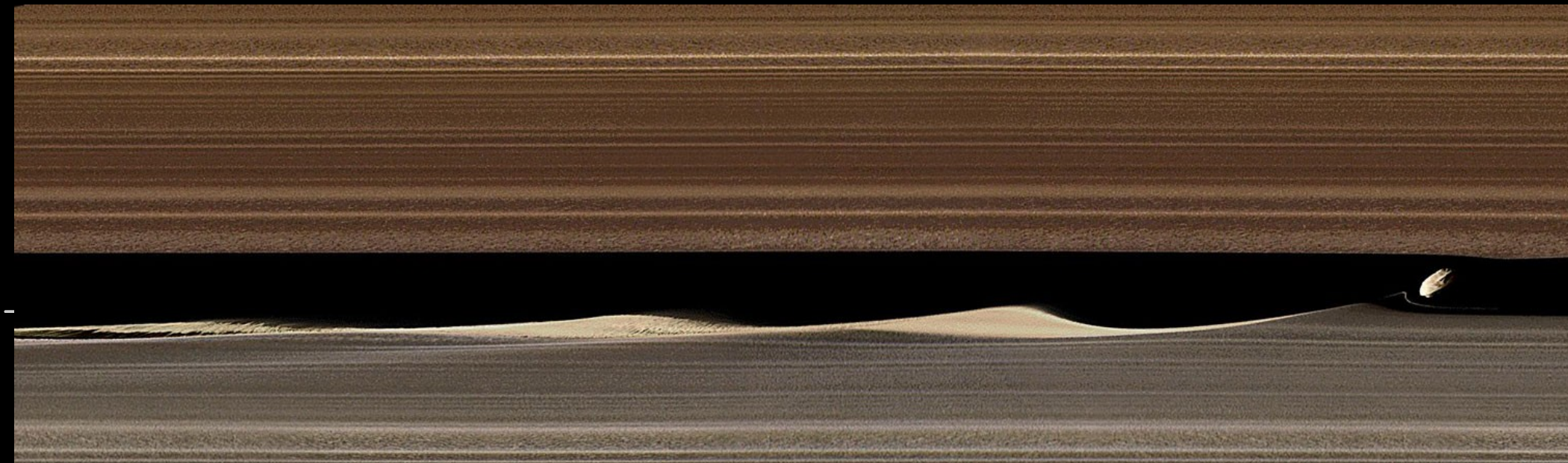


La période de révolution de
Pan est de 0,575 jour

L'ANNEAU A : Les ondes que génère **Daphné** dans la division de Keeler

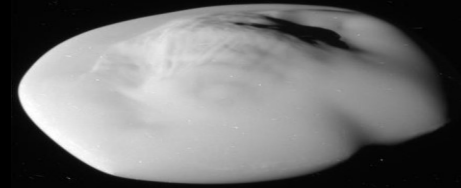
L'une des dernières images prises par la sonde Cassini: la propagation des vagues créées sous l'effet de la gravité du petit satellite **Daphnis** dans la division de Keeler

Le cliché résume bien la transformation des vagues au fil du temps. D'abord homogènes (comme celle de droite, qui suit immédiatement **Daphnis**), elles rétrécissent et se structurent peu en peu en herces, sans doute sous l'effet de l'attraction et des collisions entre particules



Pan, Daphné, Atlas : LES LUNES MINEURES INTERIEURES

- **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.



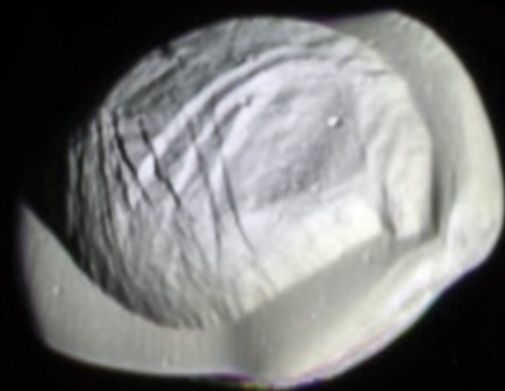
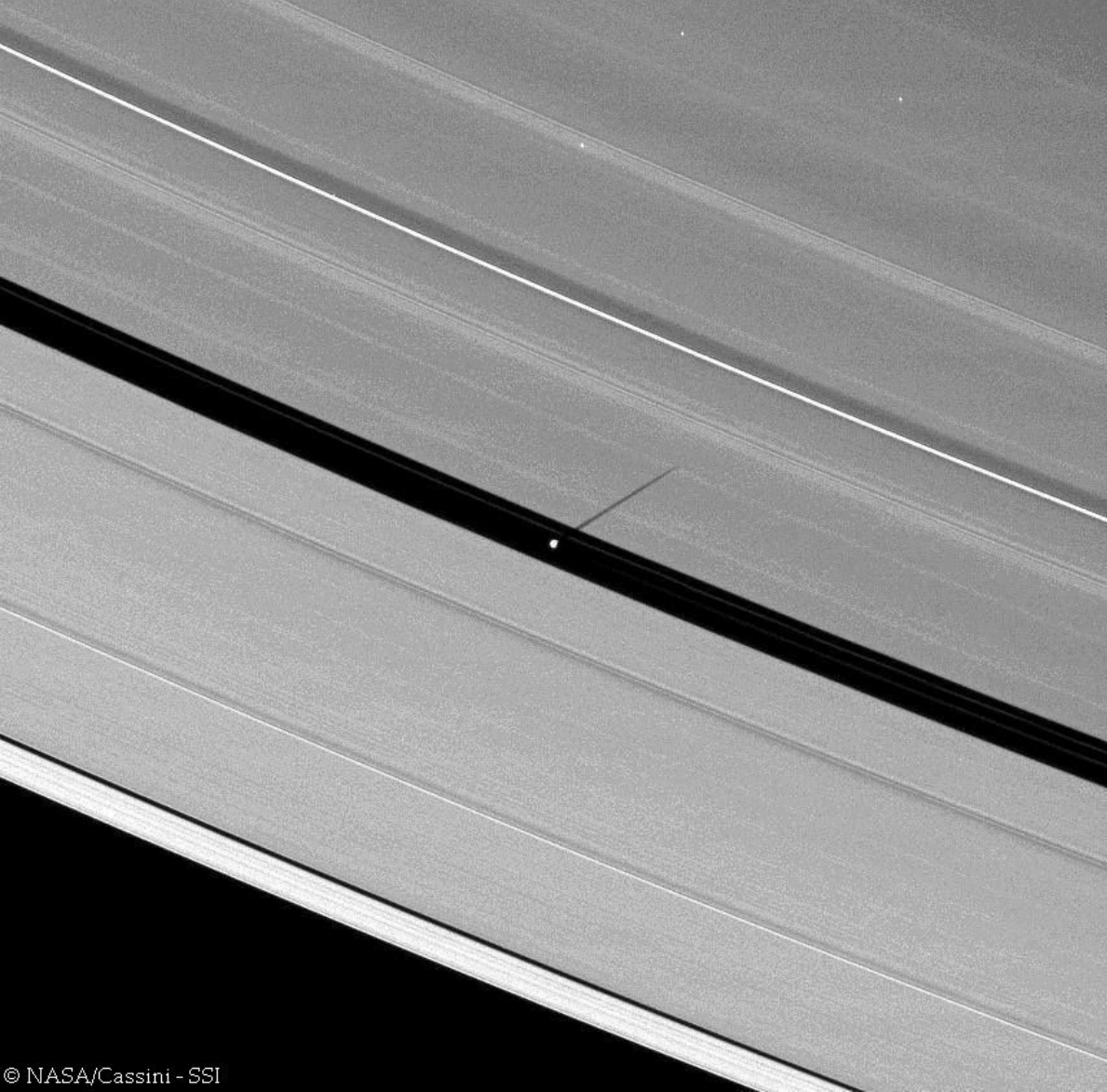
Atlas (février 2007- NASA)



Pan (7 mars 2017-NASA)



L'ombre de Pan sur les anneaux dans sa division de Encke



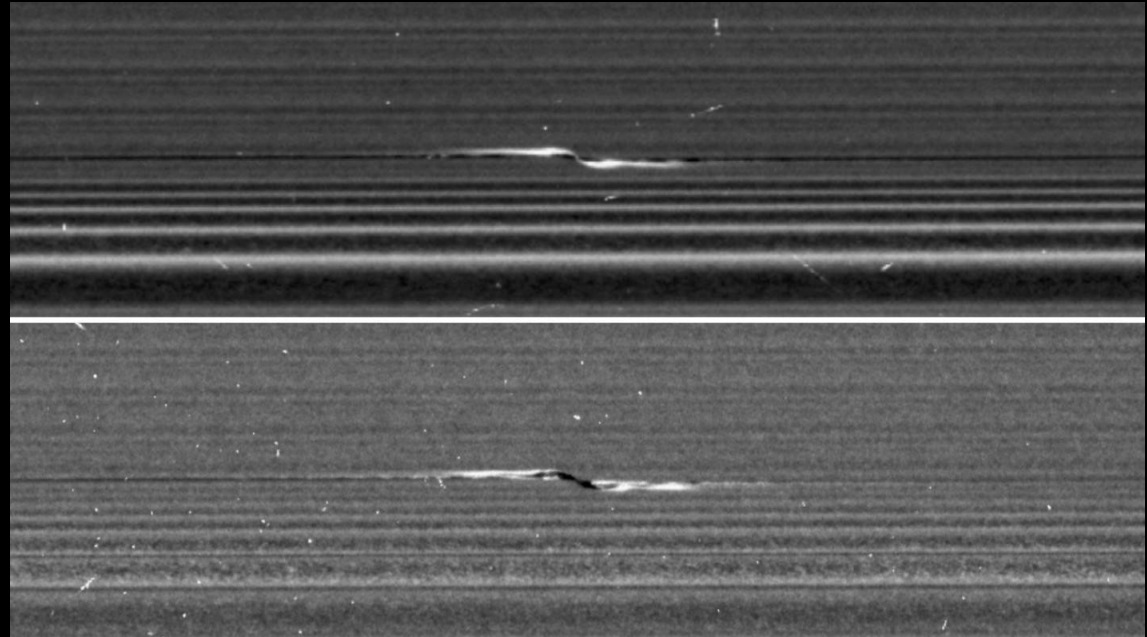
L'ANNEAU A : les ondulations

- L'anneau A est parcouru par d'étranges ondulations : les ondes de densité
- Les ondes de densité sont des perturbations en forme de spirale qui se propagent à travers les anneaux à certaines distances de la planète.
- Cette onde de densité est créée par l'interaction gravitationnelle de l'anneau avec la lune **Prométhée** (résonance 12:11).

Photo prise lors du "Grand Final"

L'ANNEAU A : une foule de mini-lunes

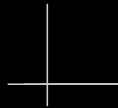
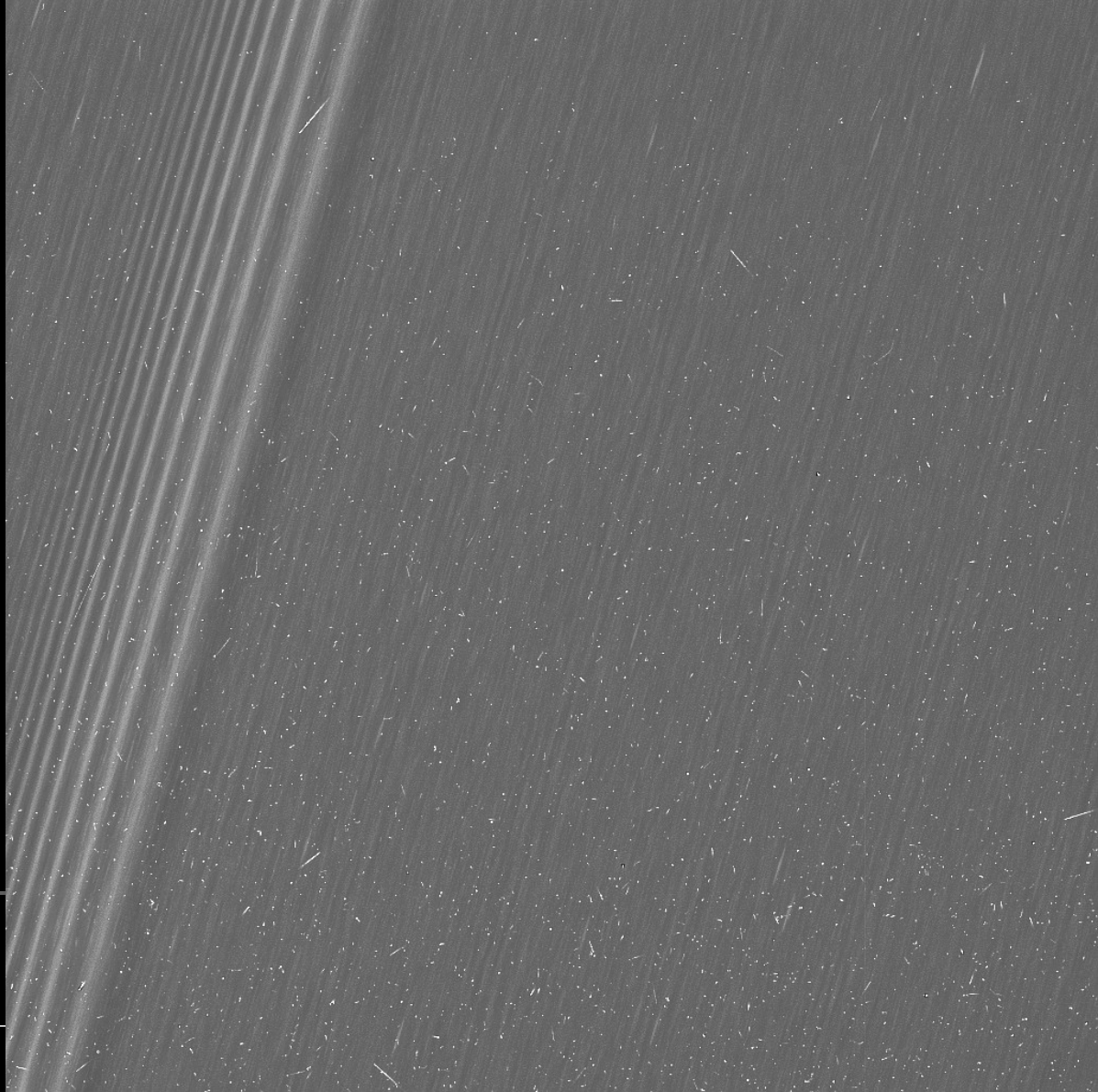
- L'anneau A abrite également des structures en forme d'hélice de quelques centaines de km de long (propeller)
- Ces hélices se forment autour de satellite de moins de 500 m pas assez massif pour nettoyer l'espace
- Les propellers trahissent la présence de centaine voire de millier de mini lunes dans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



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

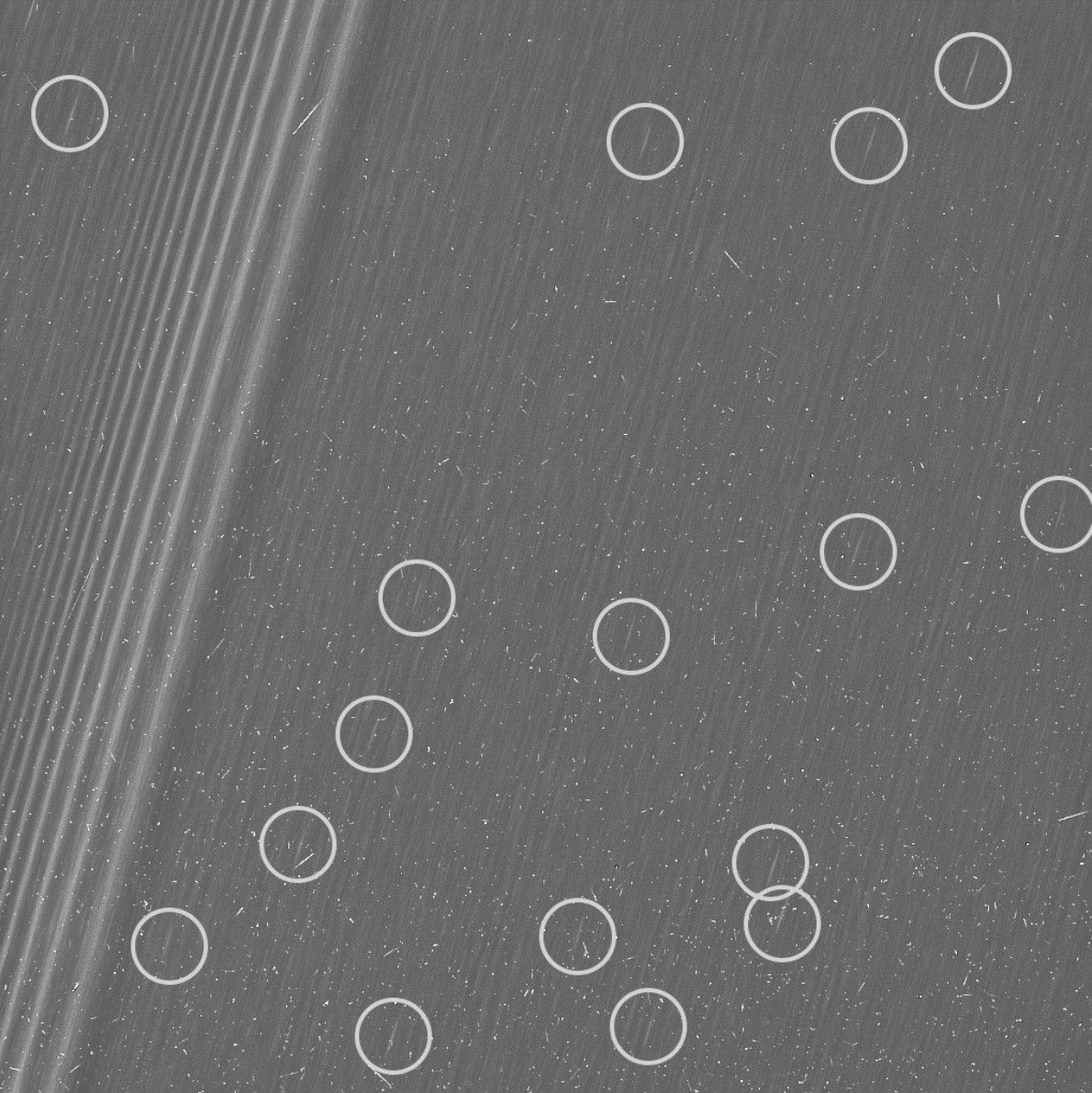
Les mini-lunes dans la ceinture d'hélices

La vue présente de nombreuses petites imperfections brillantes dues aux rayons cosmiques et au rayonnement des particules chargées à proximité de la planète.



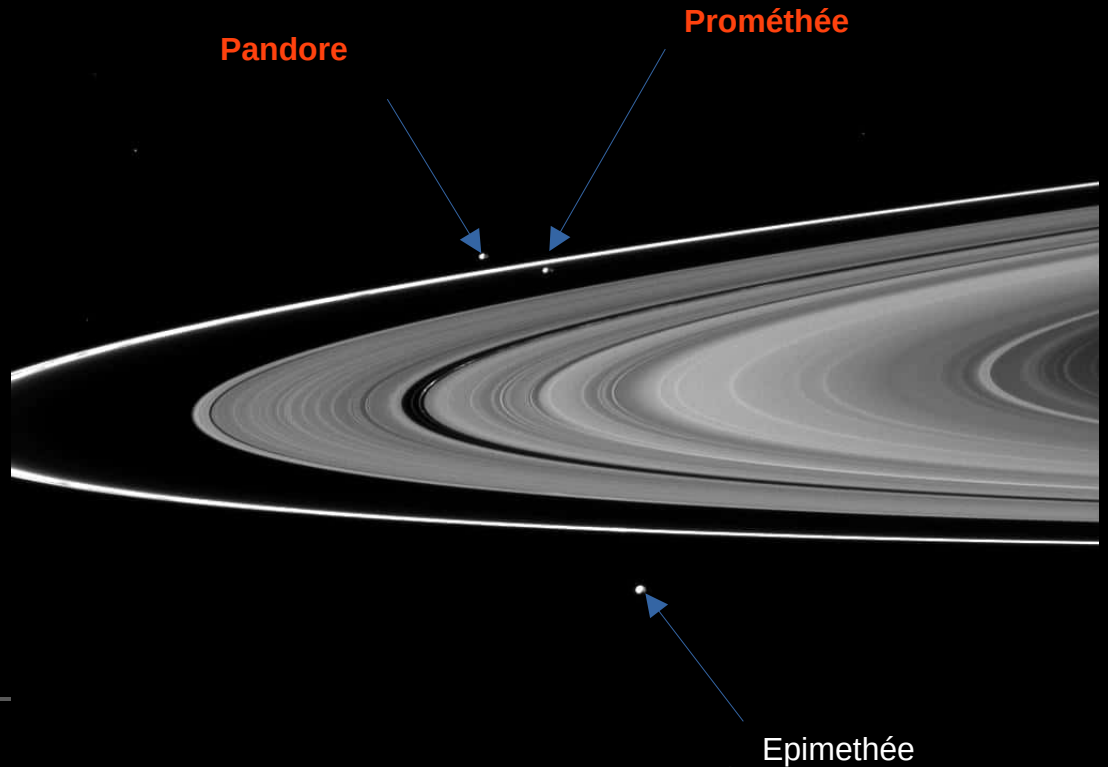
Les mini-lunes dans la ceinture d'hélices

Cette vue montre une section de l'anneau A connue des chercheurs pour abriter des ceintures d'hélices de petites lunes invisibles enfouies.



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 : **Prométhée** et **Pandore**
- Jusqu'à peu on pensait que l'anneau F était sous la surveillance étroite des satellites Prométhée et Pandore, comme l'anneau A est sous la surveillance d'Atlas

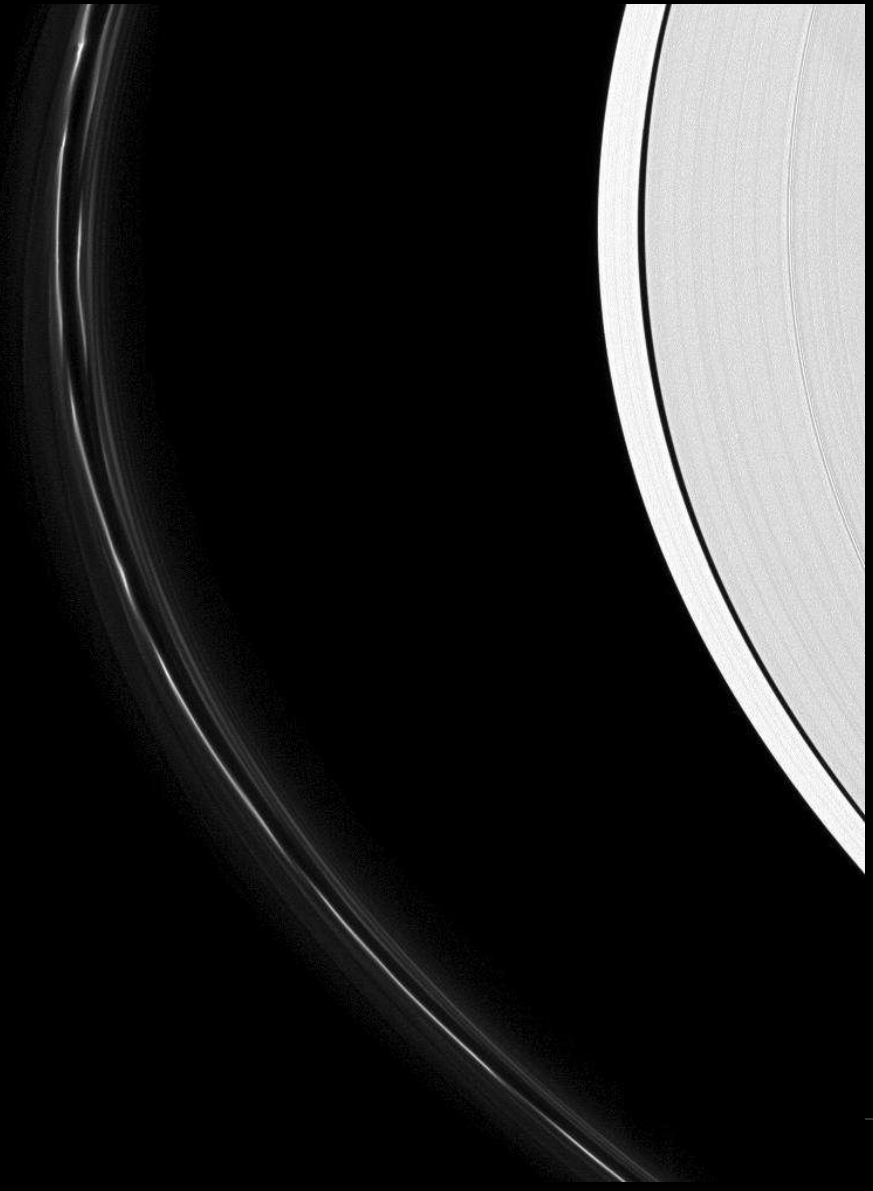


Epiméthée qui participe à la formation des ondulations dans une partie de l'anneau A

L'ANNEAU F

Prométhée et Pandore : de bergers à bûcheron

- **ATLAS** qui borde l'anneau A l'empêche de s'étaler est appelé satellite berger
- En fait Prométhée 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



L'ANNEAU E

Anneau diffus de poussière de glace, translucide

Il est alimenté par les geysers d'**Encelade**, situé à 237 000 km

L'ANNEAU G

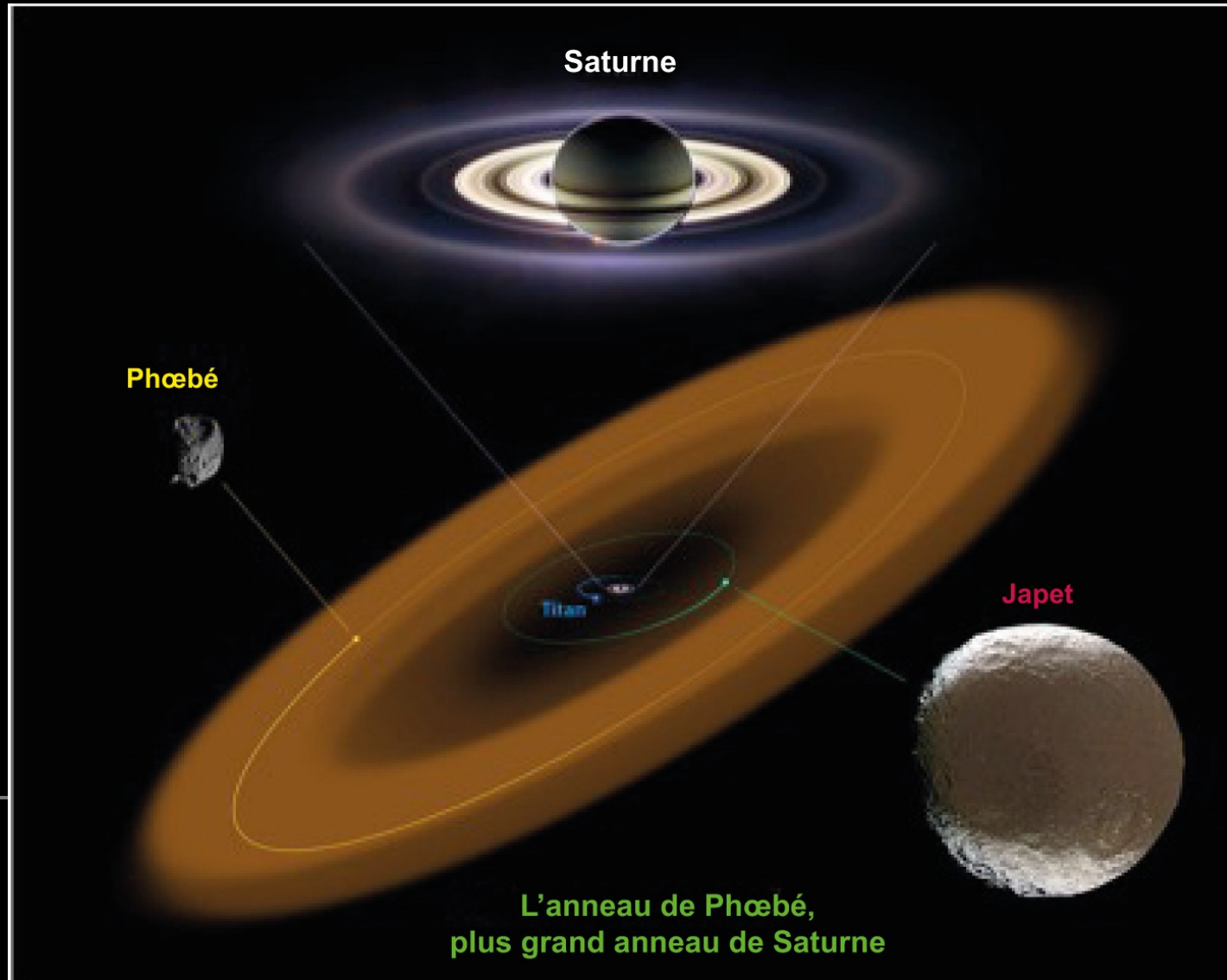
Anneau diffus de poussière de glace qui serai alimenté en poussière par l'érosion d'anciens satellites ou du petit satellite **Egéon** ??



Encelade dans son anneau E

L'anneau de Phœbé

- Il commence à 6 millions de km et s'étend sur 12 million de km
- Il fait 20 fois la taille de Saturne en épaisseur
- Comme **Phœbé**, le satellite qui l'habite, il tourne en sens inverse de la planète et des lunes principales



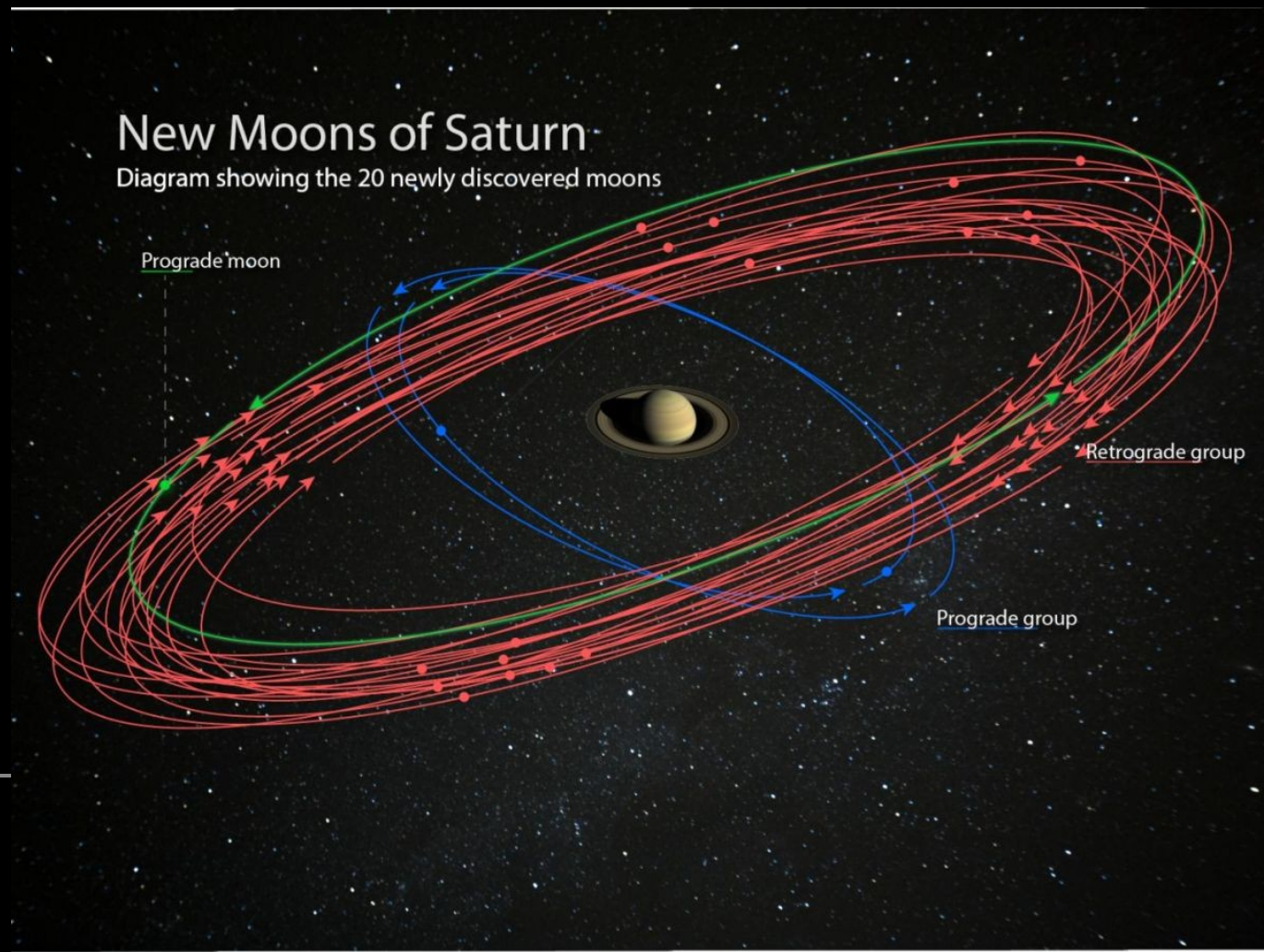
LES SATELLITES (274...)

- Les satellites réguliers :
 - proches de Saturne,
 - décrivent des orbites circulaires dans le plan équatorial,
 - natifs du système
- Les satellites irréguliers :
 - loins de Saturne,
 - décrivent des orbites elliptiques et inclinées et ont des mouvements progrades et parfois rétrogrades
 - Des formes biscornues
 - Probablement capturés par le champ de gravité de Saturne

Nous nous intéresserons essentiellement aux satellites réguliers

LES SATELLITES IRREGULIERS DE SATURNE : les orbites des nouvelles lunes

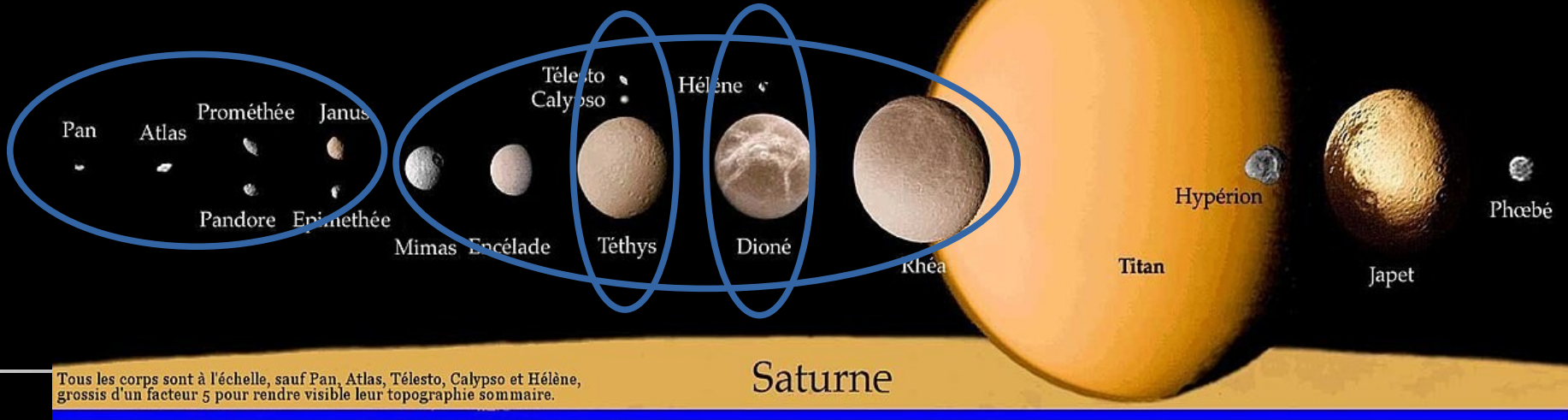
Situés entre 12 et 24 millions de km
Inclinaison de 136° à 175°



Les satellites réguliers :

- Les lunes mineures intérieures qui gravitent dans ou à proximité des anneaux
- Les lunes mineures enchaînées à des satellites réguliers
- Les satellites intérieurs au nombre de cinq
- Titan
- Japet
- Hipéron...

Description en partant et s'éloignant de Saturne

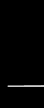


LES SATELLITES DE SATURNE : tailles comparées des satellites



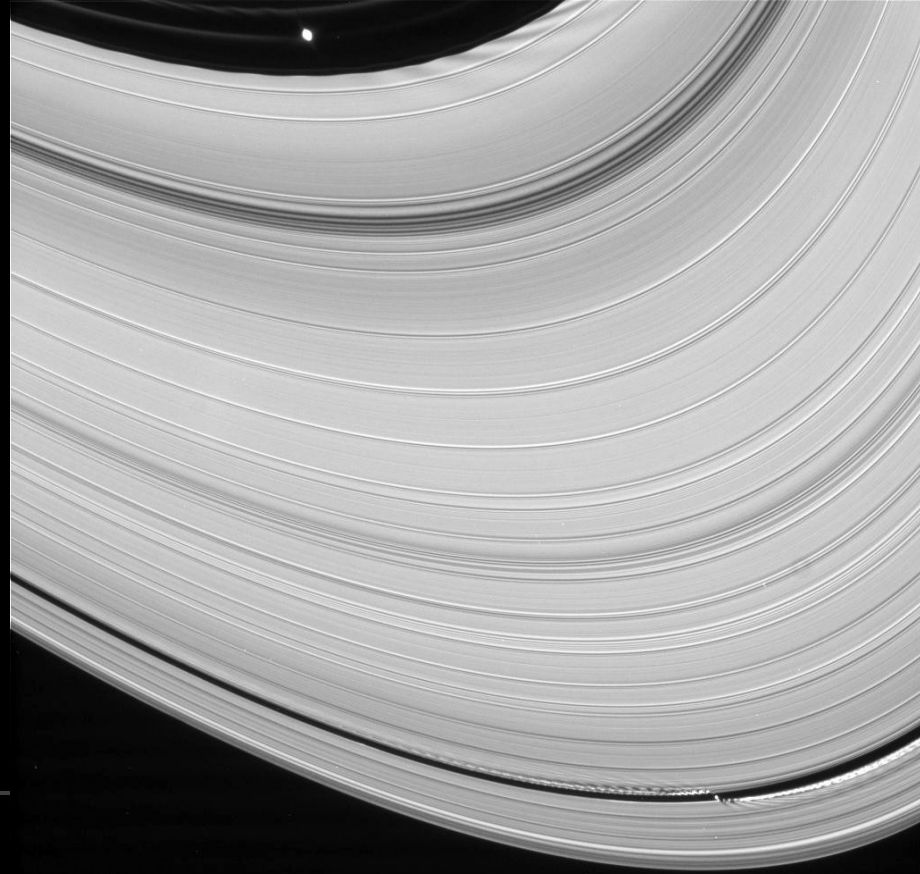
Ganymède (2643 km) - Callisto (2410 km) - Lune (1737 km) - Europe (1560 km)

LES LUNES MINEURES INTERIEURES

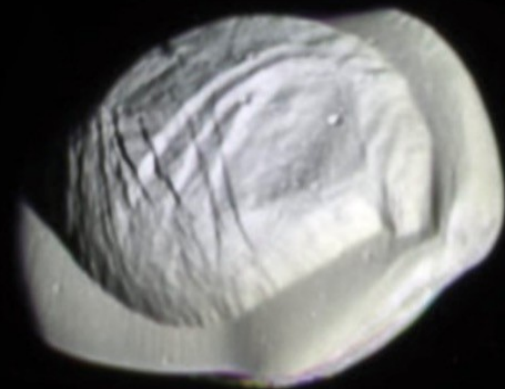
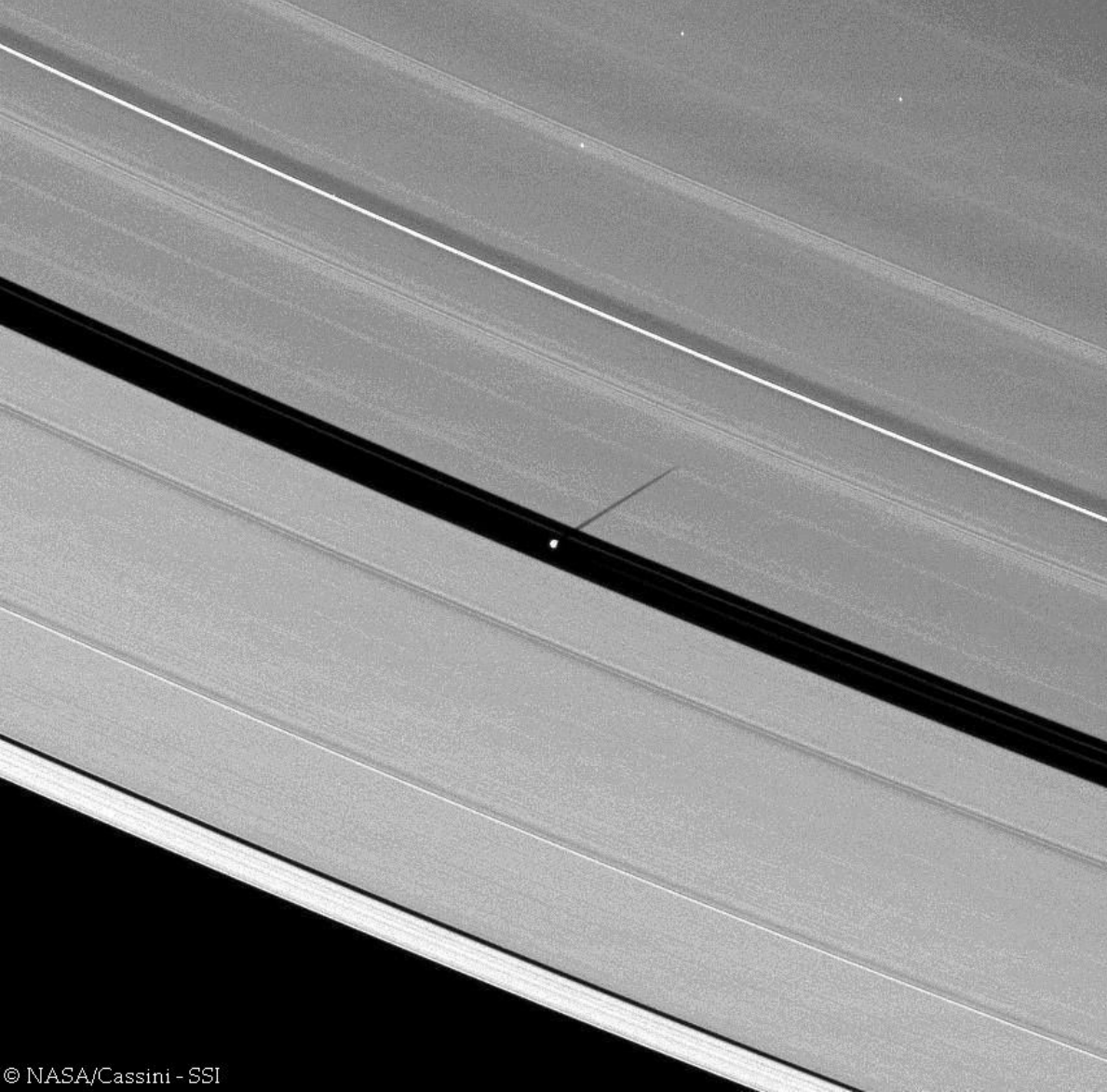


LES LUNES MINEURES INTERIEURES : Pan, Daphné, Atlas

- Pan (≈ 30 km) dans la division de Encke
- Daphné (≈ 9 km) dans la division de Keeler laisse des vagues dans les anneaux
- Atlas (≈ 30 km) est extérieur à l'anneau A et le confine en l'empêchant de s'étaler



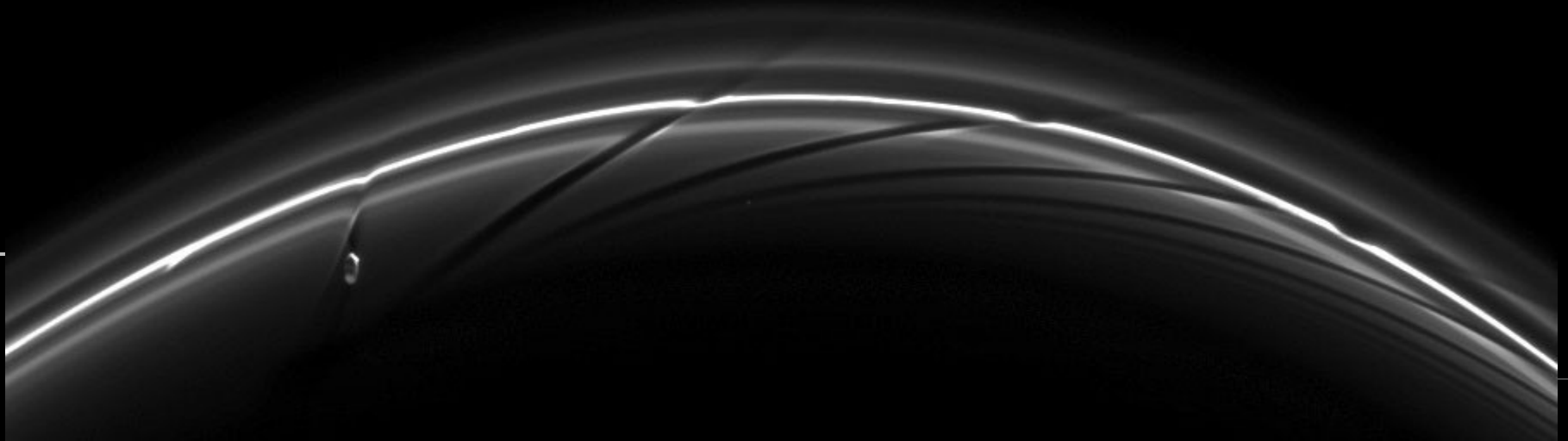
L'ombre de Pan sur les anneaux dans sa division de Encke



Les lunes mineures intérieures : Prométhée et Pandore berger et bûcheron

Contrairement à Atlas, ils ont tendance à déformer et à disperser la matière de l'anneau F

Prométhée dont la trajectoire est légèrement elliptique traverse l'anneau F et le tronçonne à chaque orbite



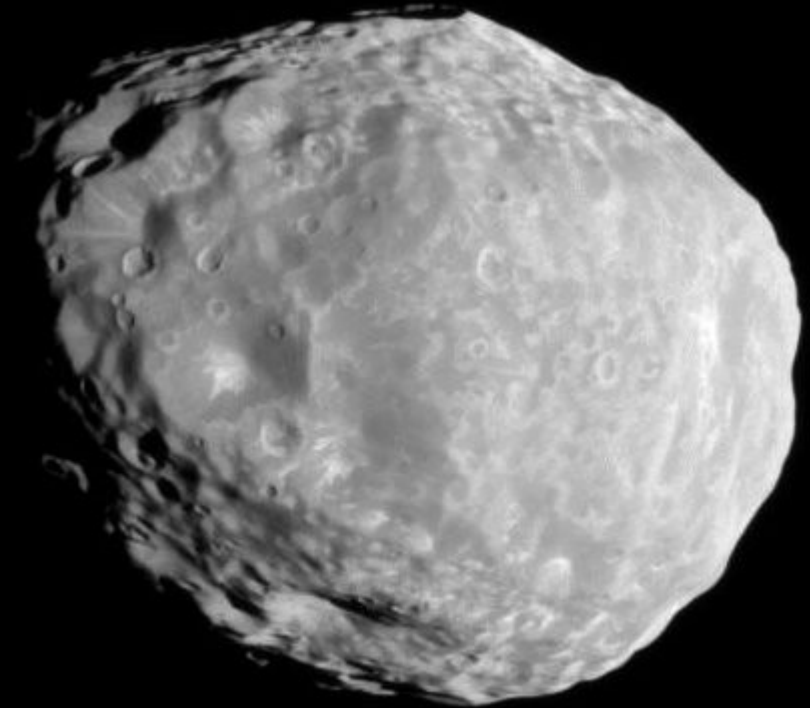
Les lunes mineures intérieures : **Épiméthée** et **Janus** - danse en couple

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

Ils se croisent tous les 4 ans et échangent leur orbite



Epiméthée
(140km)



Janus
(190 km)

Les lunes enchainées à des satellites réguliers :

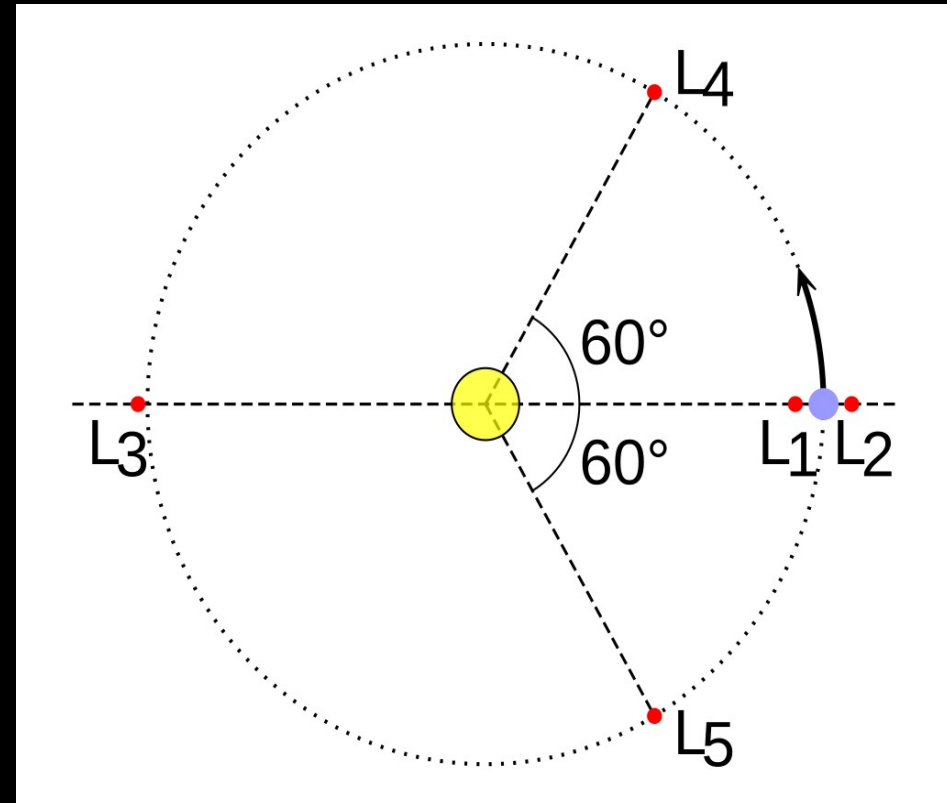
Pollux et Hélène
Télesto et Calypso

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**

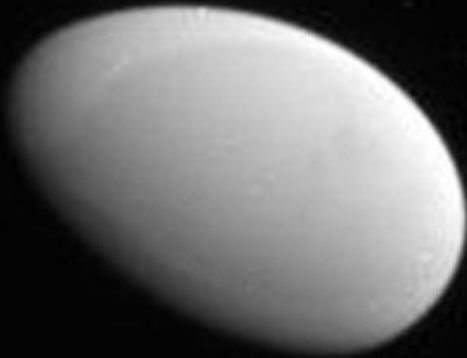
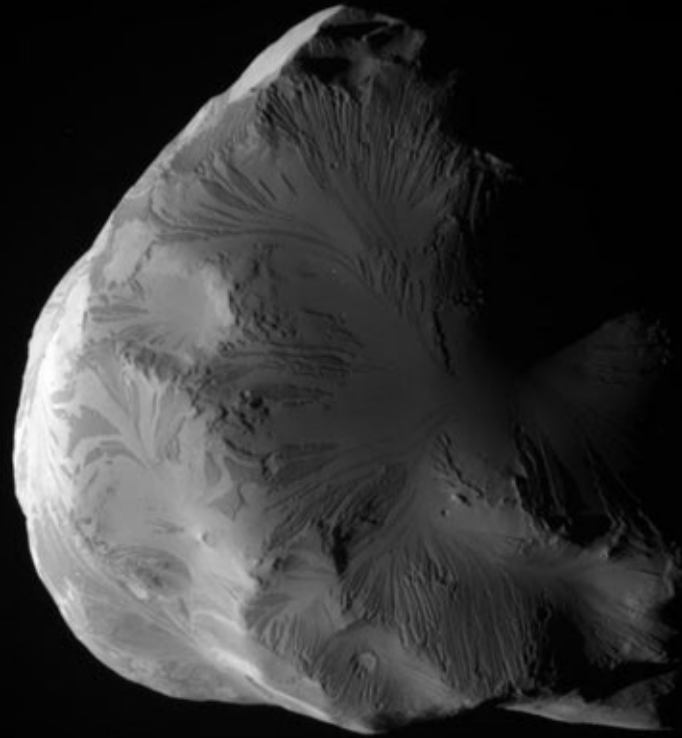
La surface de ces satellites est particulièrement lisse, couverte d'un épais régolite



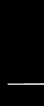
Les lunes mineures intérieures : les lunes lisses

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

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



LES SATELLITES RÉGULIERS INTÉRIEURS



Les satellites réguliers intérieurs :

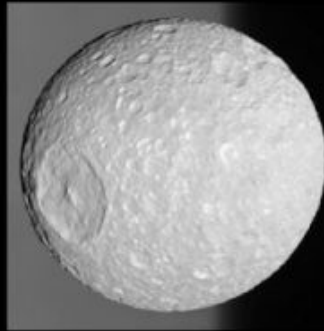
Des dimensions plus imposantes (de 400 à 1000 km)

**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



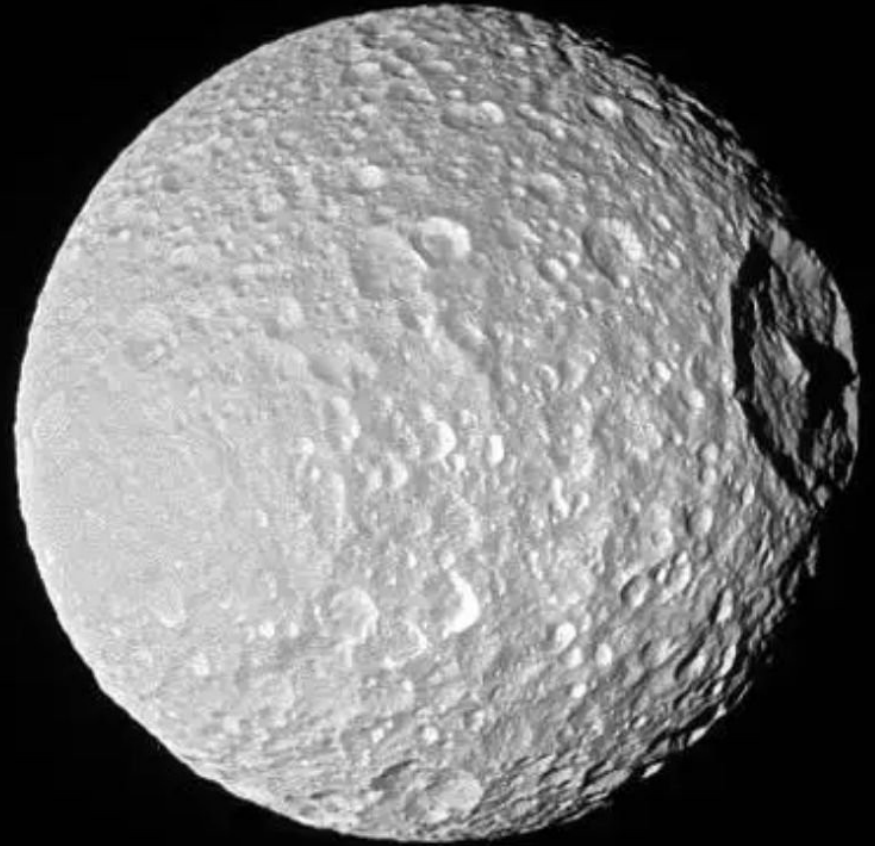
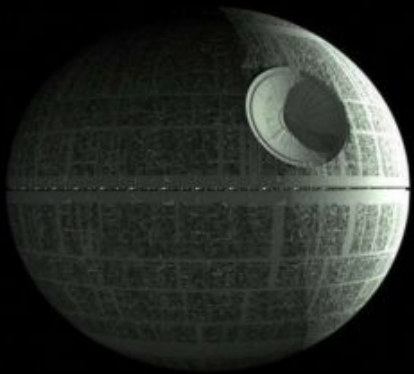
Tethys



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)

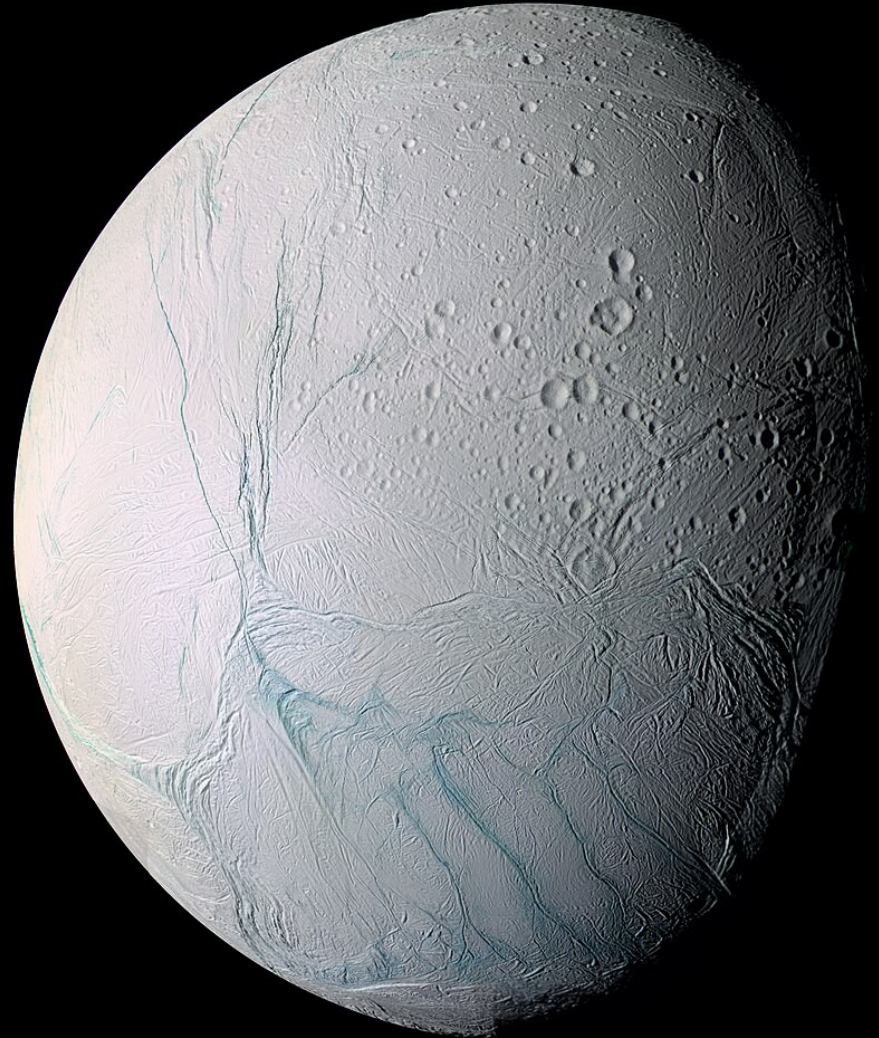
La sonde Voyager remarque l'absence totale de cratère dans certaine région d'Encelade

La surface de cette petite lune a été récemment remodelée

Pourrait-elle être active ?

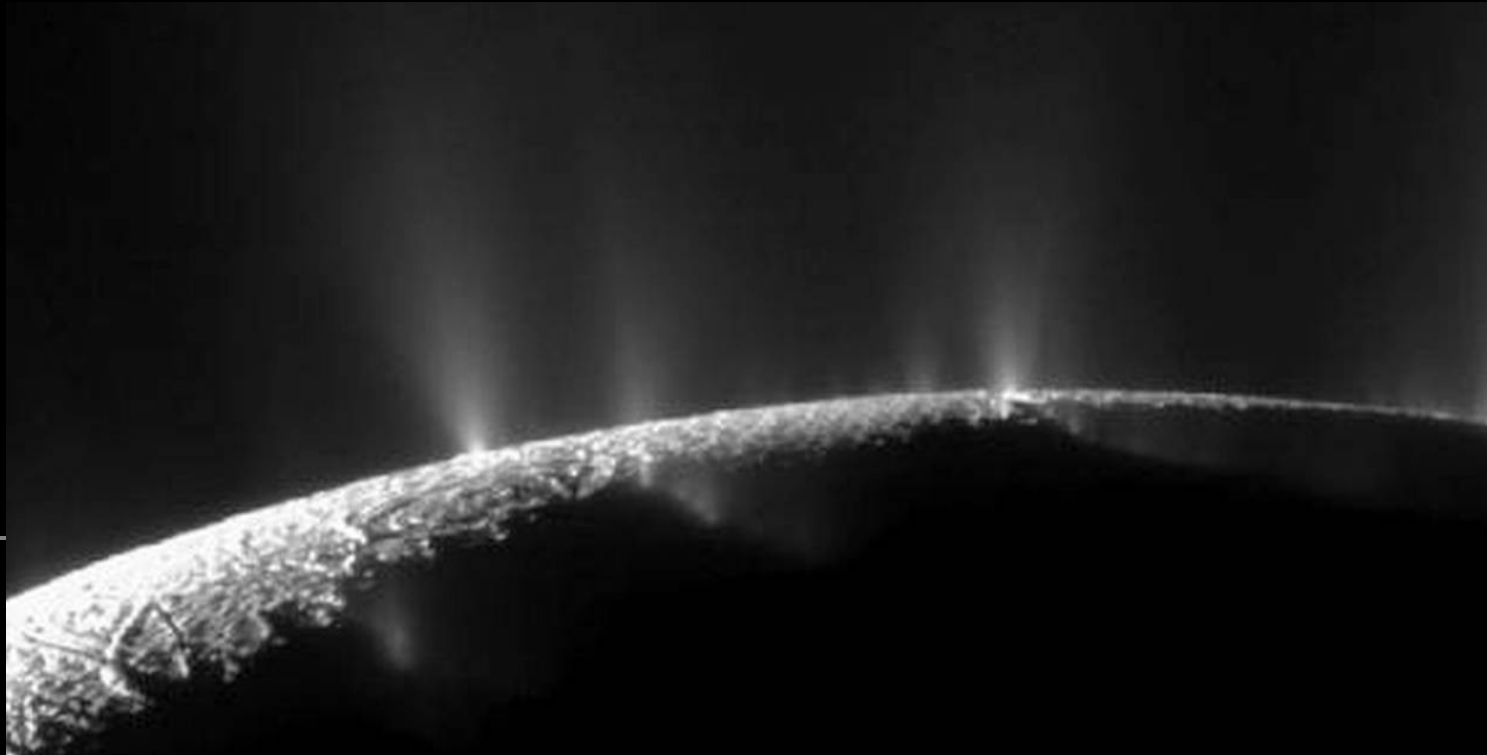
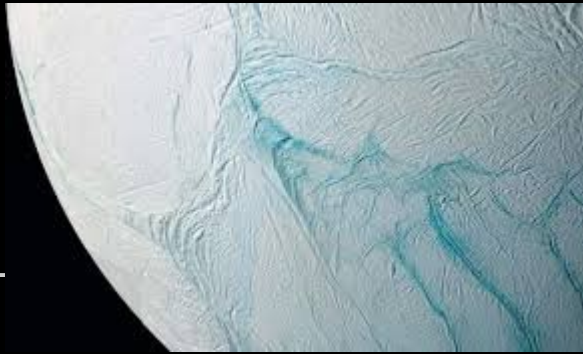
Cassini répondra positivement

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 effet de marée
- Il est établi que la source des geysers est un océan subglaciaire salé en contact avec le noyau rocheux
- Les geysers sont constitués de 98 % d'eau et alimente l'anneau E



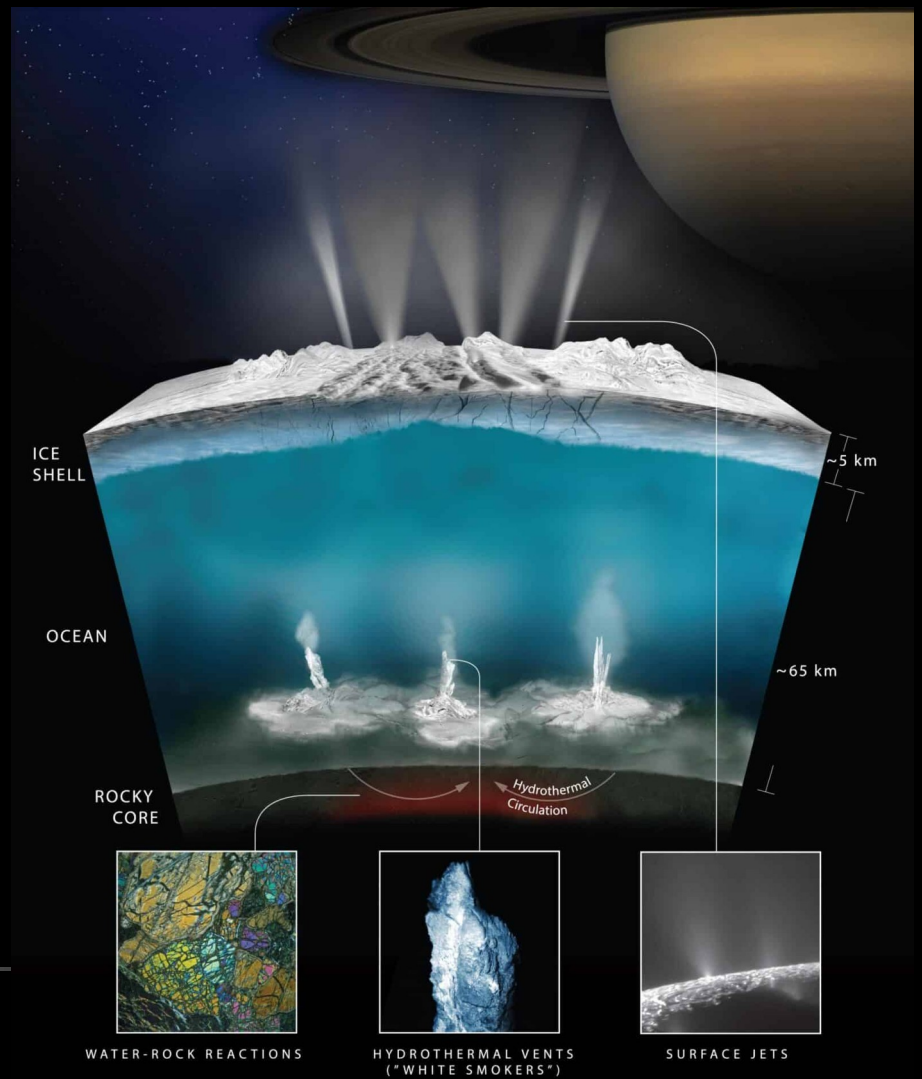
Comment est imaginé Encelade :

Une couche de glace

Un océan d'eau liquide chauffée par les effets de marée

Une eau en contact avec de la roche

L'activité hydrothermale pourrait y créer des conditions favorables à la vie microbienne

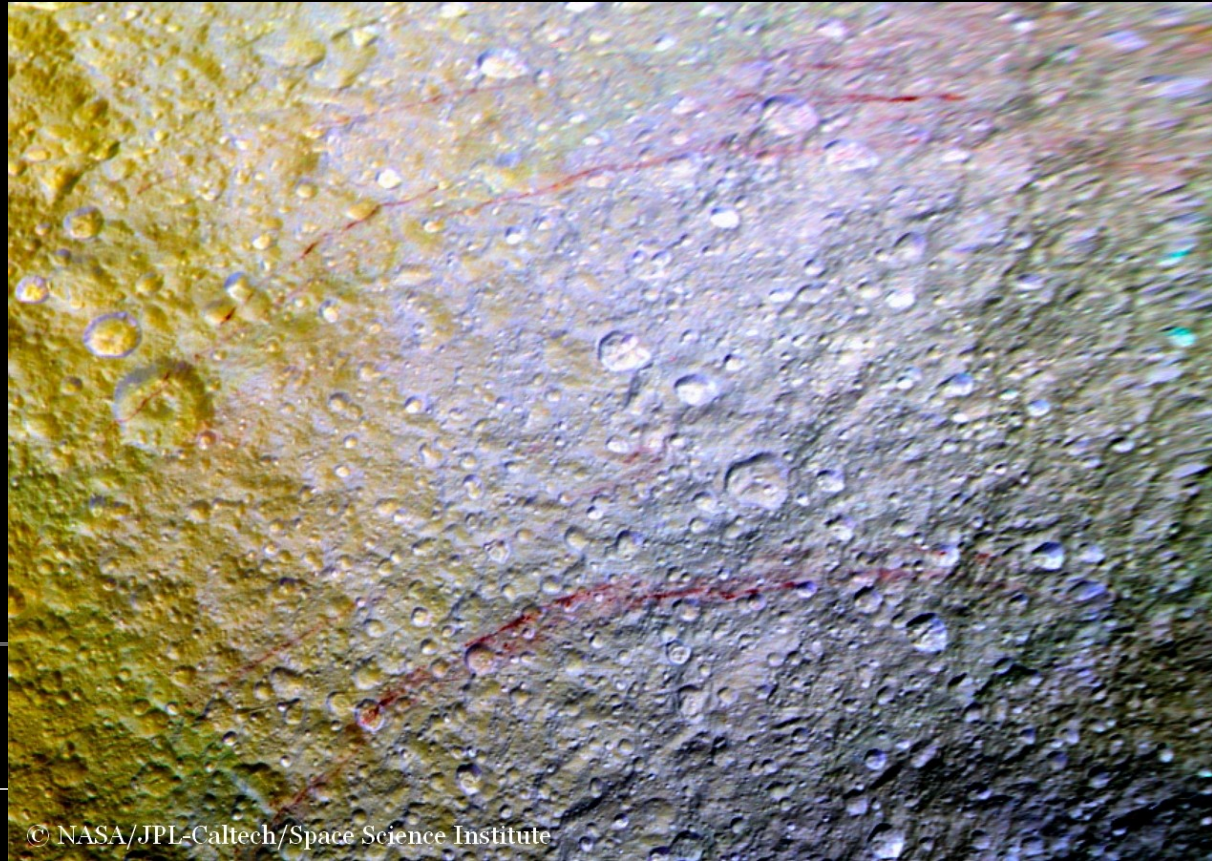


Téthys (Ø 1 066 km)

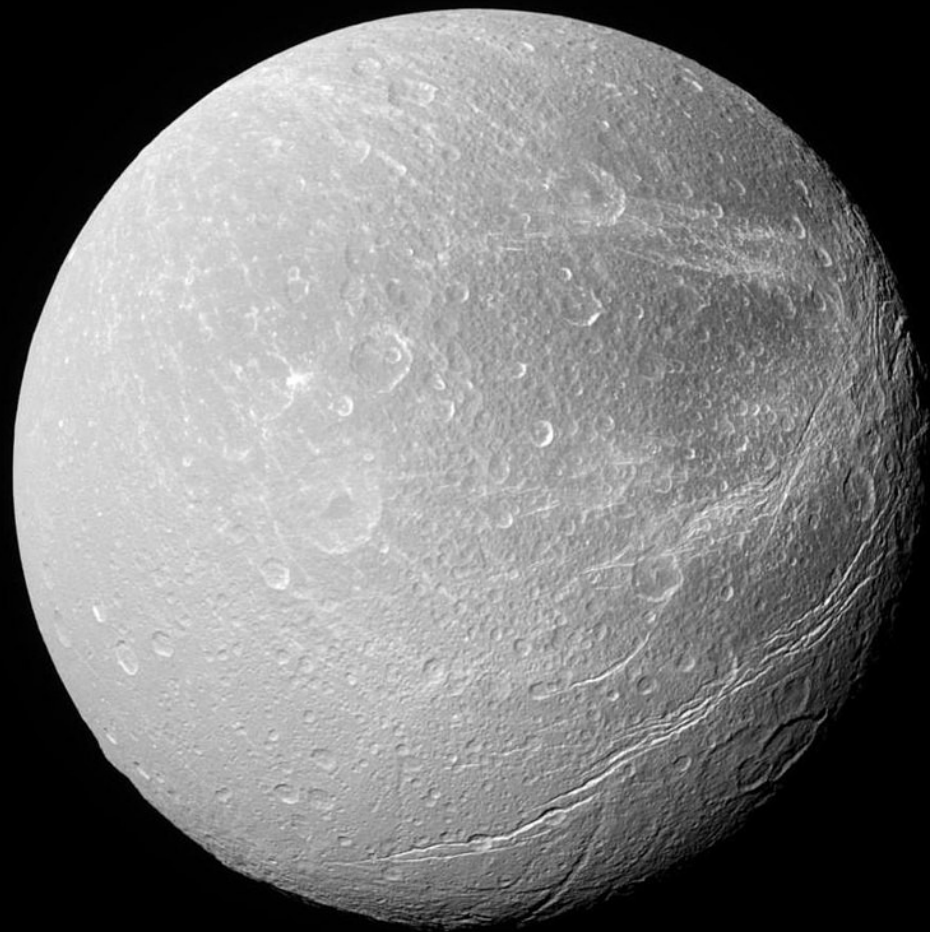
Composée à 90 % de glace

Surface marquée par un énorme cratère de 400 km de diamètre , appelé Odyssee

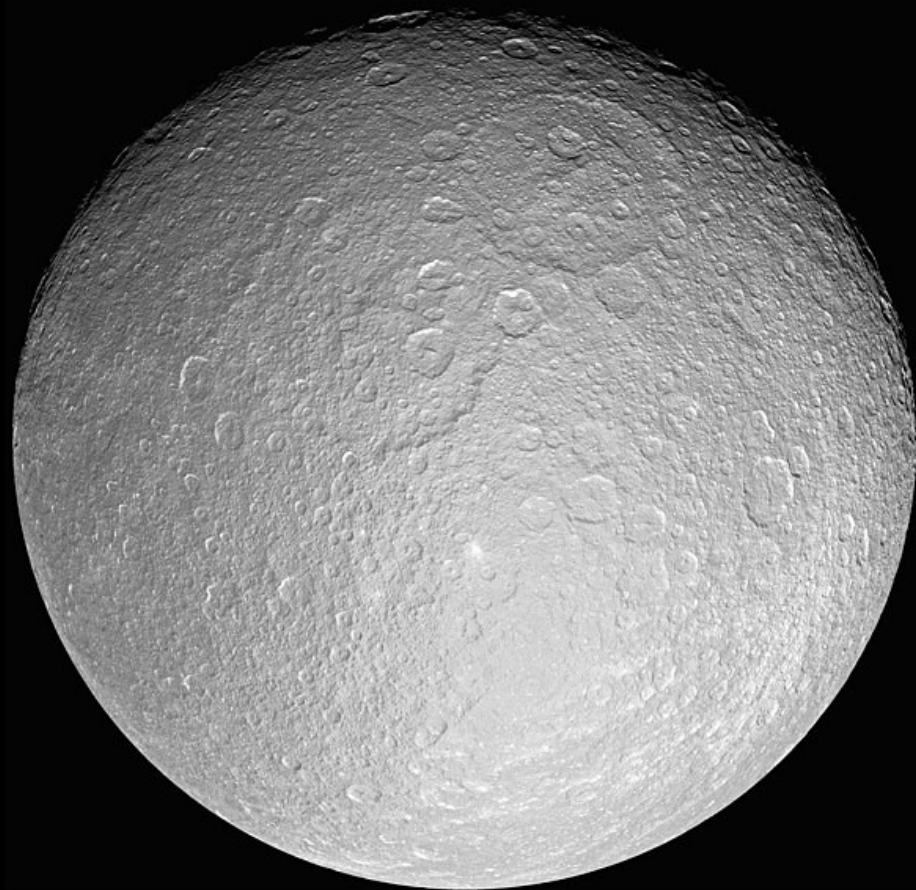
Des énigmatiques lignes rouges en forme d'arc de cercle



Dioné 1126 km



Rhéa 1525 km



LES SATELLITES LOINTAINS



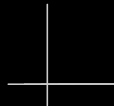
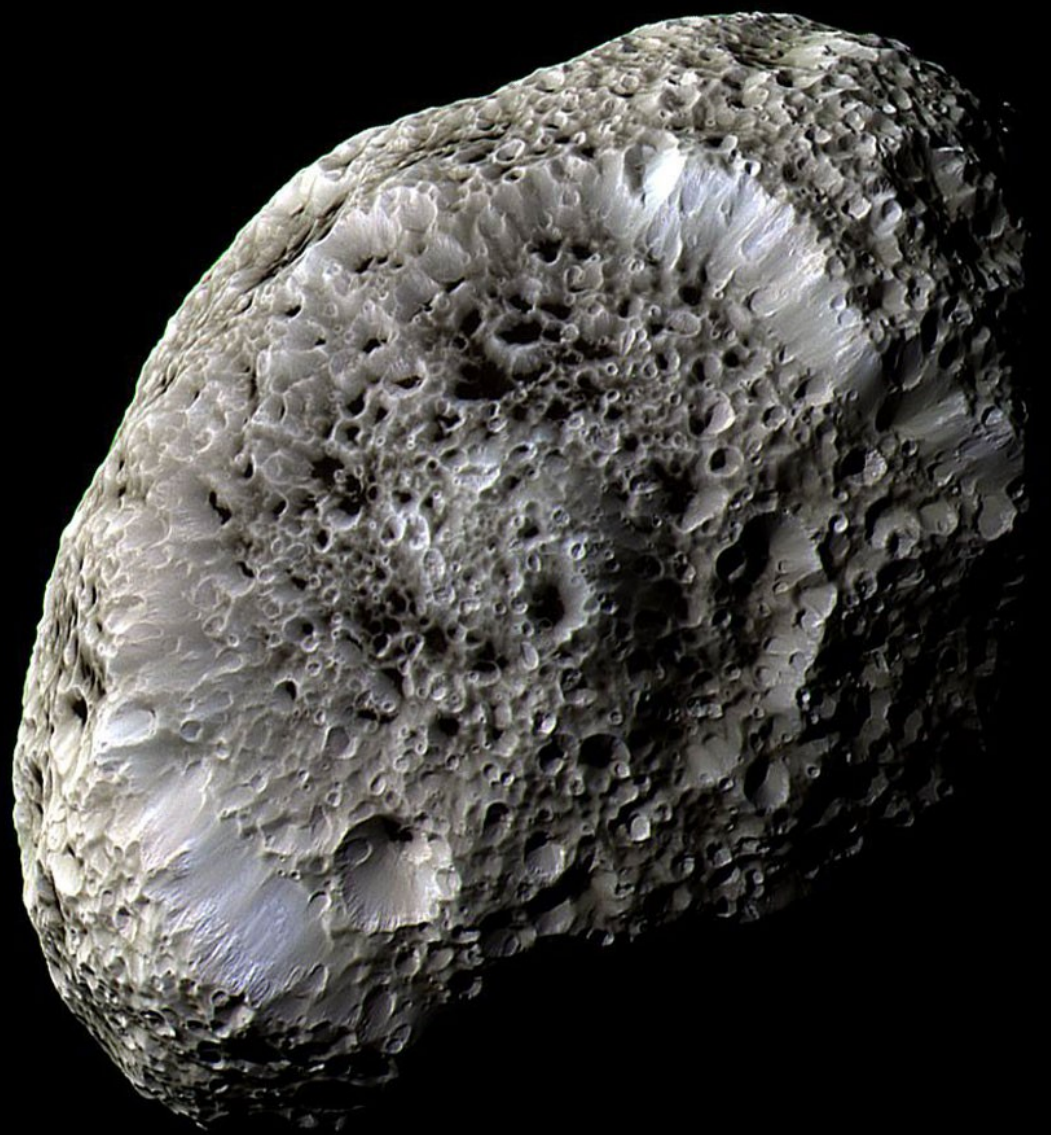
HYPERION : l'insaisissable

Orbitant à 1,5 million de km de Saturne, entre Titan et Japet, 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

Composé essentiellement d'eau, sa surface est criblée de cratères remplis de poussières sombres provenant de l'anneau de Phoébé

Sa rotation est chaotique : son axe, sa vitesse et son orientation change tout le temps

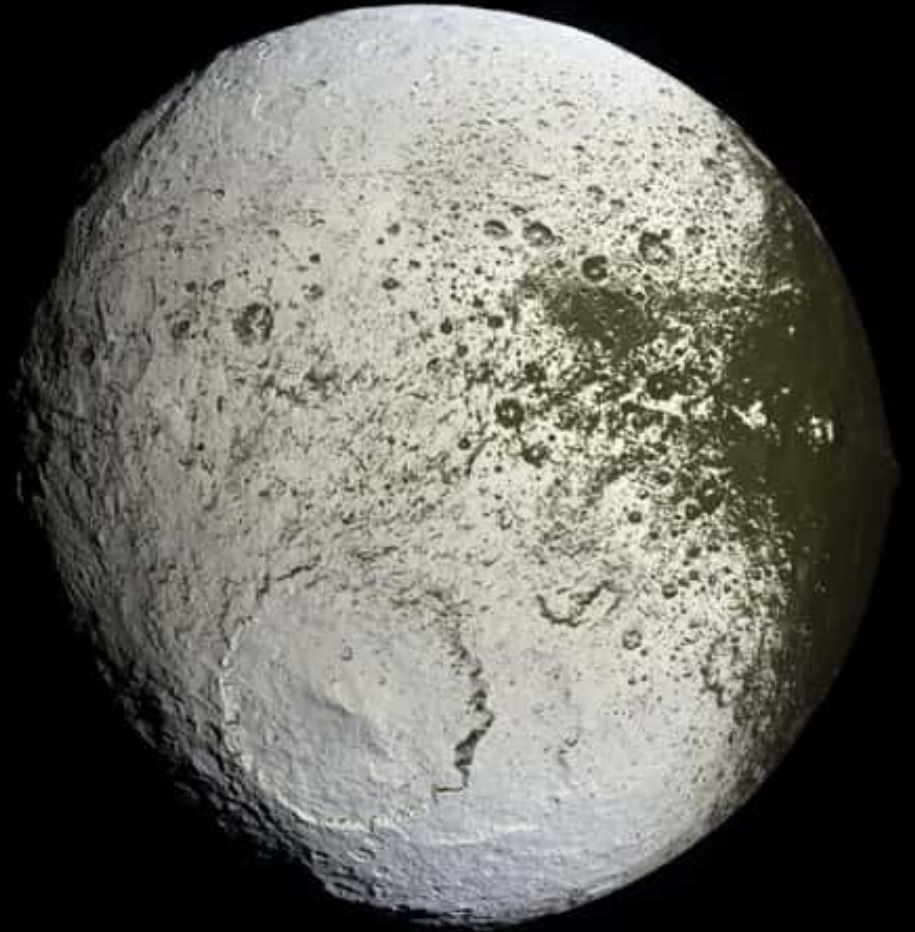


Japet : la lune Yin-Yang (Ø 1470 km)

Une face blanche comme neige et l'autre noire comme du charbon

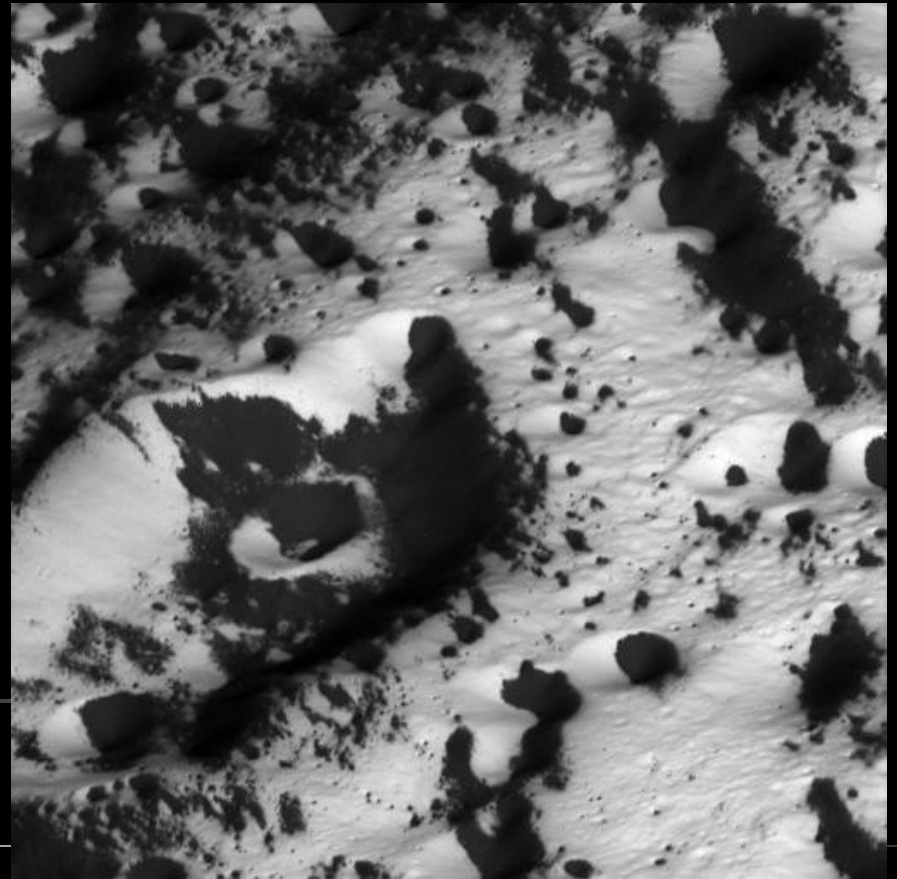
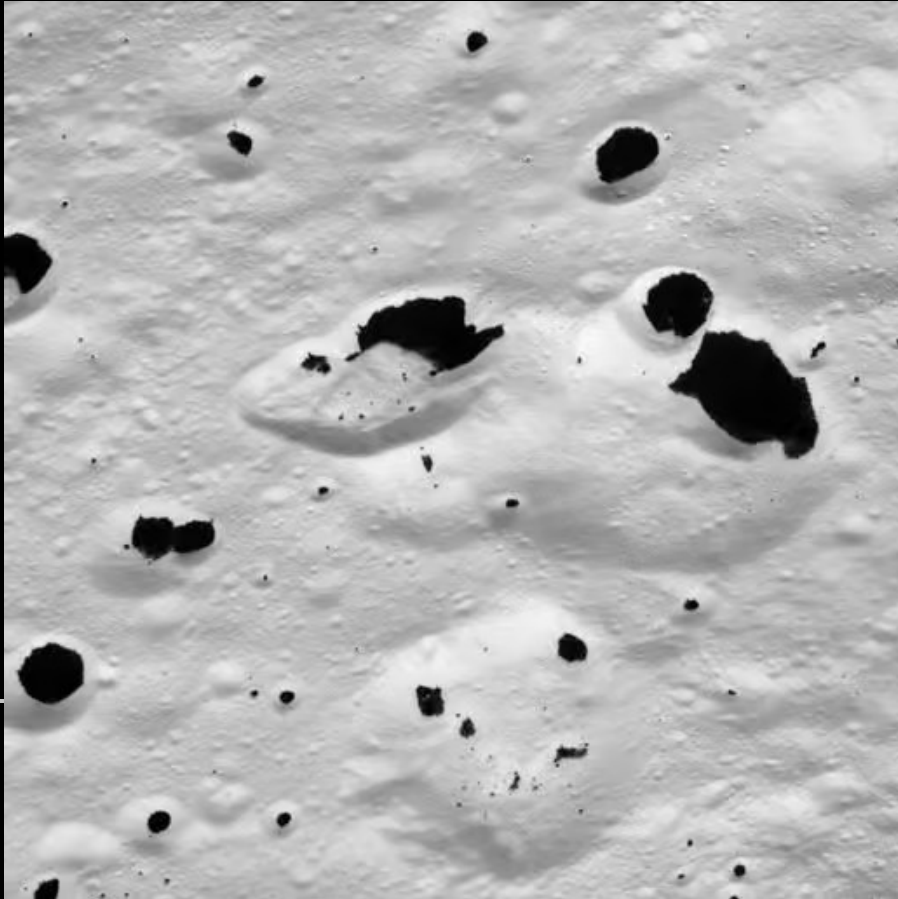
Japet est synchronisé avec Saturne, comme la lune avec la Terre

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 : des nuances de blanc et de noir, mais jamais de gris

Photo de même dimension:50 km



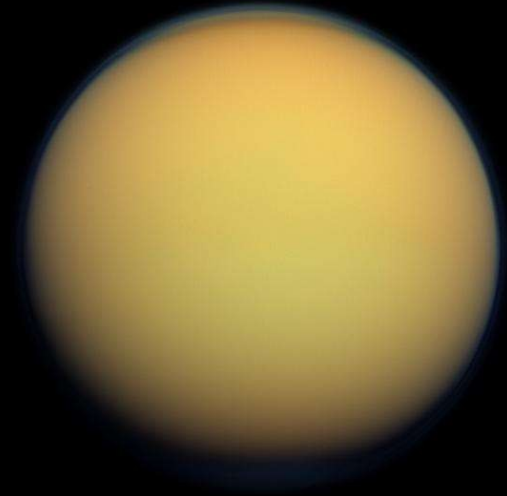
Japet

- Une chaîne de montagne culminant à 13 km d'altitude ceinture l'équateur de Japet
- Certains sommets dépassent les 20 km
- Ce bourrelet équatorial pourrait être
 - le vestige d'un ancien anneau
 - ou le résultat d'une compression de l'équateur du à 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*



TITAN

Son atmosphère
Ses paysages



L'ATMOSPHÈRE DE TITAN

En 1944, Kuiper prouve que Titan possède une atmosphère en y détectant des molécules de méthane (CH_4)

C'est la seule lune du système solaire à posséder une atmosphère

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 (dont celle de Miller-Urey dont l'objet est de reproduire la chimie atmosphérique de la Terre primitive) 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)



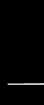
Ces questions sont d'une telle importance qu'elles motiveront la modification de trajectoire de Voyager 1 pour qu'elle survole au plus près Titan au détriment de Pluton qui devait être son objectif initial

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 (+ 95%) et une grande diversité de molécules carbonées, dont du CO_2 , du méthane et de l'éthane

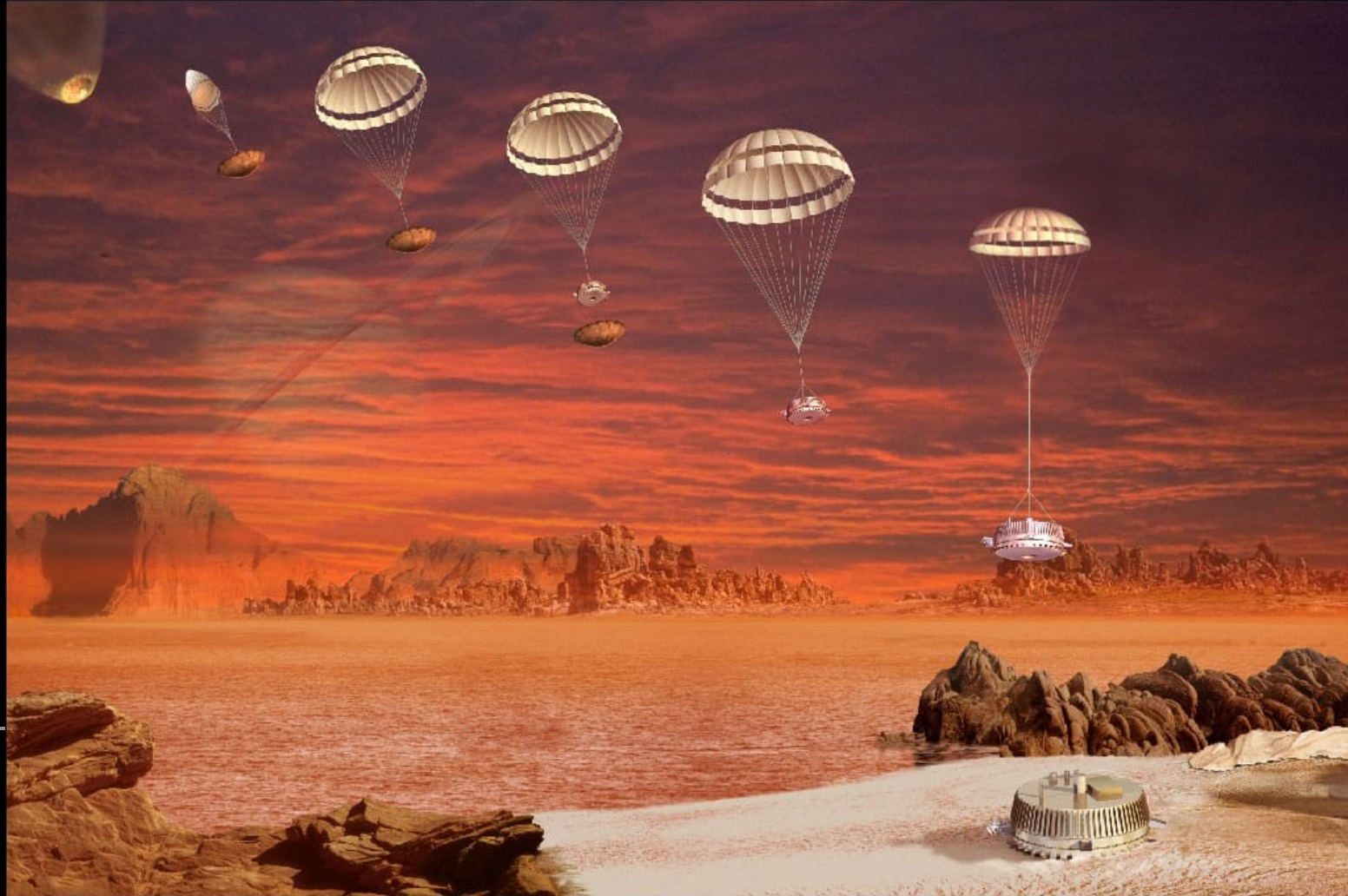
Il n'y a que deux objets dans le système solaire possédant une atmosphère dense en diazote : la Terre et Titan

Il faut aller voir : le module HUYGENS de la sonde CASSINI- HUYGENS atterrira sur Titan le 14 janvier 2005



LES PAYSAGES DE TITAN

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



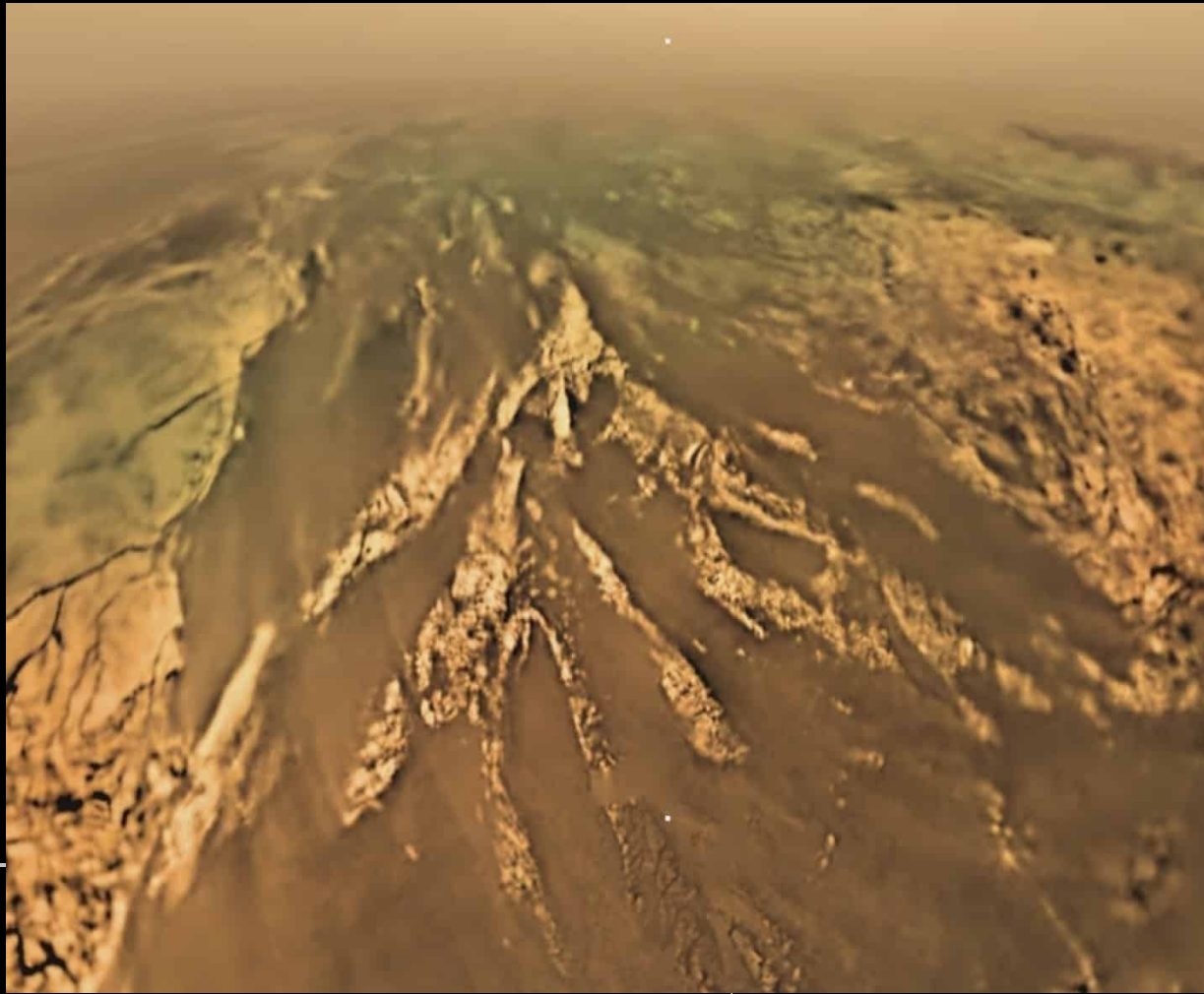


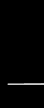
Photo prise à 5km d'altitude



Photo prise après l'arrivée au sol



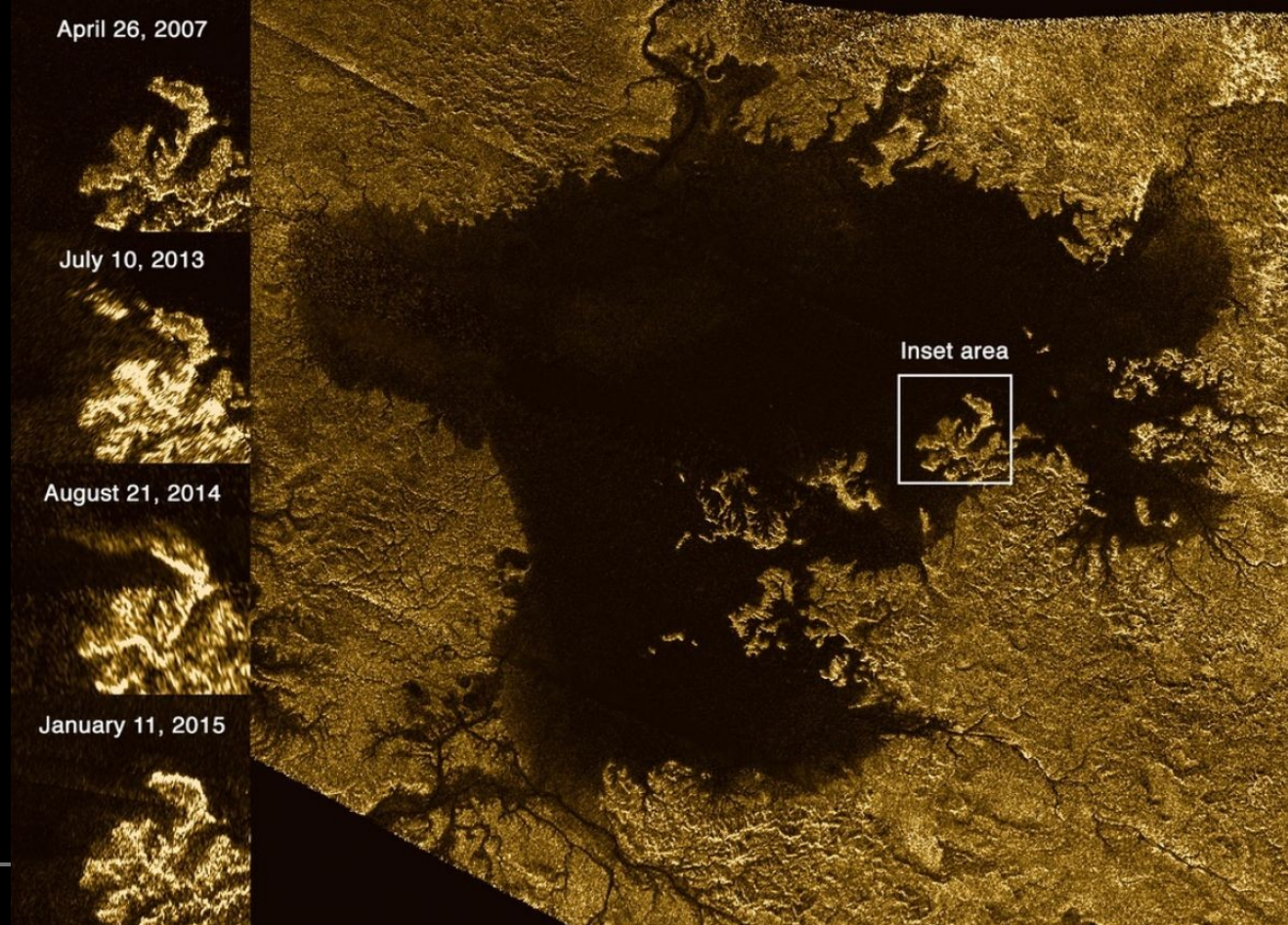
<https://youtu.be/svmGxFaGILY>



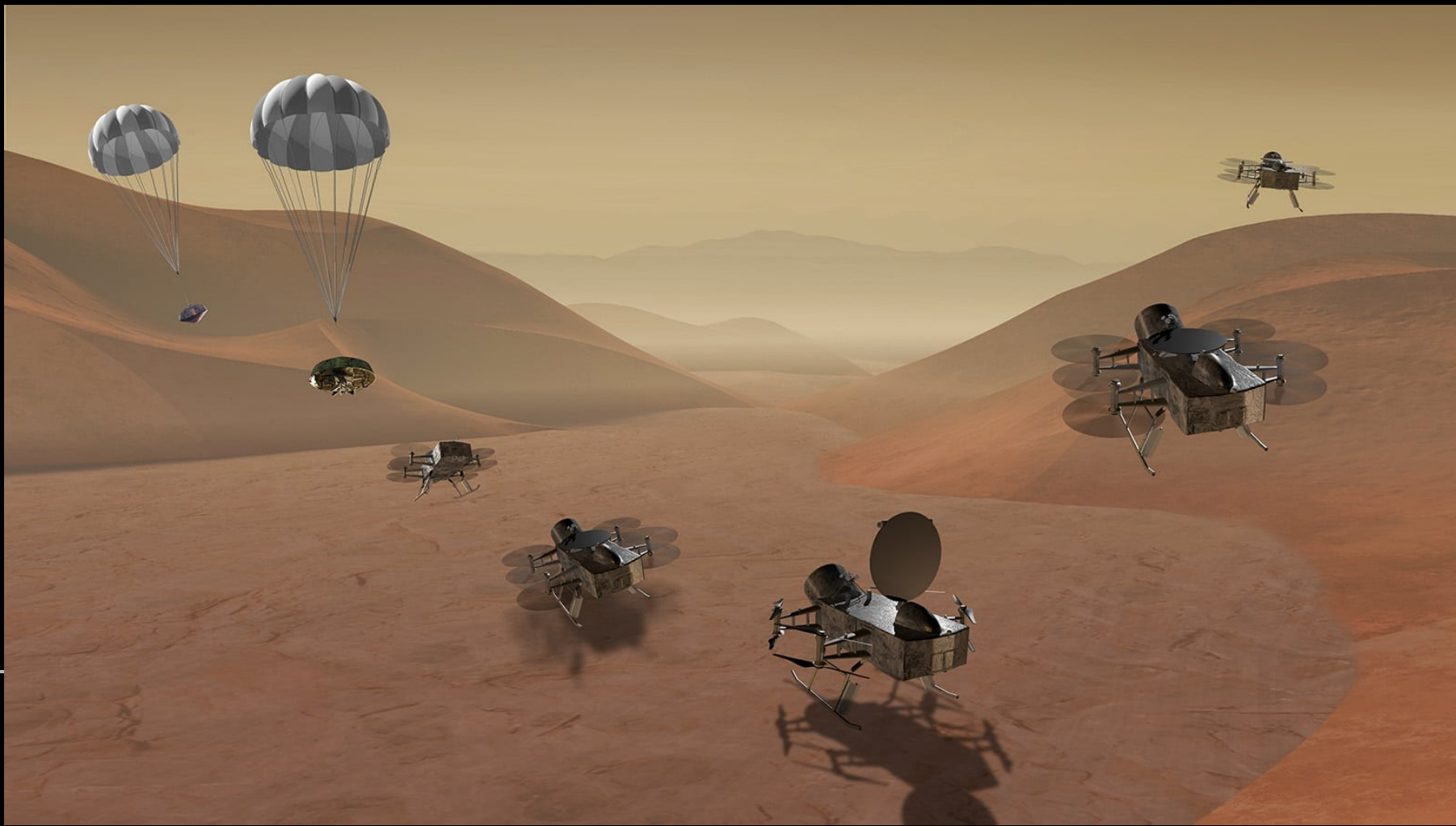
Titan est le seul corps du système solaire avec la Terre à posséder des étendues liquides à sa surface (méthane et de l'éthane liquide)

Bien que seulement 1,2 % de la surface de Titan soit recouverte de mers et de lacs d'huile, cela représente l'équivalent de 35 fois les ressources en combustible fossile de la Terre

Ces surfaces liquides sont confinées aux pôles, essentiellement au pôle nord
Leurs contours varient avec le temps



DRAGONFLY LE RETOUR SUR TITAN EN 2034, 29 ANS APRES L'EXPLOIT DE HUYGENS



Remerciements :

Alice Le Gall

Sandrine Guerlet

Sandrine Vinatier

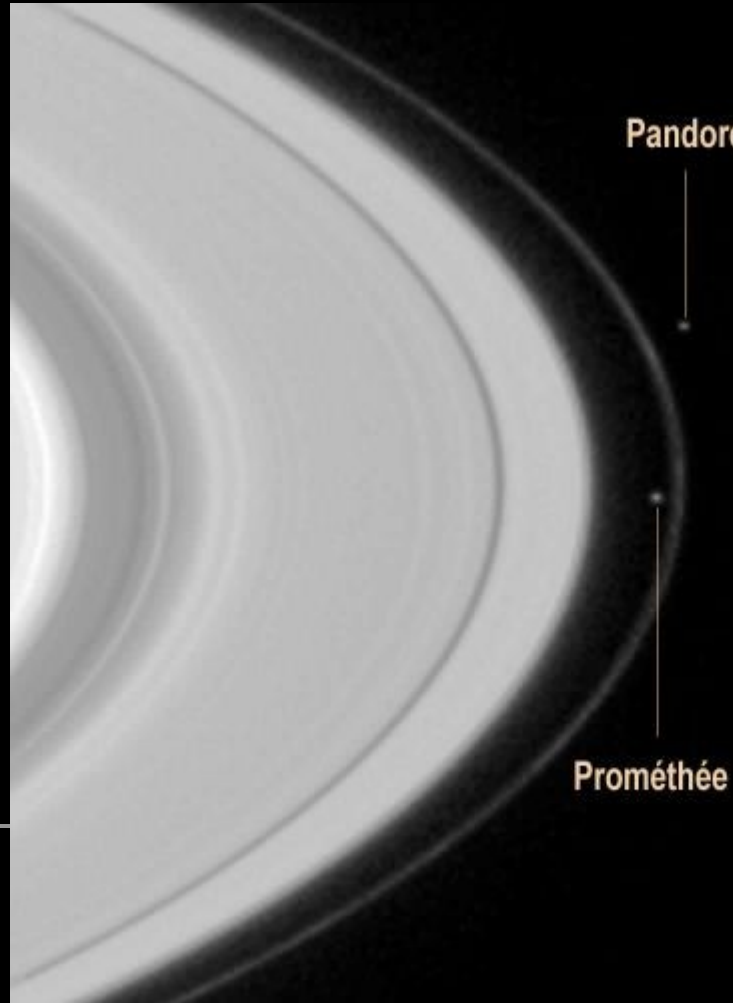
Sébastien Charnoz

La NASA

La Cité de l'Espace

ESA

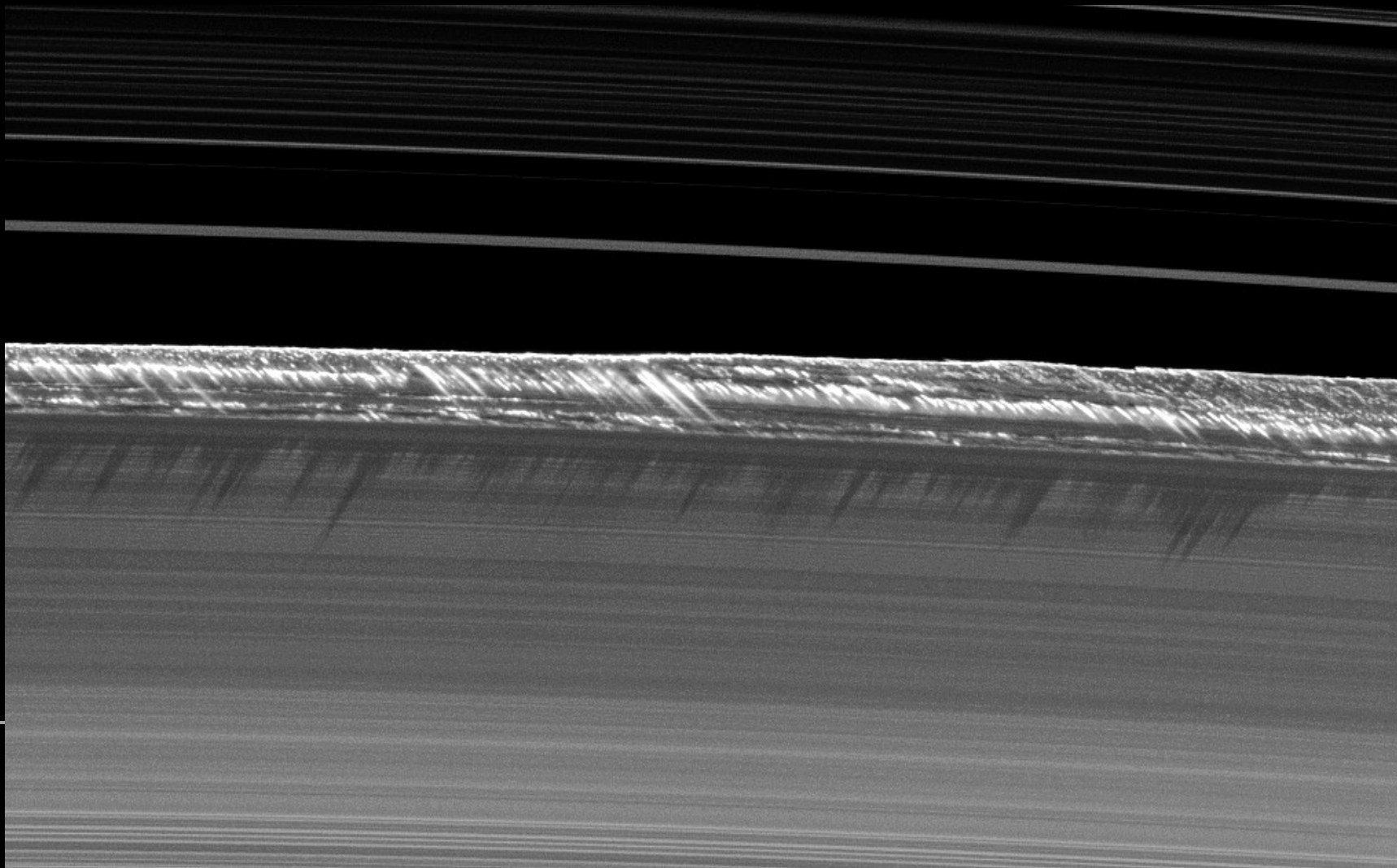


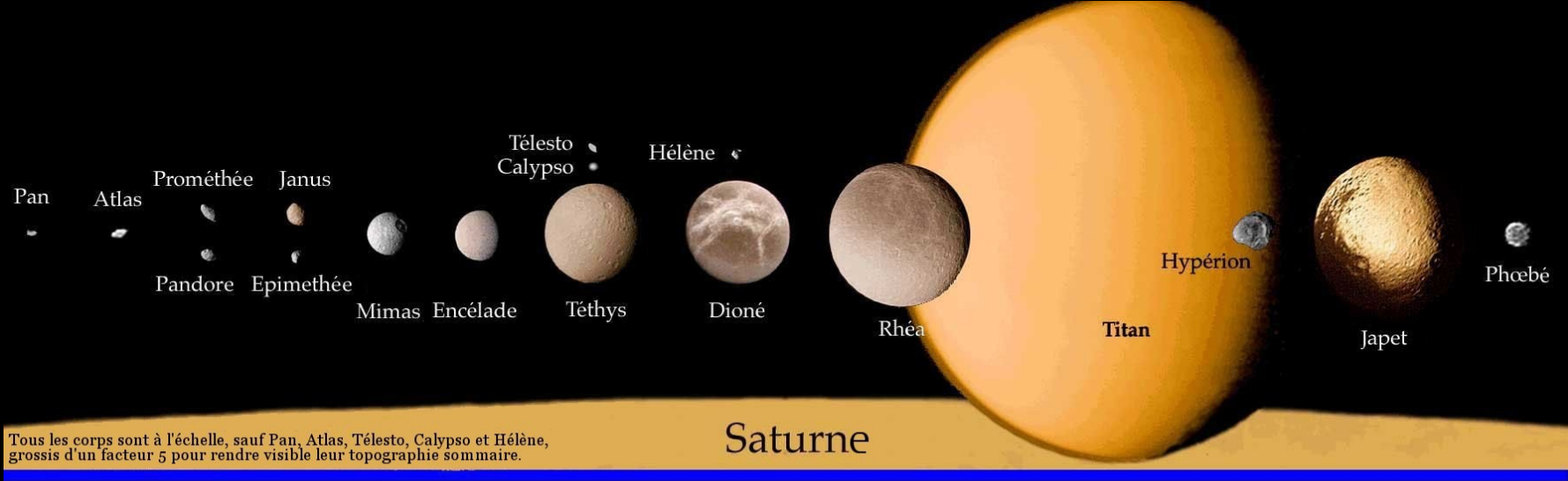


Pandore

Prométhée

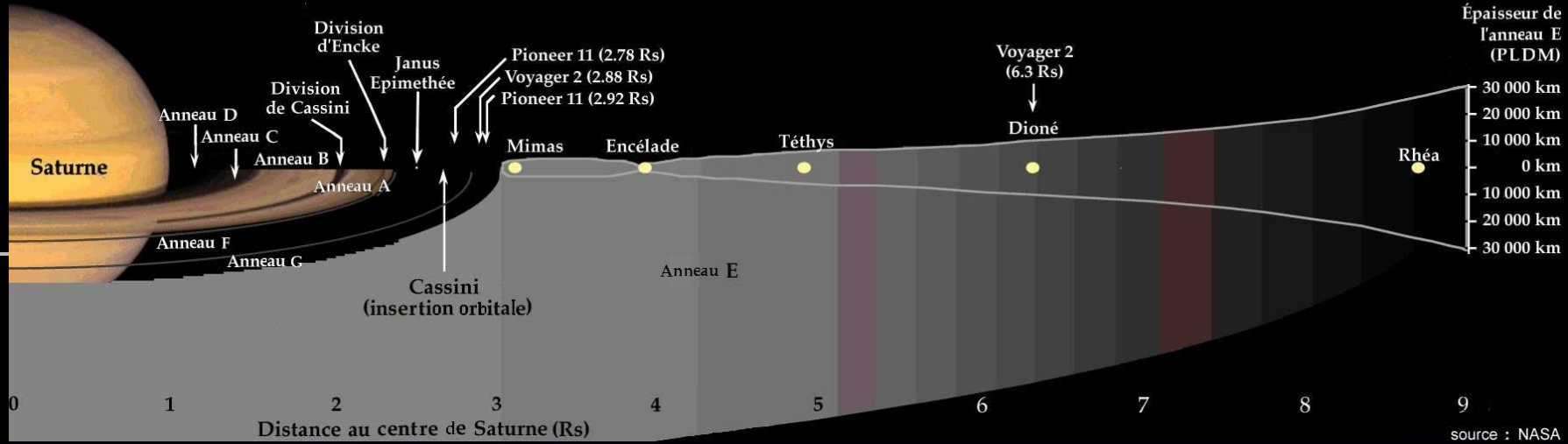
Des structures
verticales
culminant à
2,5 km sont
visibles en
bordure de
l'anneau B.

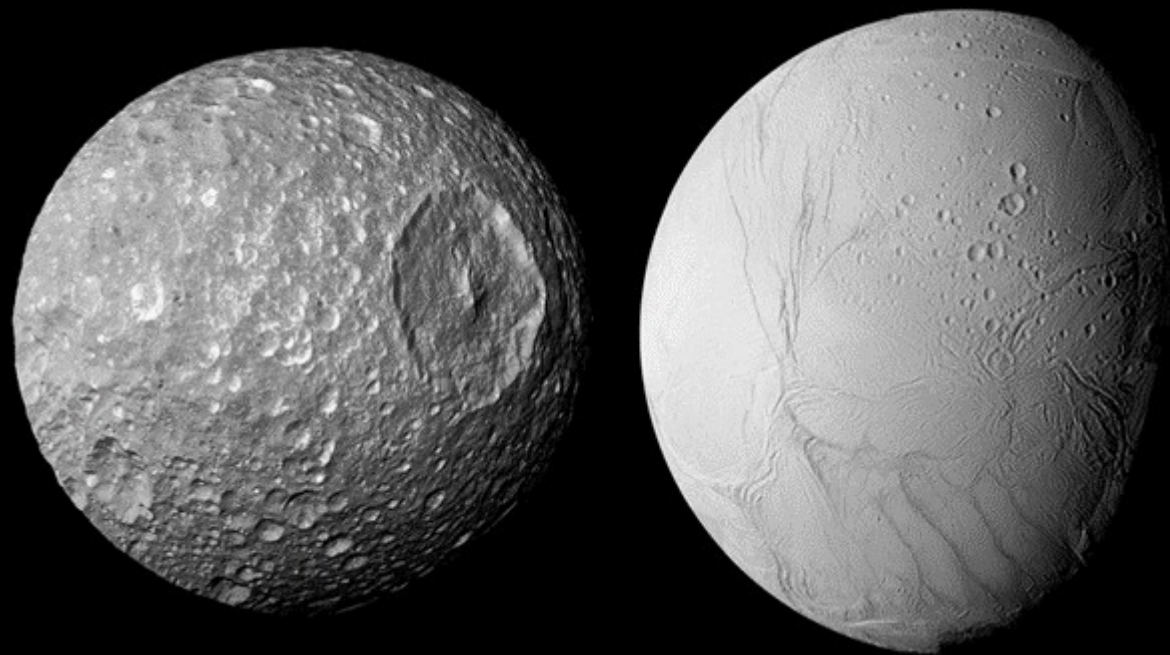




Non représentés :

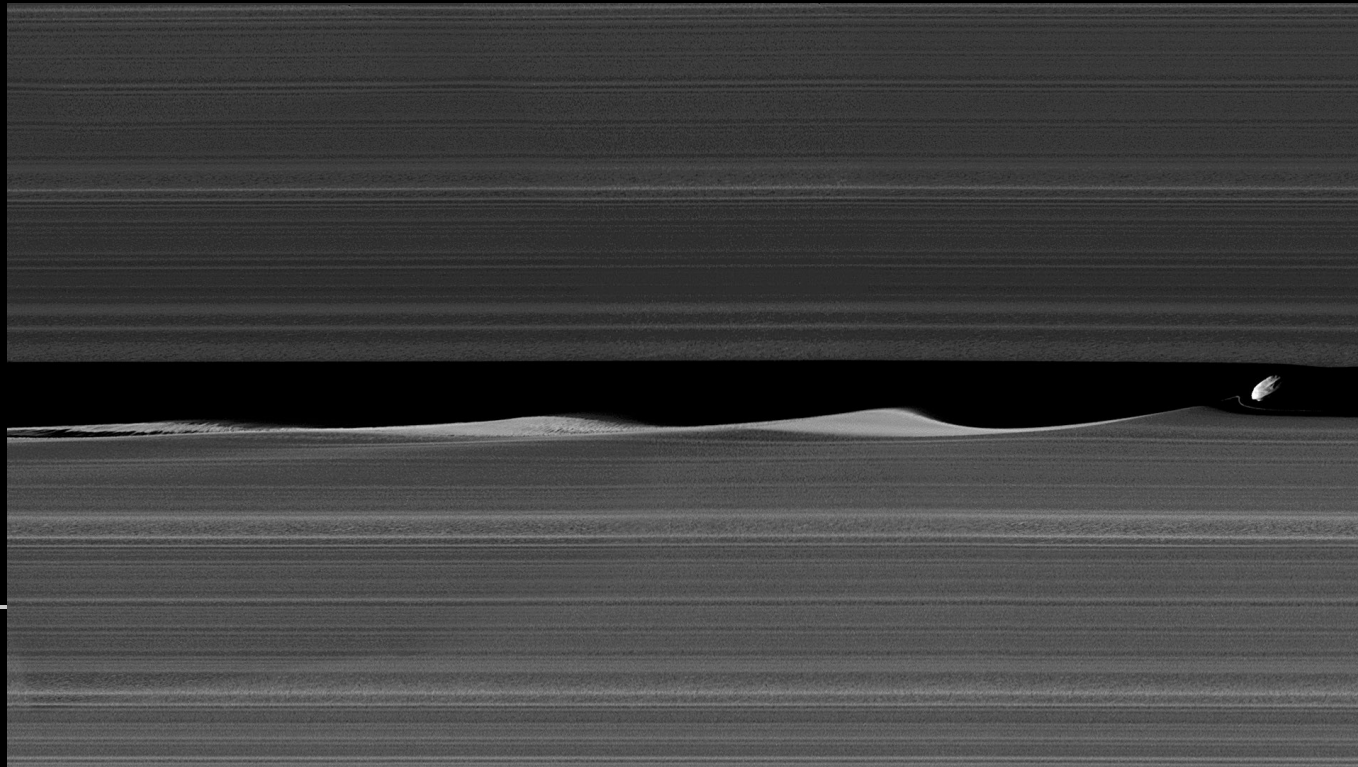
Pan	2.22 Rs	Titan	20.3 Rs
Atlas	2.28 Rs	Hypérior	24.6 Rs
Prométhée	2.31 Rs	Japet	59.1 Rs
Pandore	2.35 Rs	Phœbé	214.9 Rs





L'ANNEAU A : DAPHNÉ

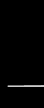
Les ondes que génère Daphné dans la division de Keeler



Daphnis



5 km



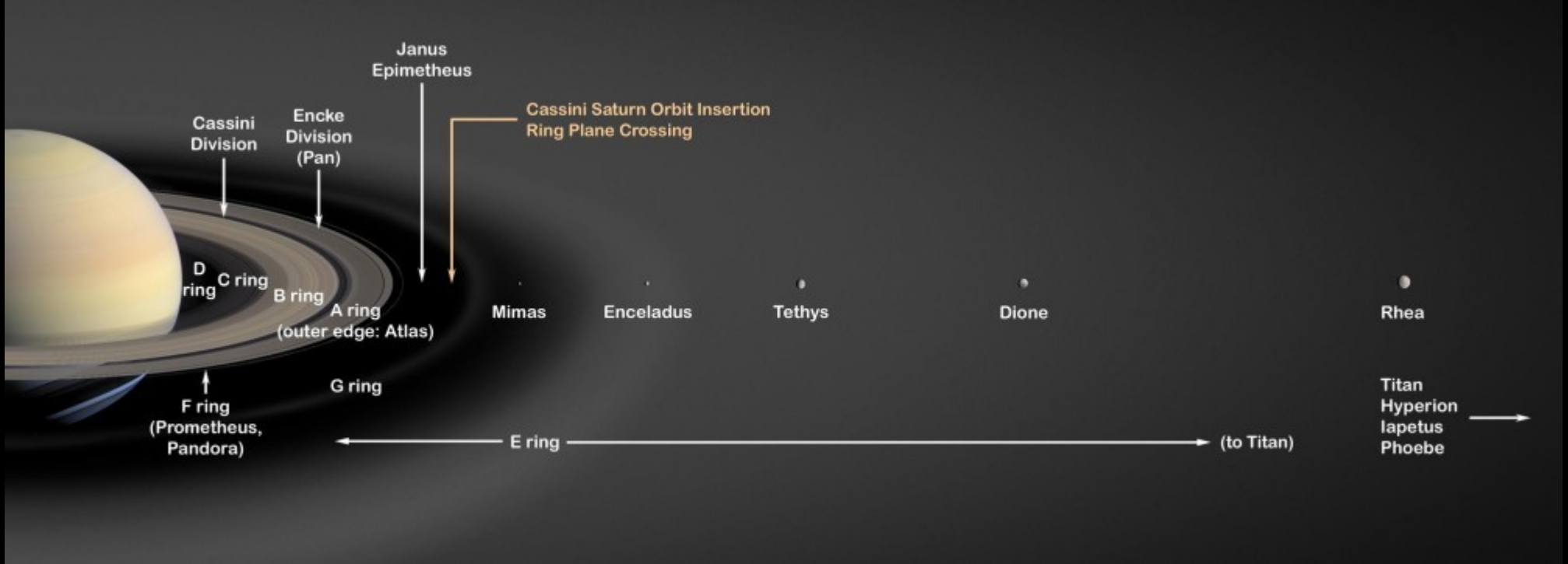
L'ANNEAU A : Pan

Un bourrelet de glace
ceinture Pan à son
équateur

C'est le résultat de
l'accrétion de glace qui
est la conséquence de
son sillage dans l'anneau



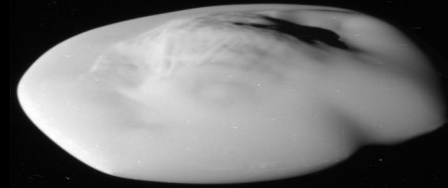
LES SATELLITES REGULIERS DE SATURNE : les principaux satellites



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

LES LUNES MINEURES INTERIEURES : 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)

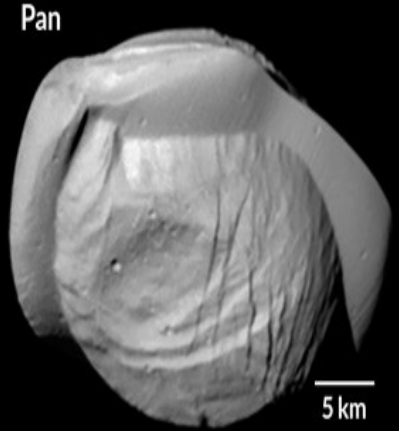


Pan (7 mars 2017-NASA)



LES LUNES MINEURES INTERIEURES : Pan et Daphné

- Les tailles comparées de Pan et de Daphné
- Ils sont composés essentiellement de glace
- Ils "dépassent" de leur anneau



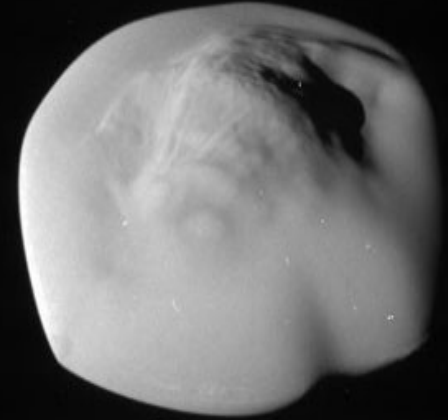
Daphné



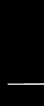
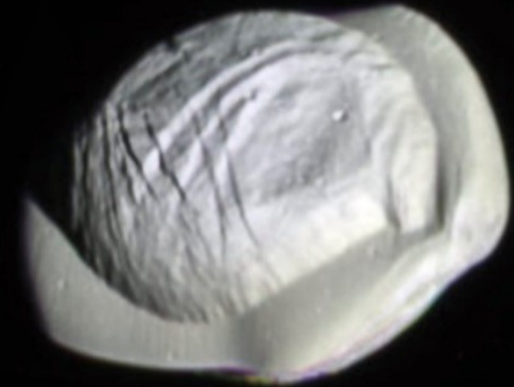
Les lunes mineures intérieures : **Atlas**

- De taille et de forme comparable à Pan
- Il est constitué essentiellement de glace d'eau
- Atlas est extérieur à l'anneau A et le confine par effet gravitationnel en ralentissant son étalement

Atlas (30 km)



Pan (30 km)



TITAN

Son atmosphère
Ses paysages

