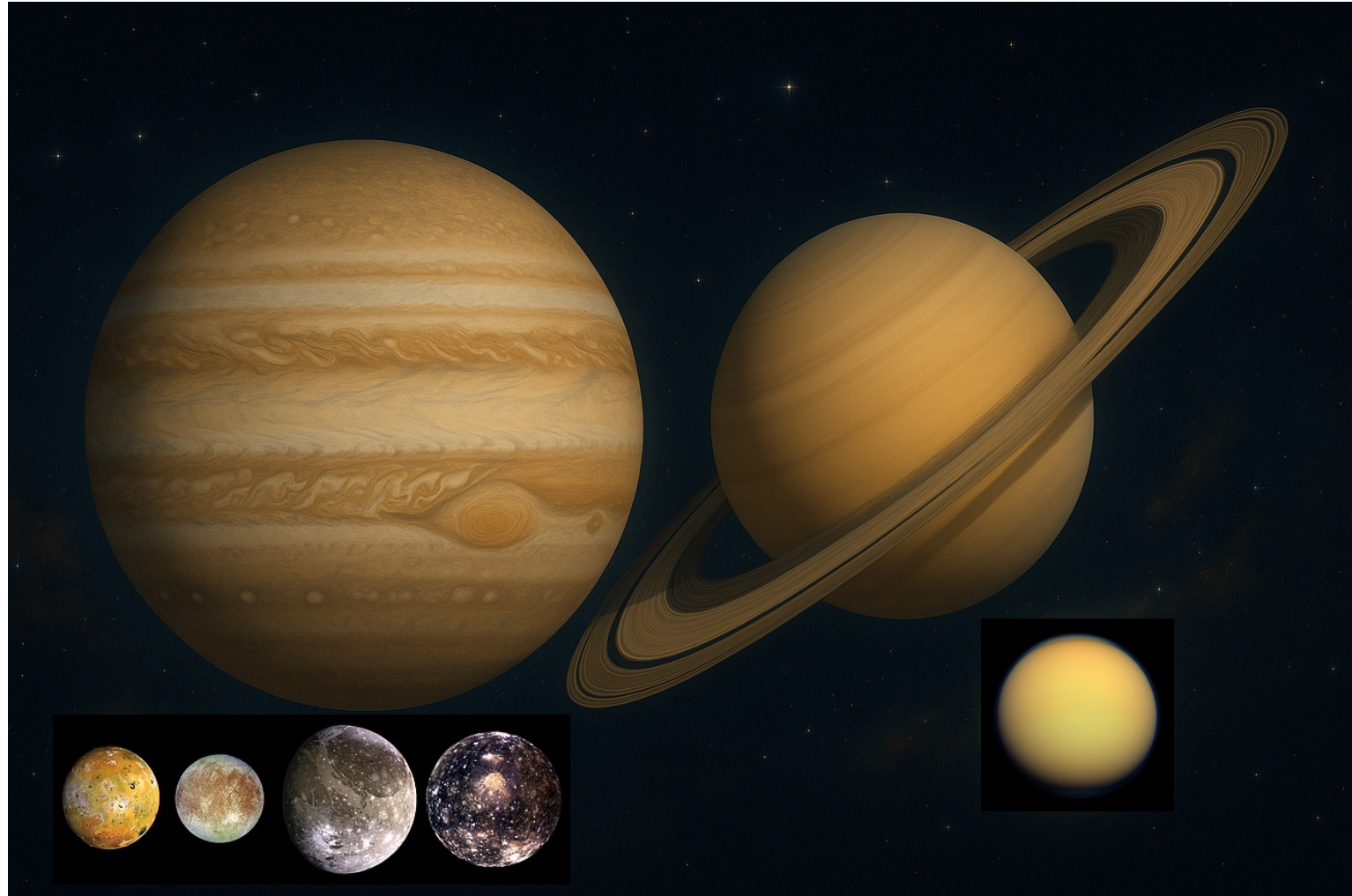


Systemes satellitaires de Saturne et Jupiter : de l'eau et peut-être plus ?

V. Lainey (LTE-Observatoire de Paris)

Contact: valery.lainey@obspm.fr



Plan:

I- Introduction des systèmes de Jupiter et Saturne

II- Des mondes actifs

III- Les effets de marées

IV- Habitabilité

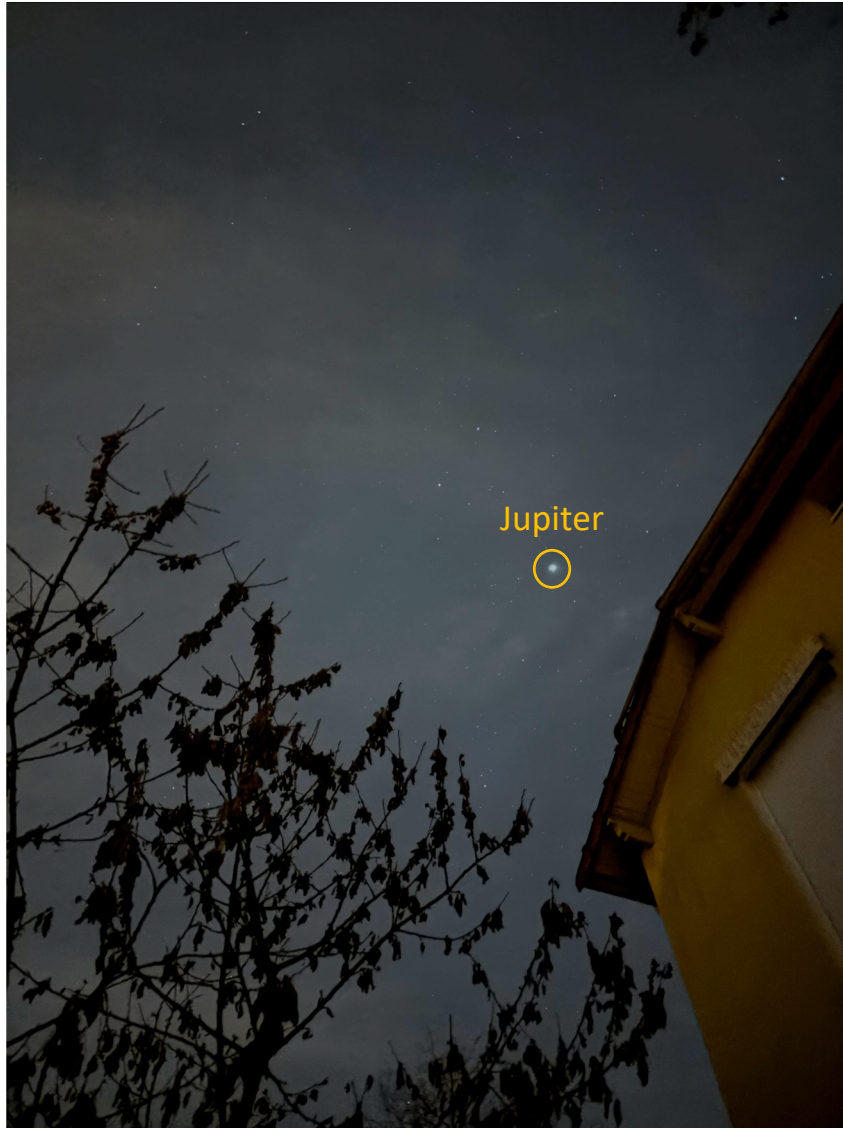
V- Les missions spatiales à venir

I- Introduction des systèmes de Jupiter et Saturne

Introduction des systèmes de Jupiter et Saturne



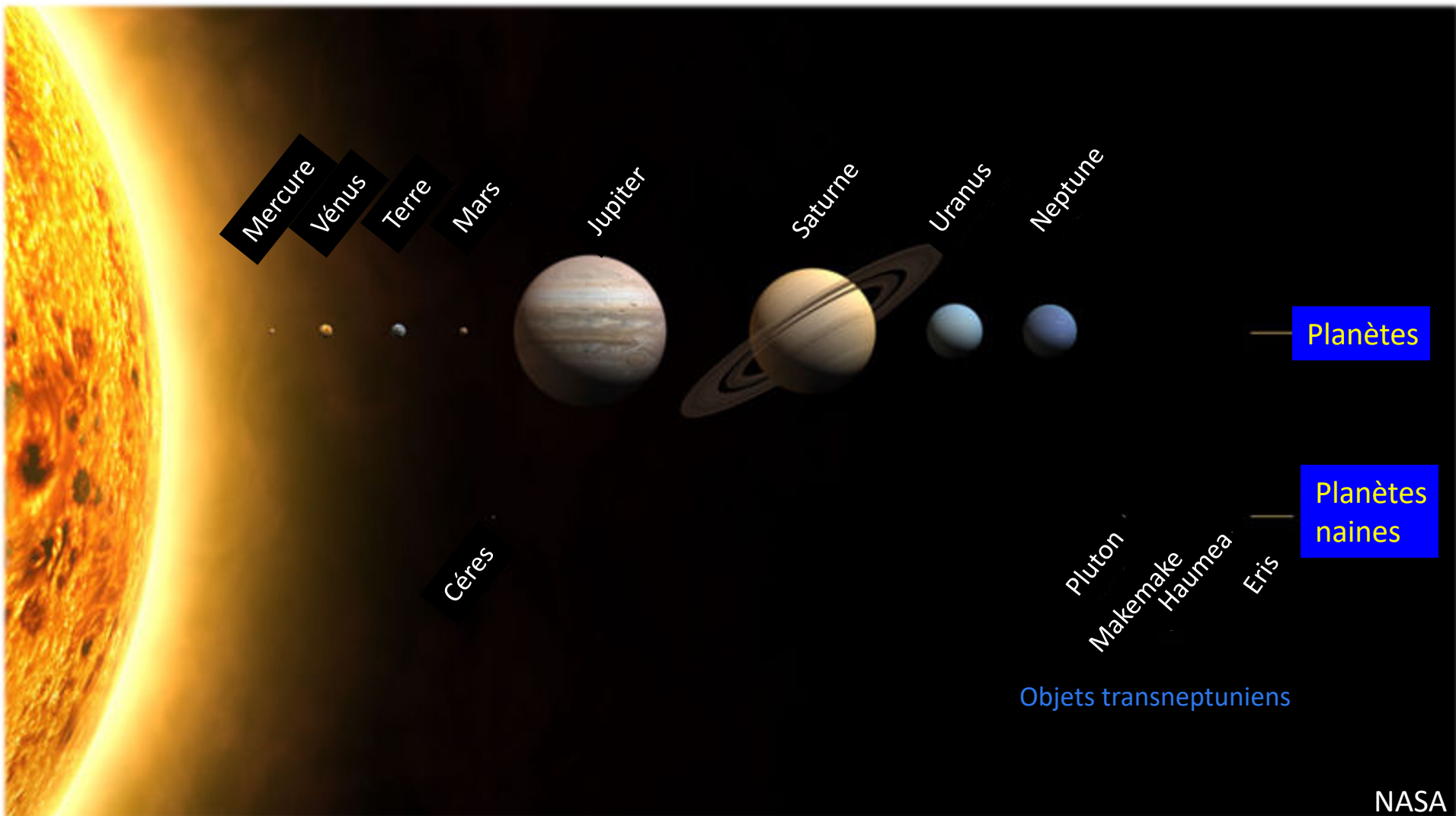
Introduction des systèmes de Jupiter et Saturne



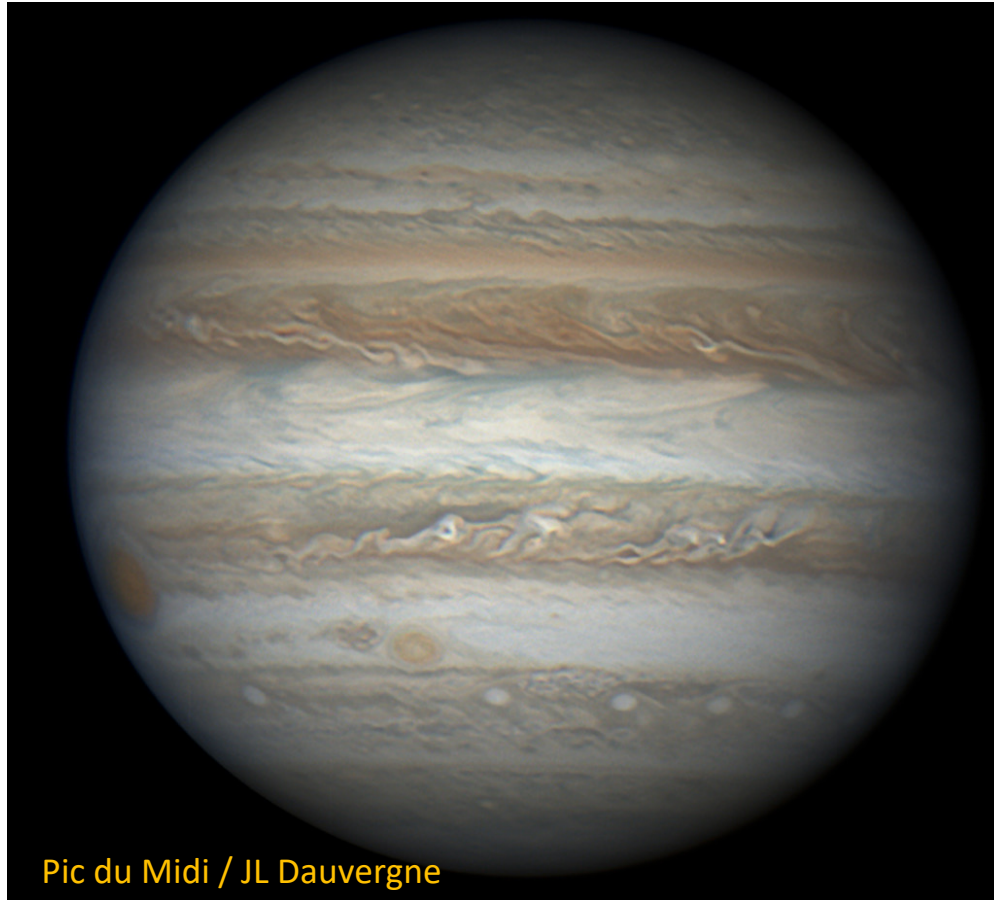
Introduction des systèmes de Jupiter et Saturne



Le Système solaire après le 24 Août 2006

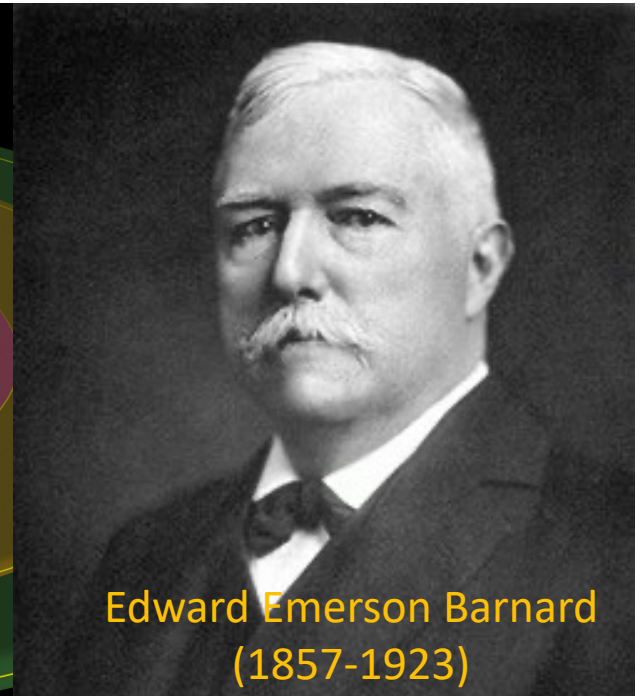
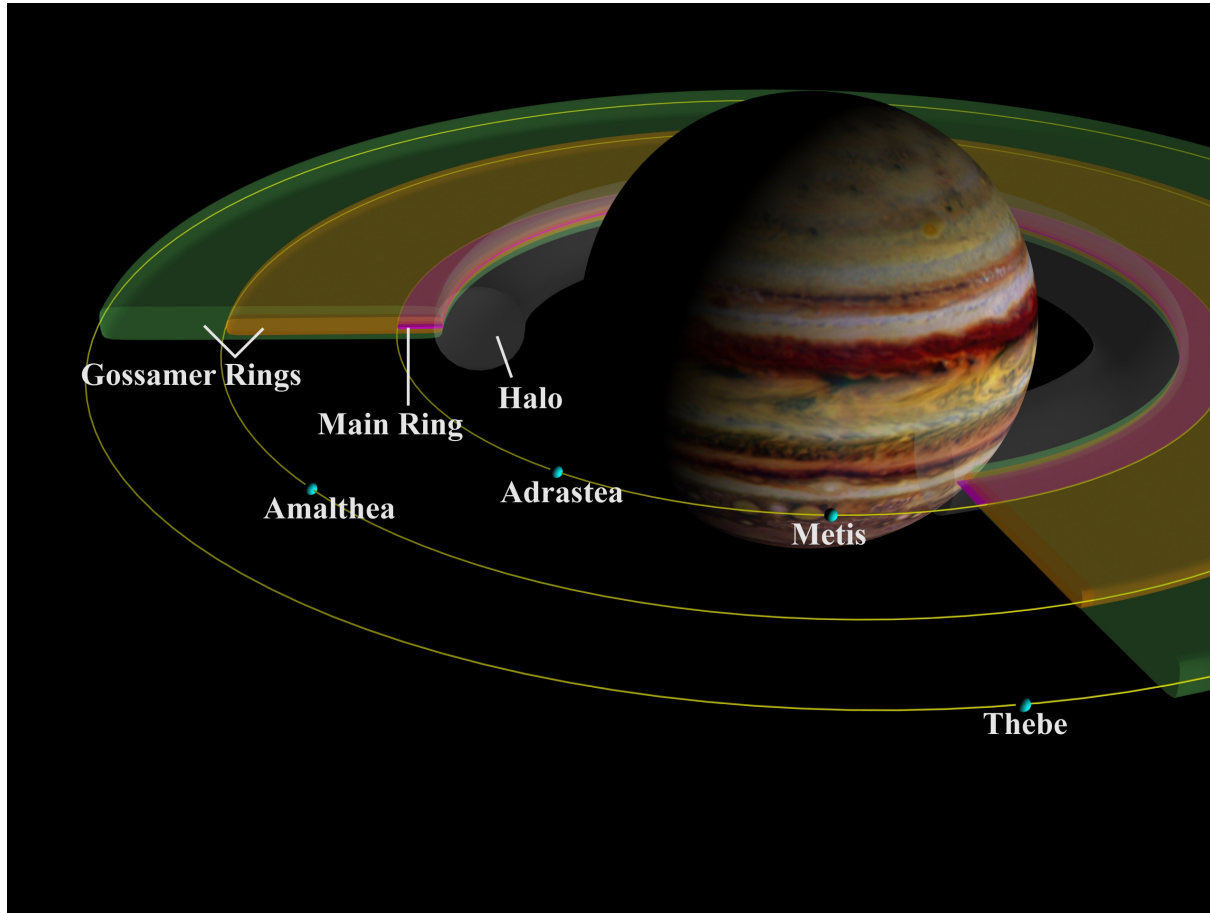


Le système de Jupiter: presque visible à l'oeil nu...



1610: découverte des lunes Galiléennes Io, Europe, Ganymède et Callisto

Le système de Jupiter: presque visible à l'oeil nu...



Edward Emerson Barnard
(1857-1923)

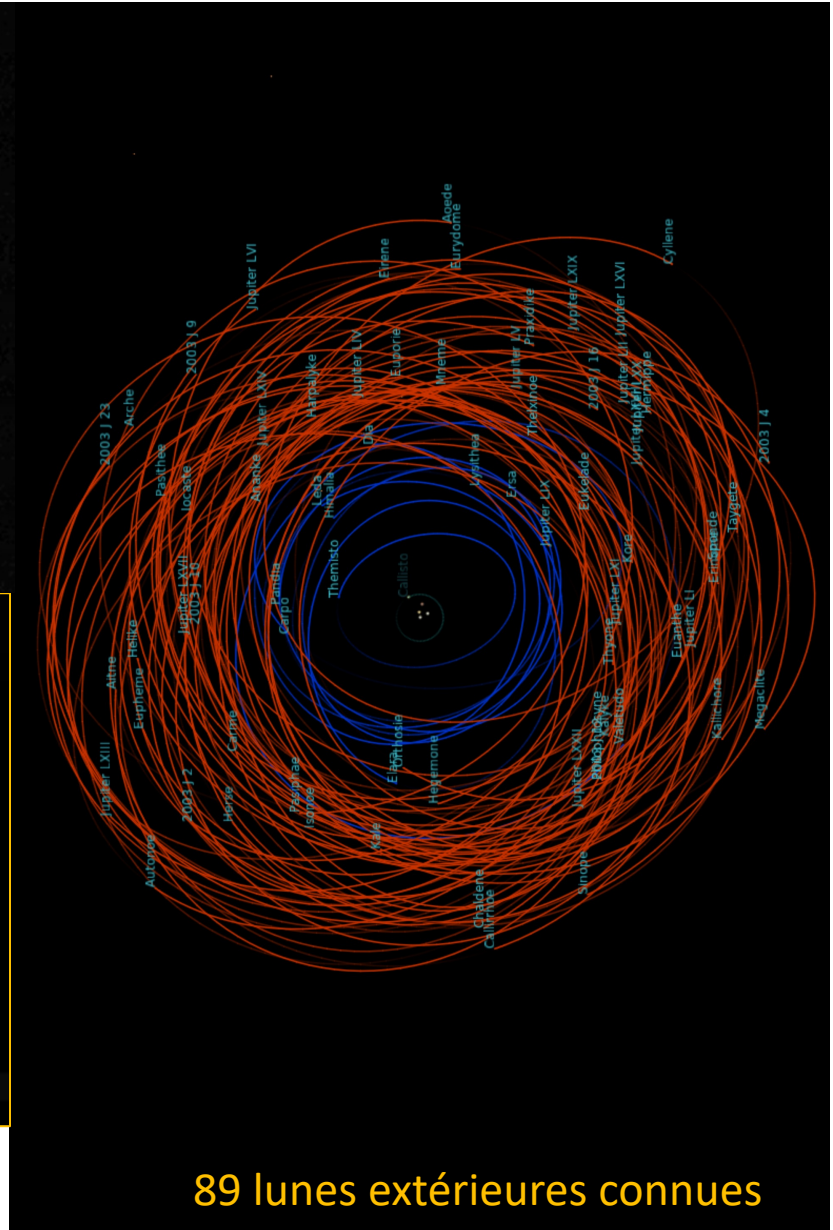
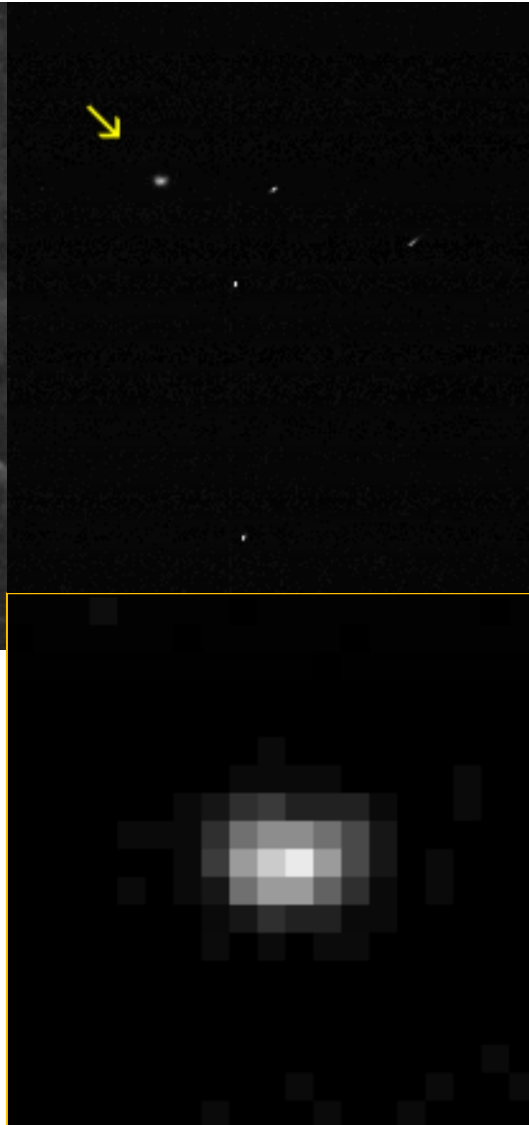
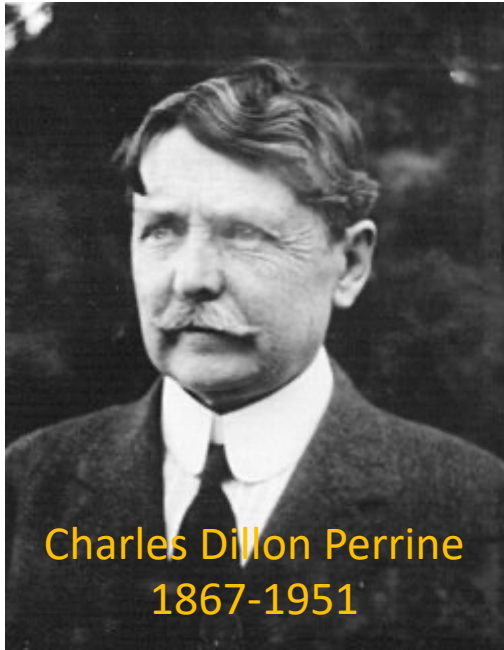
1892: découverte d'Amalthee par observation directe

Tous les autres seront découverts sur plaques photographiques



Galileo

Le système de Jupiter: presque visible à l'œil nu...



1904: découverte d'Himalia sur plaques photographiques

89 lunes extérieures connues

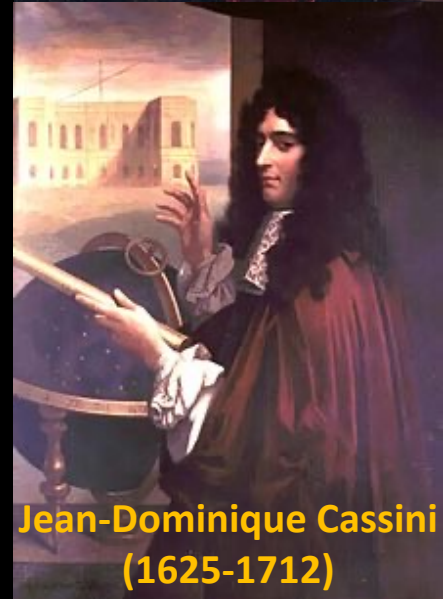
Le système de Saturne: une étonnante diversité



ISS/Cassini



**Christian Huygens
(1629-1695)**



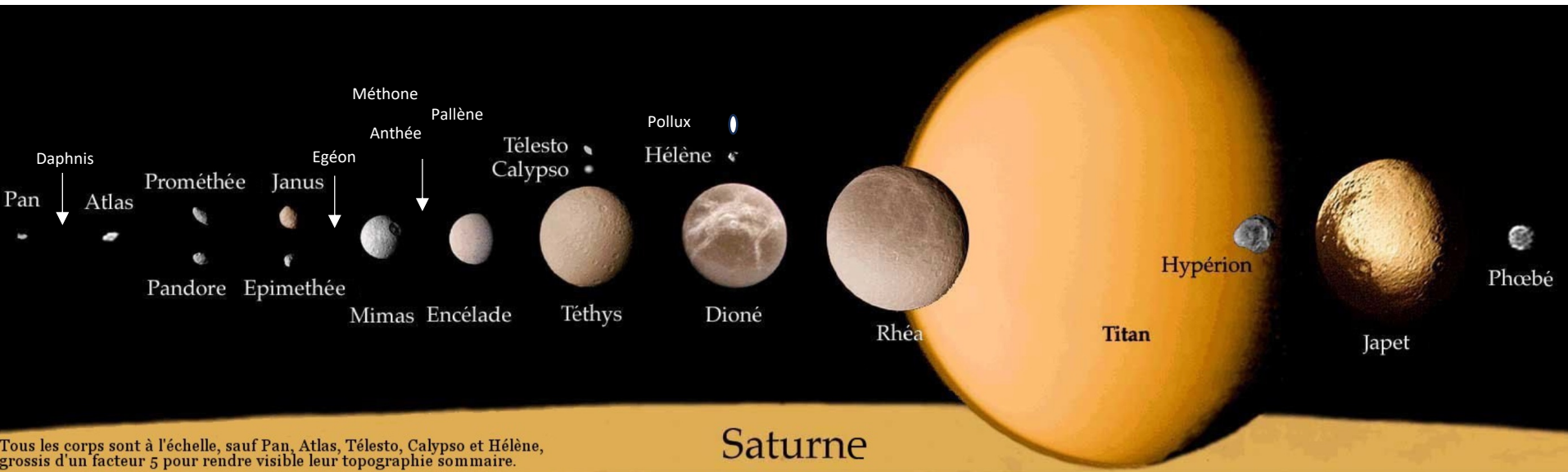
**Jean-Dominique Cassini
(1625-1712)**

1655: découverte de Titan

1656: découverte des « anneaux »

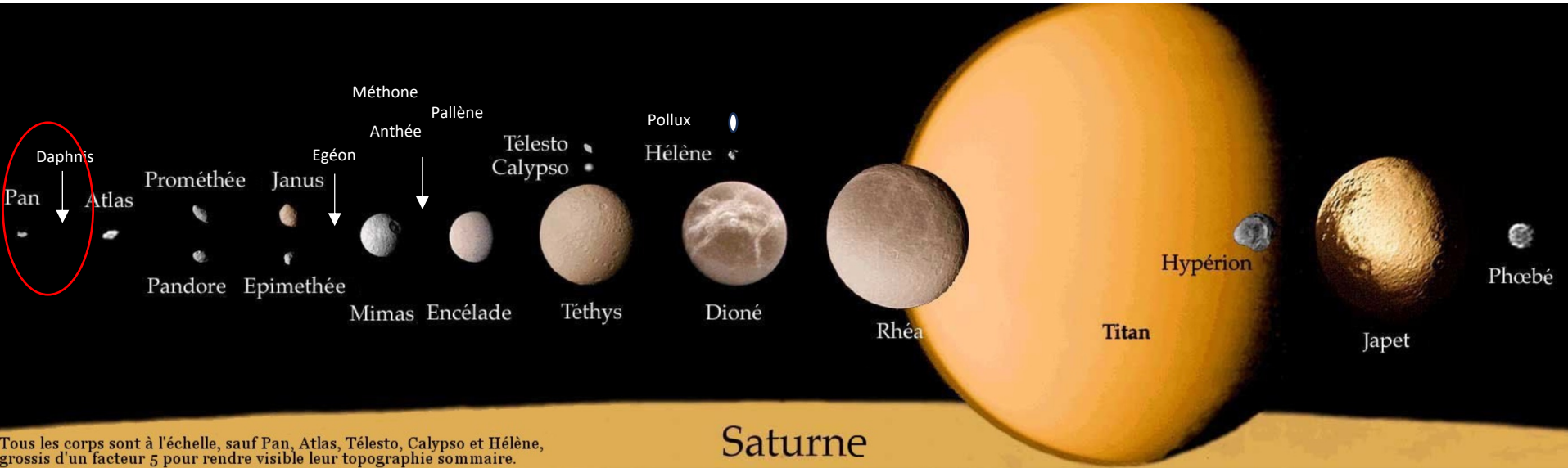
1675: découverte de la division Cassini

Le système de Saturne: une étonnante diversité



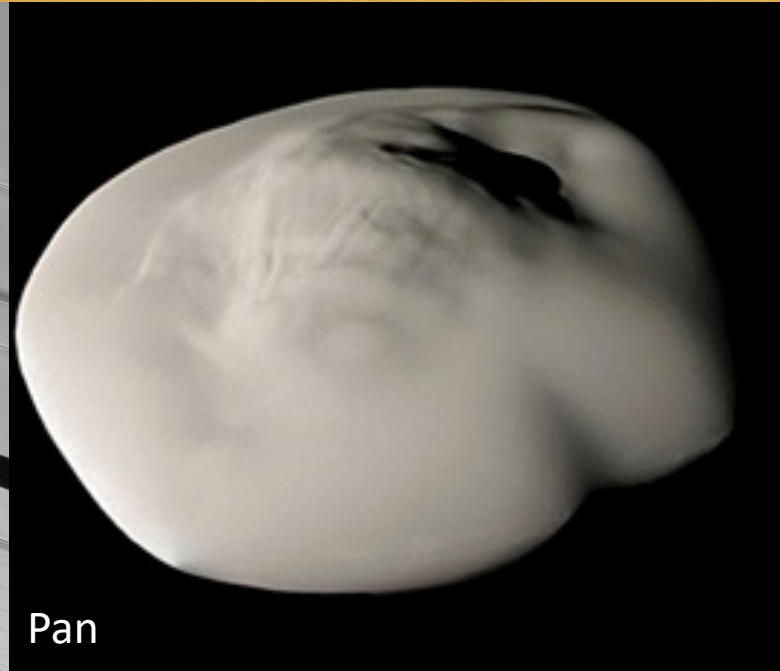
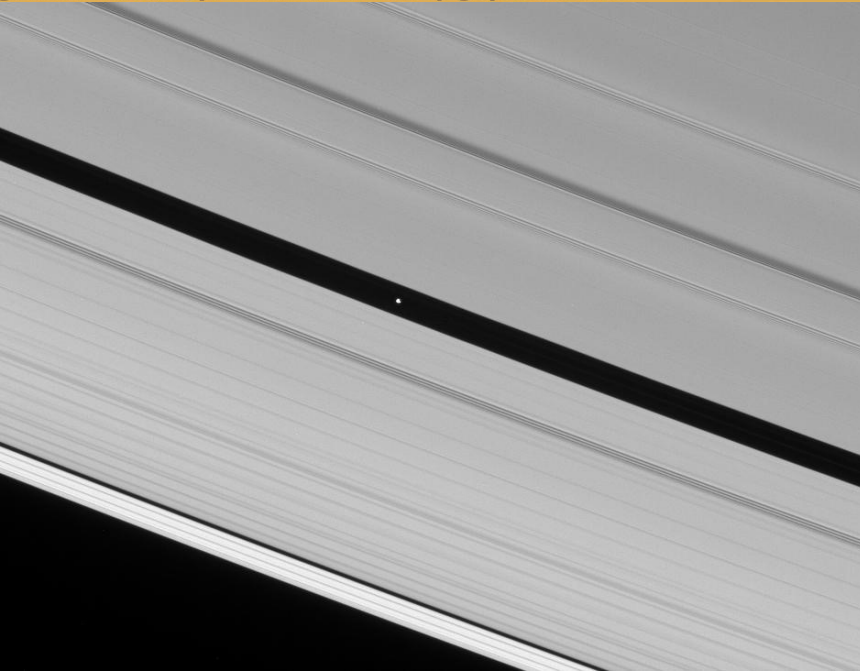
Tous les corps sont à l'échelle, sauf Pan, Atlas, Télésto, Calypso et Hélène, grossis d'un facteur 5 pour rendre visible leur topographie sommaire.

Le système de Saturne: une étonnante diversité

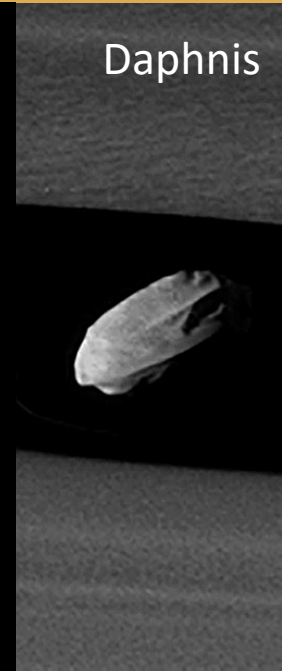


Tous les corps sont à l'échelle, sauf Pan, Atlas, Télésto, Calypso et Hélène, grossis d'un facteur 5 pour rendre visible leur topographie sommaire.

Saturne

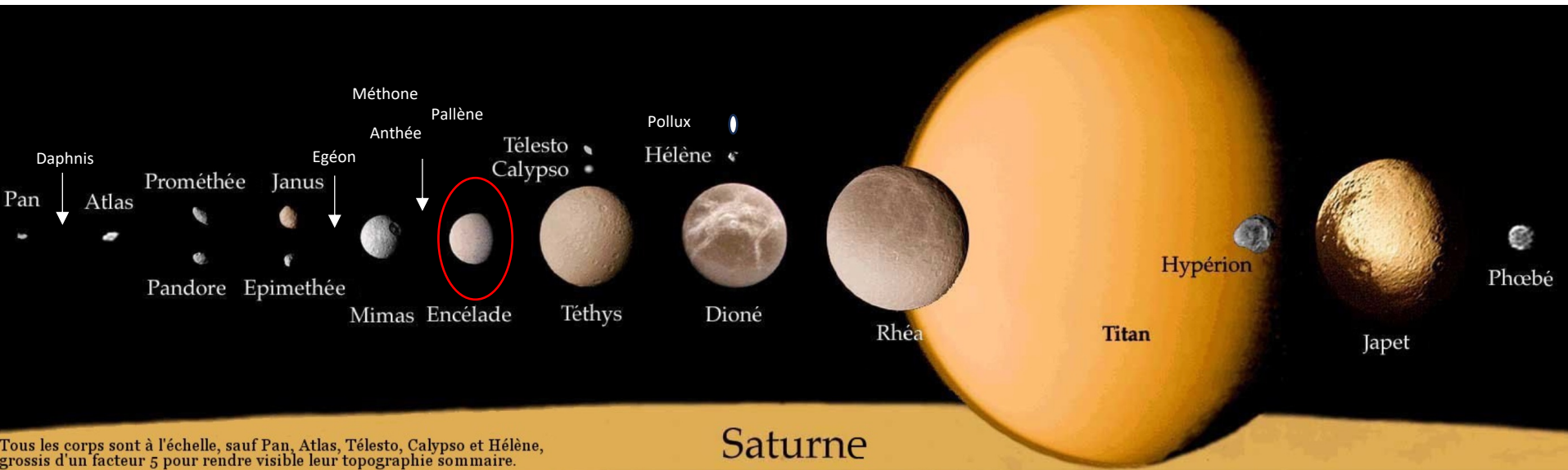


Pan

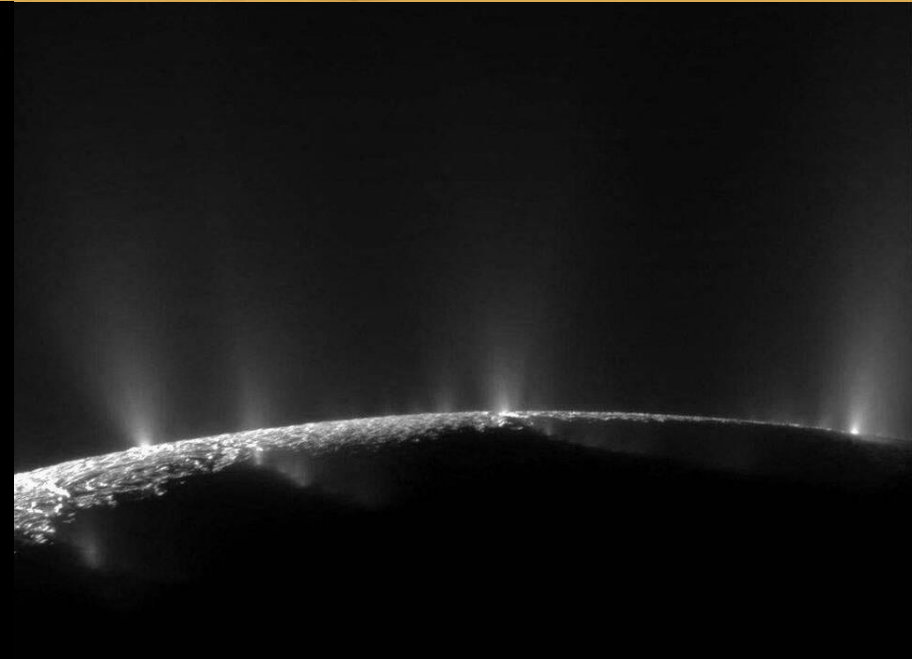
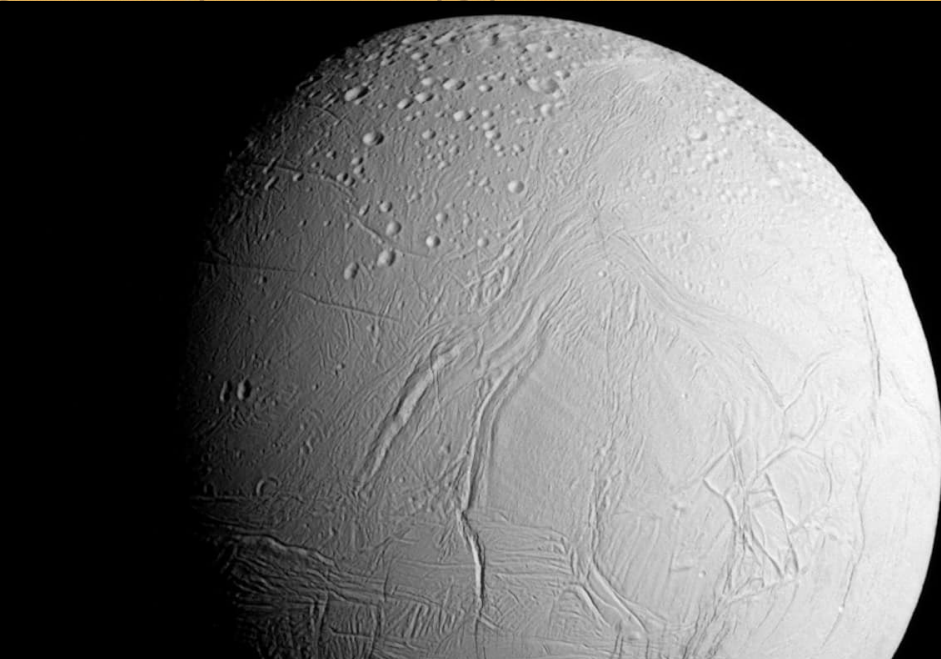


Daphnis

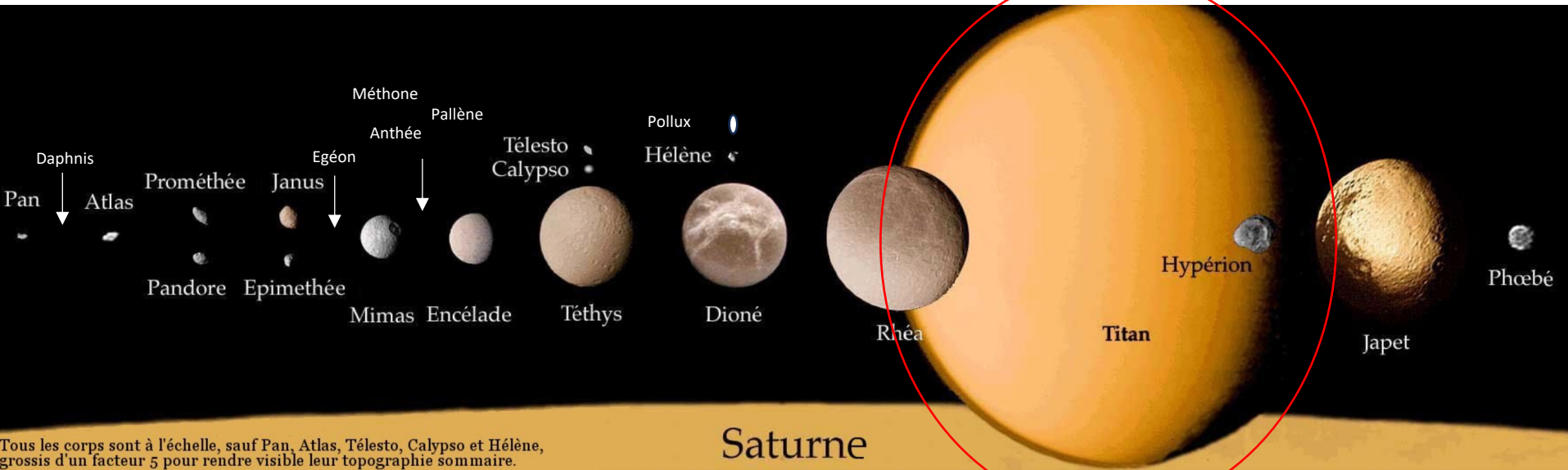
Le système de Saturne: une étonnante diversité



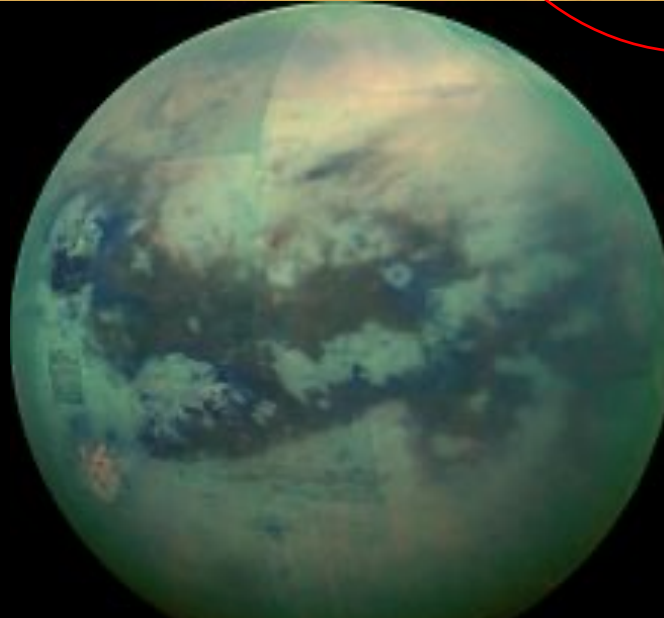
Tous les corps sont à l'échelle, sauf Pan, Atlas, Télésto, Calypso et Héléne, grossis d'un facteur 5 pour rendre visible leur topographie sommaire.



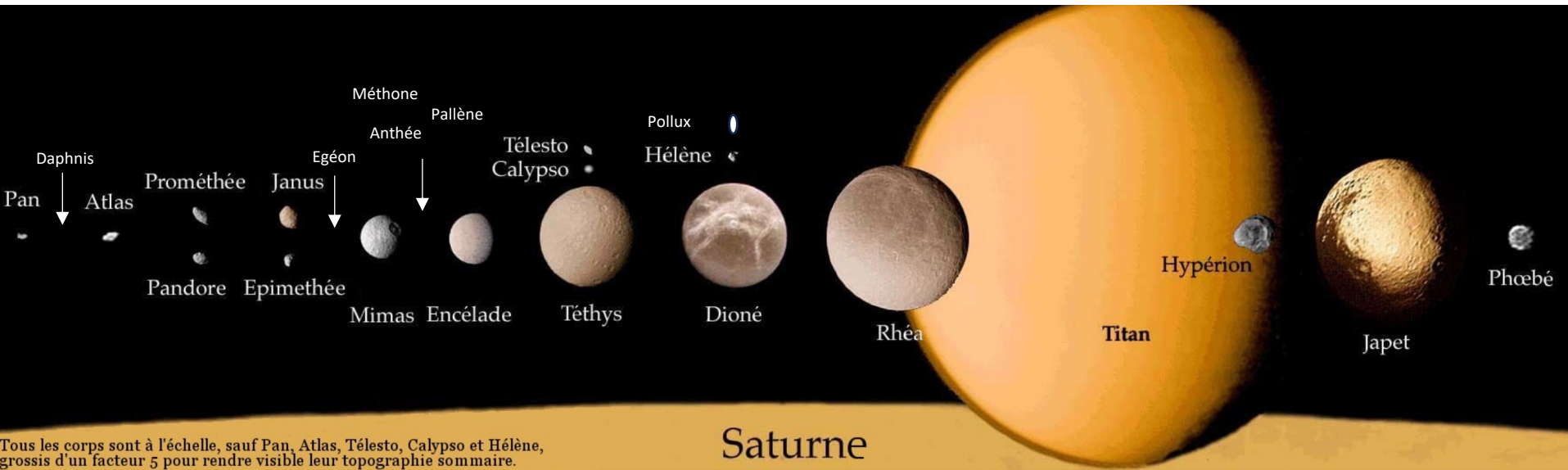
Le système de Saturne: une étonnante diversité



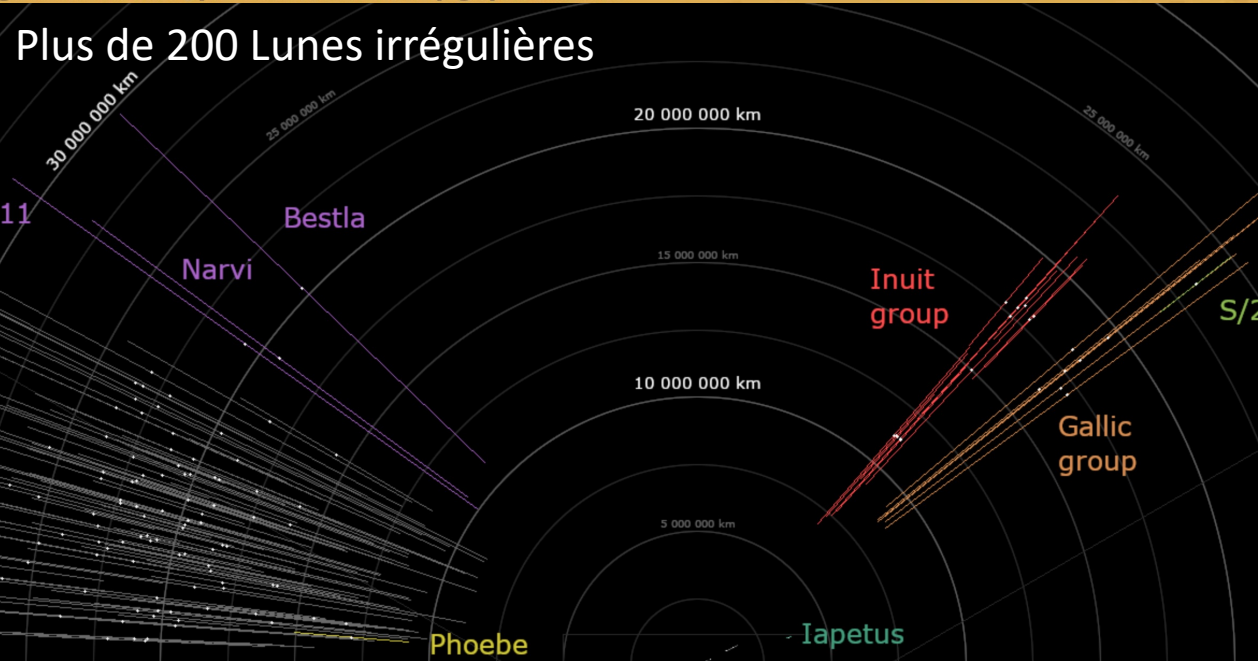
Tous les corps sont à l'échelle, sauf Pan, Atlas, Télésto, Calypso et Hélène, grossis d'un facteur 5 pour rendre visible leur topographie sommaire.



Le système de Saturne: une étonnante diversité



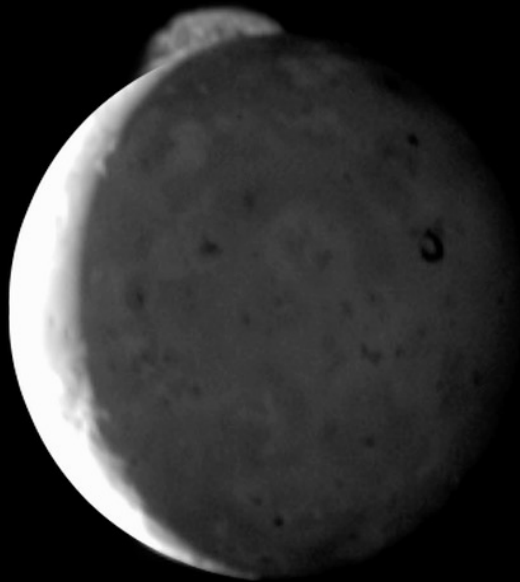
Plus de 200 Lunes irrégulières



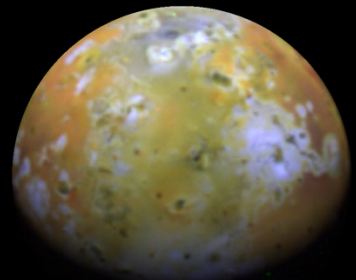
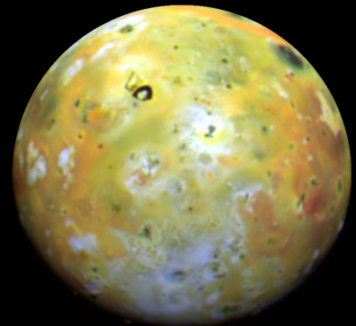
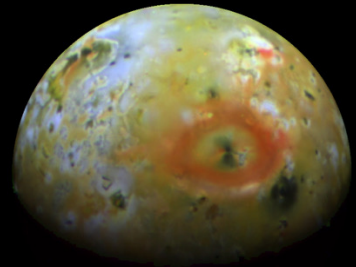
II- Des mondes actifs

Des mondes actifs - quelques exemples:

Io: corps le plus volcanique du système solaire

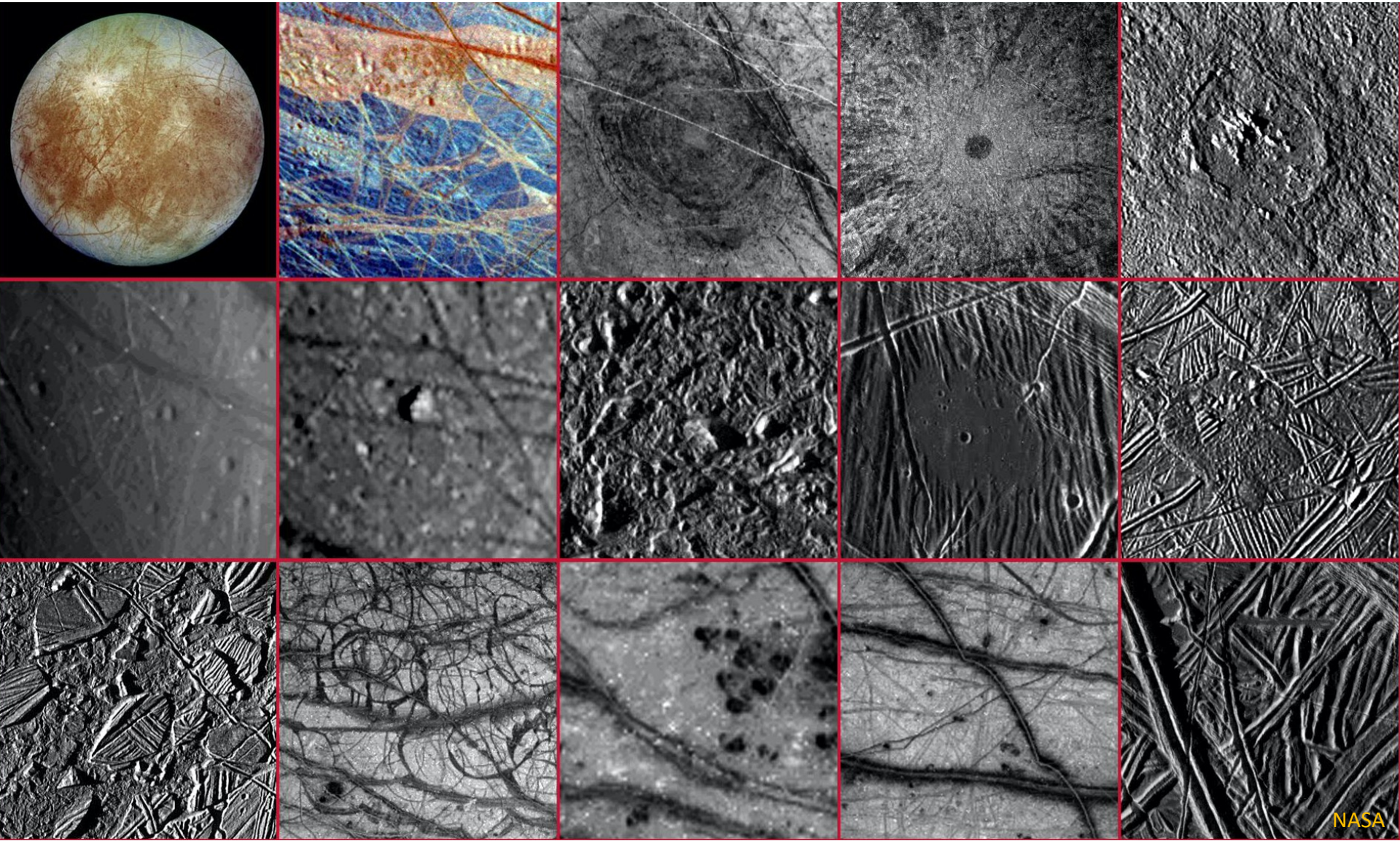


LORRI/NH/NASA



Des mondes actifs - quelques exemples:

Europe: une cible pour l'exobiologie



Des mondes actifs - quelques exemples:

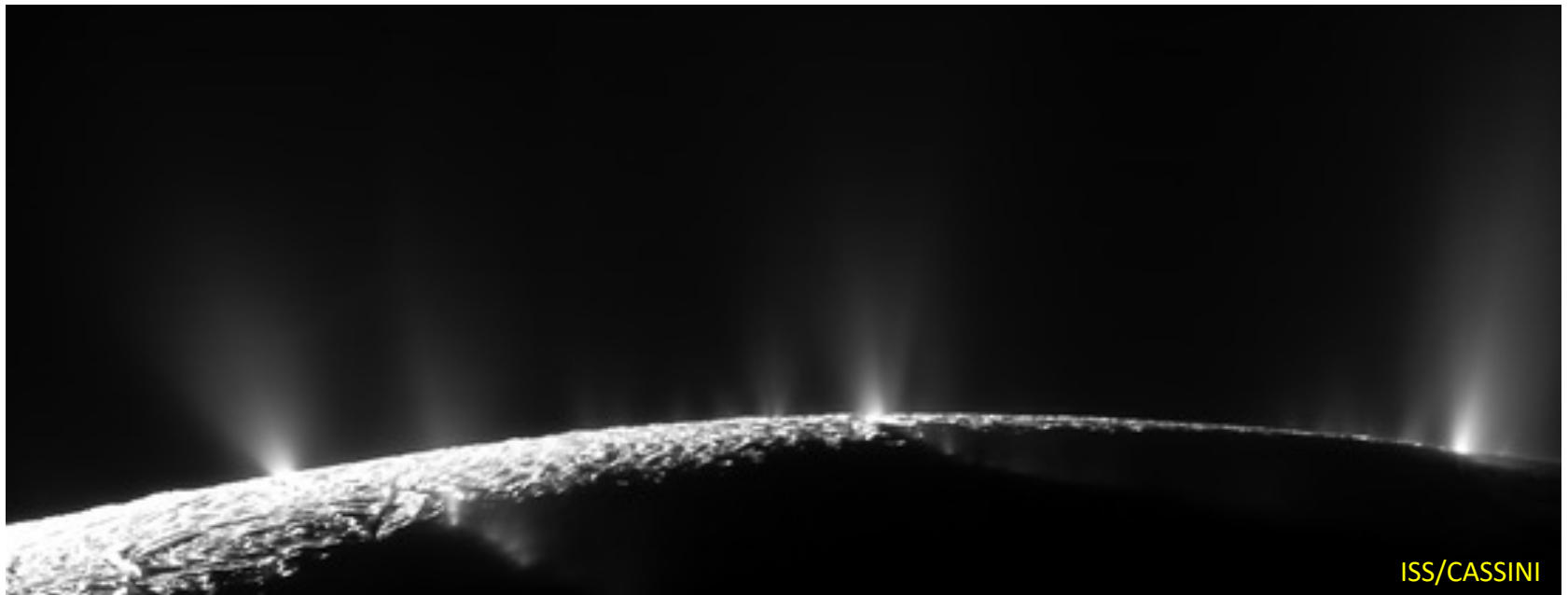
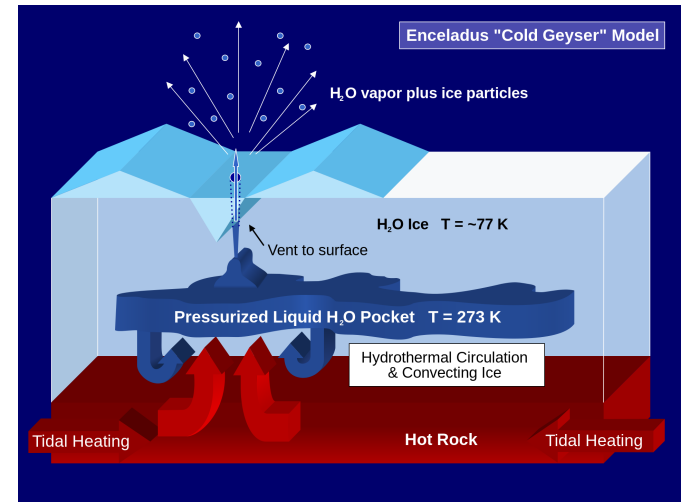


Ganymède



Des mondes actifs - quelques exemples:

Encelade: un ocean à fleur de glace...



III- Les effets de marées

Effets de marées - le principe physique



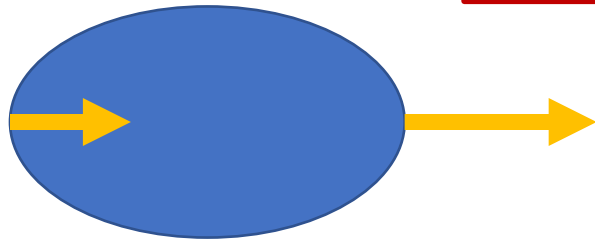
Effets de marées - le principe physique



Effets de marées - le principe physique

Loi de la gravitation universelle:

$$\vec{F} = -\frac{GMm\vec{e}_r}{r^2}$$



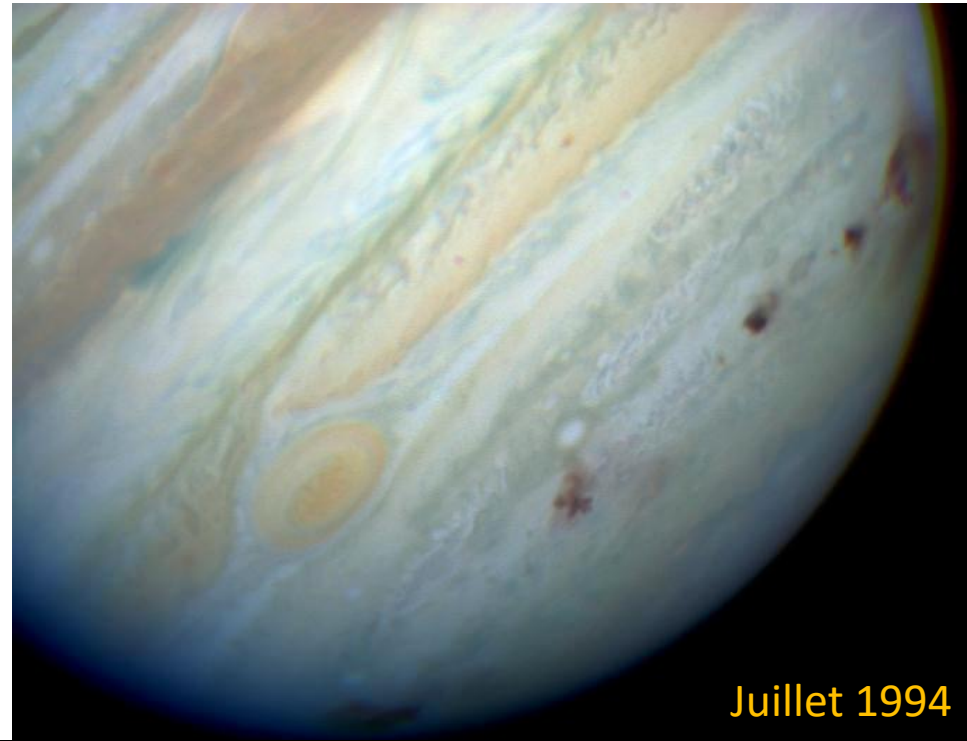
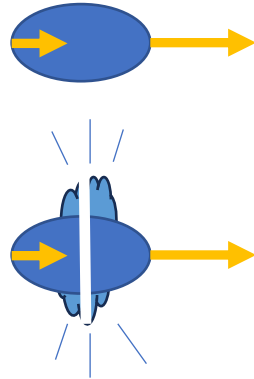
Les effets de marées sont induits par la *différence d'attraction gravitationnelle*, exercée par un objet massif, sur un objet étendu.

Cette déformation s'accompagne de friction, et donc de production de **chaleur**

Effets de marées – la comète Shoemaker-Levy 9

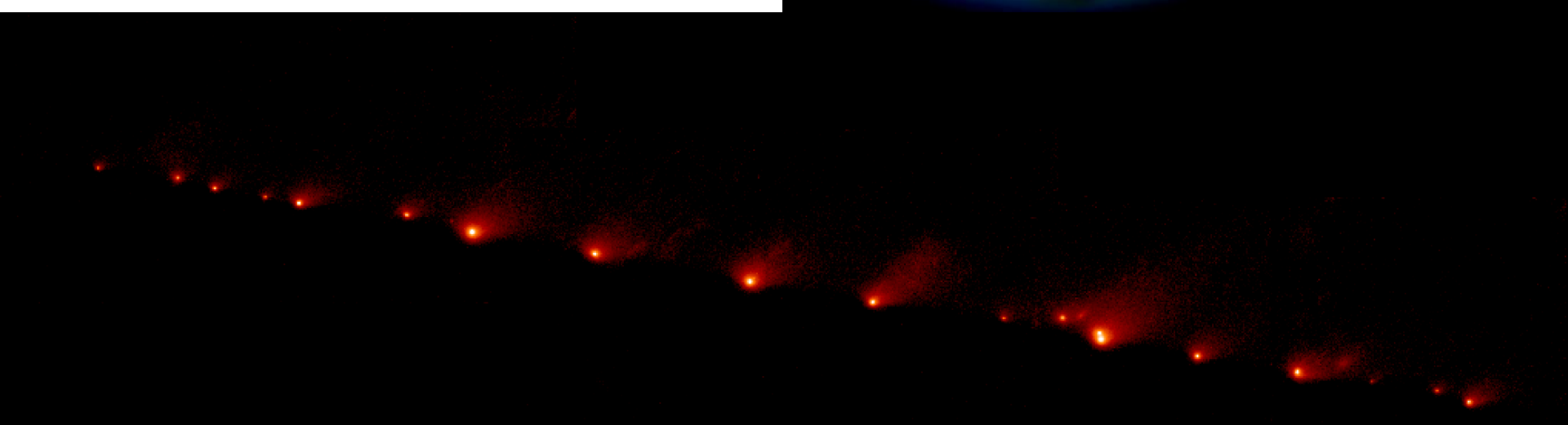


Edouard Roche
1820-1883



Juillet 1994

Mai 1994 (HST)

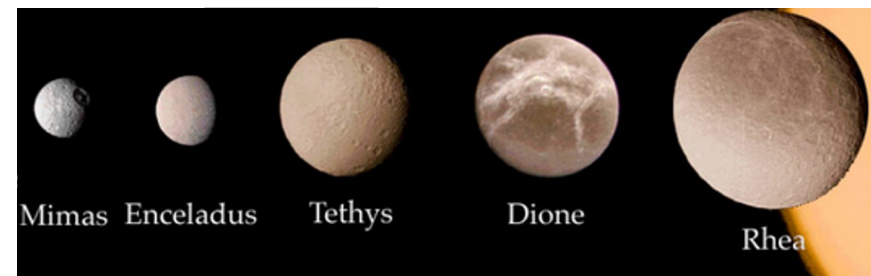
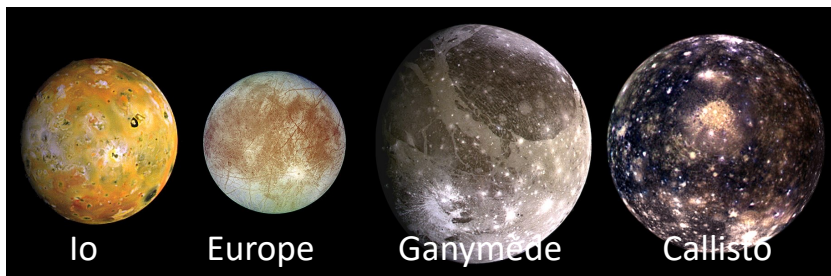
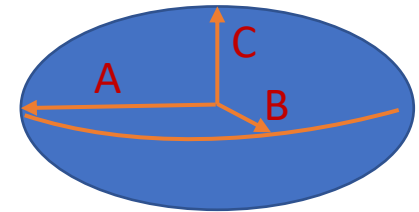


Effets de marées – la forme des lunes

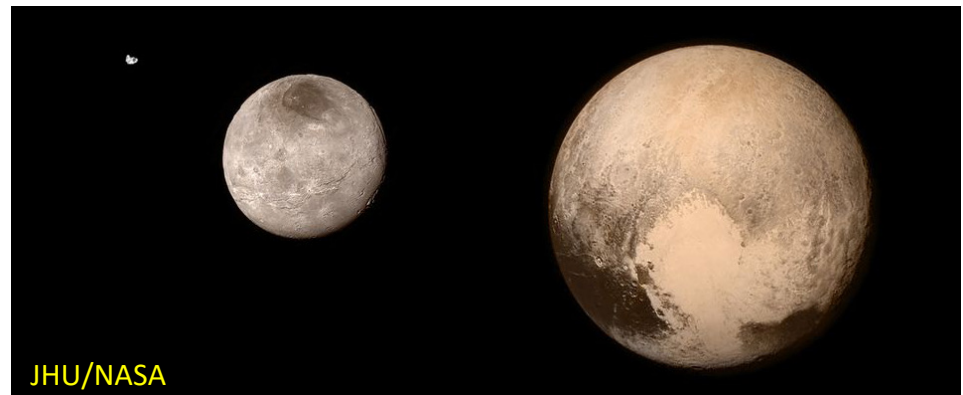
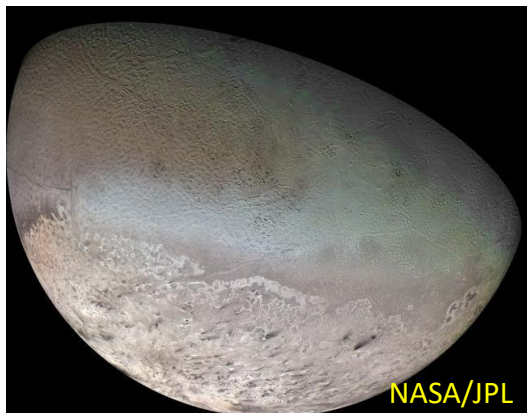
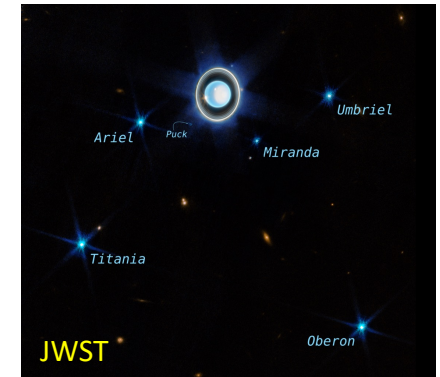
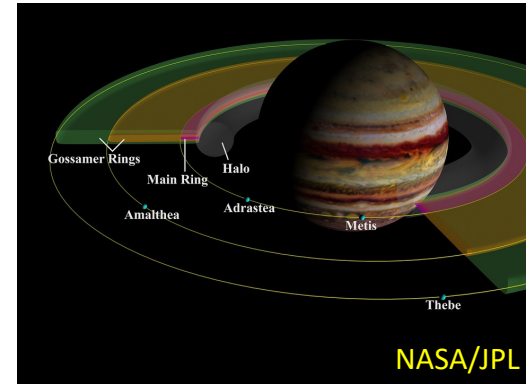
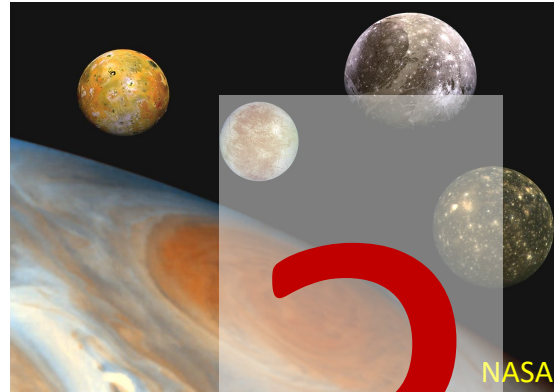
Jupiter

Saturne

Lune	A (km)	B (km)	C (km)
Io	1829.4	1819.4	1815.7
Europe	1562.6	1560.3	1559.5
Ganymède	2631.2	2631.2	2631.2
Callisto	2410.3	2410.3	2410.3
Mimas	207.4	196.8	190.6
Encelade	256.6	251.4	248.3
Téthys	540.4	531.1	527.5
Dioné	563.8	561.0	560.3
Rhéal	767.2	762.5	763.1
Titan	2575	2575	2575

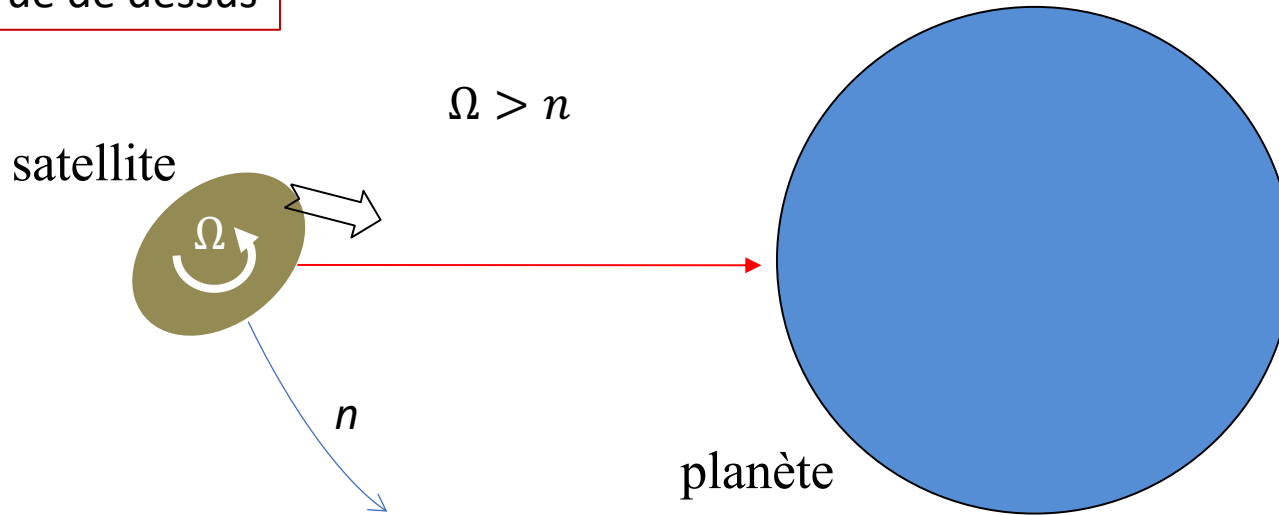


Effets de marées et rotation:



Effets de marées et rotation:

Vue de dessus

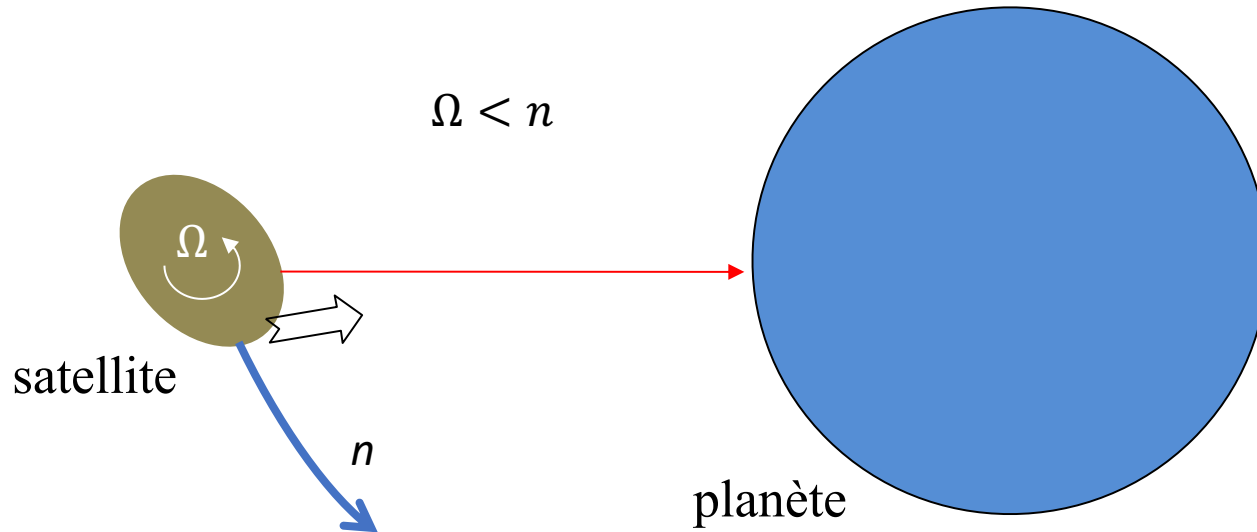
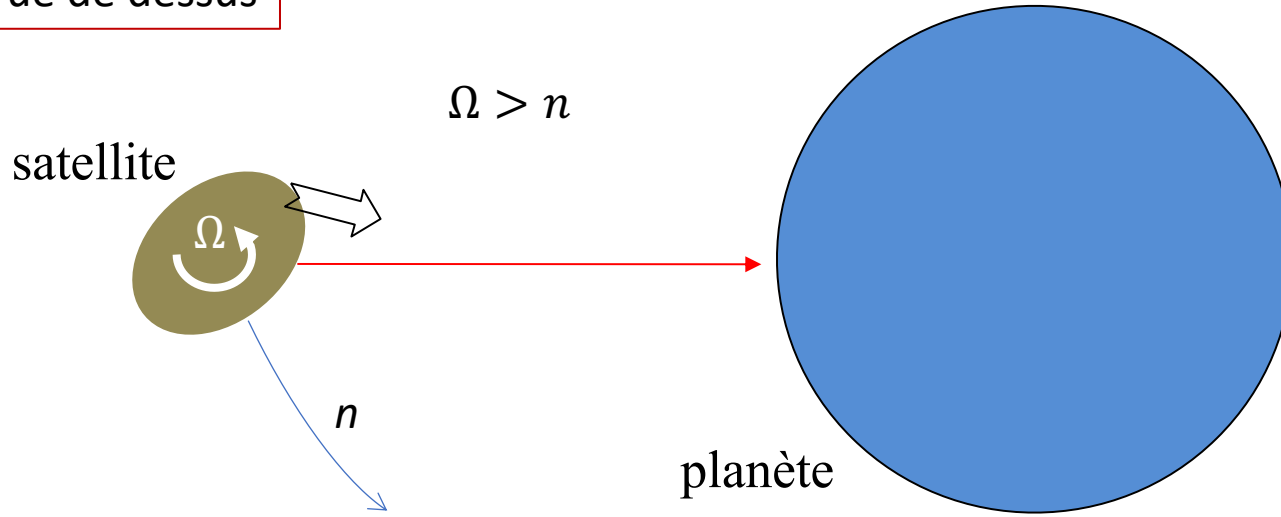


Ω : Rotation de l'objet sur lui-même

n : Révolution de l'objet autour de la planète

Effets de marées et rotation:

Vue de dessus



Effets de marées et rotation:

Vue de dessus

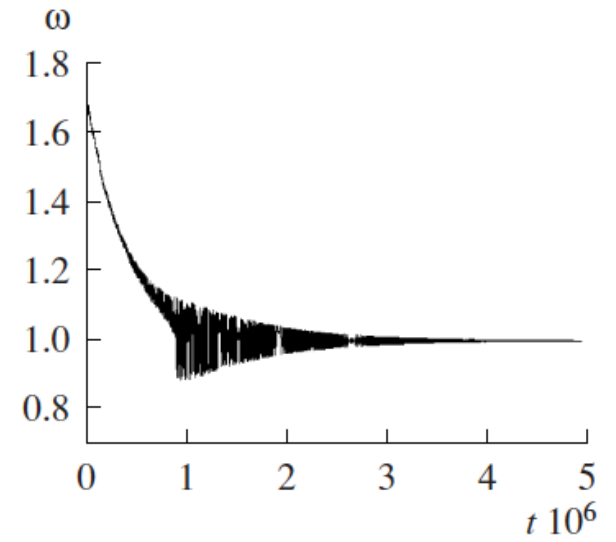
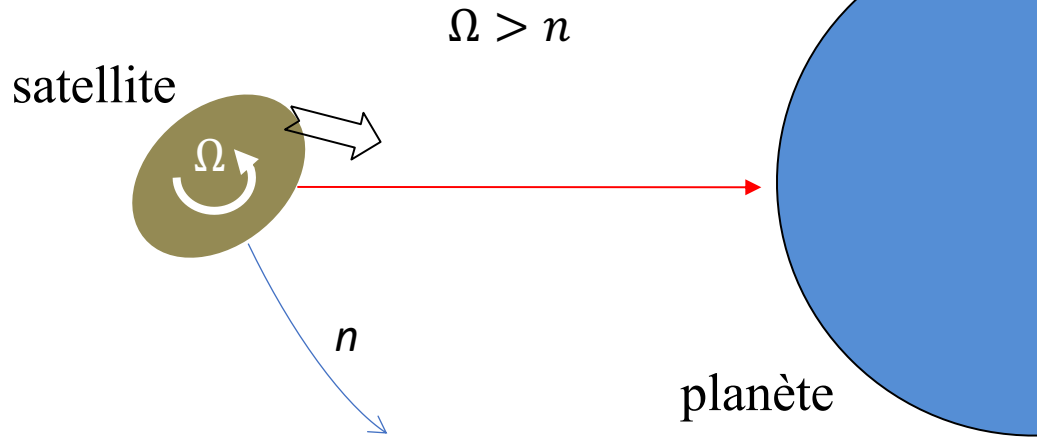
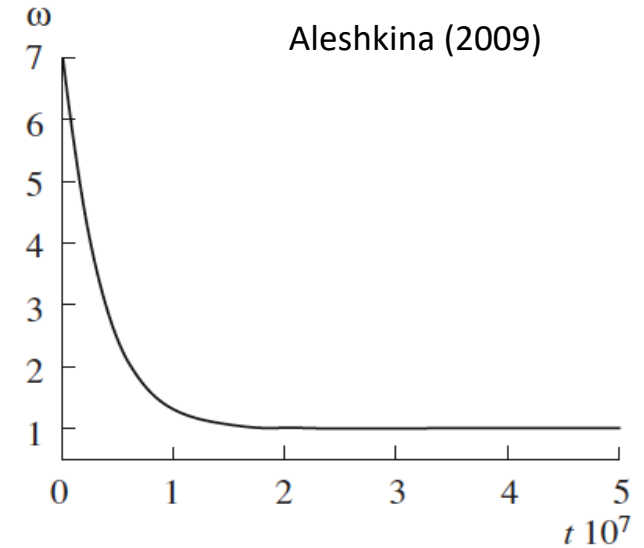
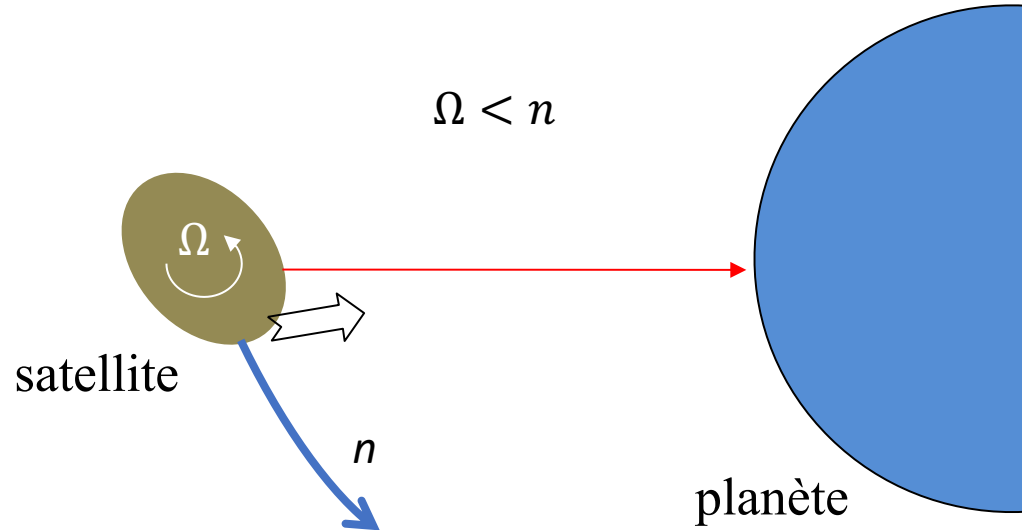


Fig. 3. Io. Initial conditions $\psi_0 = 1.57$, $\omega_0 = 1.8$.



Aleshkina (2009)

Fig. 6. Ganymede. Initial conditions $\psi_0 = 1.57$, $\omega_0 = 7.2$.

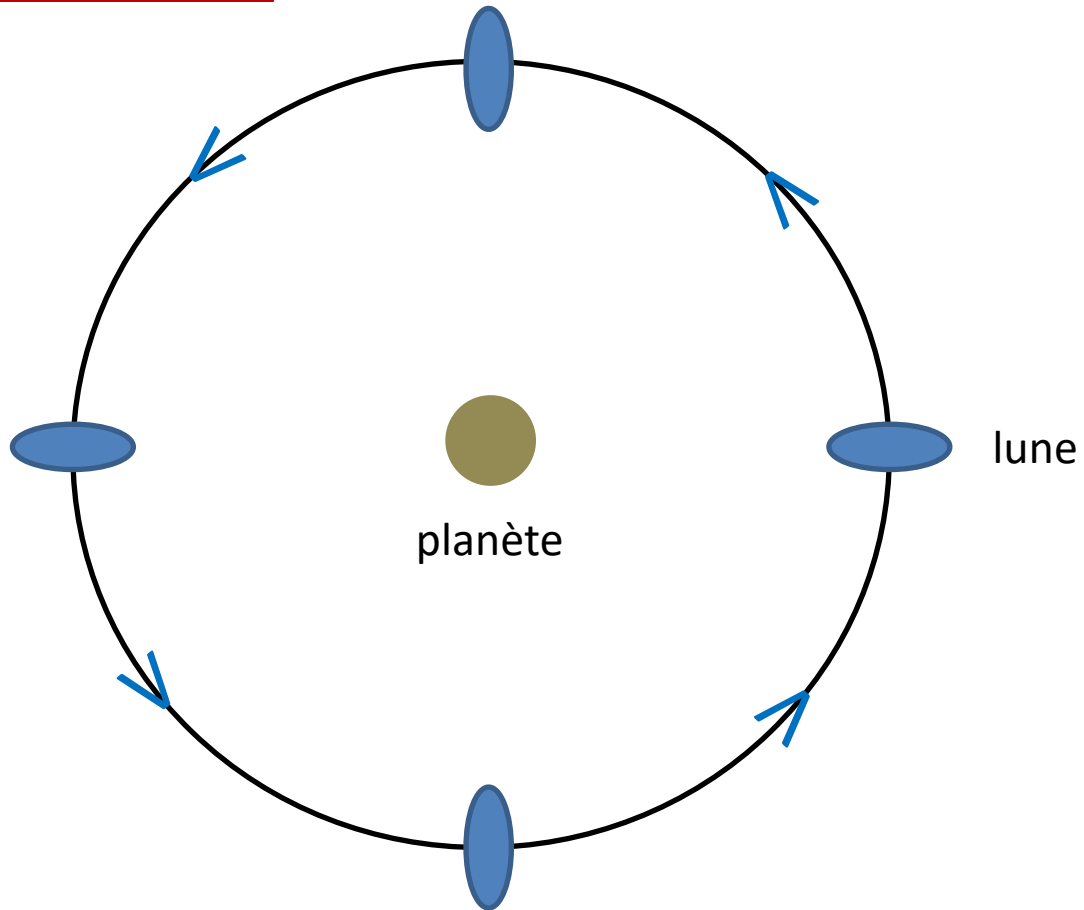
**La lune montre la même face
à la Terre suite aux marées
levées par la Terre sur la Lune**



Effets de marées et révolution:

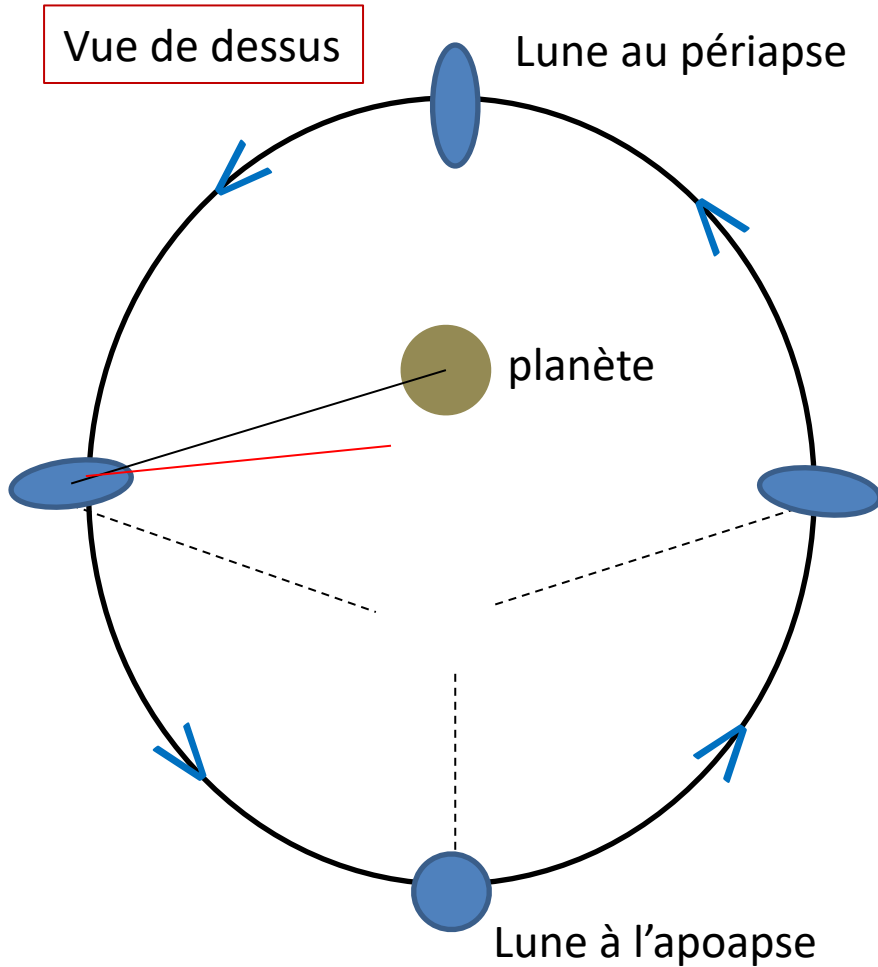
Sur une orbite circulaire, les bourrelets de marées devraient être statiques

Vue de dessus



Effets de marées et révolution:

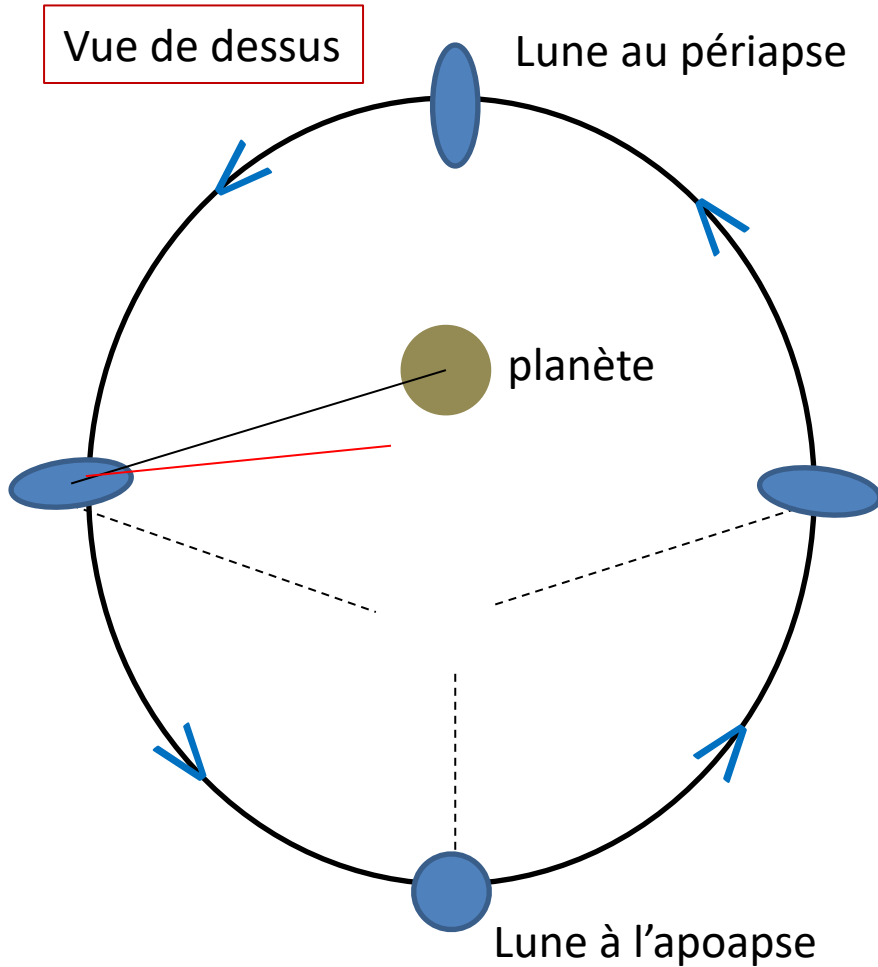
Mais les orbites des lunes sont en général excentriques...



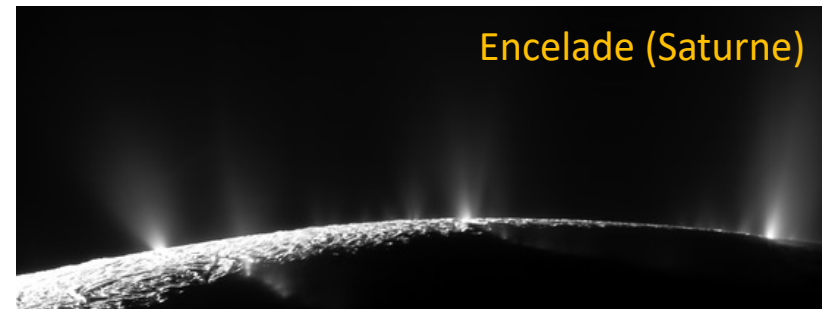
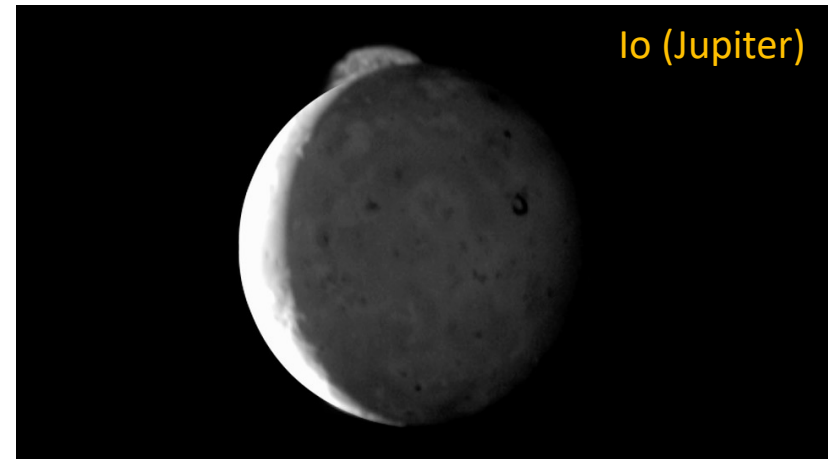
A cause de la friction interne suite aux déformations de marées, l'énergie orbitale du système est transformée en chaleur!

Effets de marées et révolution:

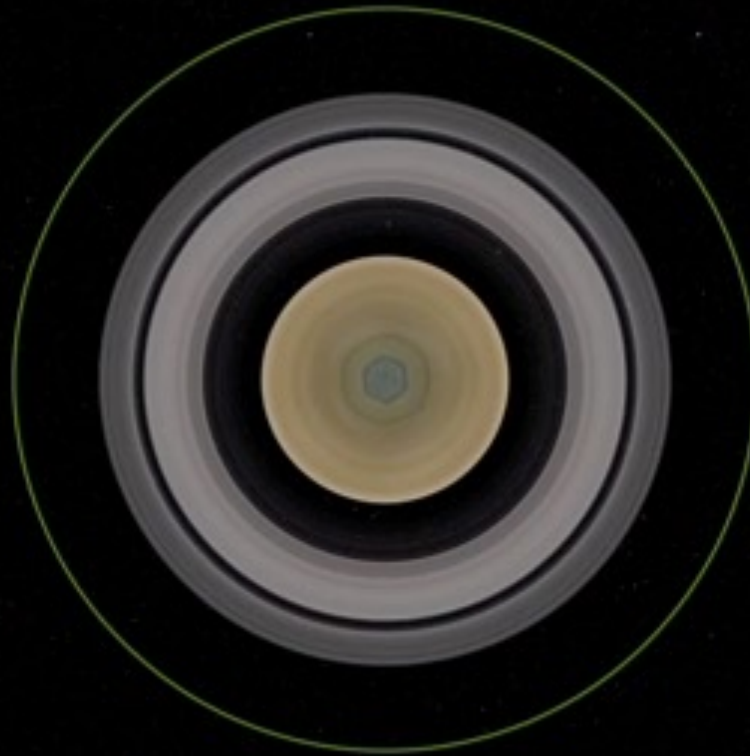
Mais les orbites des lunes sont en général excentriques...



A cause de la friction interne suite aux déformations de marées, l'énergie orbitale du système est transformée en chaleur!

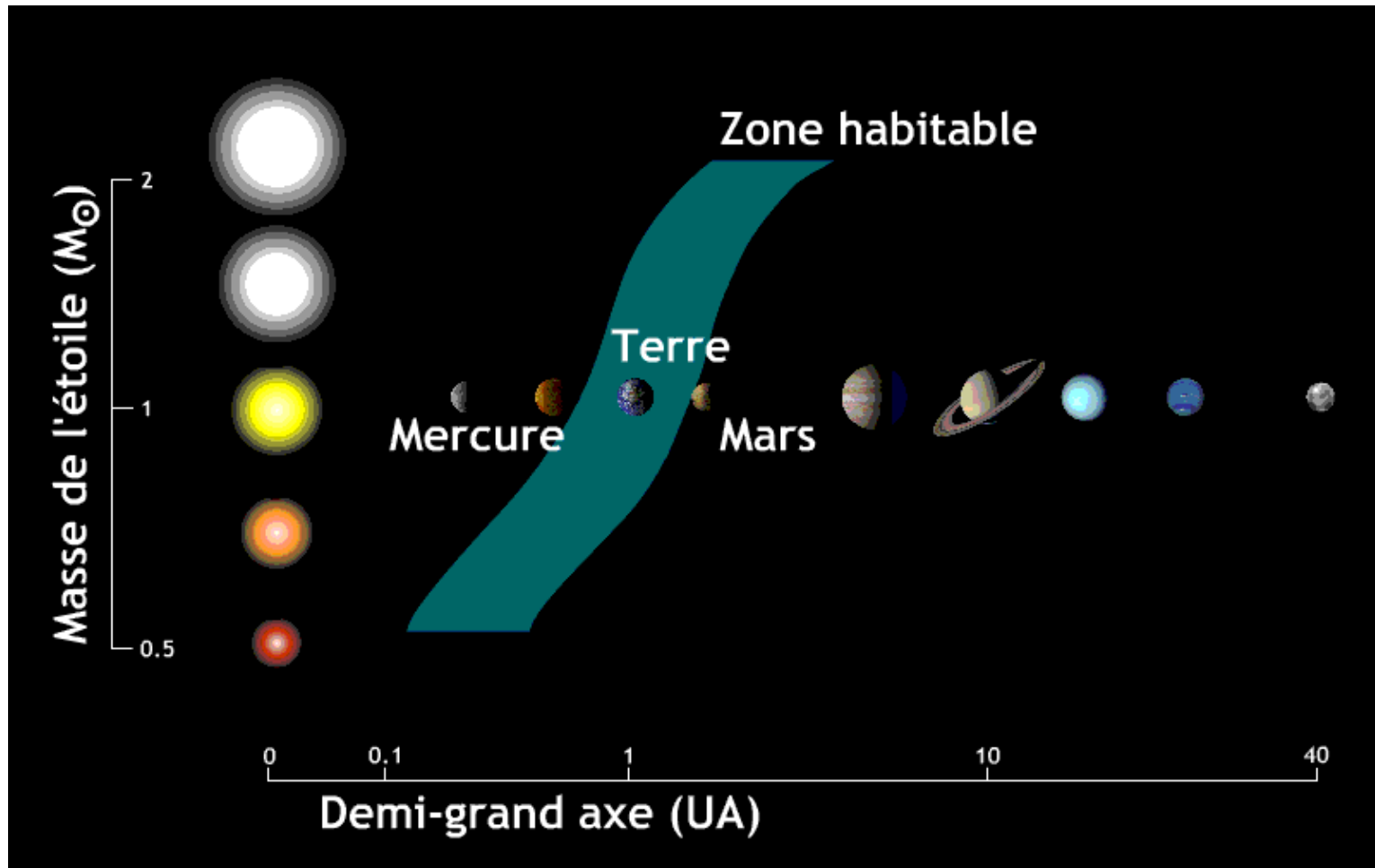


Effets de marées - le principe physique



IV- Habitabilité

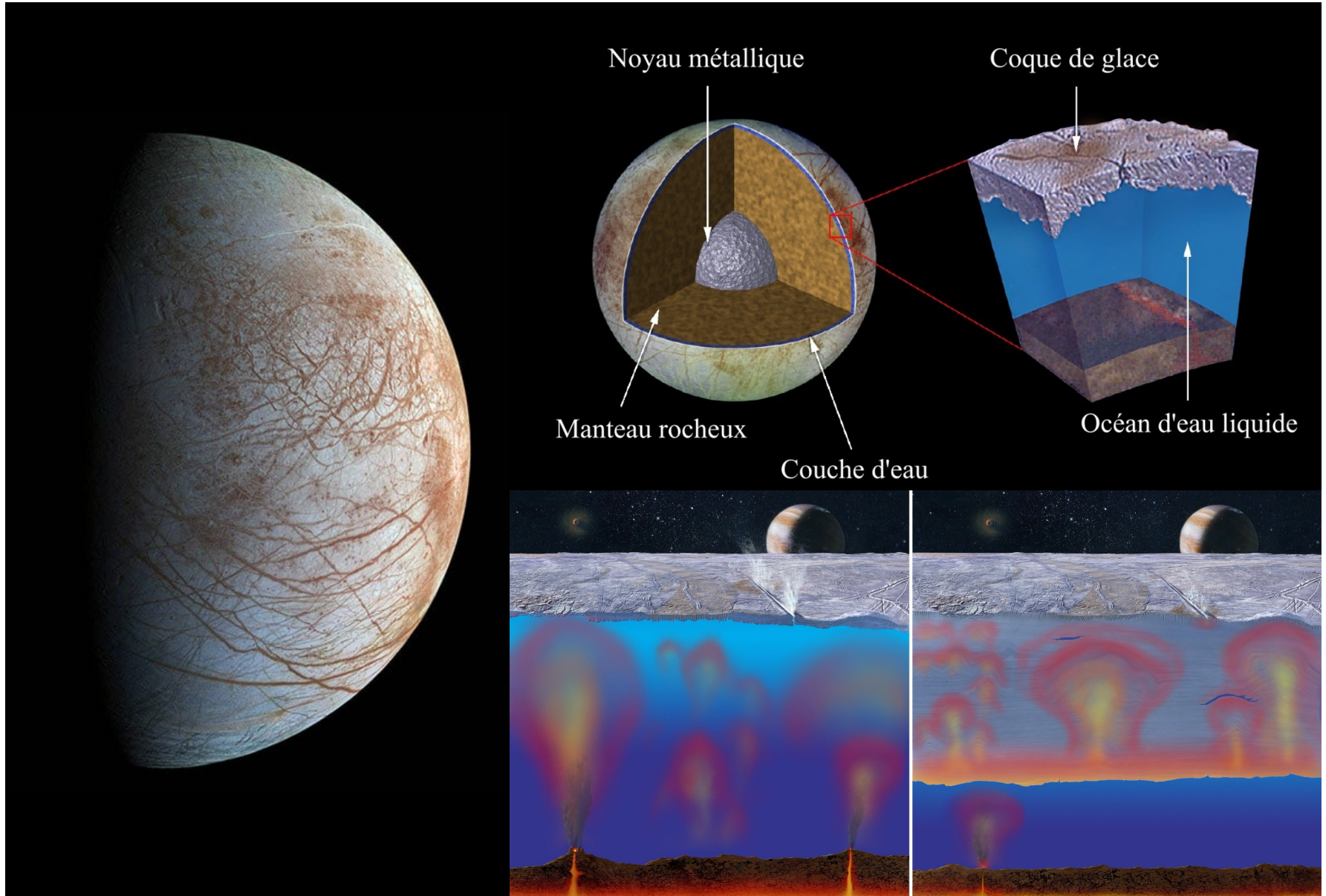
Habitabilité: Zone habitable



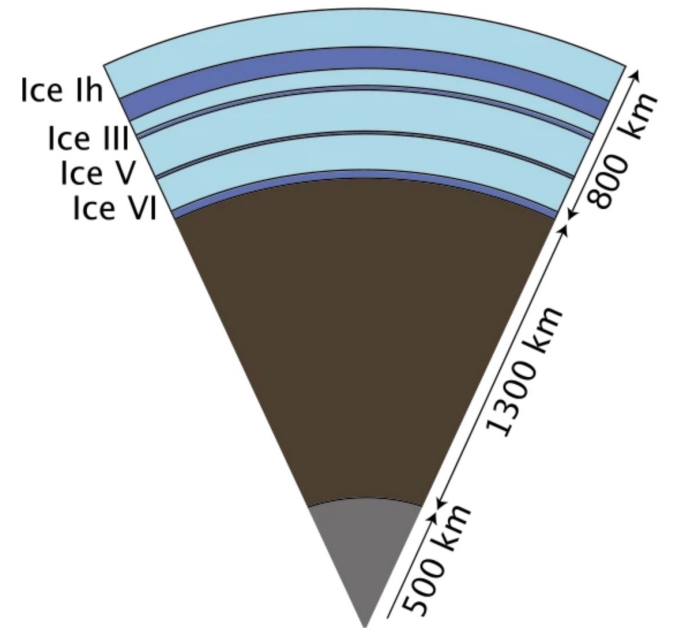
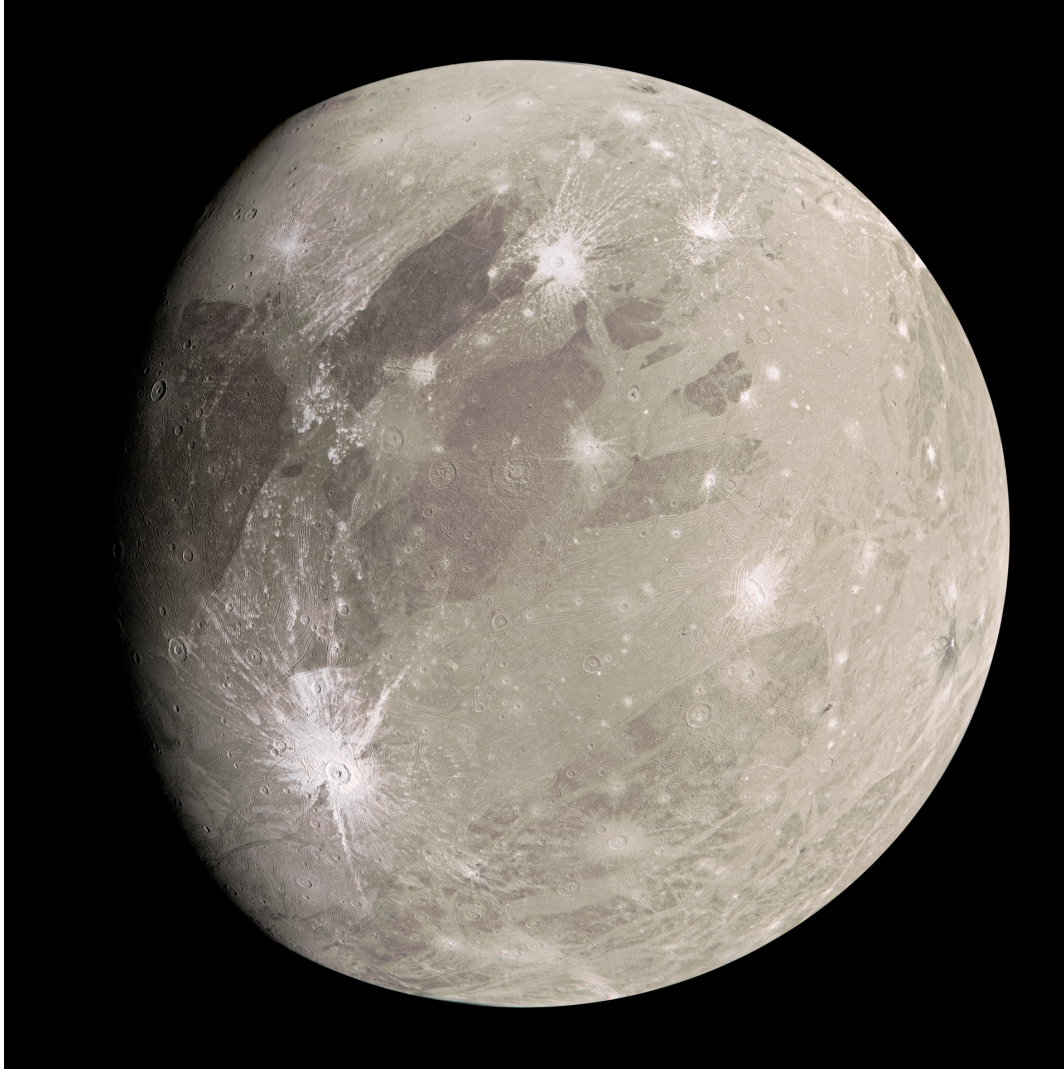
L'habitabilité est une notion complexe...

La zone habitable ne dépend pas que de la distance à l'étoile
(composition de l'atmosphère, albédo...)

Habitabilité: Europe



Habitabilité: Ganymède



Habitabilité: Titan

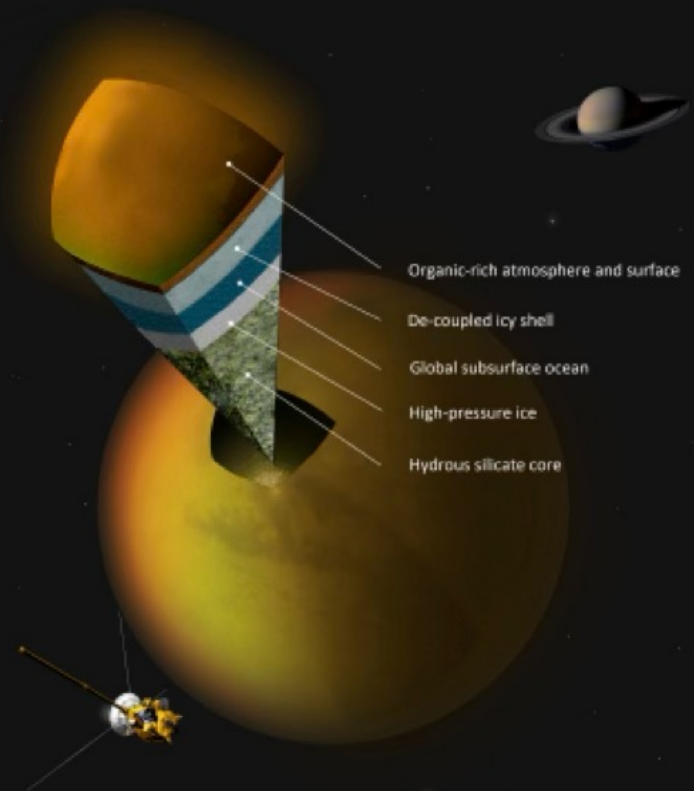
Titan: radio-science

Cassini

Atmosphère de Titan:

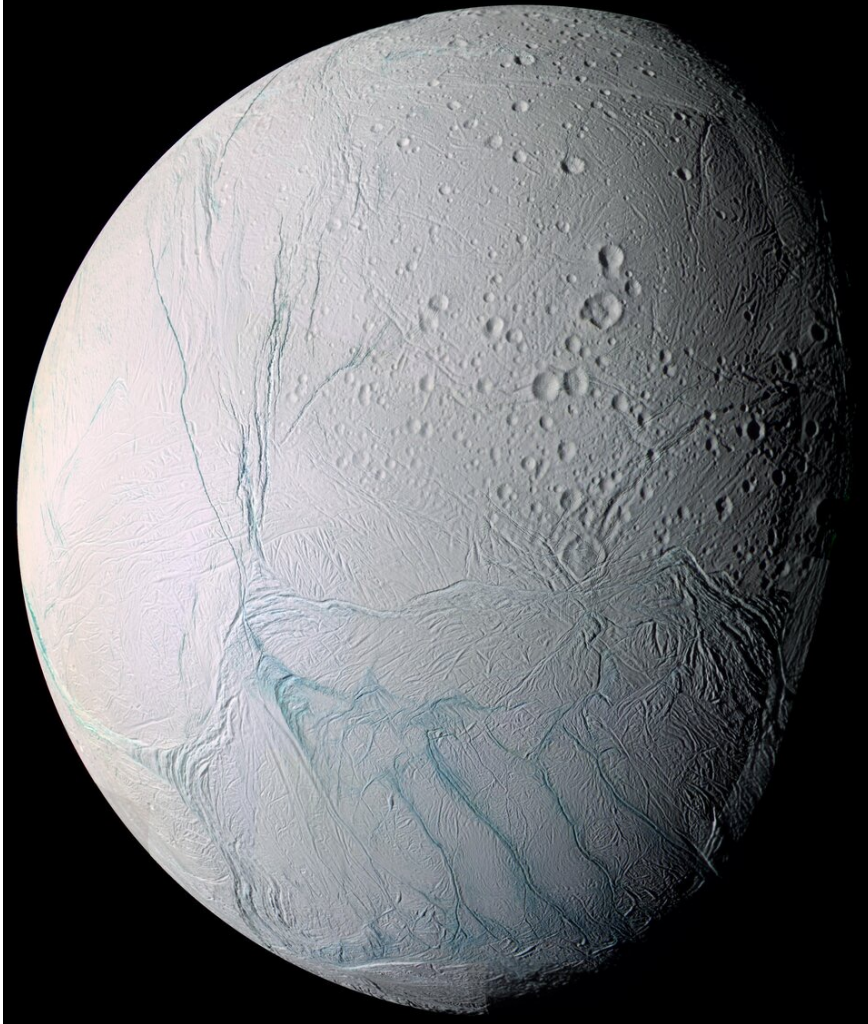
98% diazote

1.5 bars

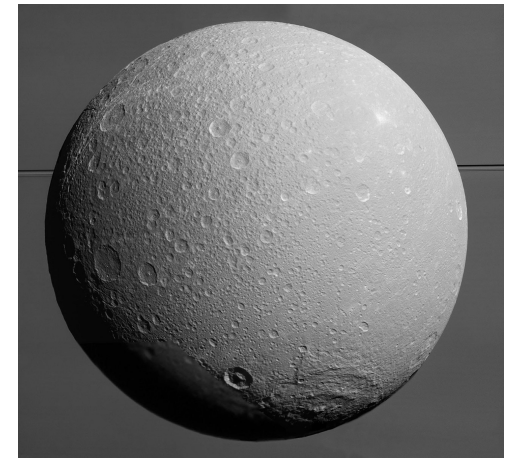


Angelo Tavani

Habitabilité: Encelade

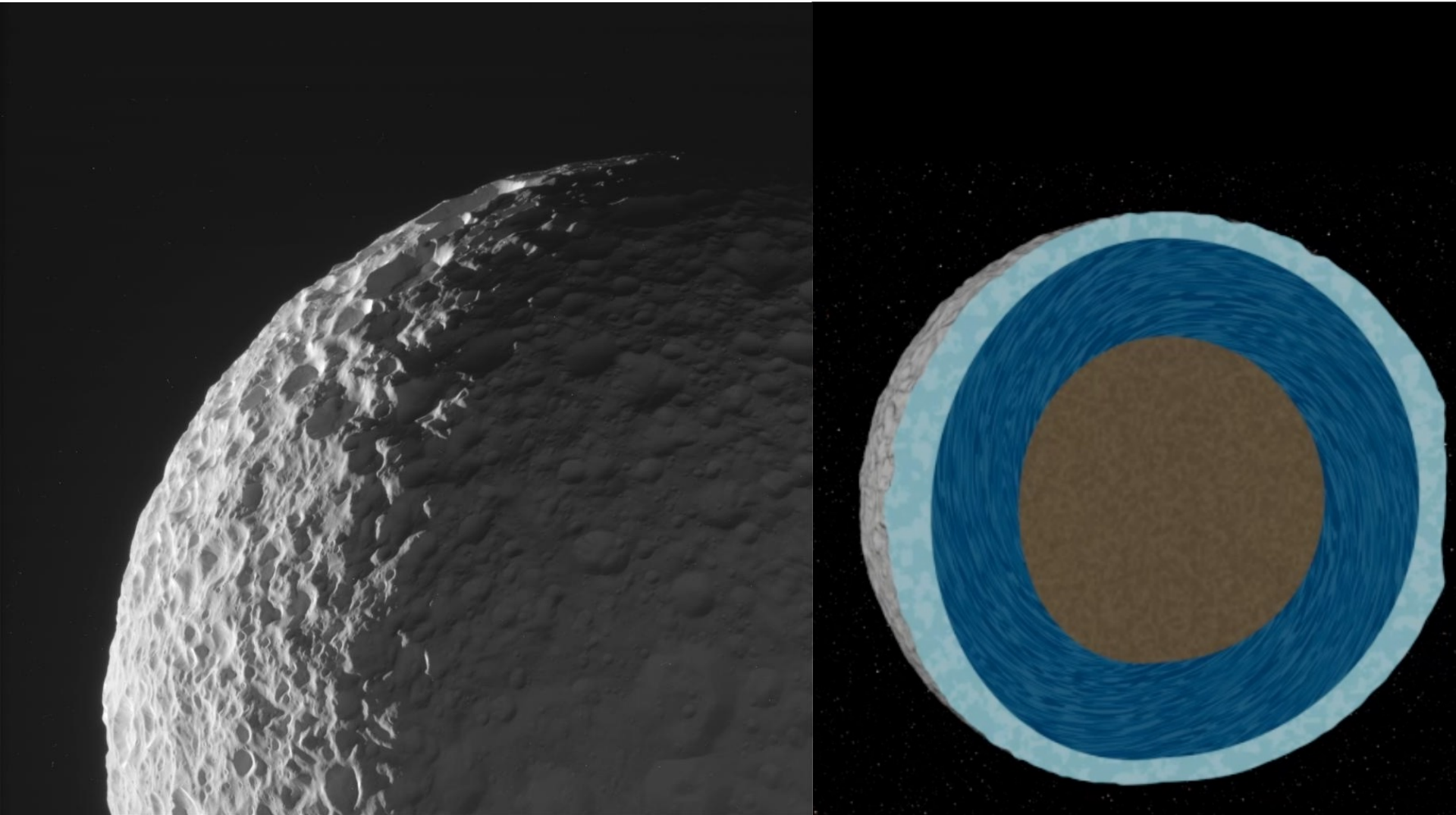


L'excentricité orbitale
d'Encelade est maintenue par
son interaction gravitationnelle
avec Dioné



Dioné

Habitabilité: Mimas

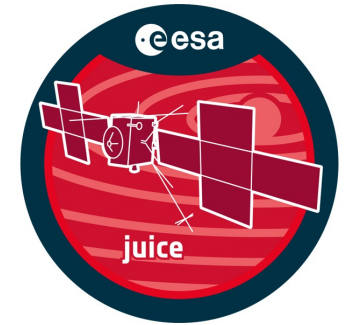
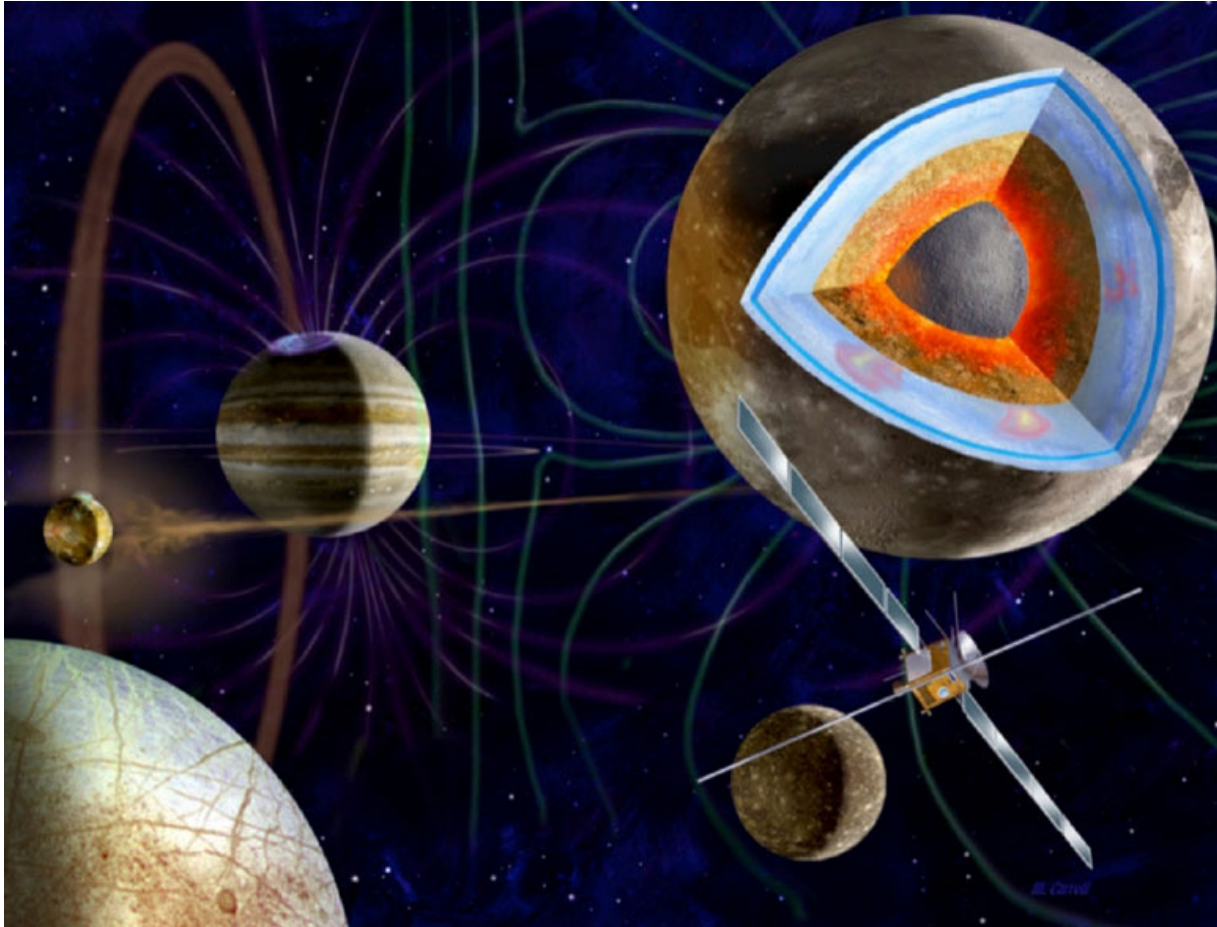


2014: suspicion d'un océan global

2024: découverte d'un océan global sous la couche de glace de Mimas

V- Les missions spatiales à venir

Les missions spatiales à venir: JUICE



Objectifs: *Ganymède*

- Océan interne
- Topographie
- Composition de surface
- Champ magnétique

Cibles secondaires:
Europe, Callisto
Lunes internes, externes,
Jupiter...

- Décollage: avril 2023
- Arrivée dans le système de Jupiter: juillet 2031
- Mise en orbite autour de Ganymède: décembre 2034

10 instruments scientifiques

Les missions spatiales à venir: Europa Clipper

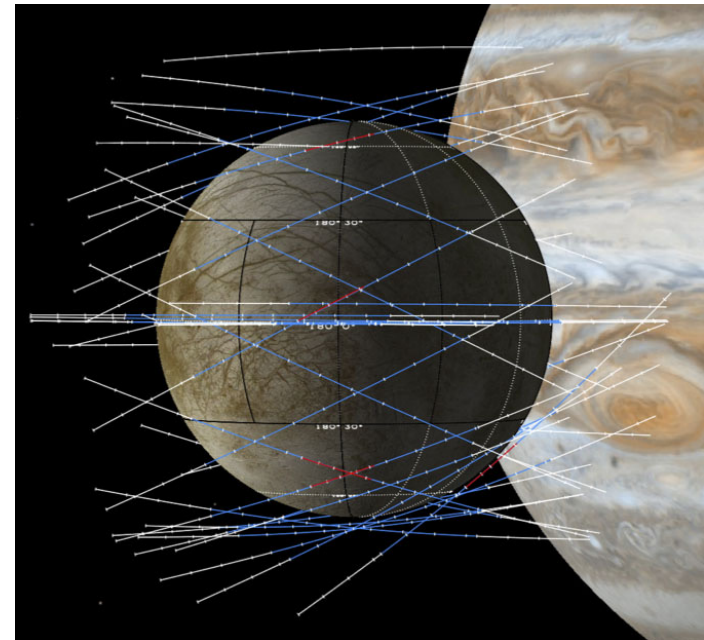


Objectifs: *Europe*

- Océan interne
- Topographie
- Composition de surface
- Champ magnétique
- Site d'atterrissage pour futur lander

9 instruments scientifiques

- Décollage: octobre 2024
- Arrivée dans le système de Jupiter: avril 2030
- 49 survols d'Europe



Les missions spatiales à venir: Tian Wen 4

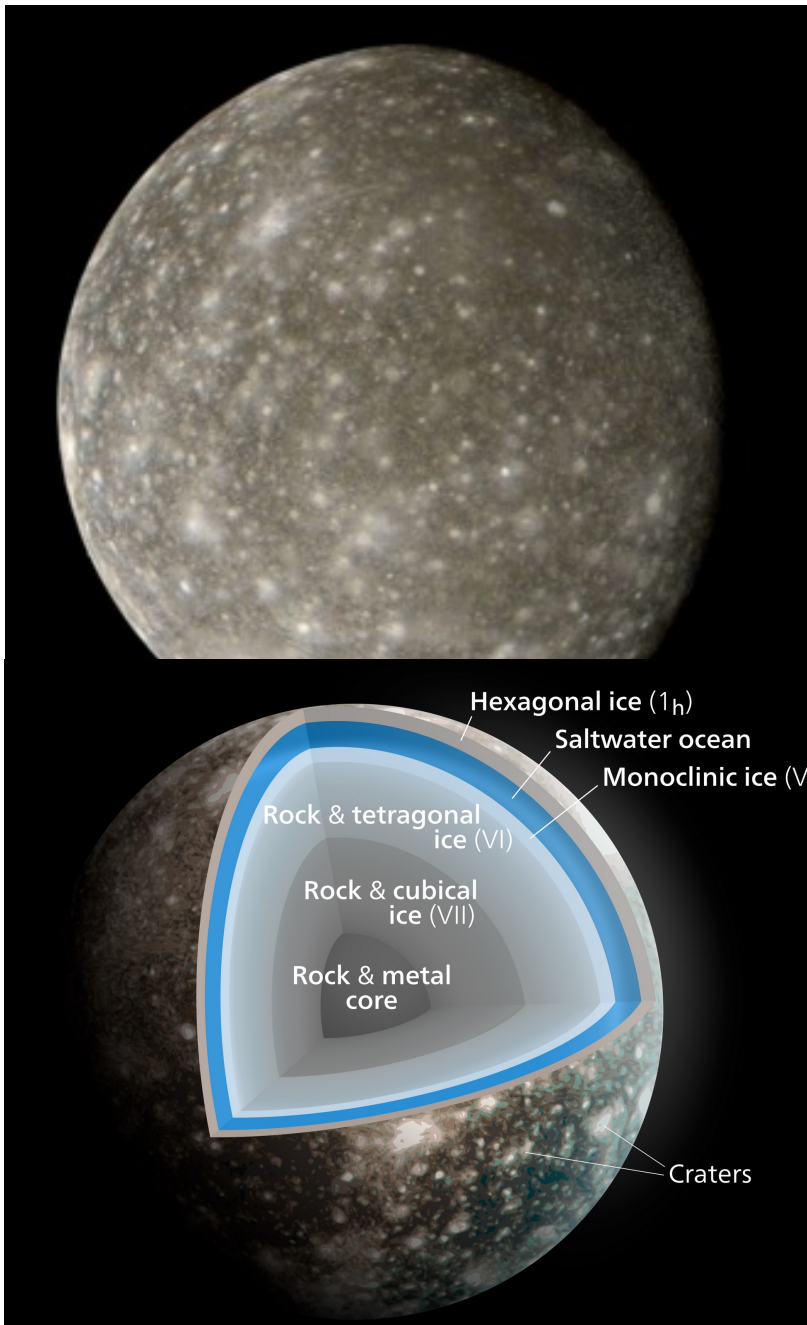


Objectifs: *Callisto*

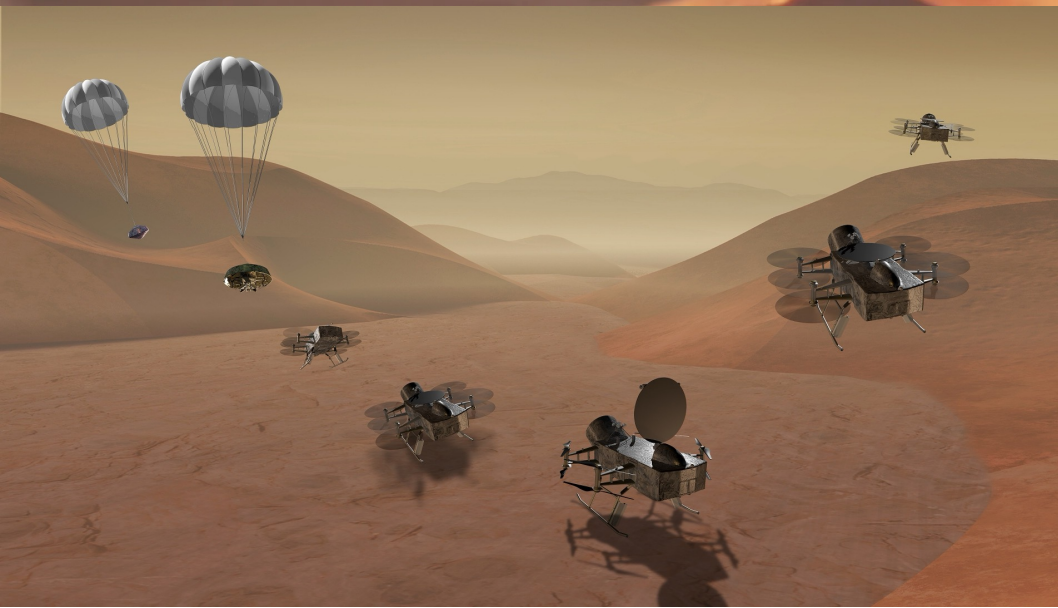
- Océan interne ?
- Topographie
- Composition de surface

X instruments scientifiques
Dont un atterrisseur...

- Décollage: septembre 2029
- Arrivée dans le système de Jupiter: décembre 2035
- Insertion autour de Callisto: février 2038

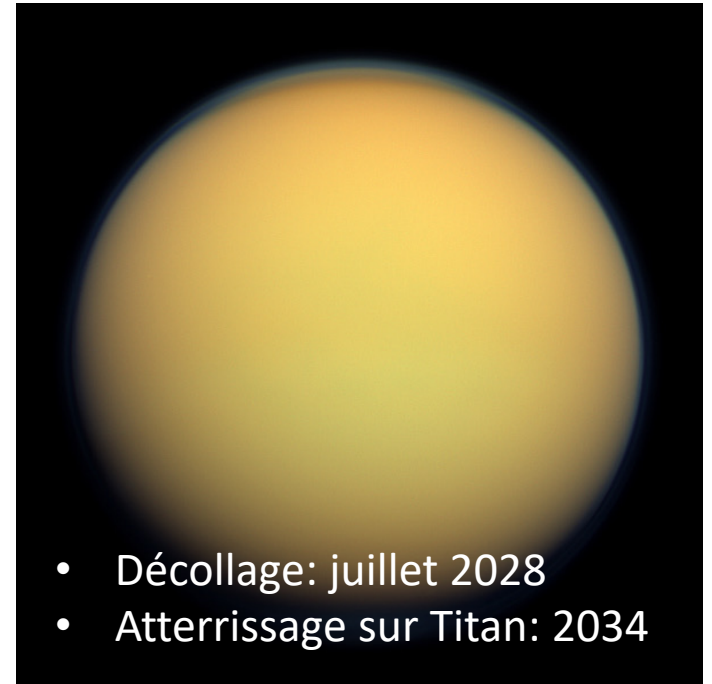


Les missions spatiales à venir: Dragonfly



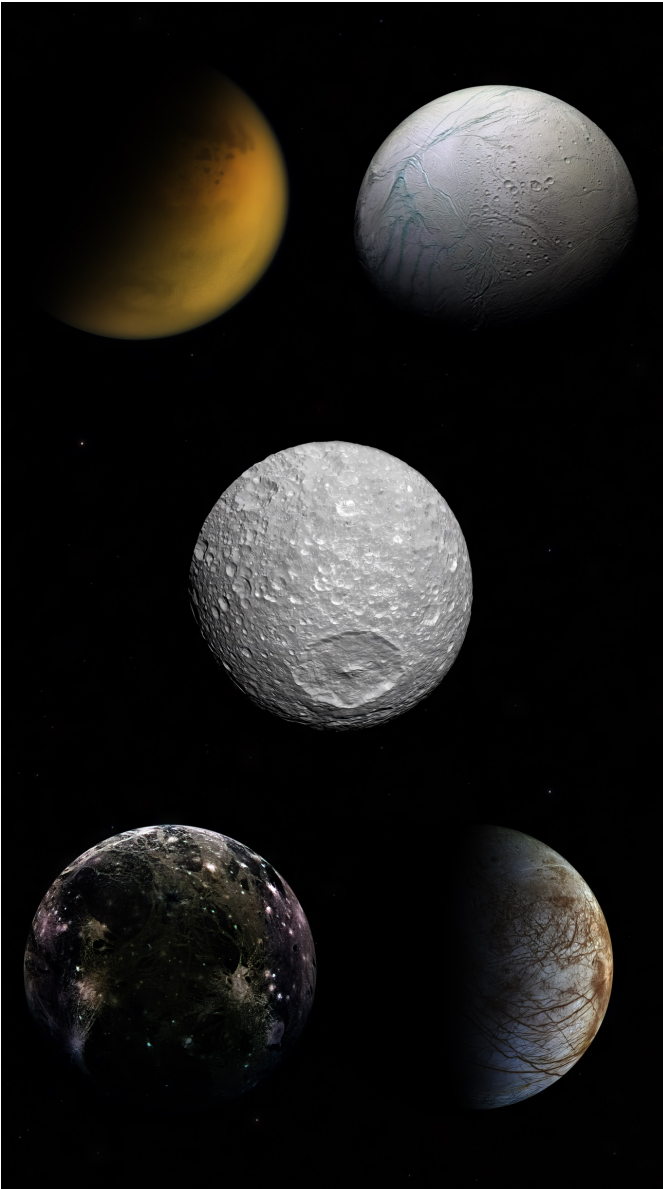
Objectif: *Titan*

- Chimie prébiotique



- Décollage: juillet 2028
- Atterrissage sur Titan: 2034

CONCLUSION



- L'eau liquide est présente à de nombreux endroits dans le Système solaire
- Les effets de marées sont un mécanisme clé à la production et le maintien de l'eau liquide
- Plusieurs lunes du Système solaire pourraient satisfaire les critères d'habitabilité
- Des missions spatiales sont en route avec de futures découvertes en perspective dans la décennie à venir