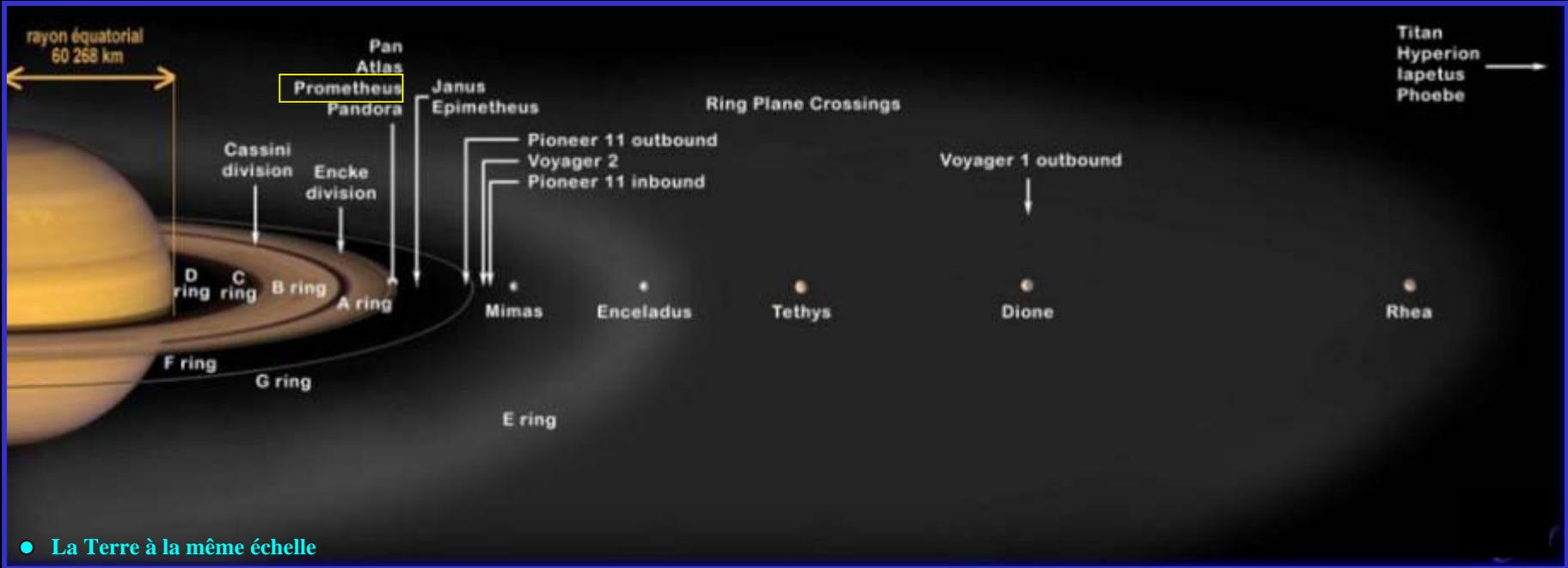


# Les satellites de Saturne

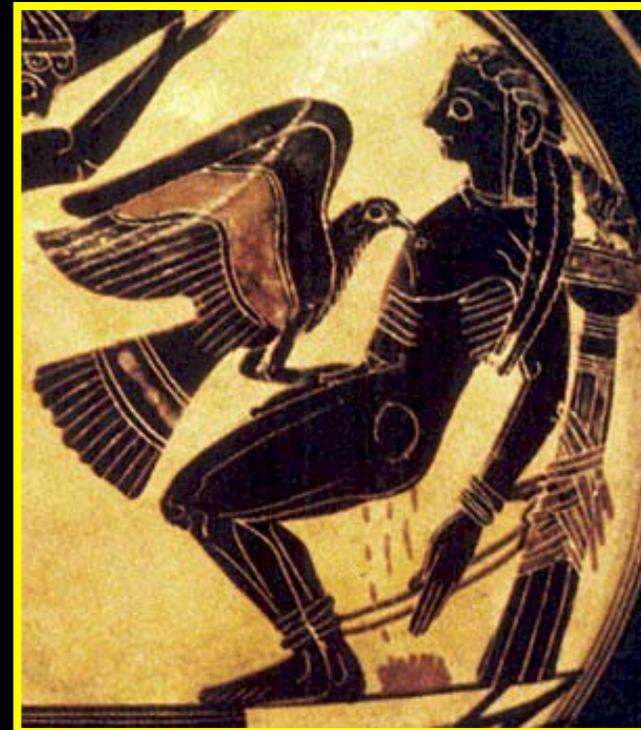




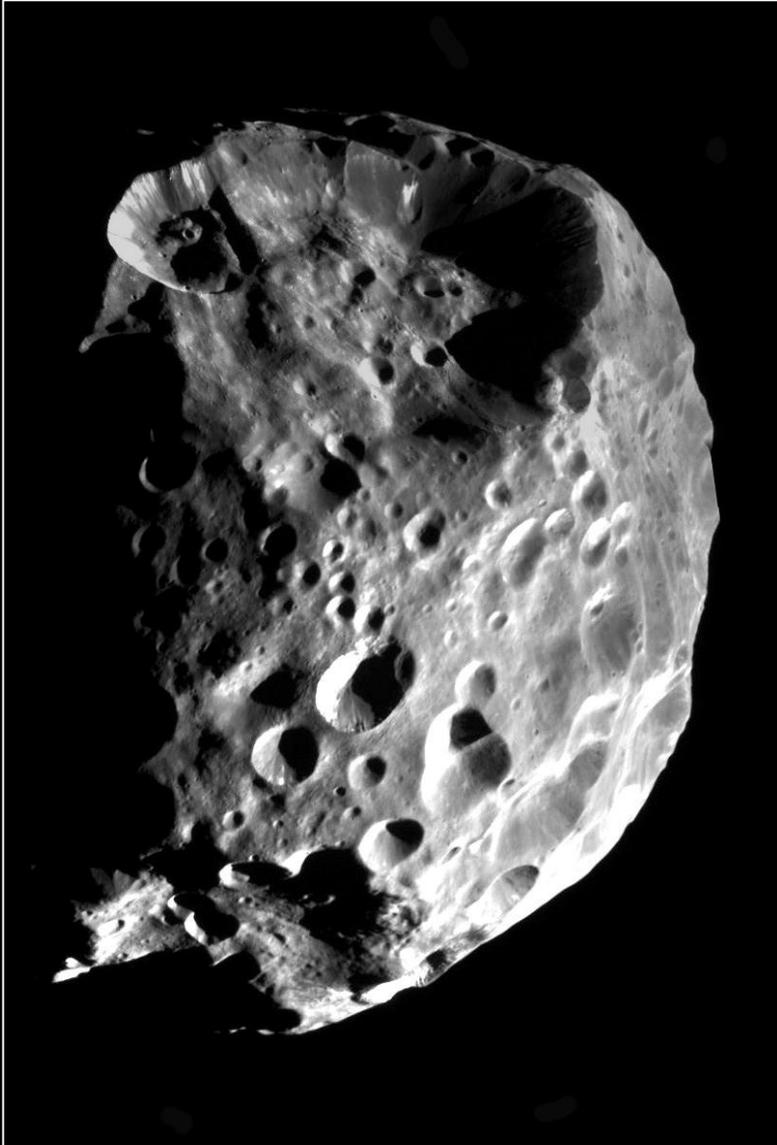
# Le système de Saturne

Géologue, je vais surtout vous parler des satellites

L'étymologie des noms des satellites de Saturne : des titans et des titanides, frères et sœurs de Cronos (Saturne)



**Etudions ces satellites en partant de l'extérieur du système saturnien. Voici Phoébé (L = 220 km)**



**La composition chimique superficielle de Phoébé  
révélée par des études spectrale (Infra Rouge)  
autour de  $5 \mu$ . En plus des raies spectrales de la  
glace d' $H_2O$ , on trouve celles du Carbone oxydé  
(Carbon Dioxide) et du Carbone lié à de  
l'Hydrogène (Organic Material)**



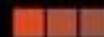
Phoebe  
Imaging  
Mosaic



Infrared  
Reflectance



Carbon Dioxide  
Locations



Organic  
Material



**Qu'est-ce que la Matière Organique ?  
Jusqu'en 1828, il y avait 2 sortes de chimie :**

**la chimie minérale**



**la chimie organique**



**Avant 1828, la chimie minérale s'occupait de substances qui n'étaient pas trouvées dans (ni synthétisées par) les êtres vivants, mais extraites des roches, et autres minéraux.**



**Un granite**



**Une émeraude dans sa gangue**

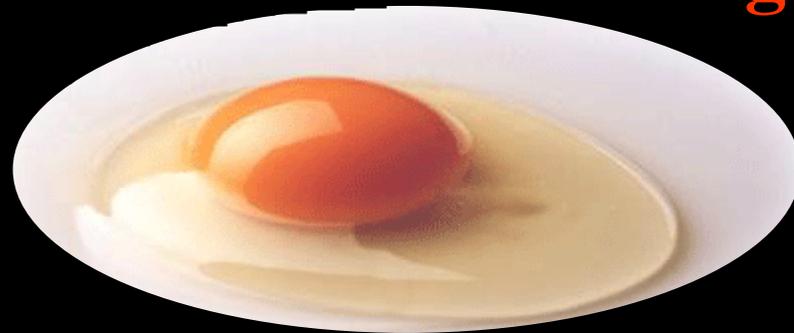
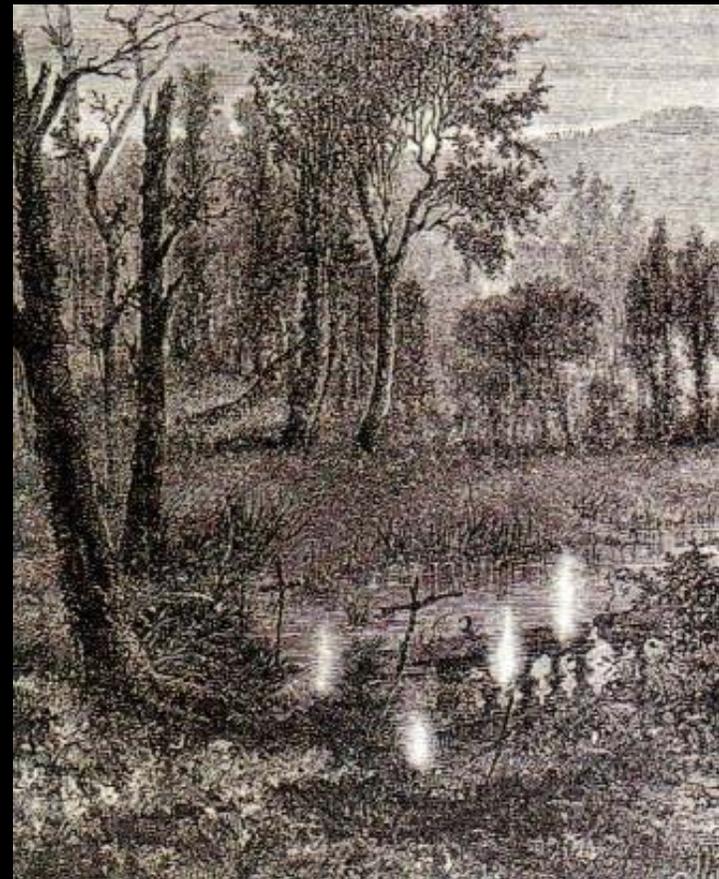


**De l'eau, liquide ou solide**

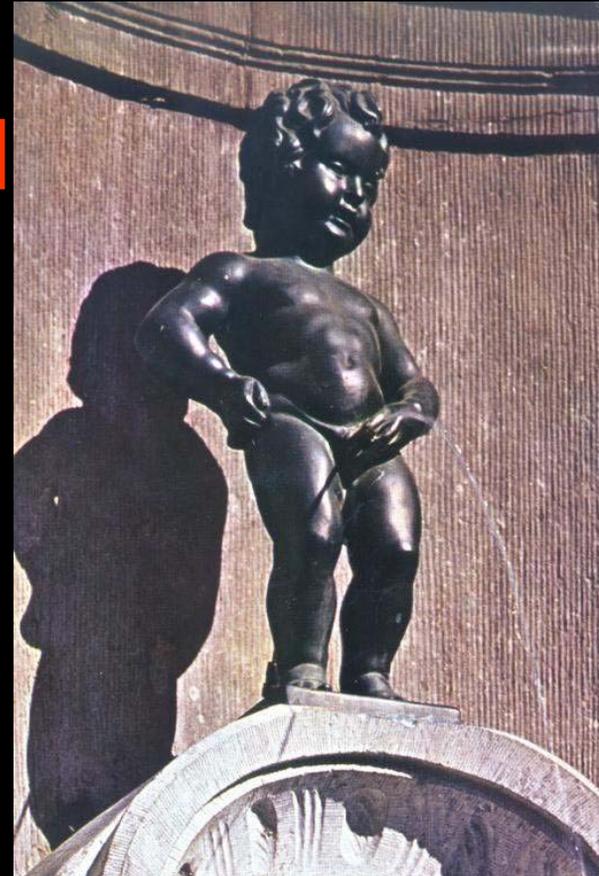
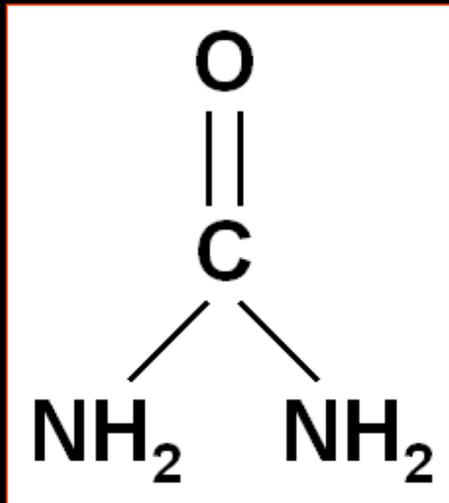


**Coulée de fonte issue d'un haut fourneau**

**Avant 1828, la chimie organique s'occupait des substances toujours trouvées dans (et synthétisées par) les organismes vivants. Ces composés contenaient toujours du carbone et de l'hydrogène (carbone réduit), et le plus souvent de l'oxygène, de l'azote ... Cela allait des composés les plus simples, comme le gaz des marais (méthane =  $\text{CH}_4$ ) au plus complexes comme l'albumine, l'hémoglobine ...**

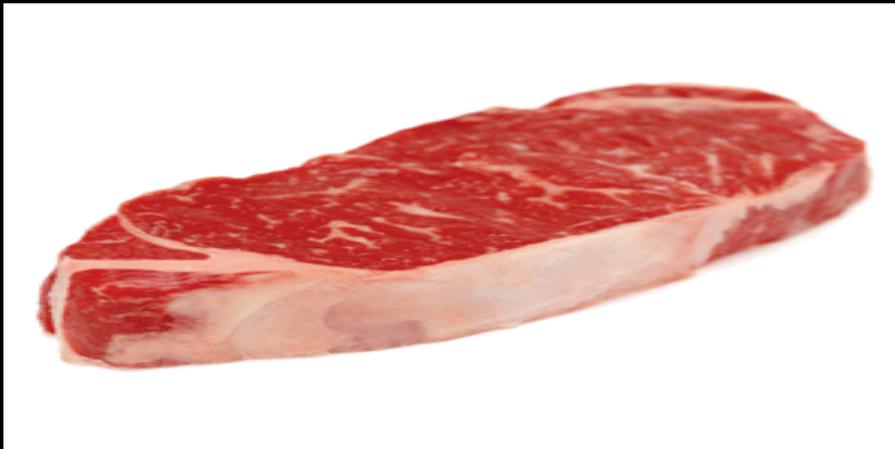


En 1828, le chimiste Friedrich Wöhler synthétisa en laboratoire une substance « organique » qui, jusqu'à cette époque, était trouvée exclusivement dans les urines : l'urée [  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ]. Pour cela, il a fait en réagir du sulfate d'ammonium [  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ] sur du cyanate de potassium [  $\text{KOCN}$  ]





**Stanley Miller, 1953**



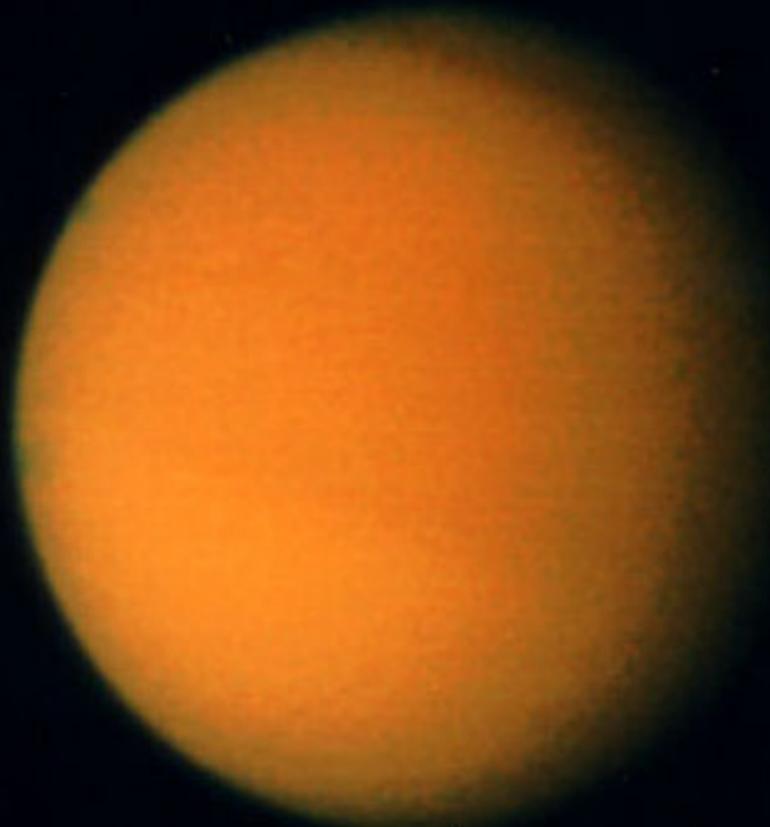
**Des substance  
beaucoup plus  
complexes furent  
synthétisées par la  
suite, comme par  
exemple les acides  
aminés (constituant  
des protéines)  
synthétisés en 1953  
simplement à partir  
de composés de base  
( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$  et  
 $H_2O$ )**

**La distinction  
molécule organique / molécule minérale  
perdait sa principale raison d'être. Mais le terme  
« organique » (= molécule carbonée réduite) est  
resté dans l'usage.**

**Mais il y a eu une révolution  
intellectuelle !**

**Avant, on pensait que les  
molécules organiques étaient  
créées par la vie. Maintenant,  
on a compris que la vie n'était  
qu'un assemblage, certes fort  
complexe, de molécules carbonées réduites, d'où  
l'importance de leur étude.**





**Titan,  $D = 5150$  km**



**Rhéa,  
 $D = 1530$  km**



**Japet,  
 $D = 1460$  km**



**Dioné,  
 $D = 1120$  km**



**Téthys,  
 $D = 1050$  km**

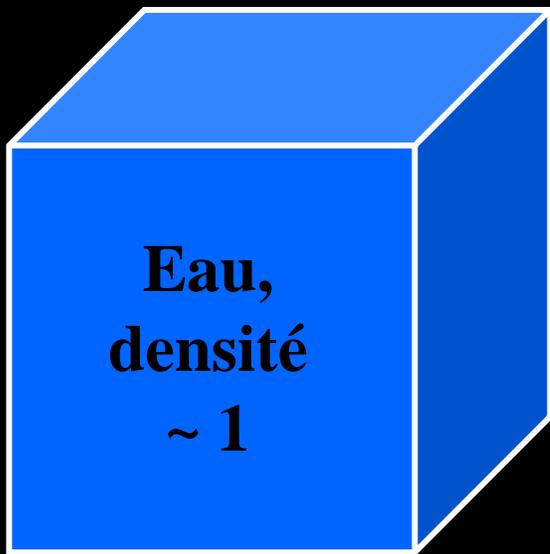


**Encelade  
 $D = 510$  km**



**Mimas,  
 $D = 390$  km**

**Les 7 satellites majeurs de Saturne, une grande variété de taille  
(rappel :  $D_{\text{Lune}} = 3476$  km)**



**Grande variété de  
taille, certes, mais  
identité de  
composition. Tous  
ces satellites de  
Saturne ont une  
densité d'environ 1,5.  
Ils sont constitués  
(approximativement)  
d'un mélange de  
3 volumes d'eau  
+  
1 volume de roche**

**Pour étudier et comprendre ces satellites majoritairement constitués de glace(s), il va nous falloir opérer quelques révolutions mentales.**



**Terre**

**Satellite de glaces**

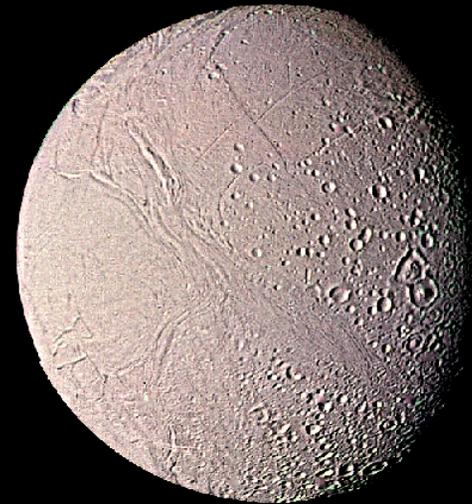


**Terre**

**Satellite de glaces**

**Température externe :  $15^{\circ}$**

**Température externe :  $\sim -200^{\circ}$**



## Terre

Température externe :  $15^{\circ}$

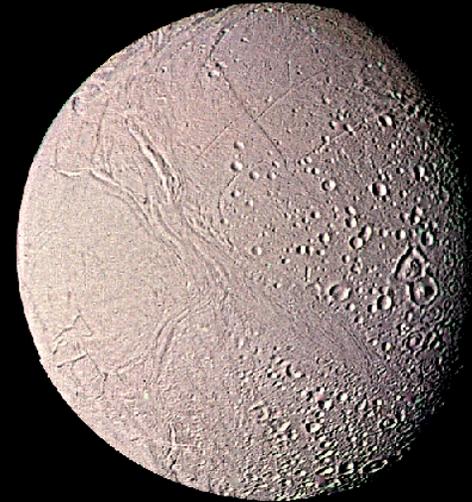
Température interne :  $> 1000^{\circ}$



## Satellite de glaces

Température externe :  $\sim -200^{\circ}$

Température interne : + faible



## Terre

Température externe :  $15^{\circ}$

Température interne :  $> 1000^{\circ}$

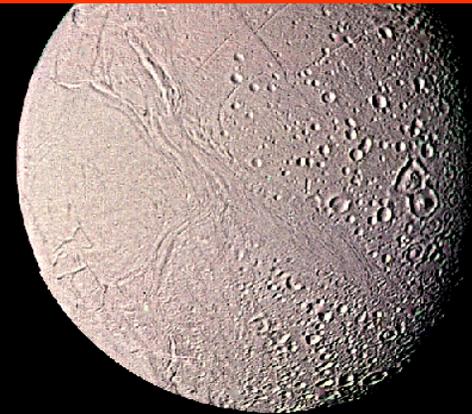
En surface : cailloux

## Satellite de glaces

Température externe :  $\sim -200^{\circ}$

Température interne : + faible

En surface : glaces



## Terre

Température externe :  $15^{\circ}$

Température interne :  $> 1000^{\circ}$

En surface : cailloux

Intérieur = cailloux, roche ...

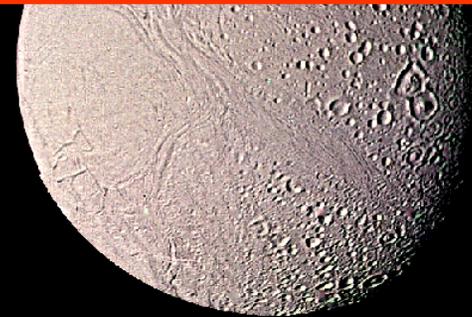
## Satellite de glaces

Température externe :  $\sim -200^{\circ}$

Température interne : + faible

En surface : glaces

Intérieur = glaces



## Terre

Température externe :  $15^{\circ}$

Température interne :  $> 1000^{\circ}$

En surface : cailloux

Intérieur = cailloux, roche ...

Volcan  $\rightarrow$  lave = roche fondue

## Satellite de glaces

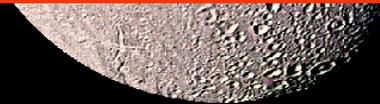
Température externe :  $\sim -200^{\circ}$

Température interne : + faible

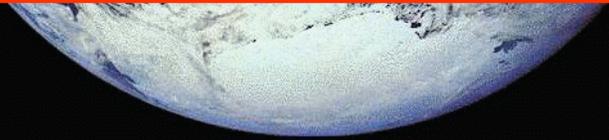
En surface : glaces

Intérieur = glaces

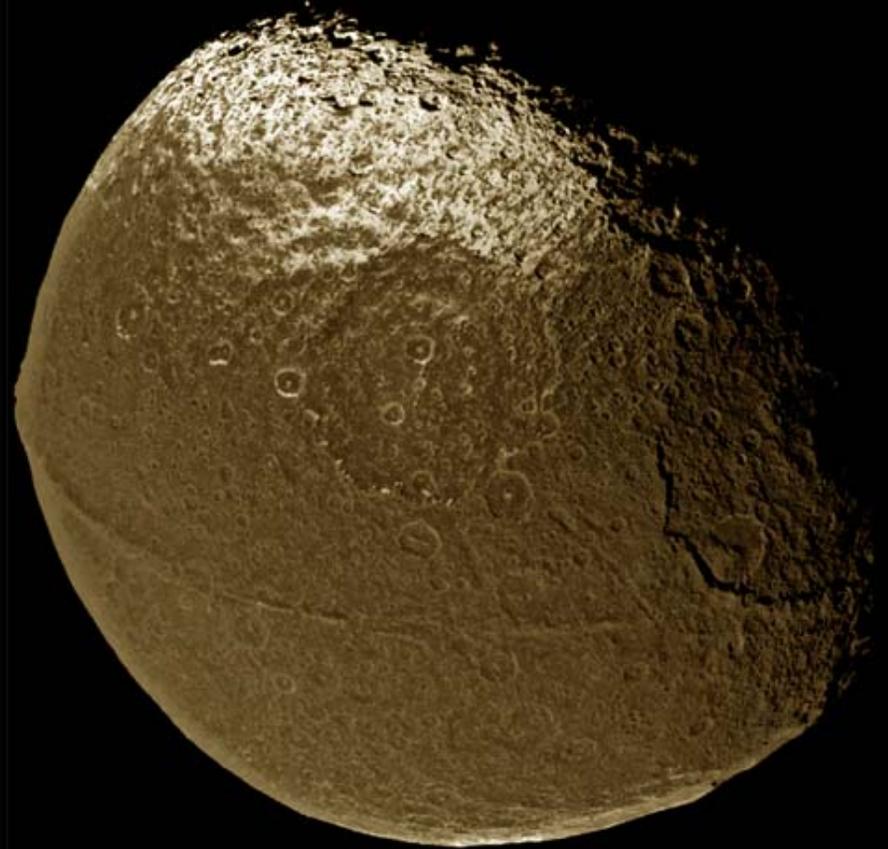
Volcan  $\rightarrow$  lave = glace fondue  
= eau liquide



<b>Terre</b>	<b>Satellite de glaces</b>
<b>Température externe : 15°</b>	<b>Température externe : ~ -200°</b>
<b>Température interne : &gt; 1000°</b>	<b>Température interne : + faible</b>
<b>En surface : cailloux</b>	<b>En surface : glaces</b>
<b>Intérieur = cailloux, roche ...</b>	<b>Intérieur = glaces</b>
<b>Volcan → lave = roche fondue</b>	<b>Volcan → lave = glace fondue = eau liquide</b>
<b>Gaz volcaniques : vapeur d'eau, gaz carbonique ...</b>	<b>Gaz volcaniques : méthane, hydrocarbures ...</b>



<b>Terre</b>	<b>Satellite de glaces</b>
<b>Température externe : 15°</b>	<b>Température externe : ~ -200°</b>
<b>Température interne : &gt; 1000°</b>	<b>Température interne : + faible</b>
<b>En surface : cailloux</b>	<b>En surface : glaces</b>
<b>Intérieur = cailloux, roche ...</b>	<b>Intérieur = glaces</b>
<b>Volcan → lave = roche fondue</b>	<b>Volcan → lave = glace fondue = eau liquide</b>
<b>Gaz volcaniques : vapeur d'eau, gaz carbonique ...</b>	<b>Gaz volcaniques : méthane, hydrocarbures ...</b>
<b>Liquide de surface (pluie, rivières, lacs, mers) : eau liquide</b>	<b>Liquide de surface (pluie, rivières, lacs, mers) : méthane (et hydrocarbures) liquides</b>



**Le plus lointain des « gros satellites », Japet  
(D = 1460 km), le satellite « fendu » et « bicolore »**



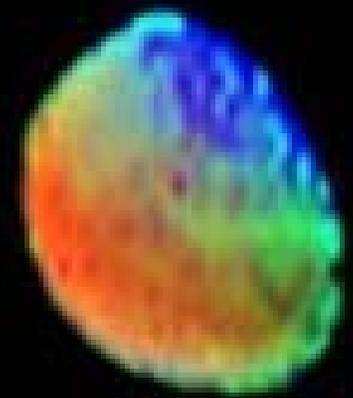
Abondance de  
ce qui n'est pas  
de la glace



Abondance de  
la glace  
carbonique



Abondance  
de la glace  
d'eau



■ Non -glaces  
= matière organique

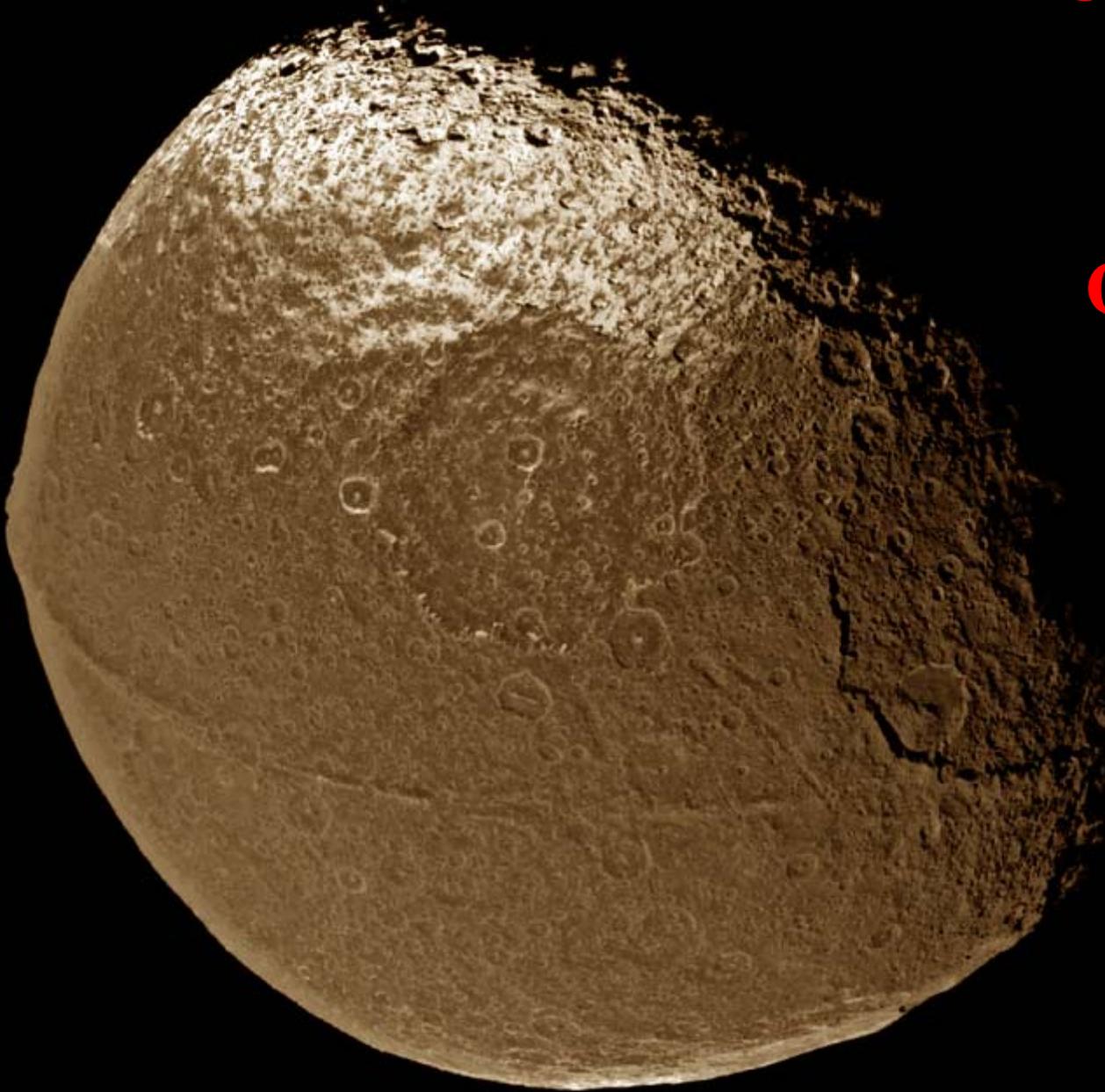
■ Glace carbonique

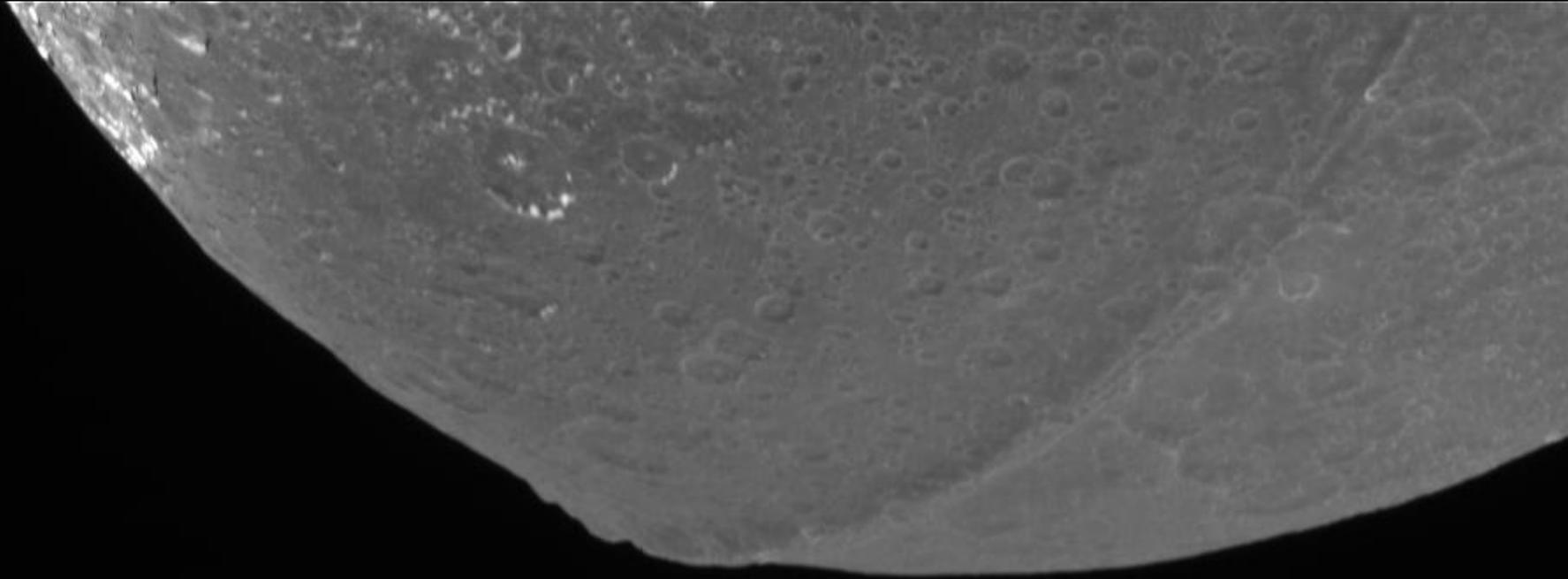
■ Glace d'eau

**Carte « minéralogique » de Japet. La tache  
sombre, c'est de la matière organique, genre  
hydrocarbure lourd.**

**Cassini le survol  
de la face  
sombre.**

**Quel satellite !**





**Quelle « ride » !**

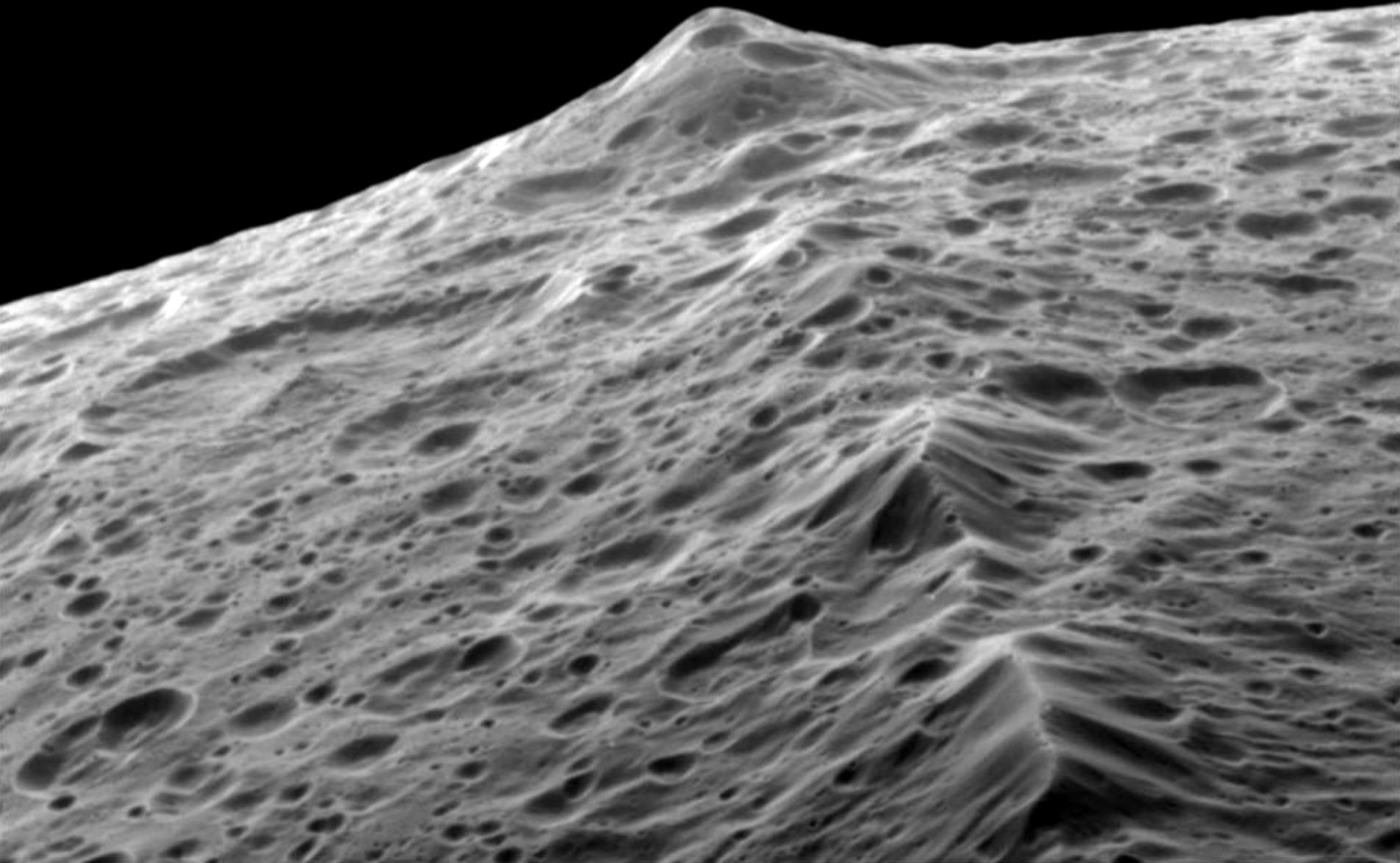
**Mise à l'échelle terrestre, cette ride aurait 11000 km de long, 160 km de large et 100 km de haut !**

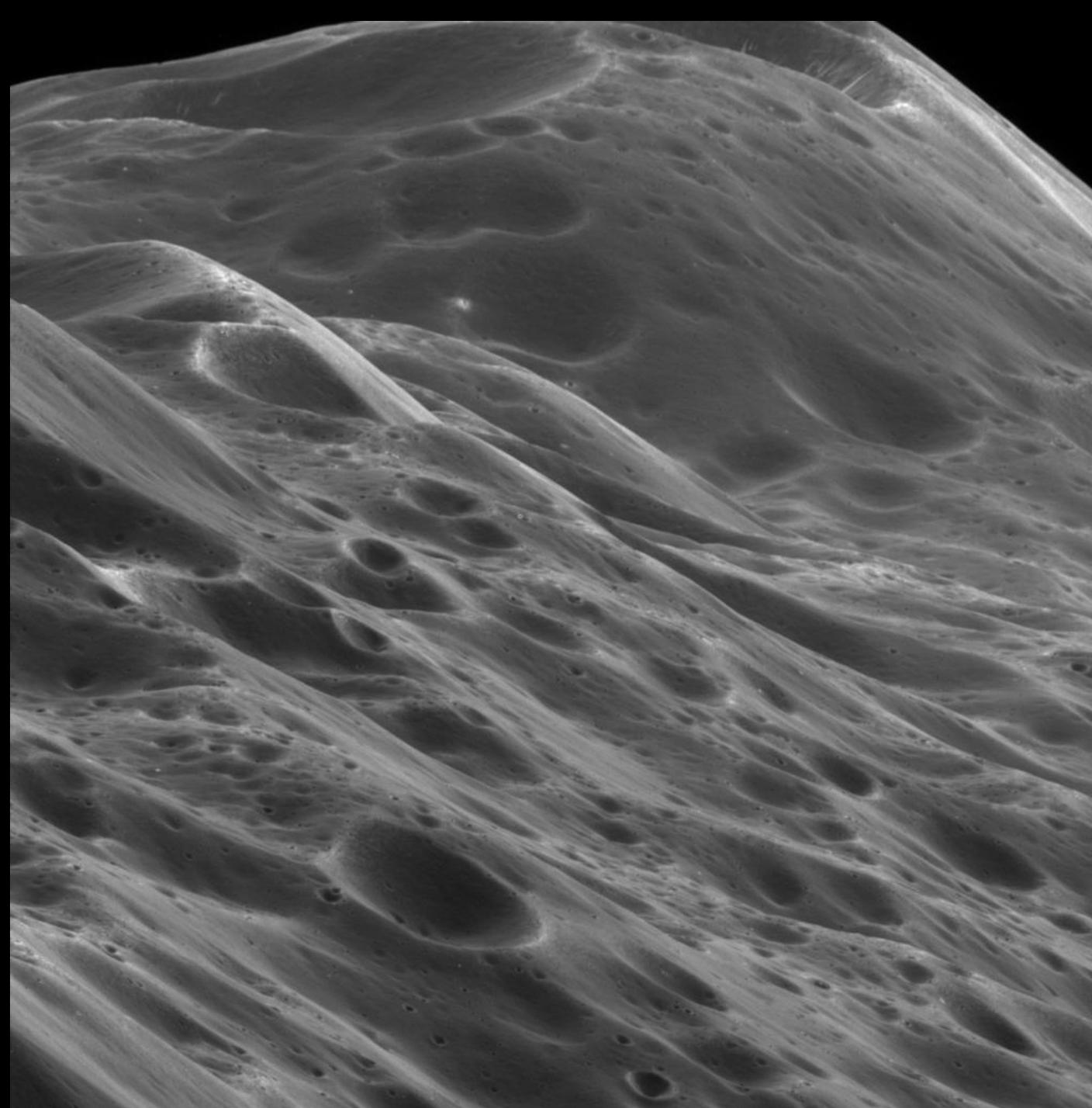
**Les rides océaniques sont battues à plates coutures**

**Gros plan sur la ride !**



**Très gros plan sur la ride, en vue oblique !**

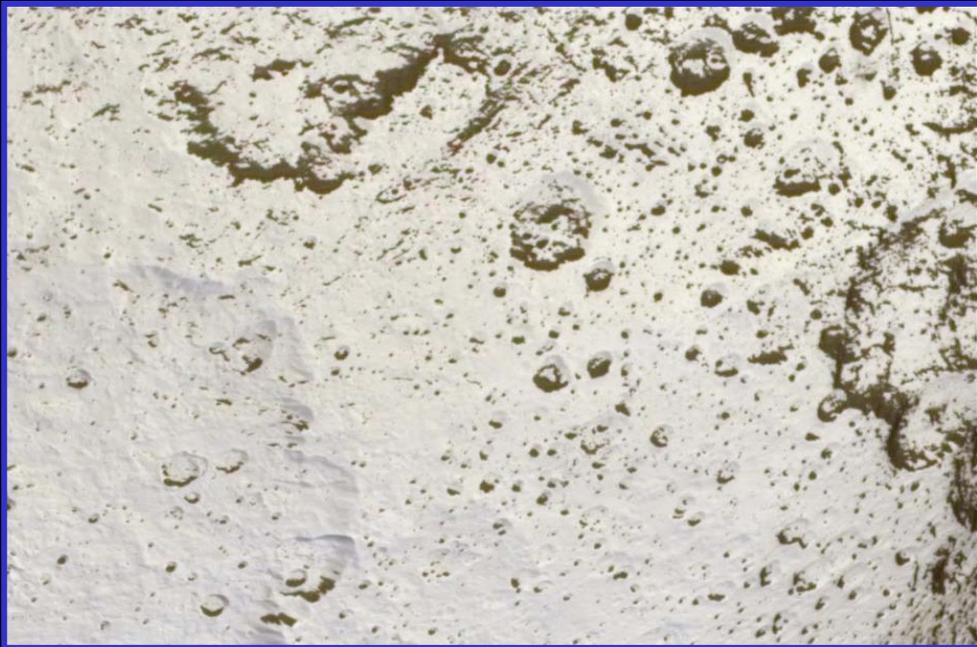
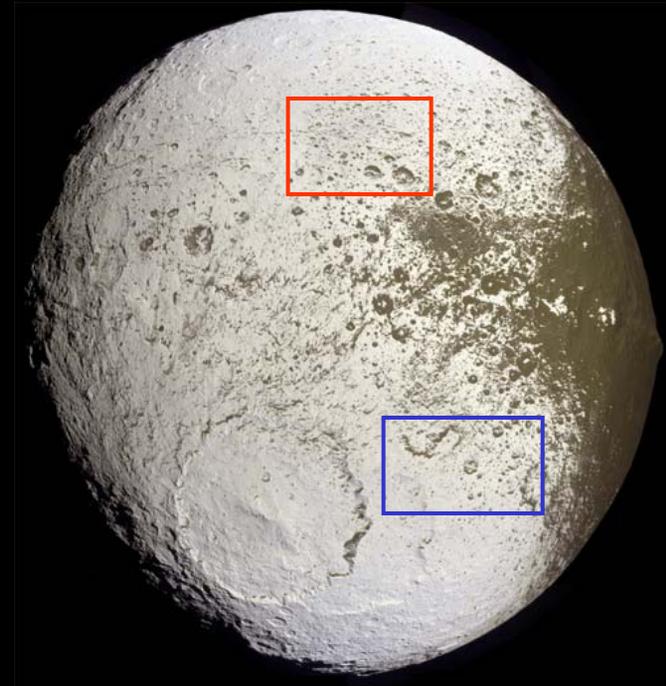
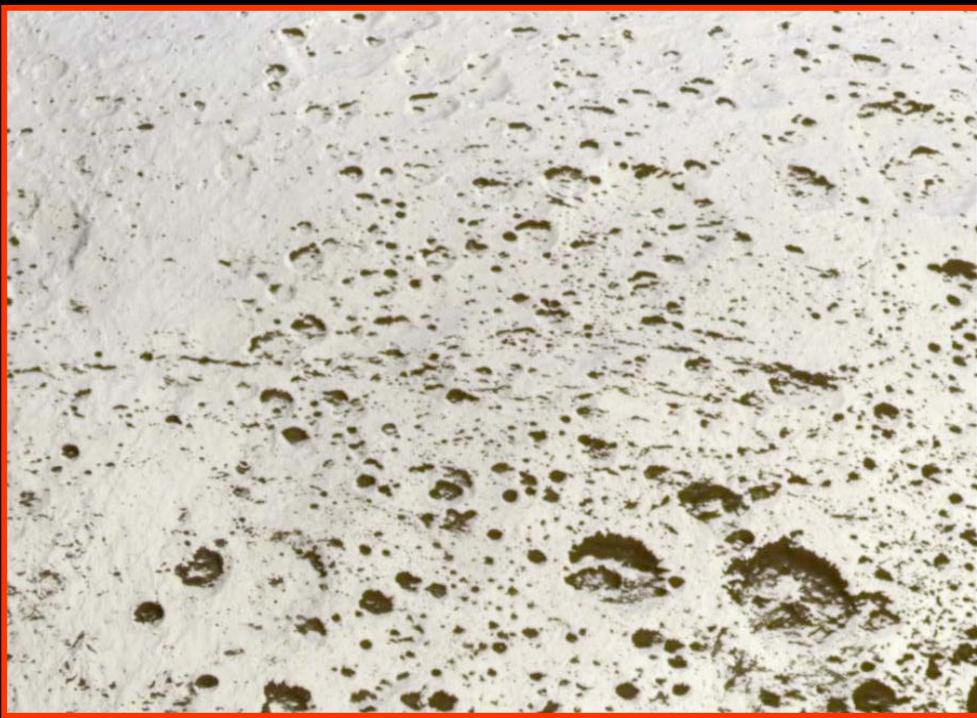




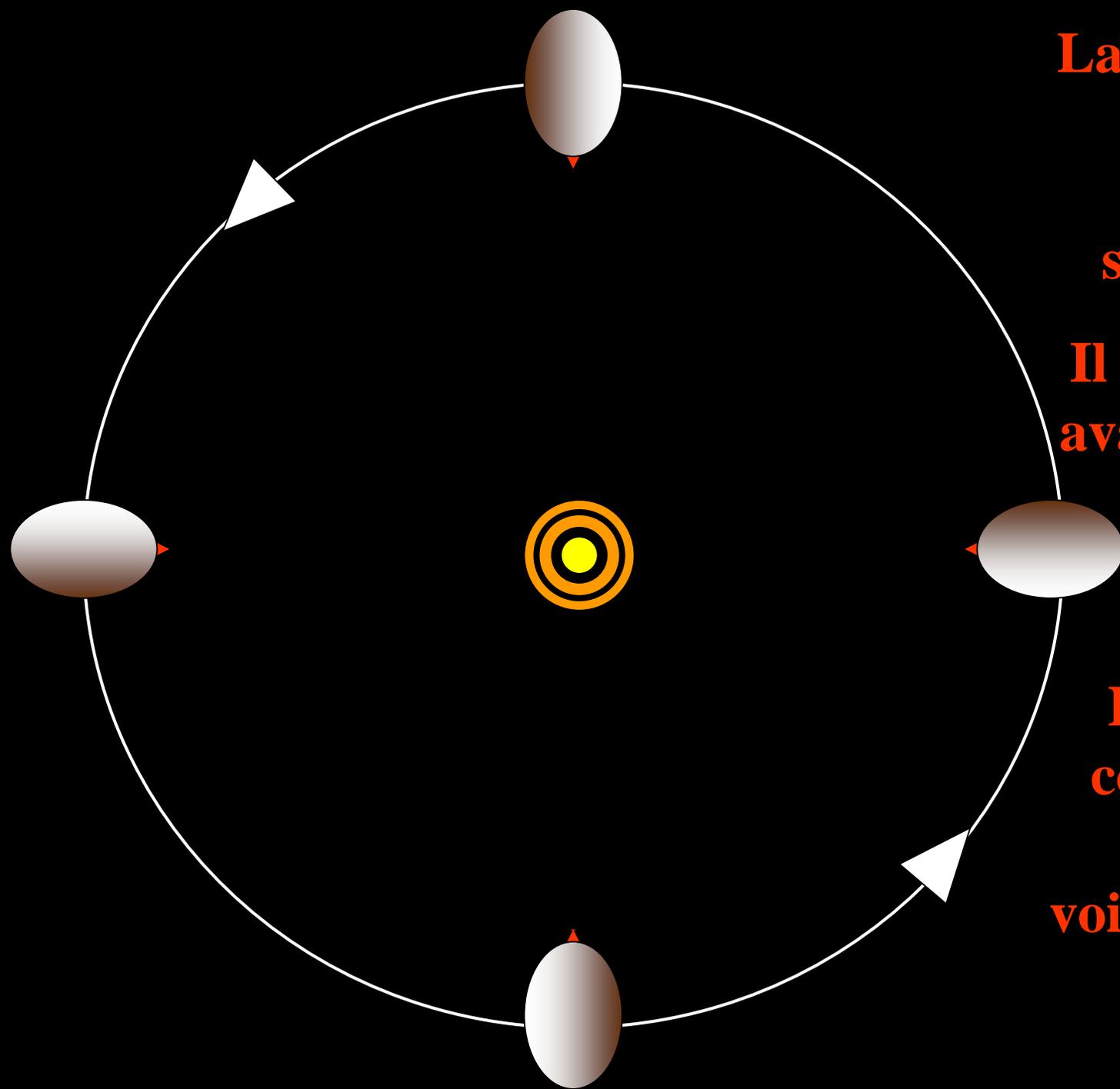
**Du  
rase-motte !**



**Vue générale  
sur la limite  
sombre-claire**



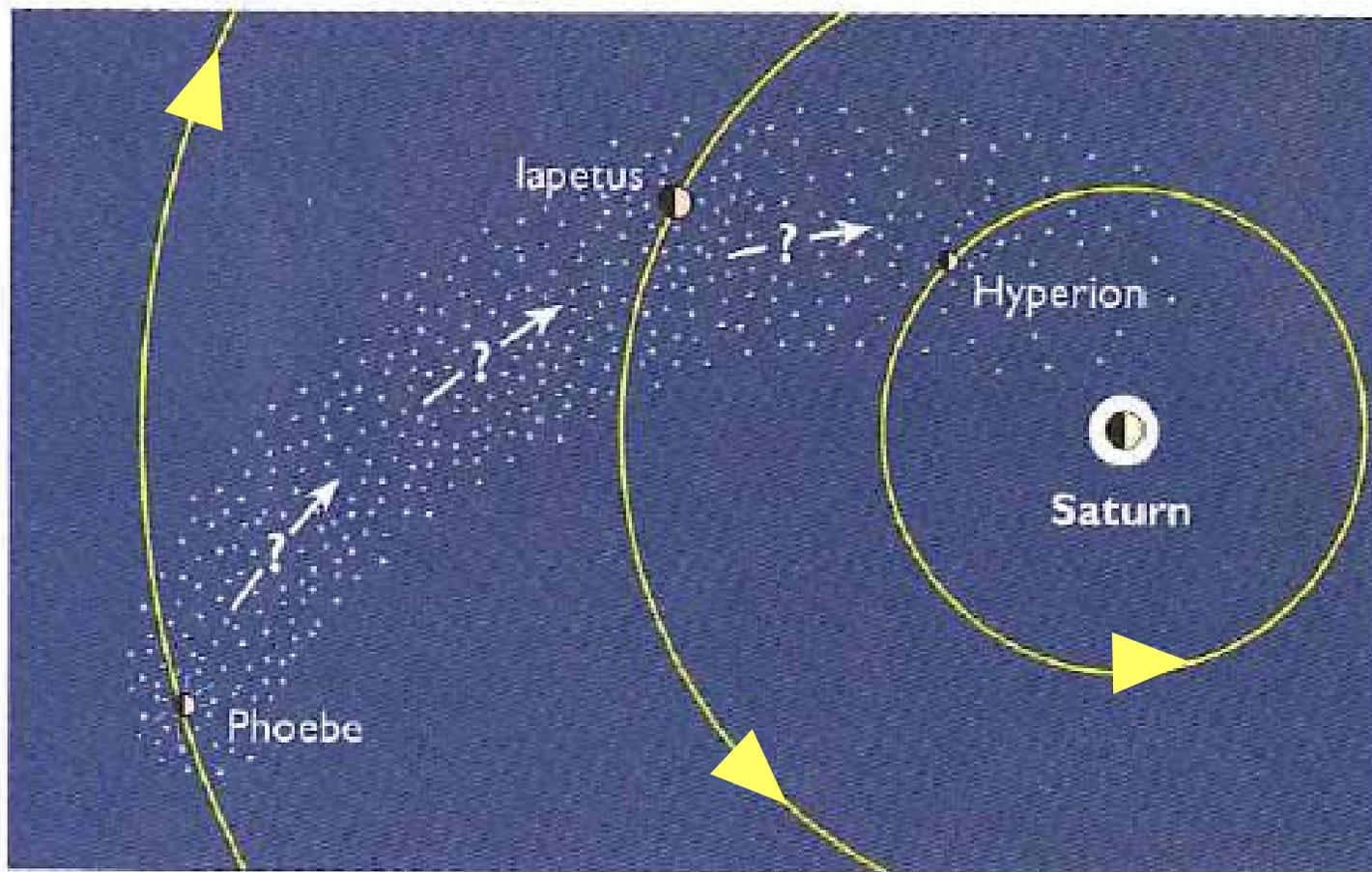
**Le sombre semble bien avoir une origine « directionnelle », comme un « saupoudrage » venant de l'extérieur ou de équateur.**



**La rotation et la révolution de Jupiter sont synchronisées.**

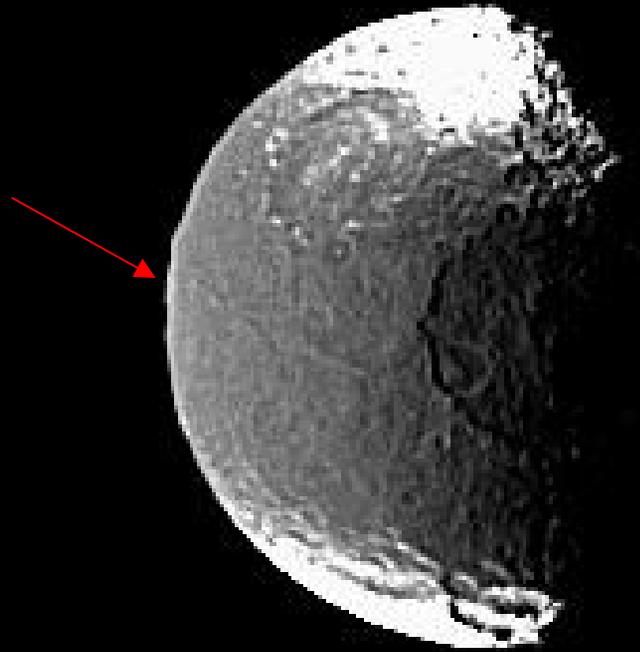
**Il y a une « face avant » (brune), et une « face arrière » (blanche).**

**La face avant, comme la vitre avant d'une voiture, ramasse toutes les poussières**

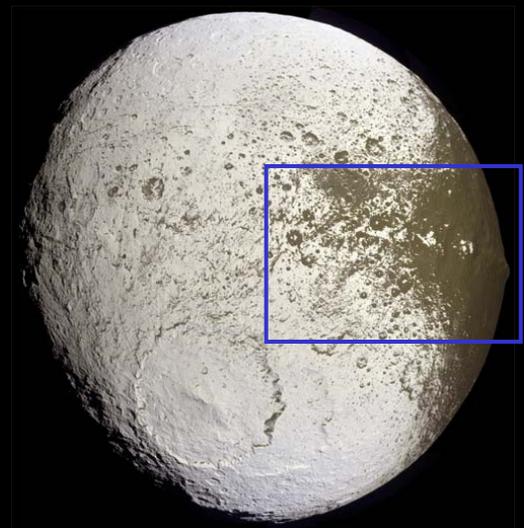
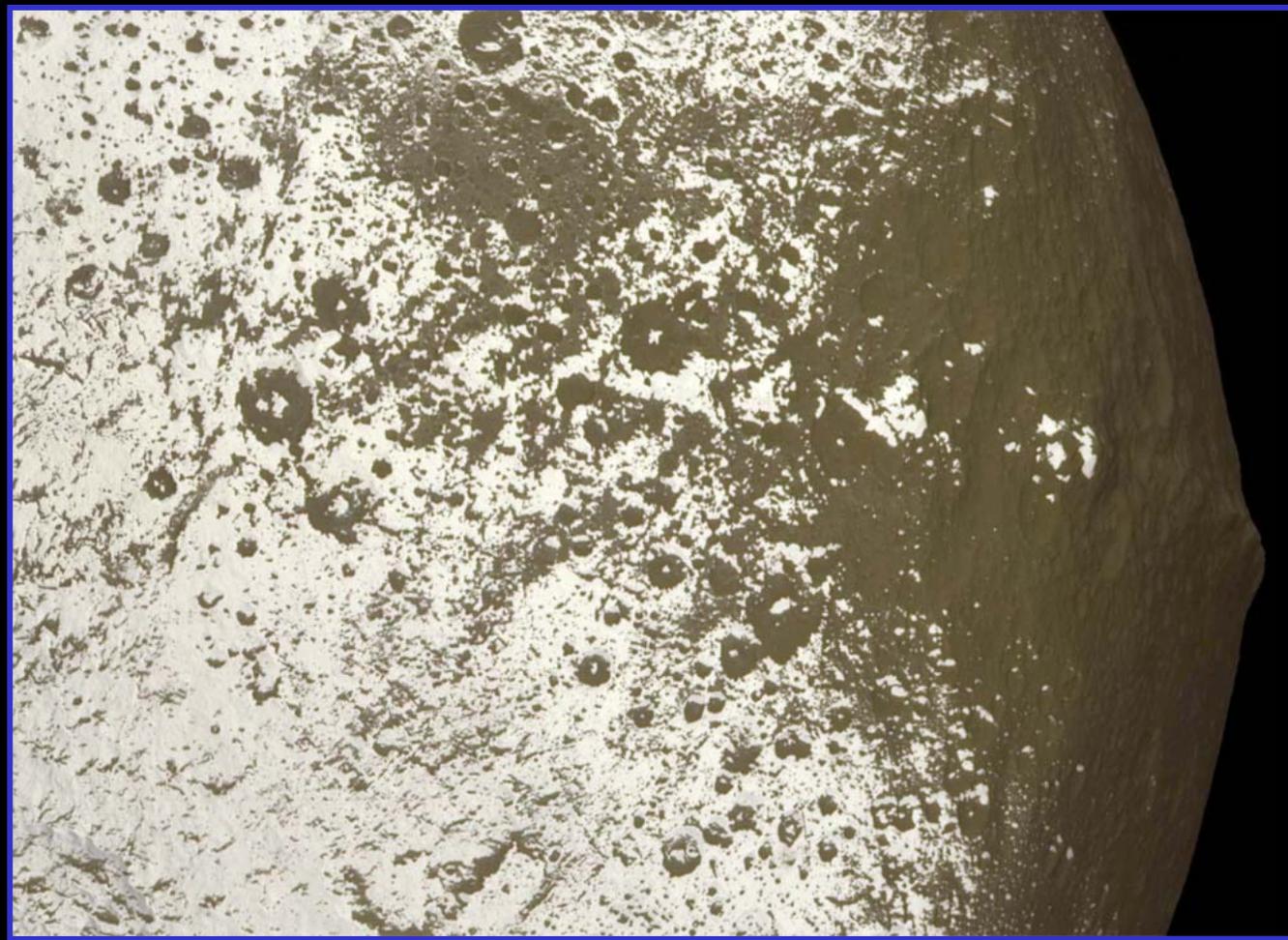


*Figure 12.* Black dust, thrown by meteoritic impacts from the surface of retrograde-moving Phoebe, slowly spirals toward Saturn over time and may be the source of dark material on the leading hemisphere of Iapetus. One remaining puzzle, however, is reconciling why Phoebe's surface is neutral black, while the dark face of Iapetus is reddish.

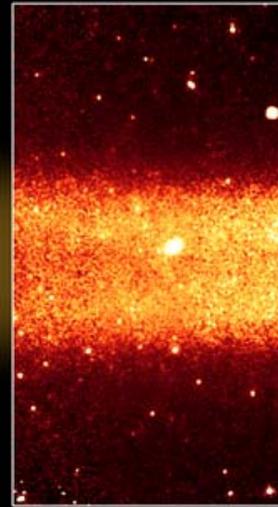
**Une « vieille » interprétation, post-Voyager**



**Et sur cette image prise de loin en mars 2005, on voit que cette ride est parfaitement au milieu de la « tache sombre ». Poussières ramassées sur la face avant (mais pourquoi une ride au milieu), ou recouvrement « volcanique » (mais pourquoi exactement sur la face avant) ?**



**La terminaison de la ride semble ne pas être recouverte de dépôts sombres (favorise l'origine exogène)**

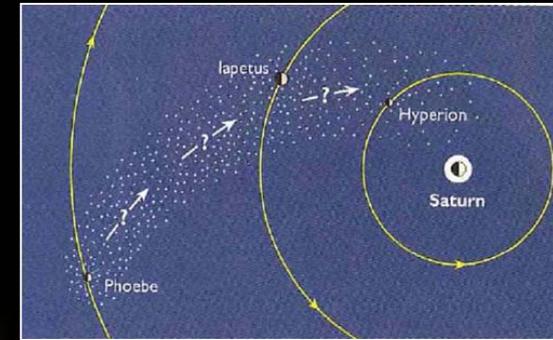


Dust Ring



**Septembre 2009 : le satellite IR de la NASA, le « Spitzer Space Telescope » découvre un anneau supplémentaire de poussière autour de Saturne, au niveau de l'orbite de ...**

Saturn



Phoebe



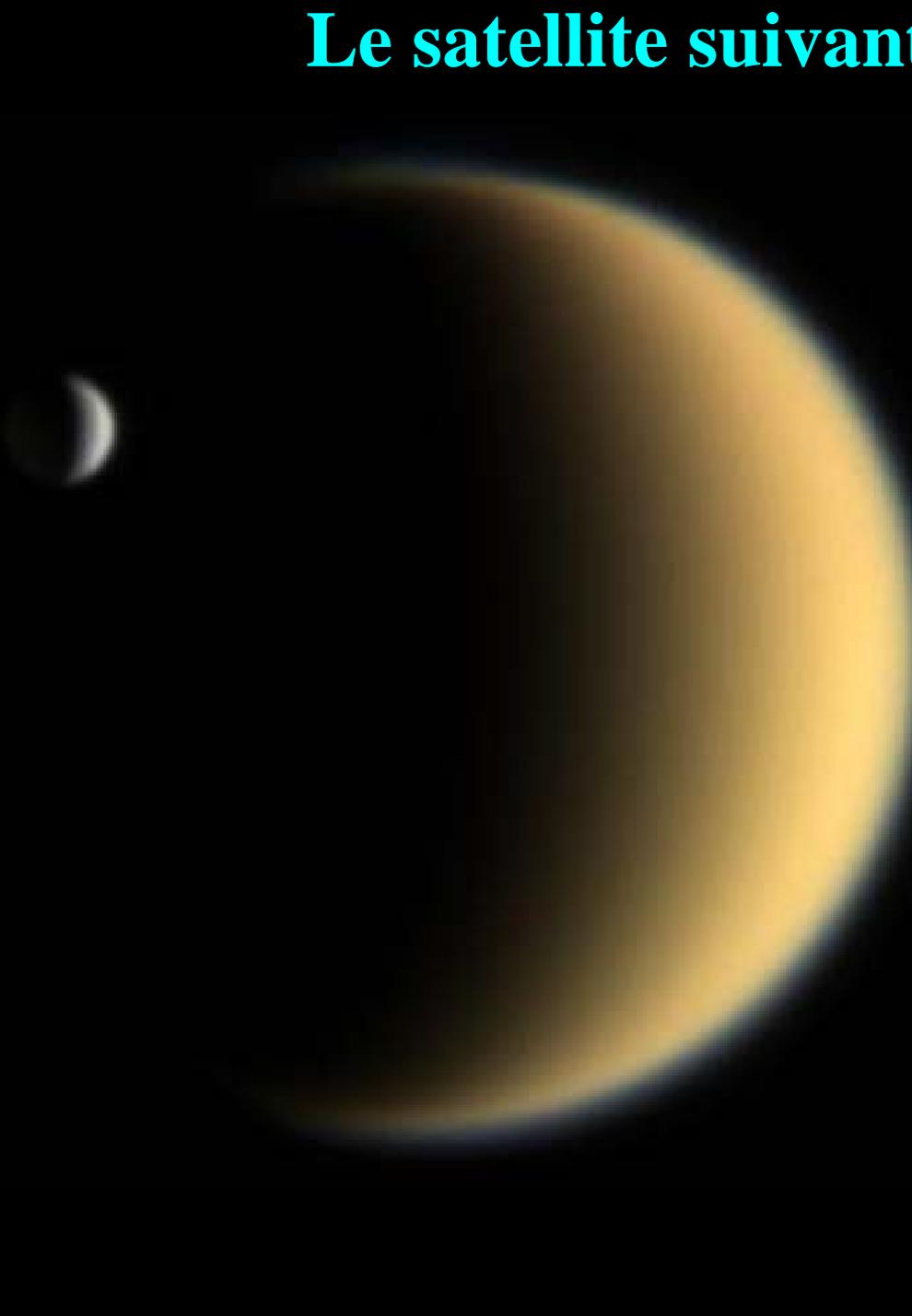
Titan

Iapetus



Saturn's Largest Ring

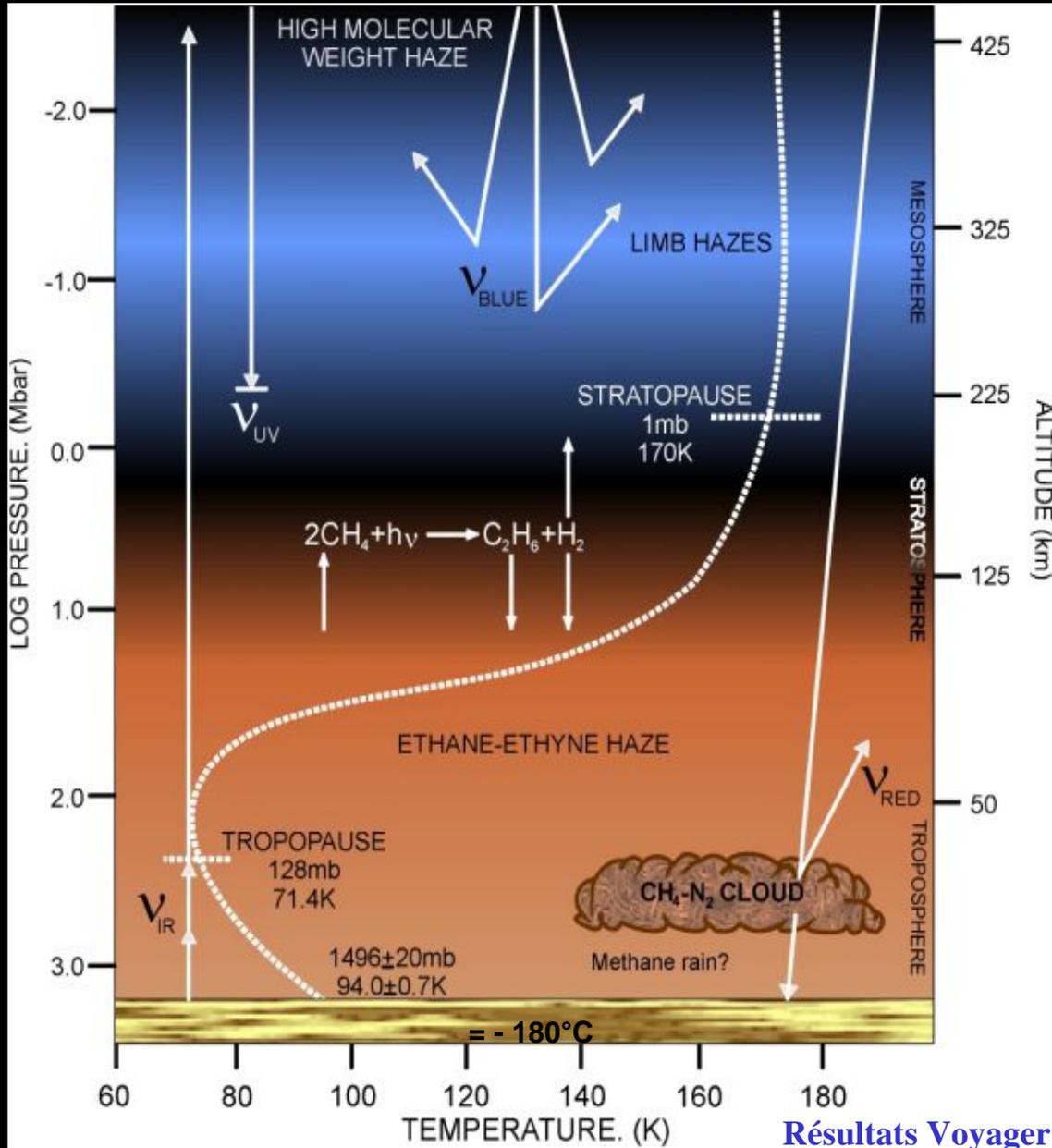
... de Phoebé. Et rappelez vous ...

A large, orange-hued planet (Titan) is shown on the left side of the image, partially obscured by a dark, curved shadow. To its left, a smaller, white, crescent-shaped satellite (Enceladus) is visible against the black background of space.

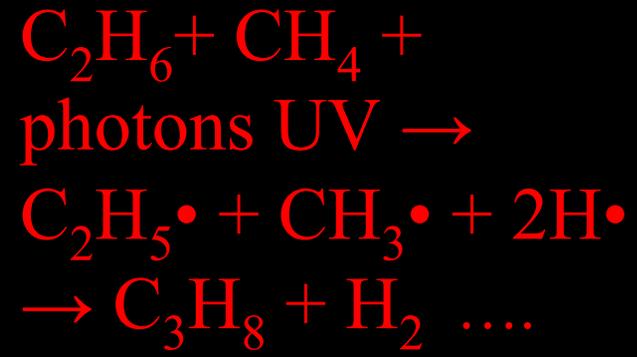
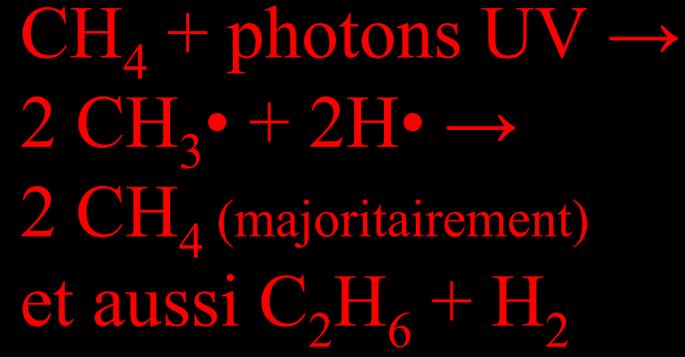
**Le satellite suivant : Titan ( $D = 5150$  km,  
 $\rho = 1,9$ ), avec Encelade  
au 1er plan pour  
comparer les  
dimensions. Titan est le  
2eme plus gros satellite  
du système solaire  
(après Ganymède, plus  
gros que Mercure).  
C'est le seul satellite du  
Système Solaire avec  
une atmosphère dense.**



**Cette atmosphère est « stratifiée »**

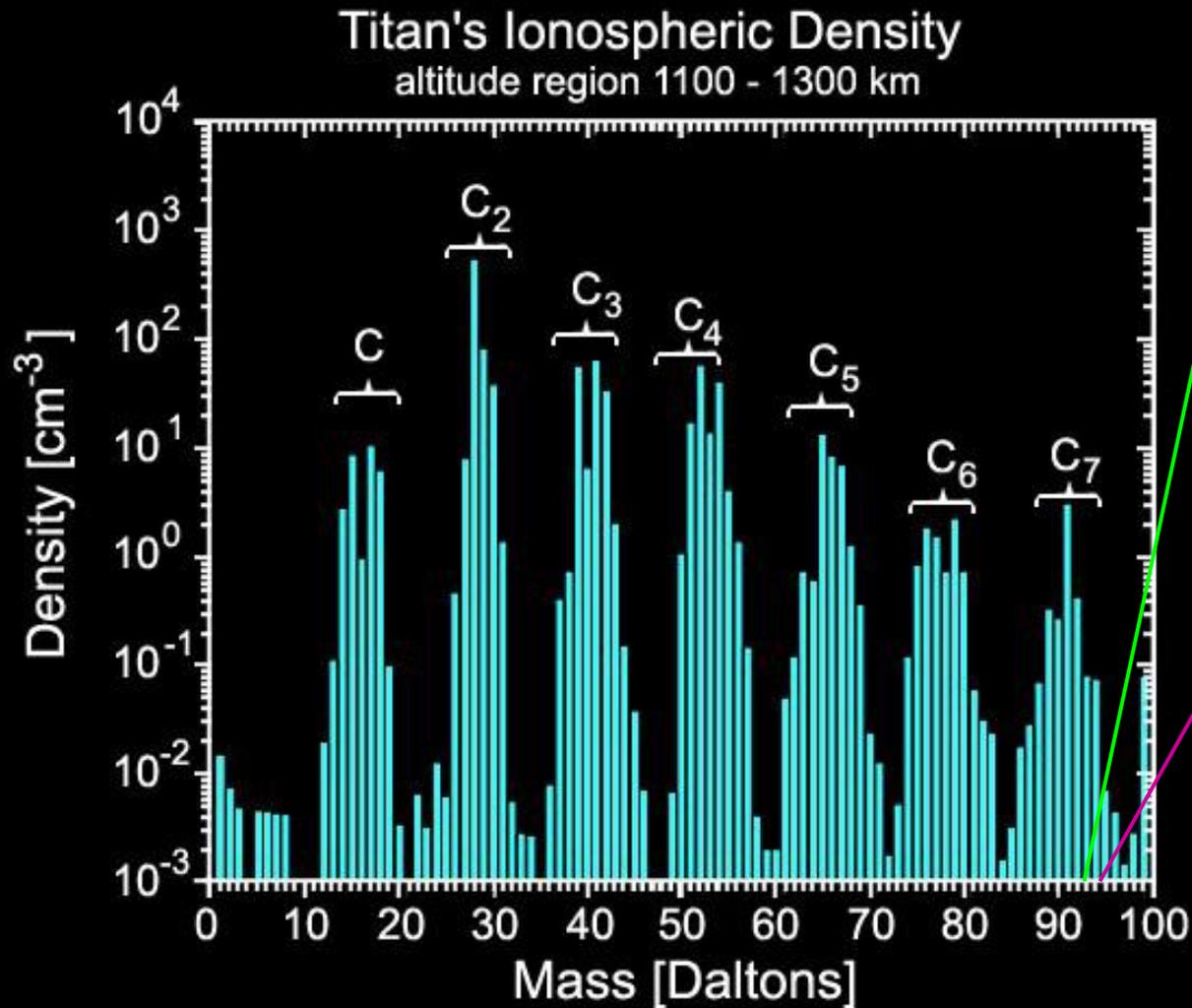


Ce qui « doit » se passer dans l'atmosphère de Titan.



Titan doit perdre son CH<sub>4</sub>.

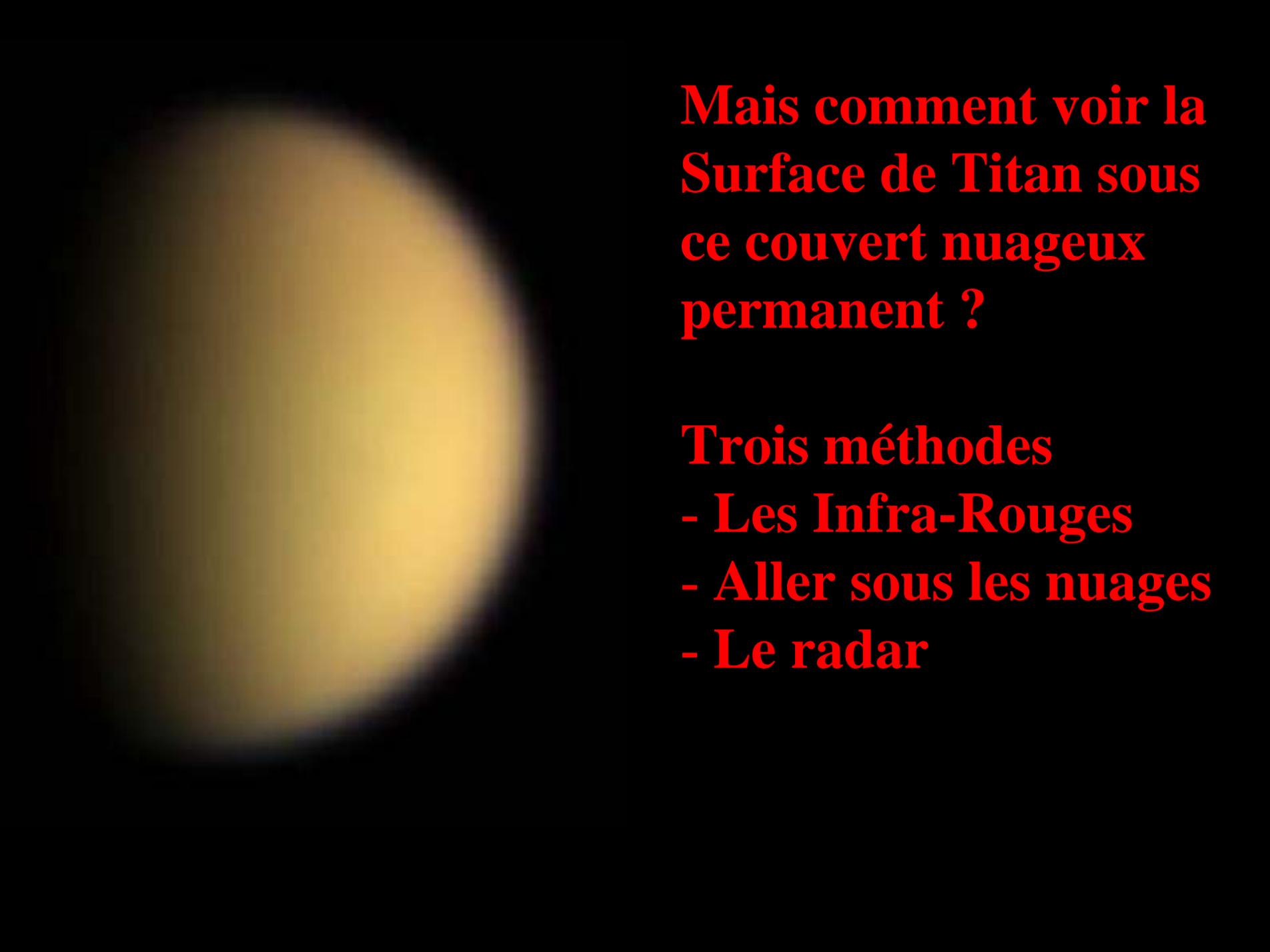
Si il reste du méthane (dans l'atmosphère), c'est qu'il y en a des « sources » : du volcanisme actif ??



92 pourrait être  
C6H5-CH3  
(le toluène)

93 pourrait être  
C6H5-NH2  
(l'aniline)

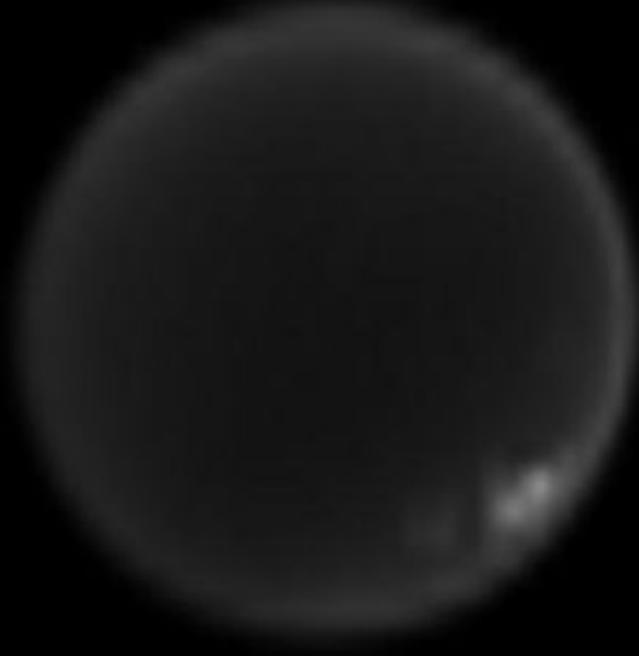
**Dans la très haute atmosphère (1200 km), Cassini trouve des macro-molécules organiques**



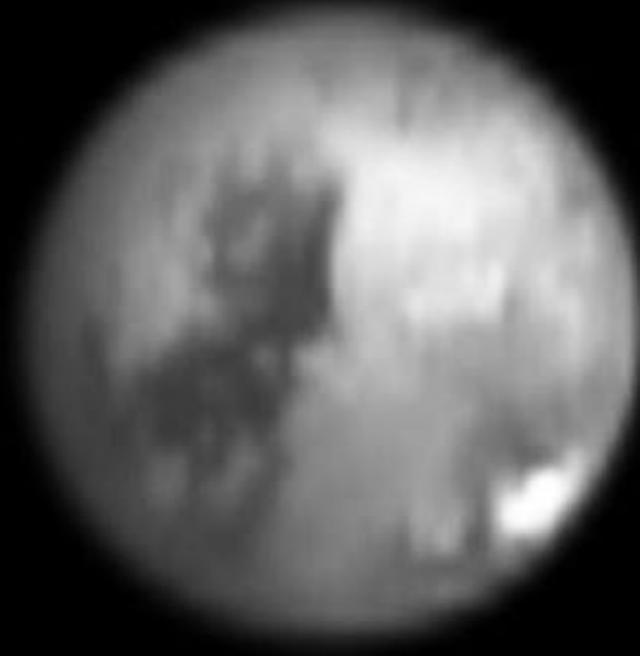
**Mais comment voir la  
Surface de Titan sous  
ce couvert nuageux  
permanent ?**

**Trois méthodes**

- Les Infra-Rouges**
- Aller sous les nuages**
- Le radar**



2.112



1.997

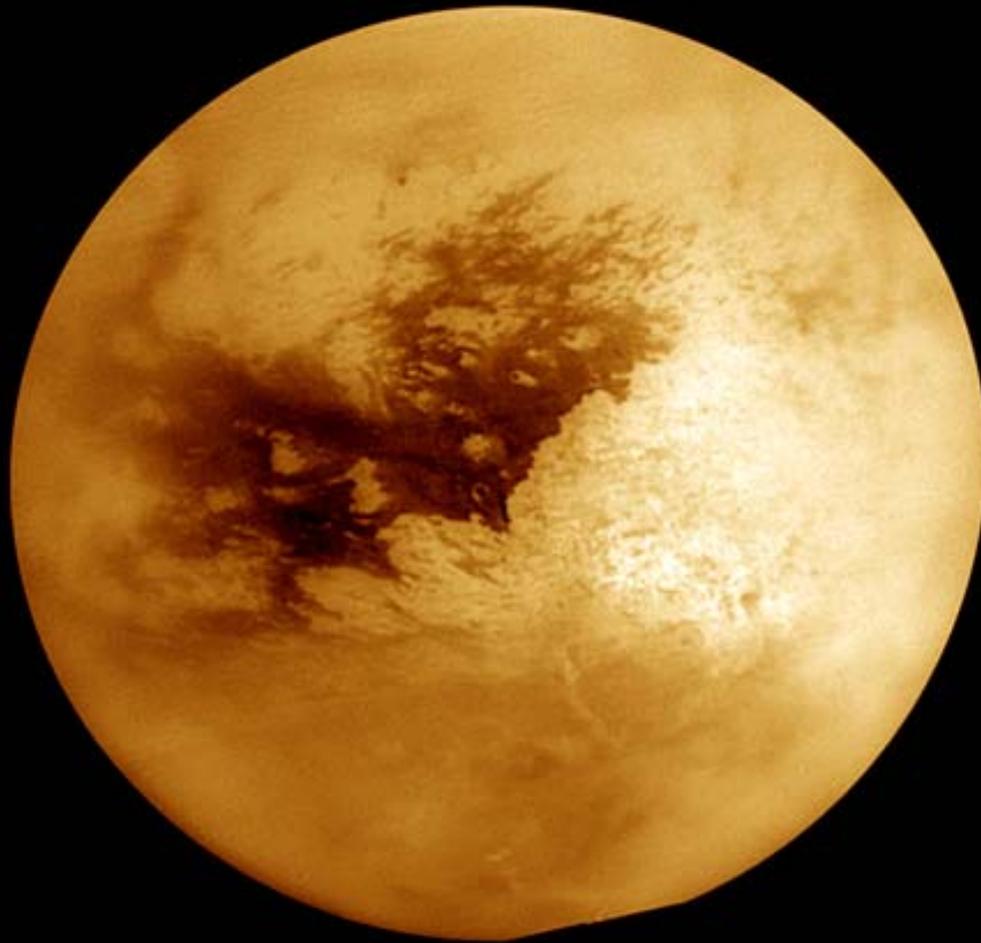
## Première méthode : les Infra-Rouges

**Il y a des longueurs d'onde IR (venus du soleil) pour lesquelles l'atmosphère est « opaque » (ex : 2,112  $\mu$ ) .**

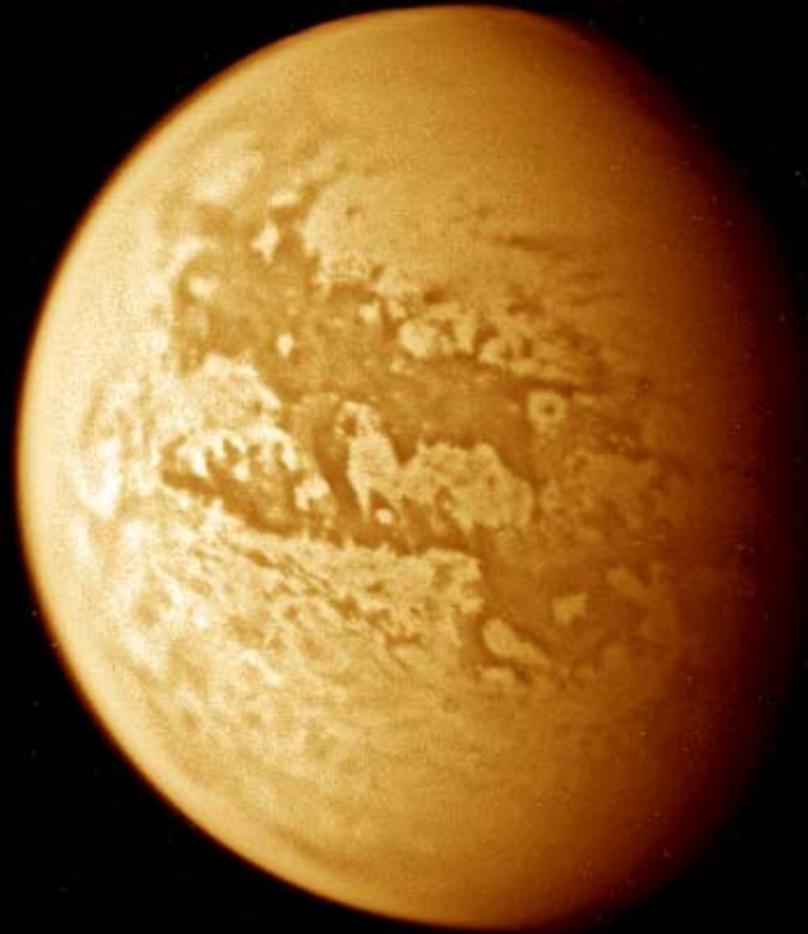
**On ne voit rien de la surface.**

**Il y en a d'autres qui traversent l'atmosphère (ex : 1,997  $\mu$ ) ; on découvre la surface, ou plus exactement le peu d'IR reçus du soleil, réfléchis et renvoyés par la surface (ou des nuages bas).**

**On va utiliser ces longueurs d'ondes là .**

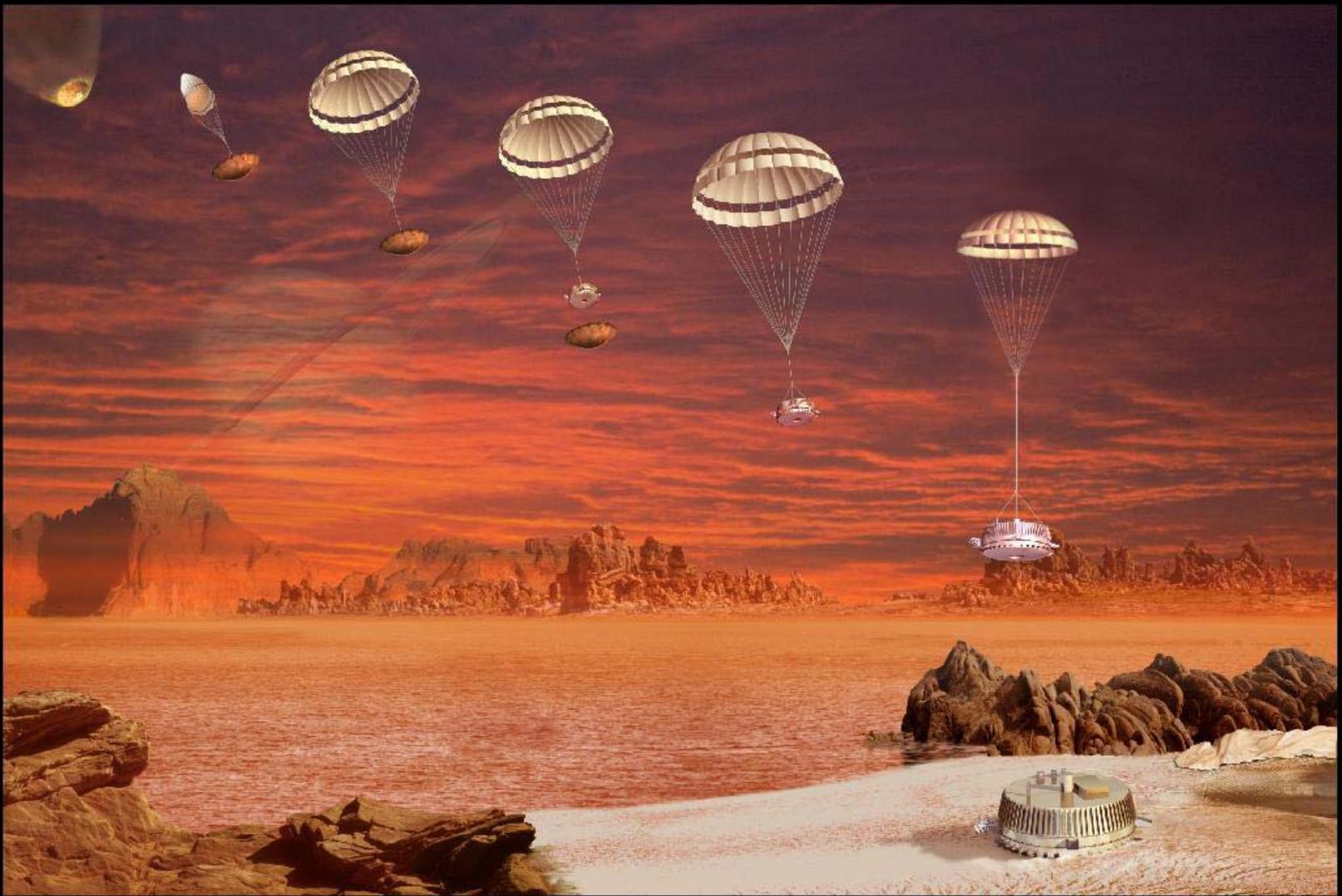


février 2005



avril 2005

**Voilà deux vues Infra-Rouge, avec la couleur qu'on connaît de la surface. Peut-être ce qu'on verrait à l'œil nu depuis l'espace, si il n'y avait pas de nuages.**

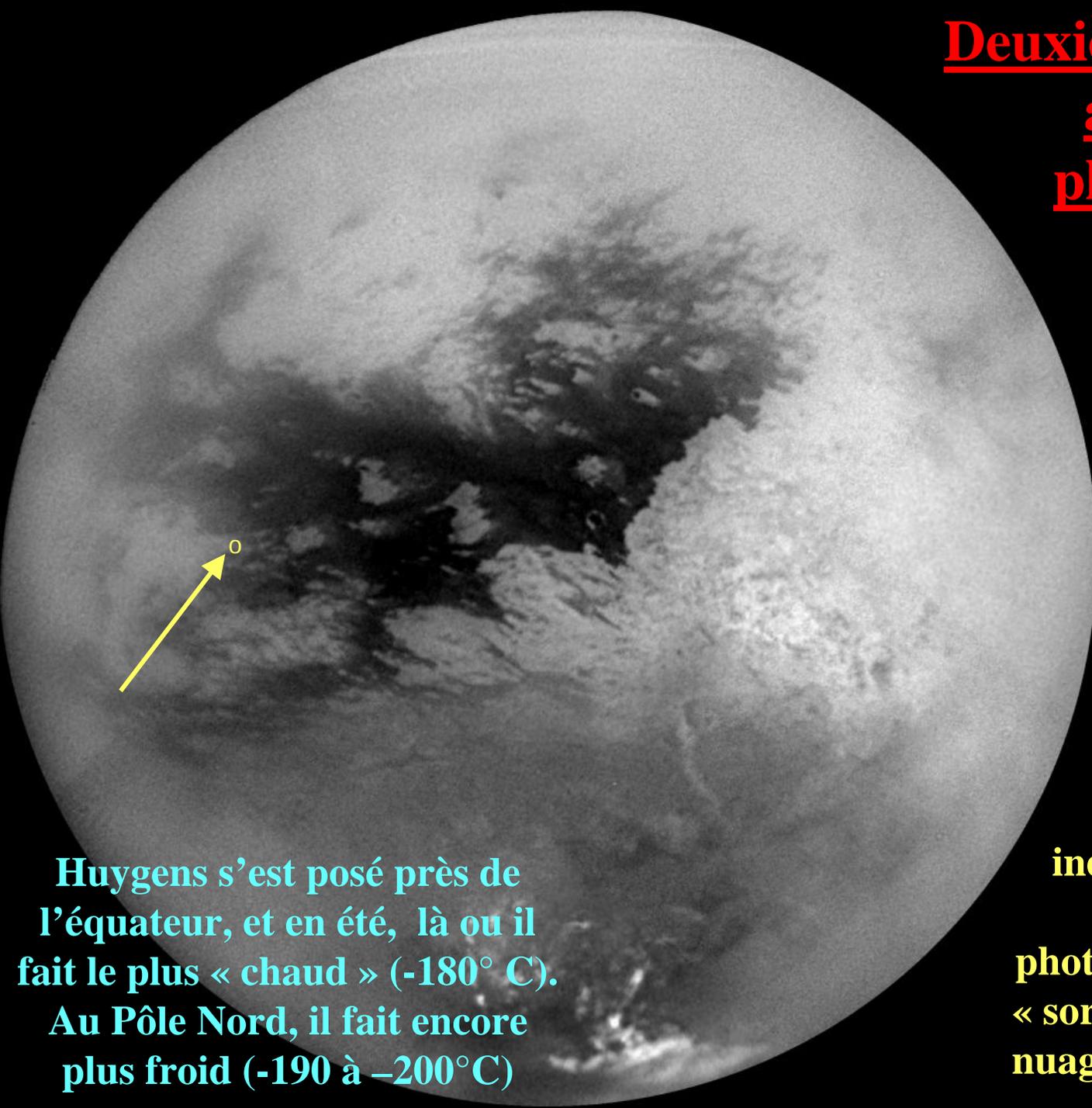


Deuxième méthode : aller « voir » sur place.

C'est ce qui a été fait avec succès le 14 janvier 2005  
par Huygens

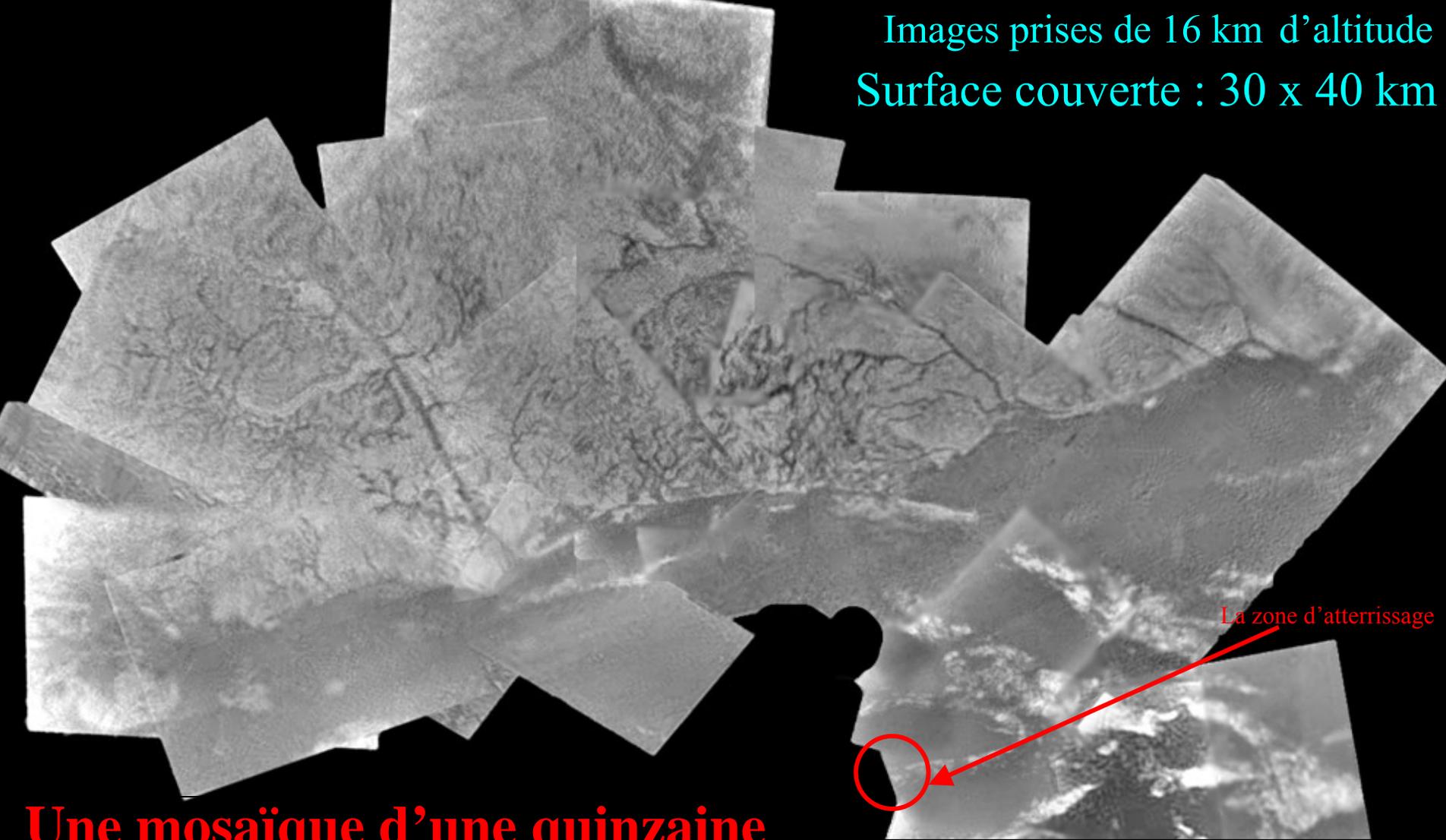
**Deuxième méthode :**  
**aller « voir sur**  
**place ».** C'est ce  
qui a été fait  
avec succès  
le 14 janvier  
2005 par la  
sonde  
européenne  
Huygens..

Le cercle jaune, de  
40 km de diamètre,  
indique la totalité de la  
zone que Huygens a  
photographié quand il est  
« sorti » sous la couche de  
nuages à 20 km d'altitude



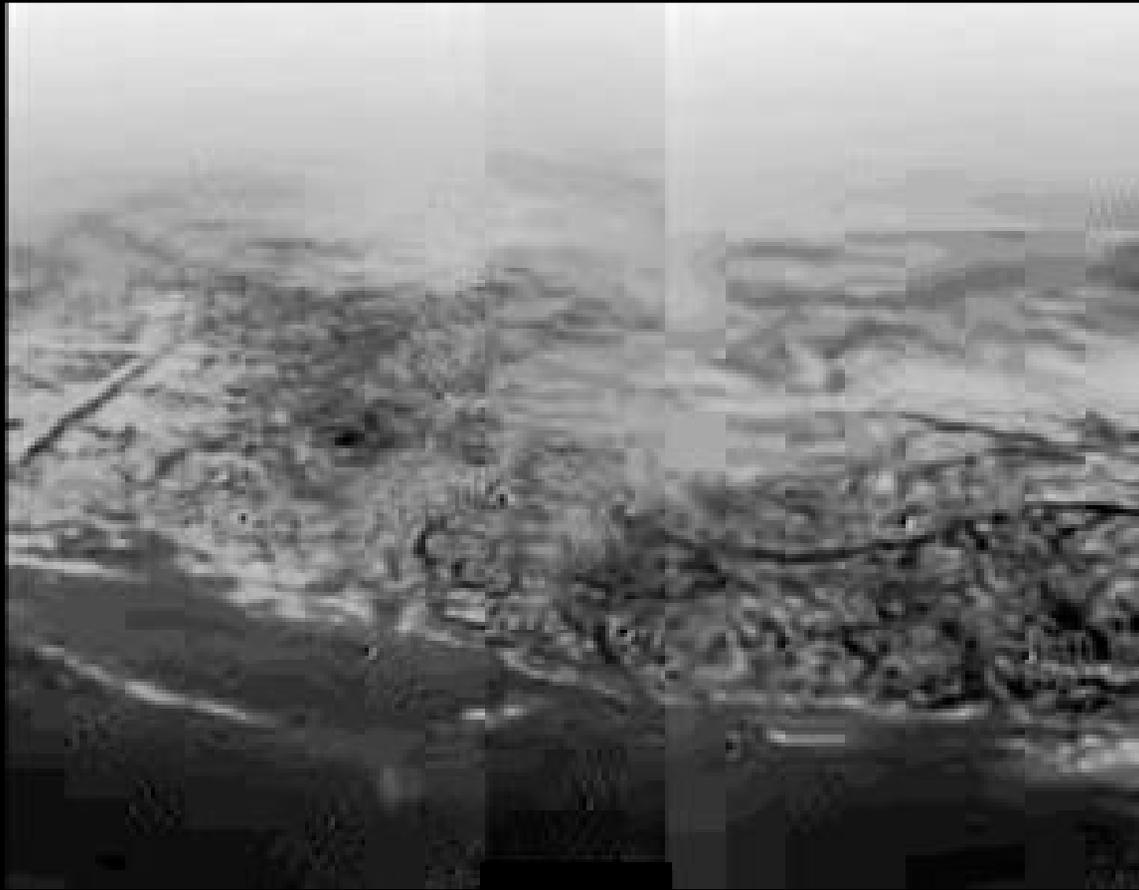
Huygens s'est posé près de  
l'équateur, et en été, là ou il  
fait le plus « chaud » (-180° C).  
Au Pôle Nord, il fait encore  
plus froid (-190 à -200°C)

Images prises de 16 km d'altitude  
Surface couverte : 30 x 40 km



La zone d'atterrissage

**Une mosaïque d'une quinzaine d'images. Ca ressemble à une « terre » et une « mer », avec des « rivières », une « côte », des « estuaires », un « delta », des « îles » avec bancs de brumes...**



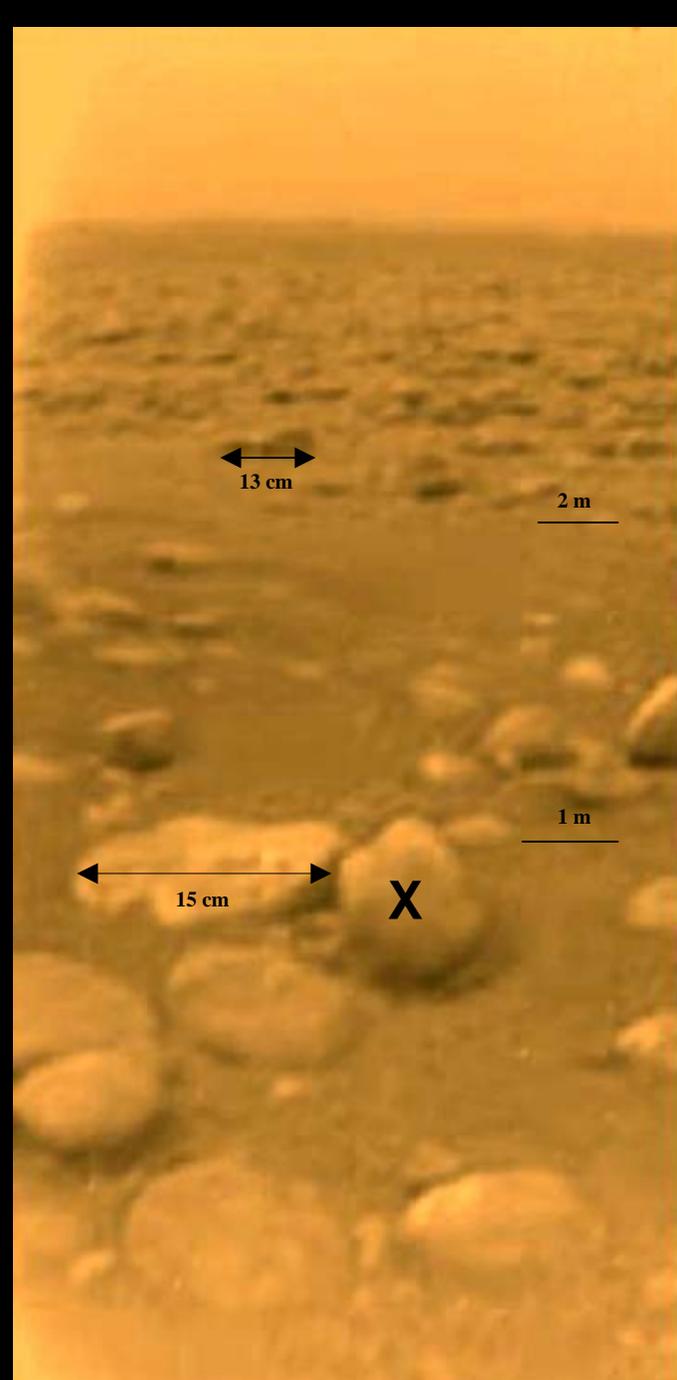
**Une vue oblique prise de 8 km d'altitude,  
avec « terre », « mer », « côtes » ...**

**Longueur de la cote : environ 3 km**

**Voici la « vue du sol » : du sable et des « galets » (de glace d'H<sub>2</sub>O probablement). Le sable était « mouillé » de méthane liquide. Les galets sont arrondis, comme ceux d'une plage ou d'un torrent (de méthane). Autour du galet X, sillon en creux, comme ce qui est dégagé par un courant.**

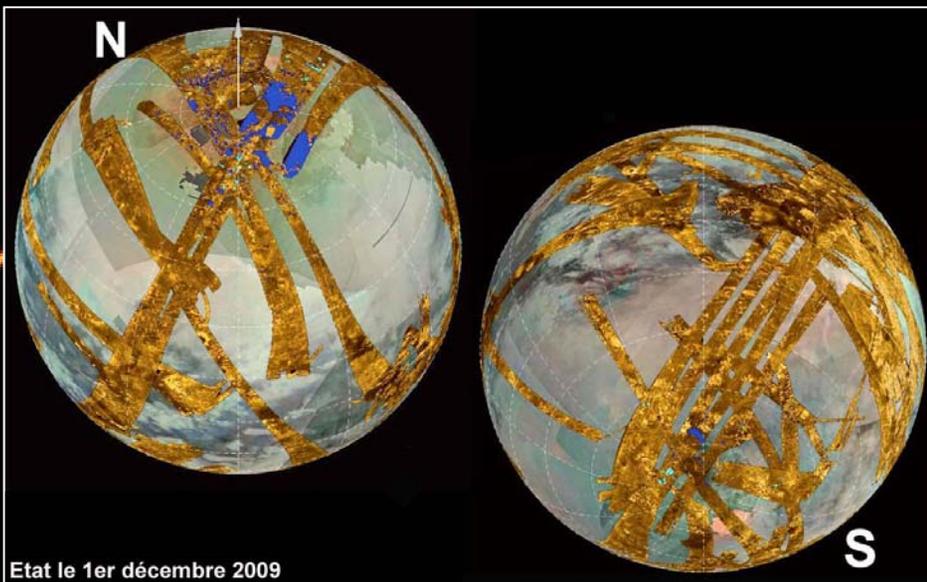
**Ce qu'on pense, c'est qu'il pleut parfois du méthane, que le méthane liquide coule en « nettoyant » les continents de glace, et en emmenant avec lui galets de glace et composés organiques sombres (genre goudron).**

**Les « mers » seraient donc plus des « marécages » peu profonds que de véritables mers, marécages (provisoirement ?) asséchés sur le site d'atterrissage lors de cet été équatorial .**



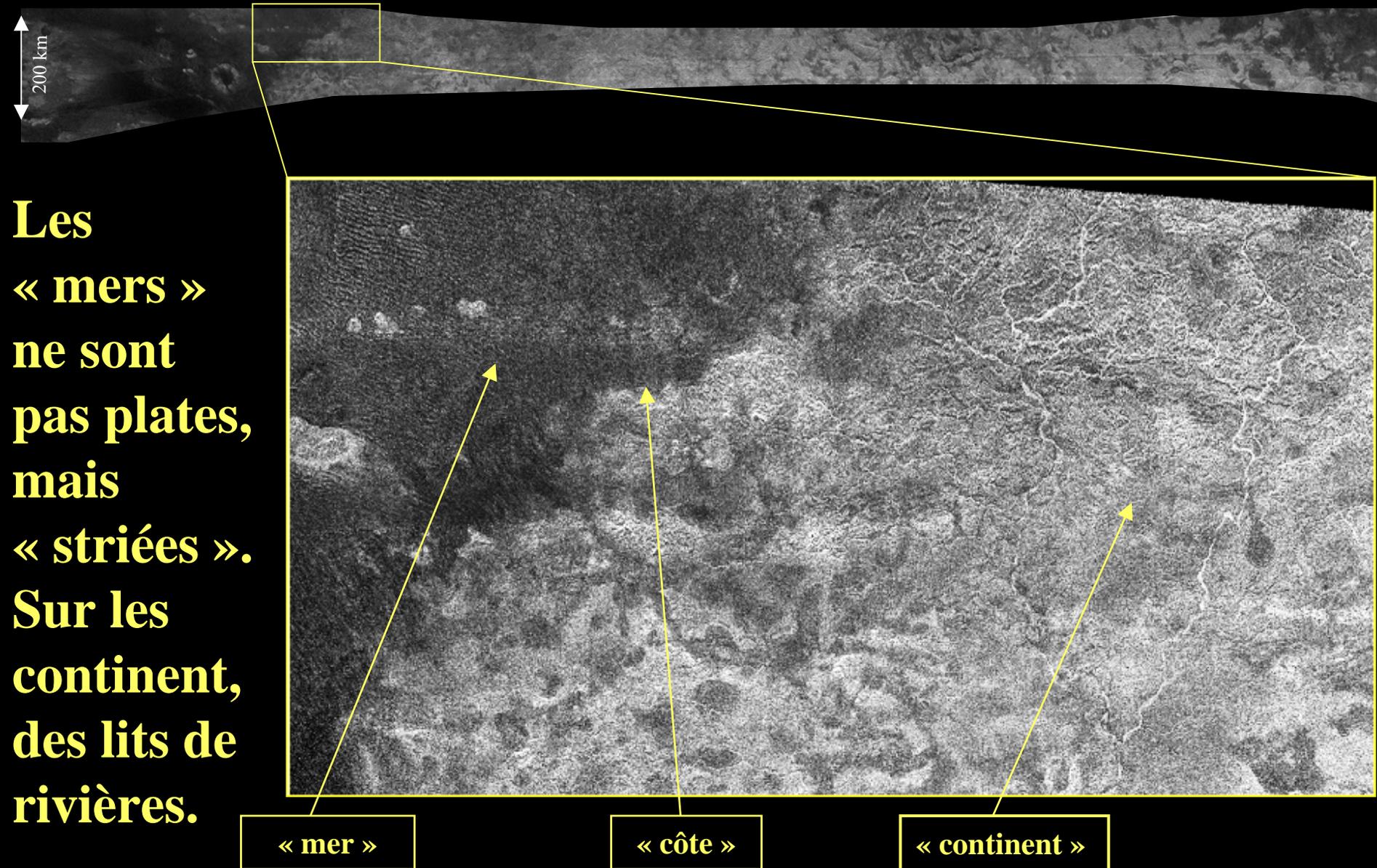
JPL

CASSINI RADAR

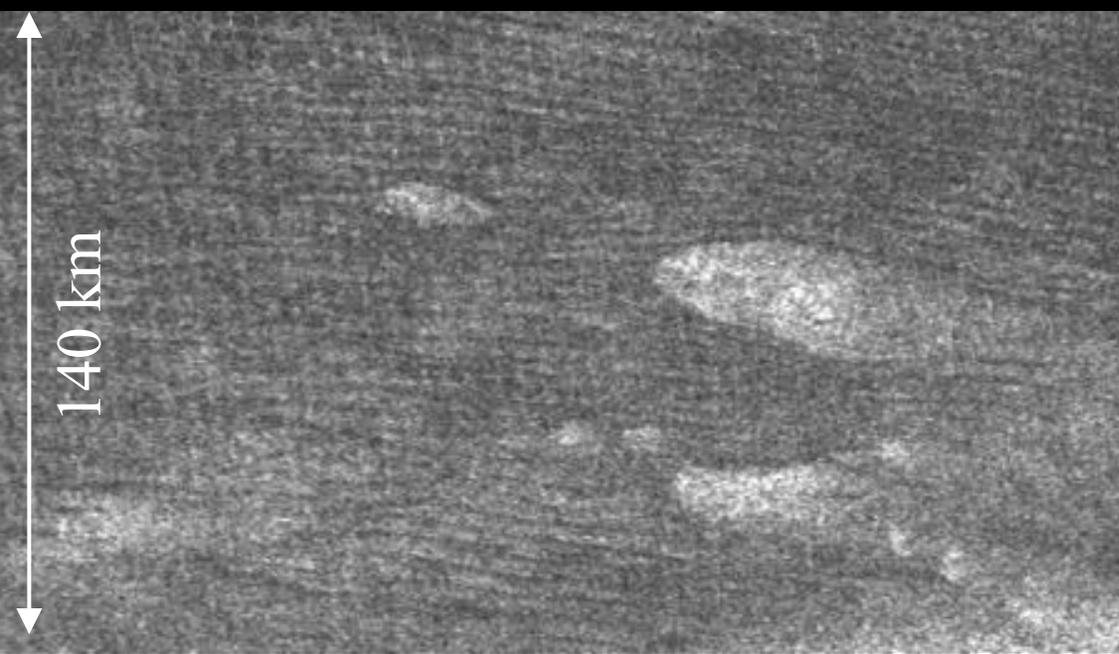


Troisième méthode : le radar. Plus d'une trentaine de passages. Mais on ne voit que des bandes. Qu'est-ce qu'on découvre ?

# Exemple d'une bande radar (avril 2005) avec la limite « mer » en sombre et « continent » en clair

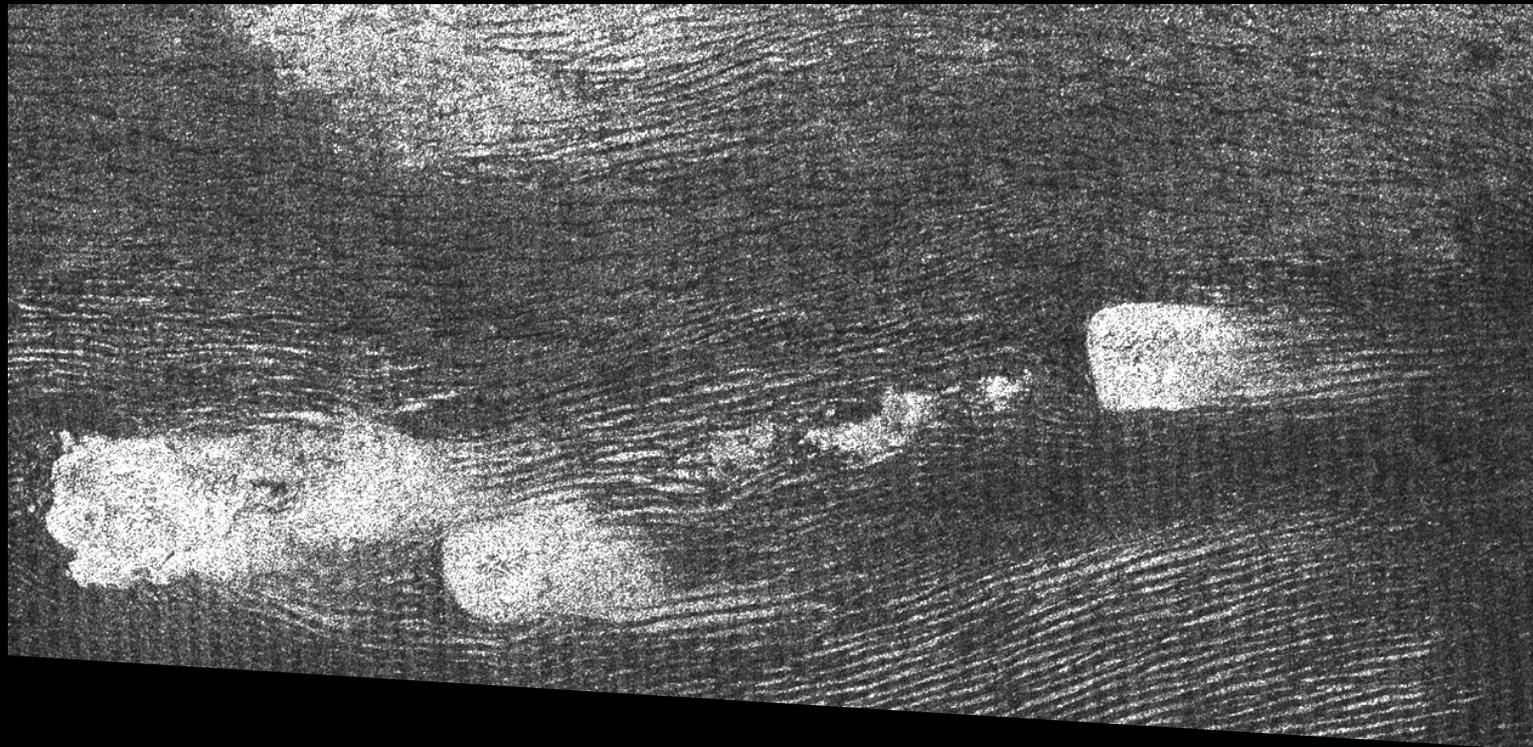


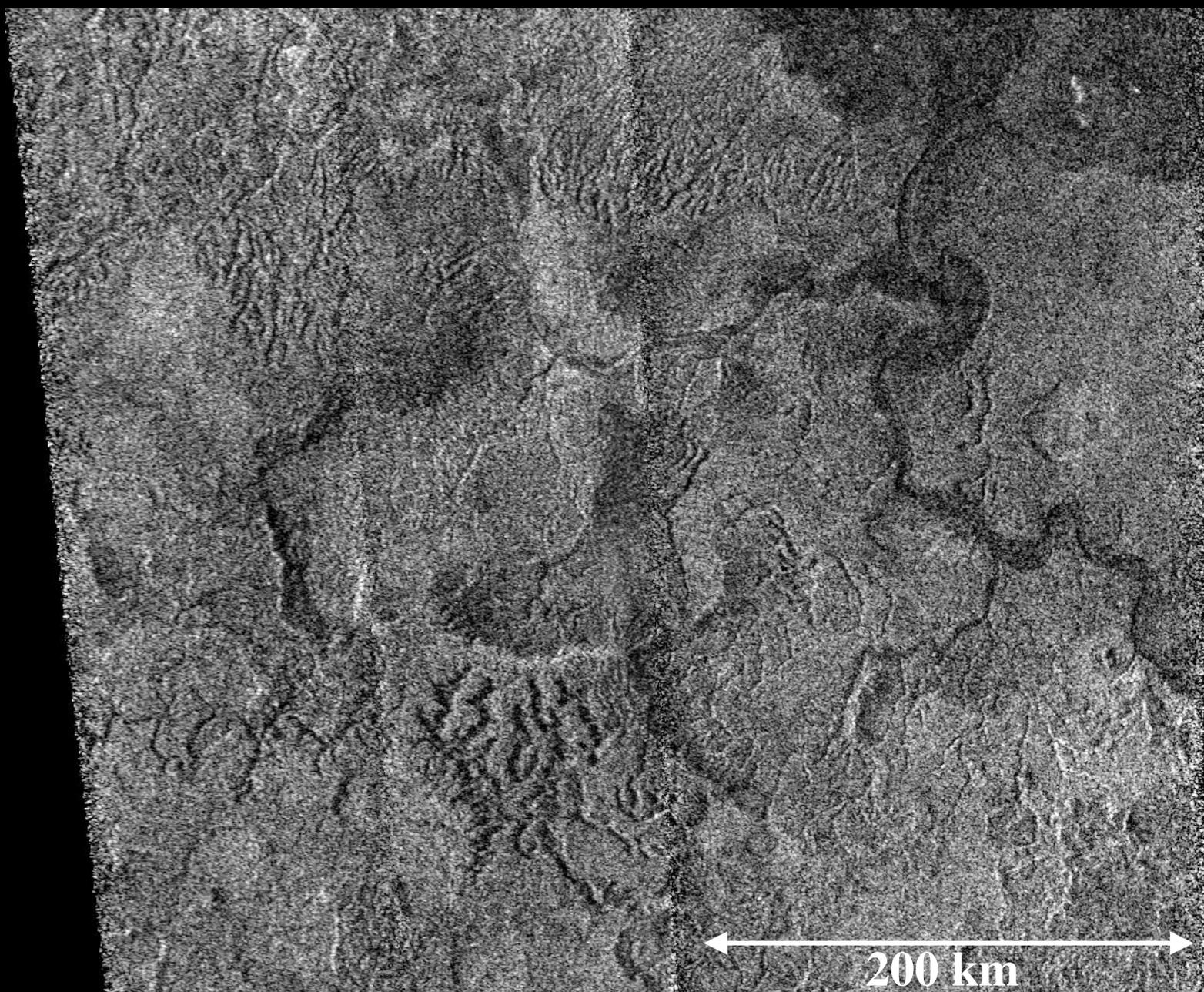
**Les « mers » ne sont pas plates, mais « striées ». Sur les continent, des lits de rivières.**



**Ces stries dans les « mers », ce sont des champs de dunes. Il ne s'agit pas de mer de méthane liquide, mais de mers de sable (sable de glace ou d'hydrocarbures bien sur) !**

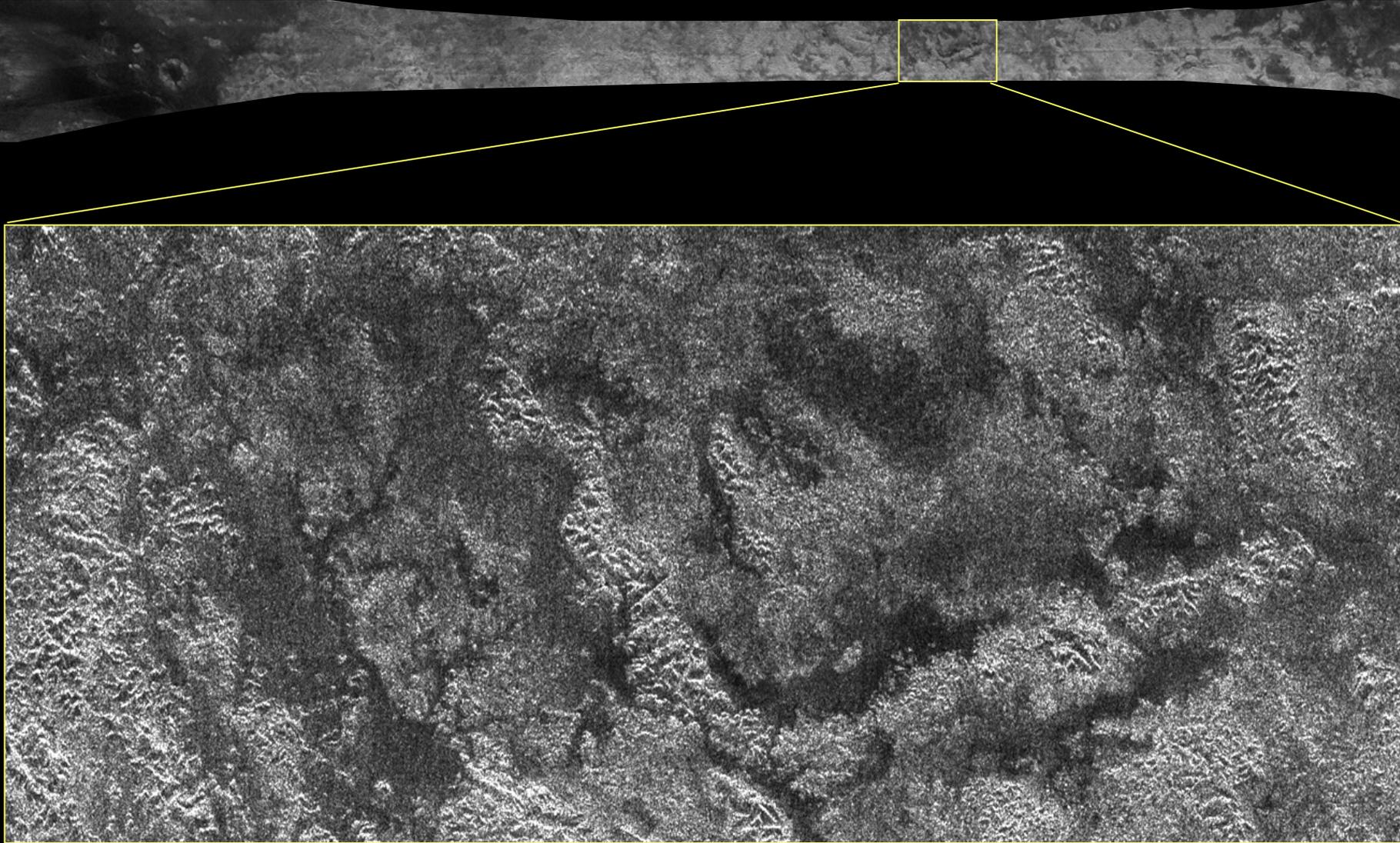
**Détails dans les «mers»**



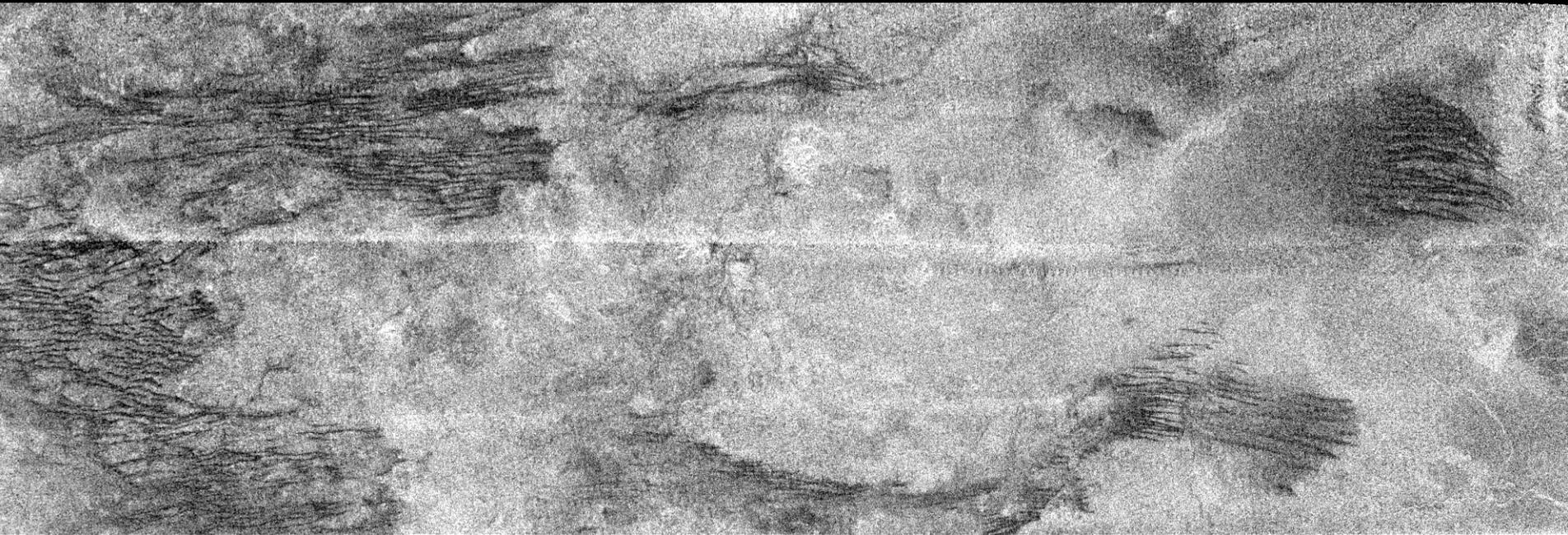


**Sur les « continents, Rivières (ici à sec) et méandres**

**Gros plan sur le milieu du « continent » nommé Xanadu.  
Des montagnes, preuve d'un dynamisme et de  
mouvements dans la croûte de glace !**

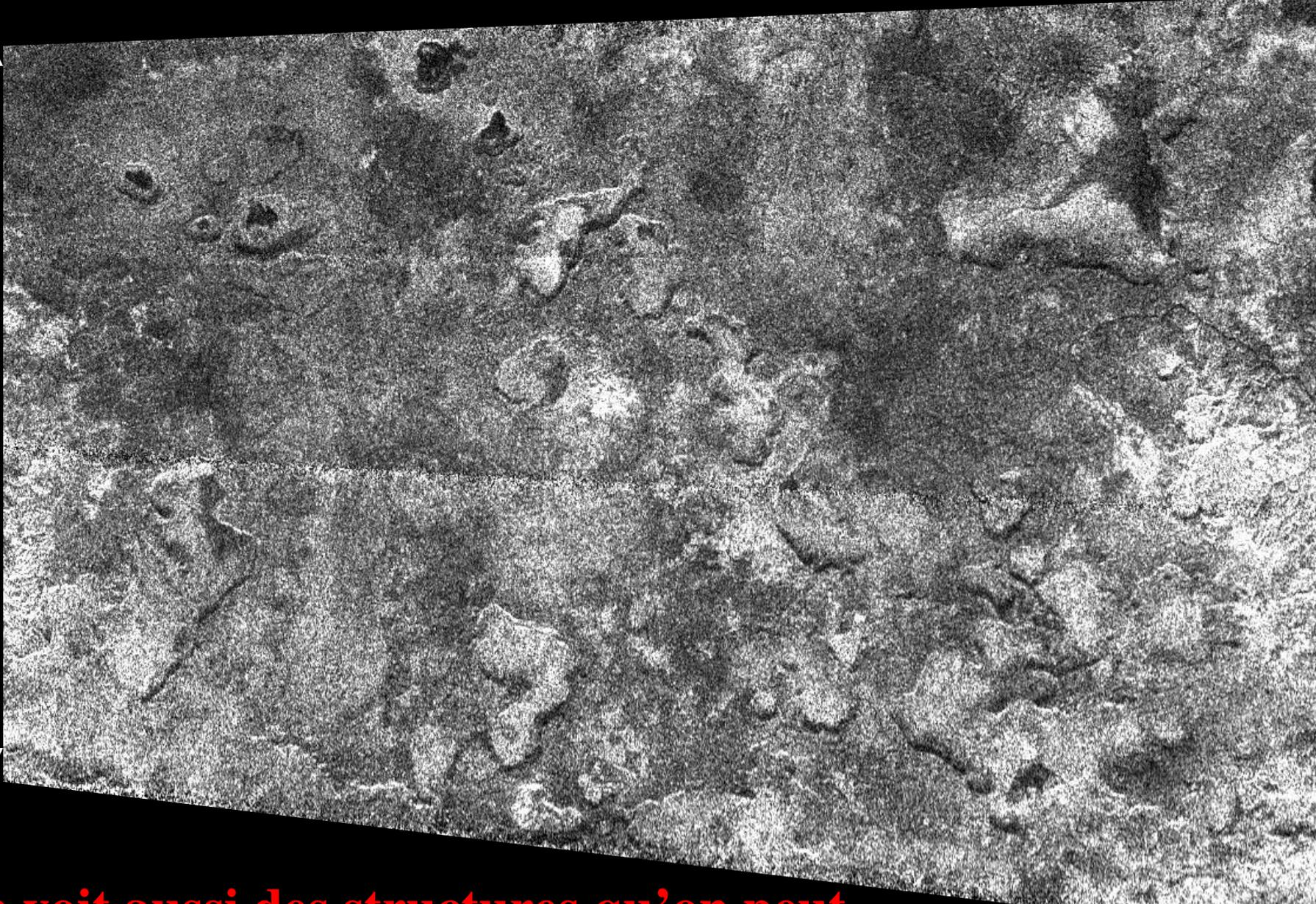


**Voit-on des « volcans » ?**



← 200 km →

**Voici d'autres dunes, en contrebas (ou recouvertes) de terrains rugueux aux limites lobées : des coulées de lave (d'eau) ?**



150 km

**On voit aussi des structures qu'on peut interpréter comme des caldeiras (cratères volcaniques)**



Image © 2010 DigitalGlobe

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

©2009 Google



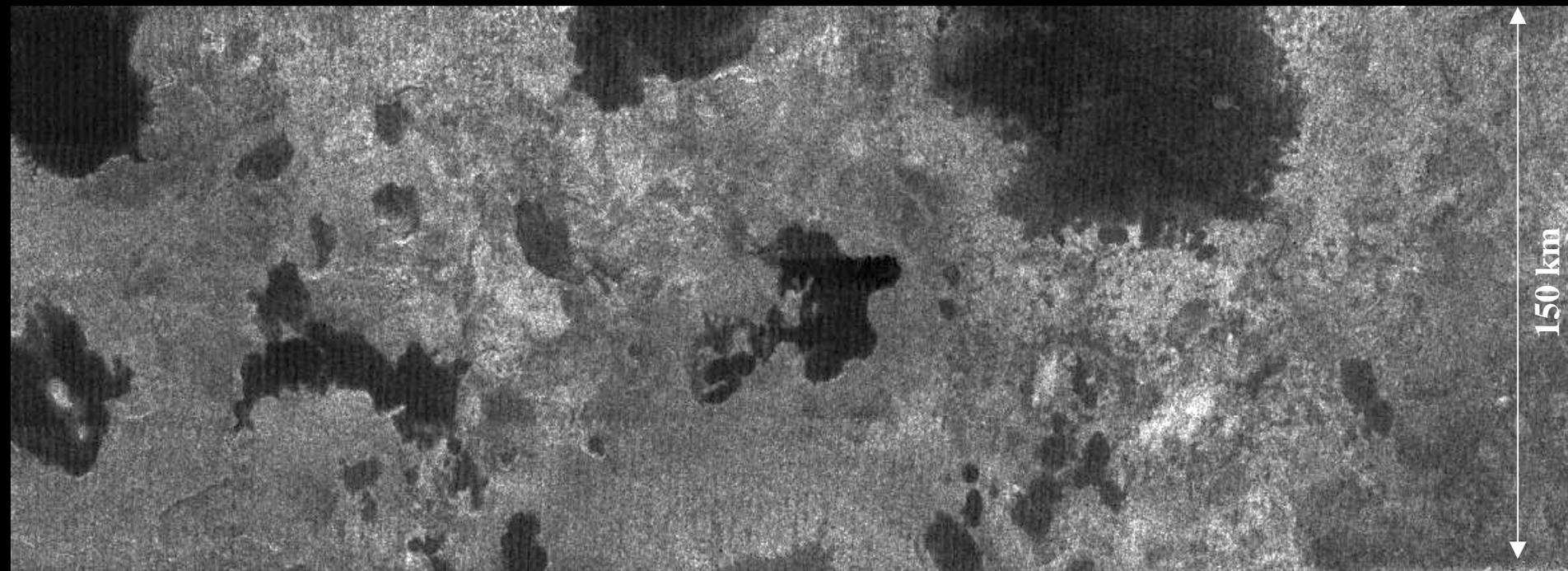
Date des images satellite : 13 sept. 2007

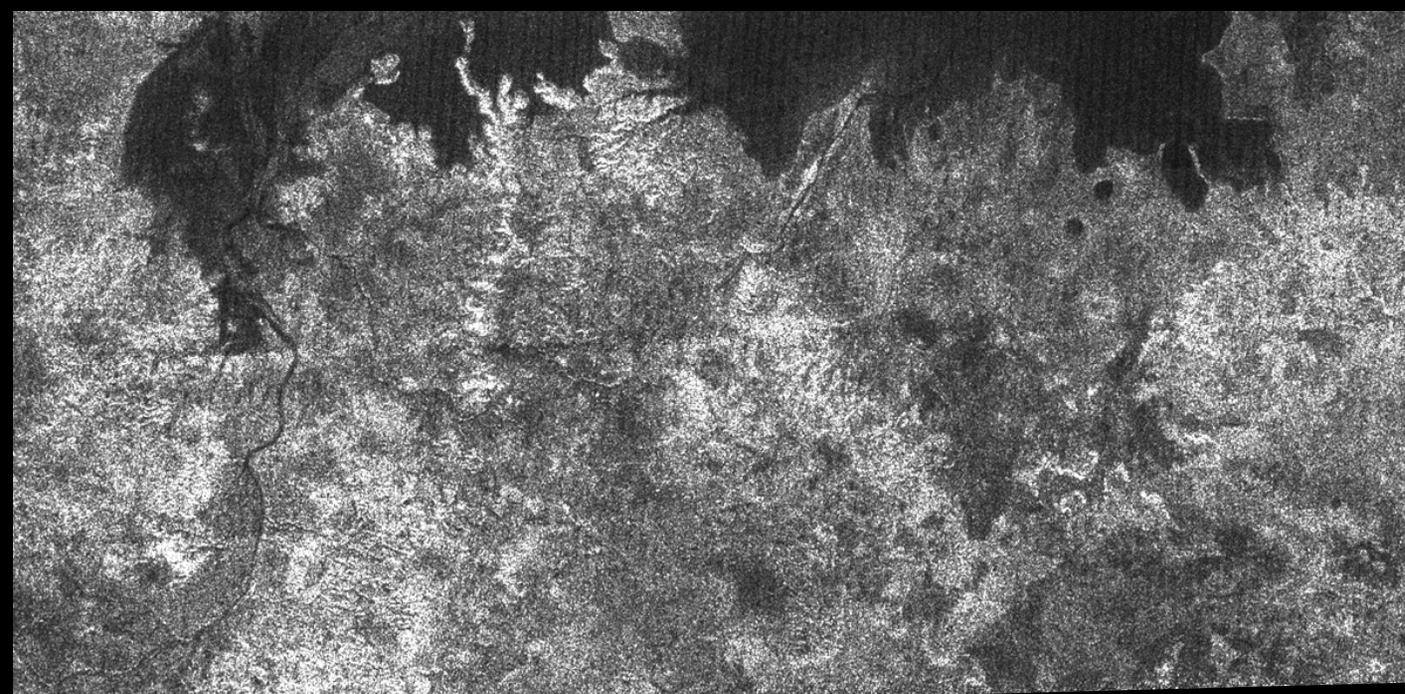
40°49'47.66" N 14°08'04.33" E élév. 138 m

Altitude 17.21 km

**La même chose dans la région de Naples**

**Et les survols radar de juillet et septembre 2006 (puis beaucoup d'autres depuis), au dessus du Pôle Nord plongé dans la nuit polaire, montrent de très probables lacs, lacs de méthane liquide (ou plutôt d'un mélange méthane-éthane) à  $-190^{\circ}\text{C}$ .**

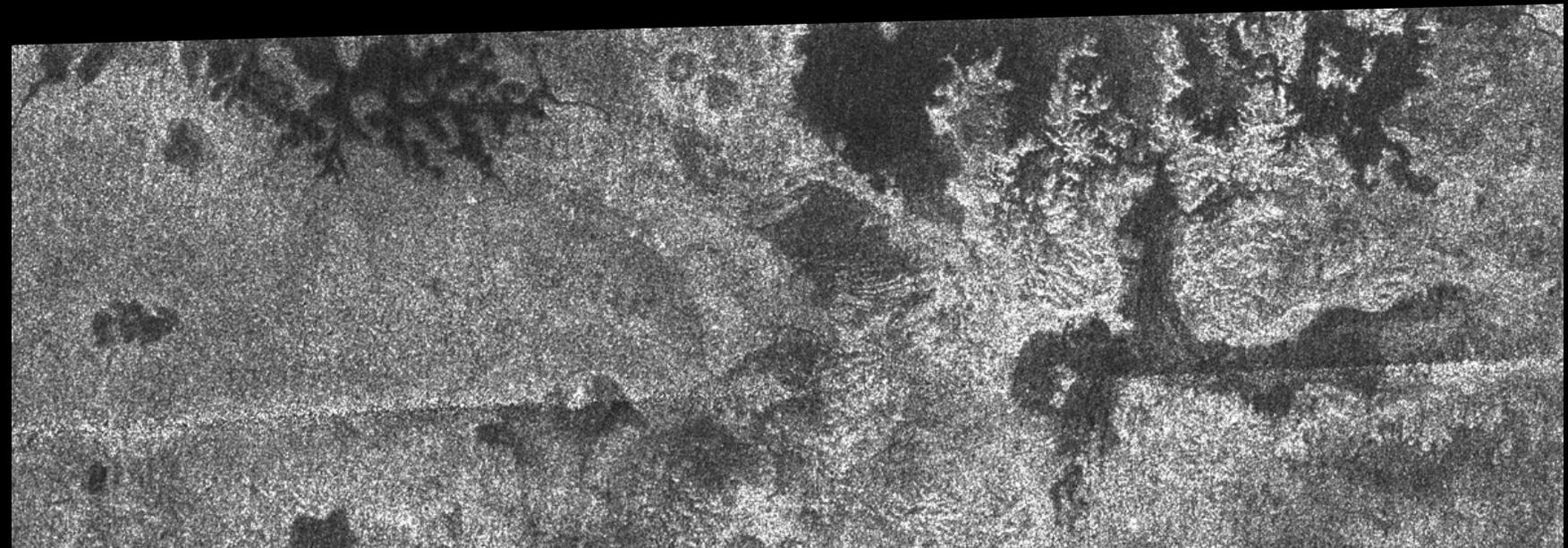




100 km

**D'autres  
survol  
polaires,  
d'autres  
lacs.**

**Des lacs de  
montagnes**



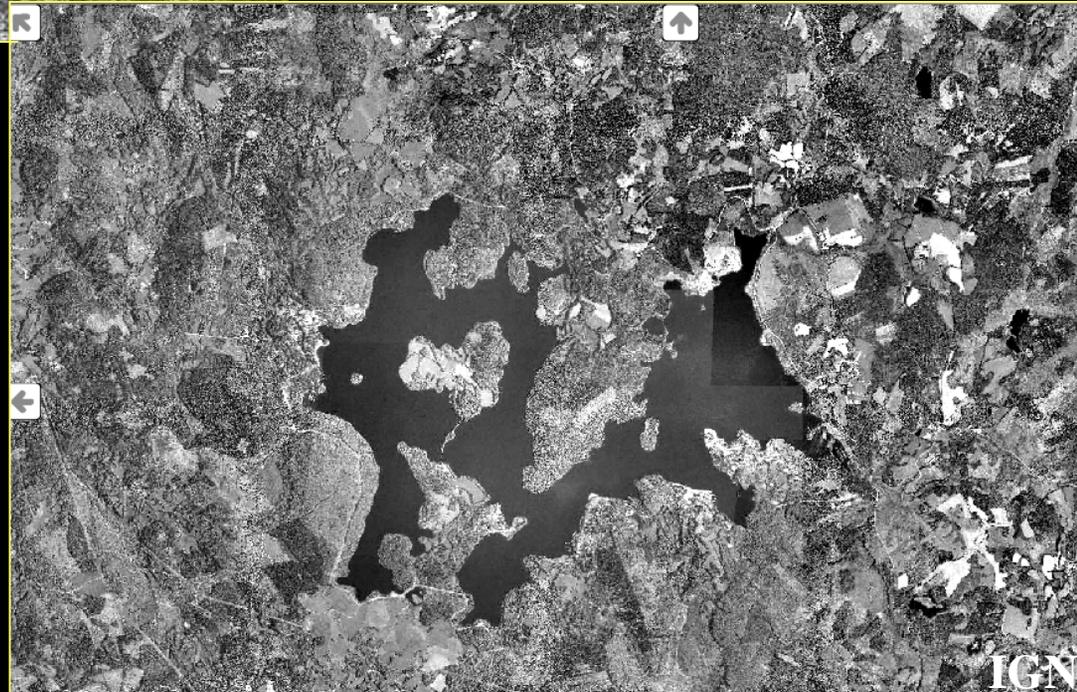
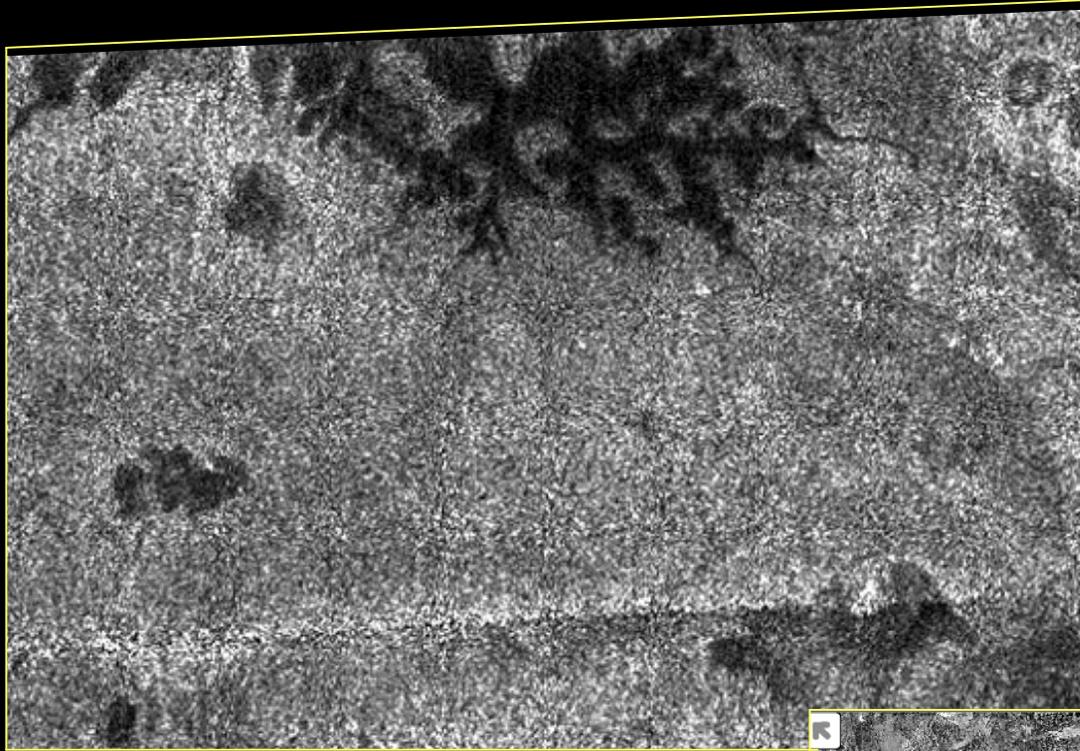


**Estuaire et delta « titanien »**



**Estuaire et delta terrestre (le Var dans le lac du Castillon, photo IGN)**

**Quel est le lac titanien et le lac limousin (lac de Vassivière) ?**





**Voici à quoi pourrait ressembler un paysage polaire de Titan pendant le soleil de minuit : montagnes de glaces salées par des macro-molécules organiques, rivières et lacs d'hydrocarbures légers (méthane et éthane à  $-190^{\circ}\text{C}$ ).**

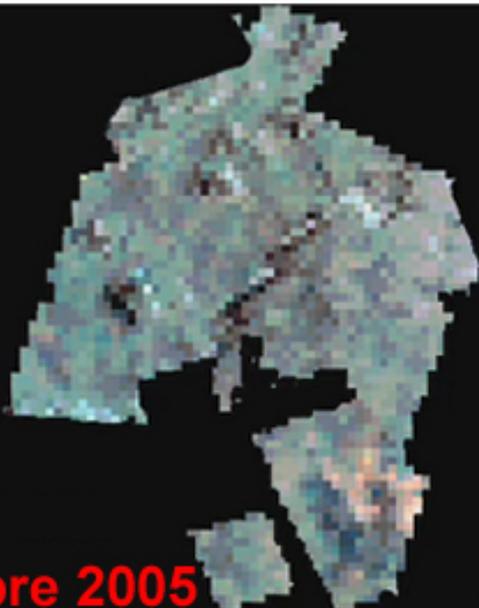
**Méthane et éthane liquides étant de bons solvants organiques (non polaires il est vrai), on peut y supposer une chimie organique fort complexe, et pourquoi pas plus?**

A circular infrared image showing a bright sun reflecting off a smooth surface, likely a polar lake. The sun is a small, bright white-yellow spot at the top center of the circle. The reflection is a larger, glowing yellow-orange arc that curves across the top and sides of the circle. The background is dark, representing the surrounding landscape or atmosphere.

**Depuis 1 ans,  
c'est le printemps  
au nord, et le  
soleil éclaire le  
pôle, régions des  
lacs. Voici une  
vue (IR) prise le 8  
juillet 2009 où  
l'on voit le soleil  
se réfléchir sur la  
surface lisse du  
plus grand de ces  
lacs polaires.**

**Mais d'ou vient ce méthane qui est présent dans  
l'atmosphère et ses lacs, malgré sa destruction ?**

Region 2



27 octobre 2005

500 km

Region 2



15 janvier 2006

500 km

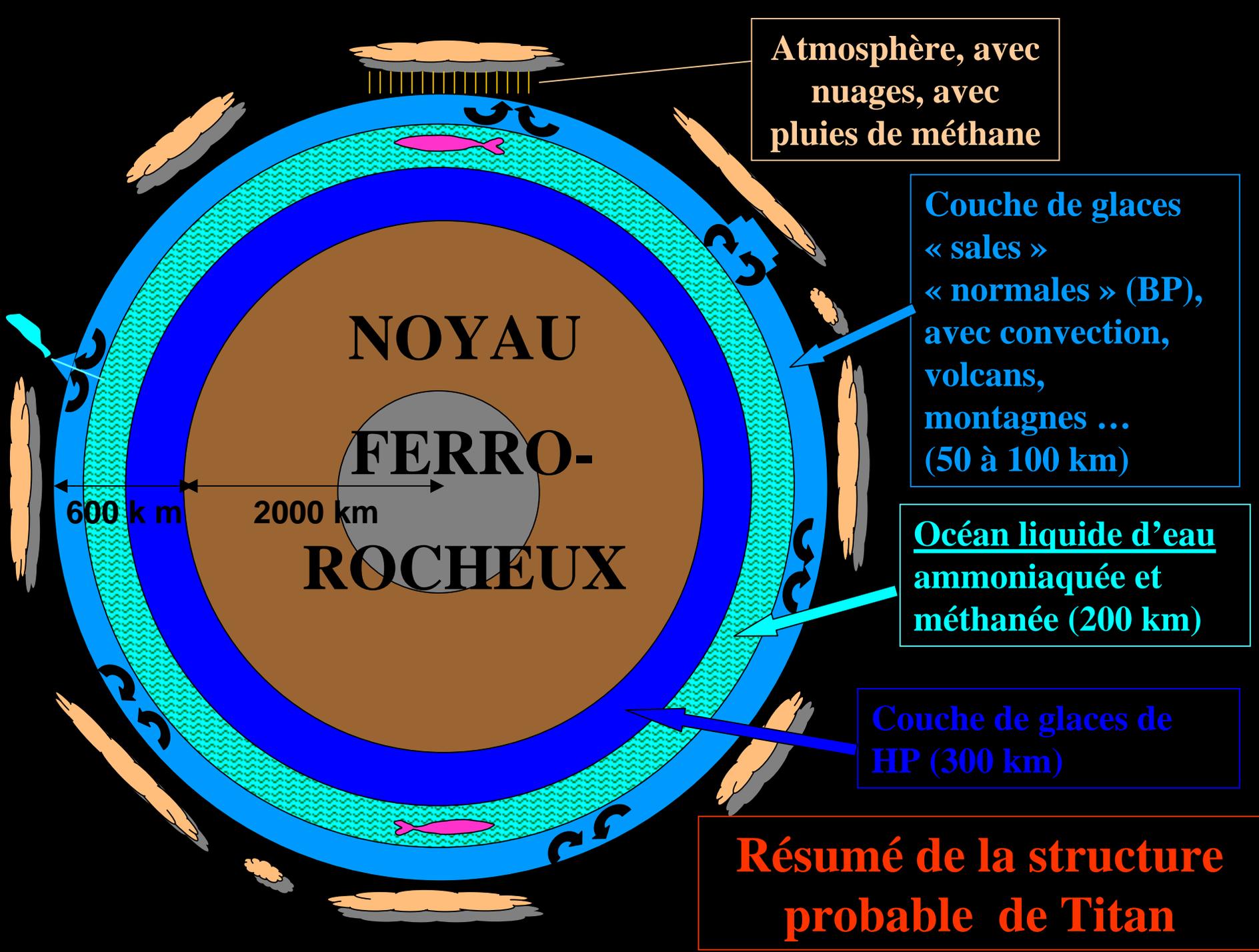
Region 2



18 mars 2006

500 km

**Le plus bel exemple de « volcanisme actif » probable, sans doute un recouvrement eau + matières organiques (hydrocarbures lourds), vu aux IR.**

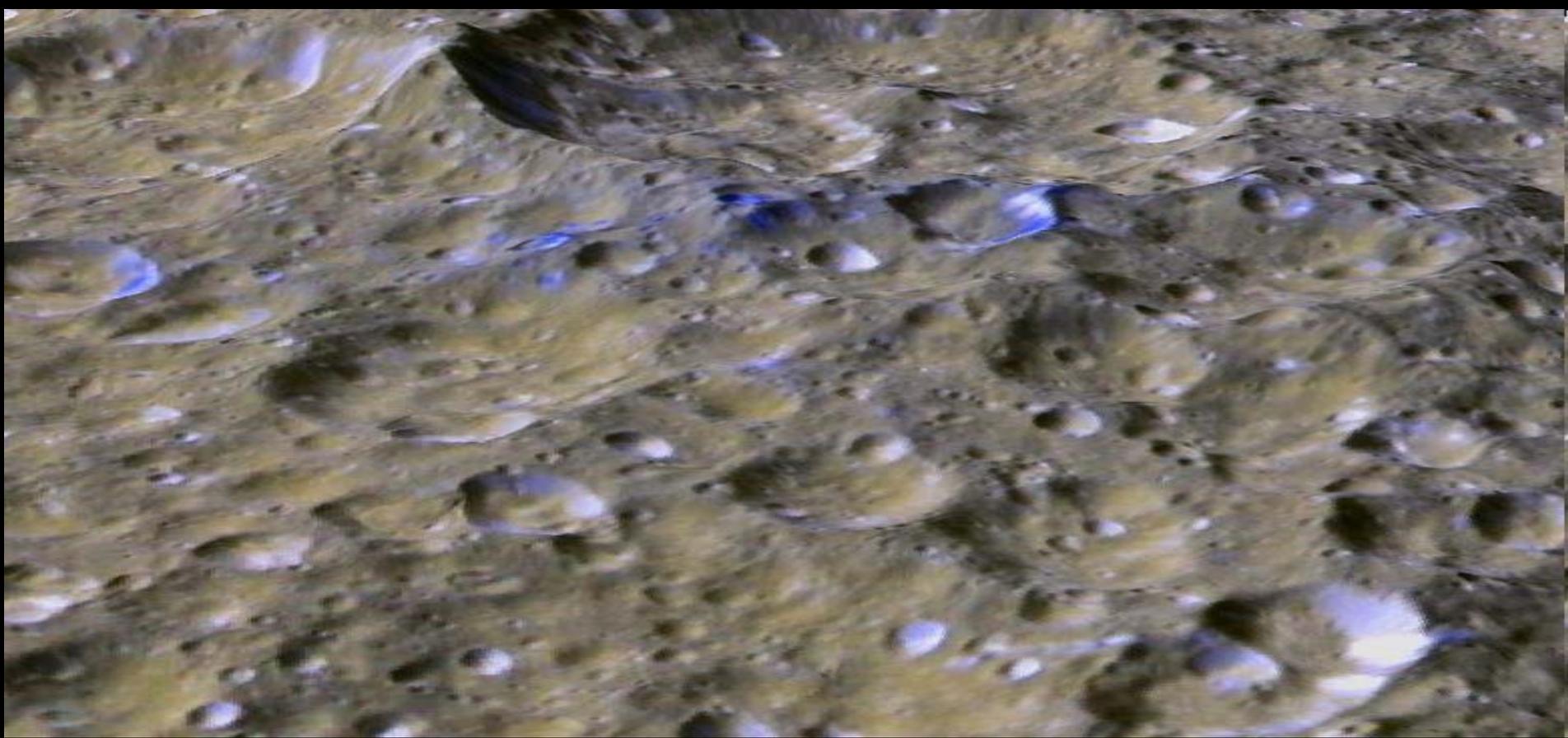


**On se rapproche toujours de Saturne, et on arrive  
au niveau de Rhéa (D = 1530 km ) occultant  
partiellement les anneaux**





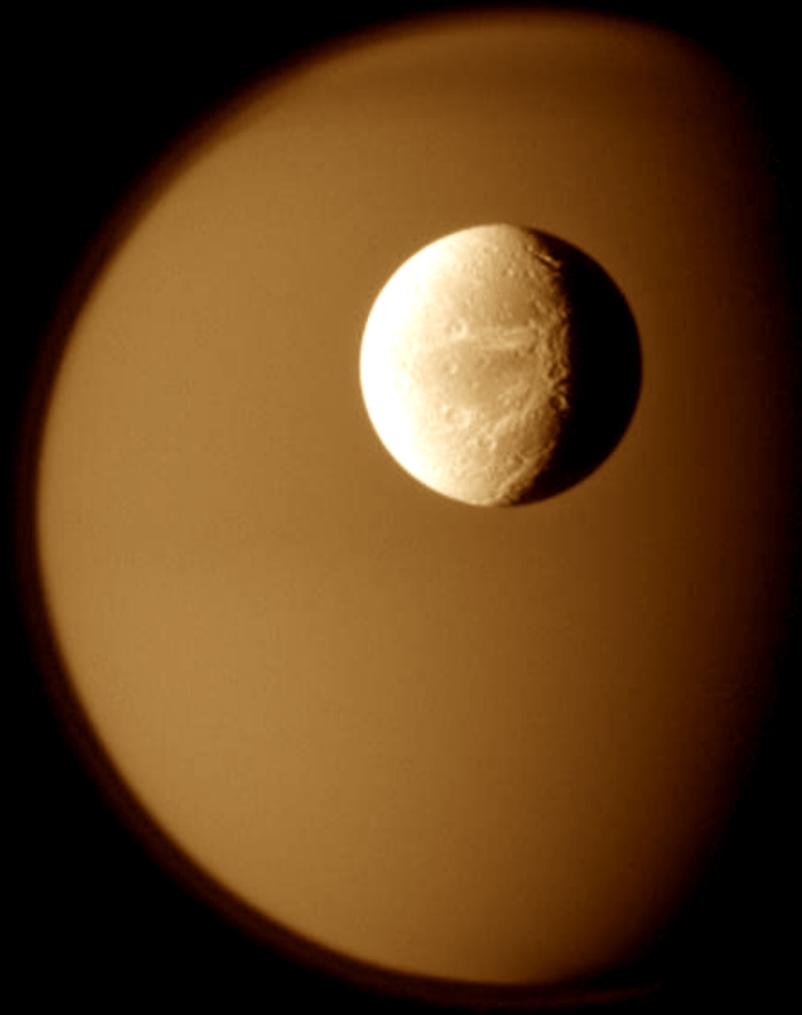
**Voici une  
mosaïque des  
meilleures  
images Cassini  
de Rhéa  
(D = 1530 km).  
Au premier  
coup d'œil, on  
voit que  
l'activité  
géologique y a  
toujours été  
nulle ou très  
faible.**



**Même diagnostique vu de près. Circulons !**

**Après Rhéa, Dioné, ( $D = 1120$  km) passant devant  
le globe de Saturne**

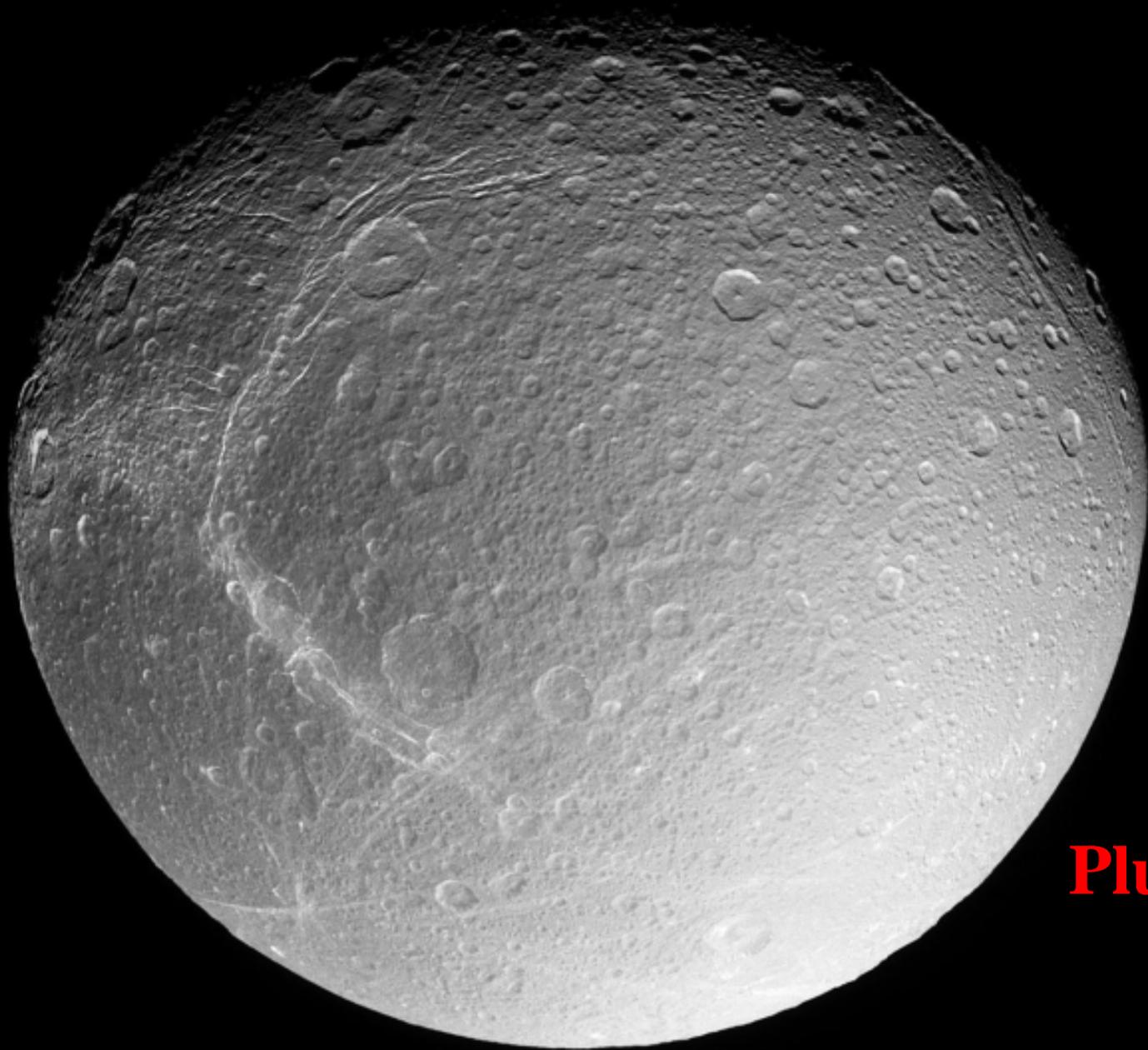




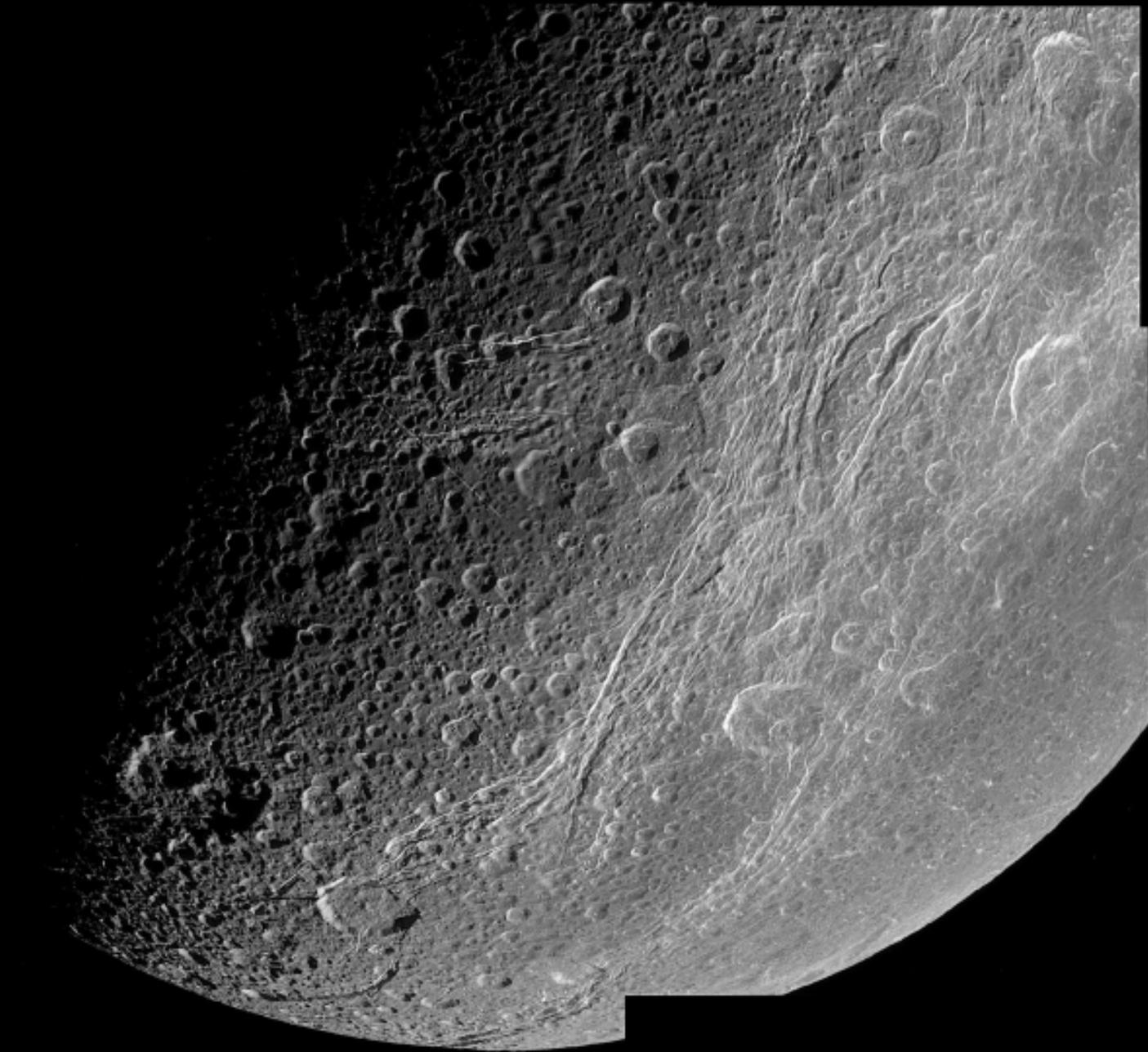
**Ici, Dioné passant  
devant Titan**



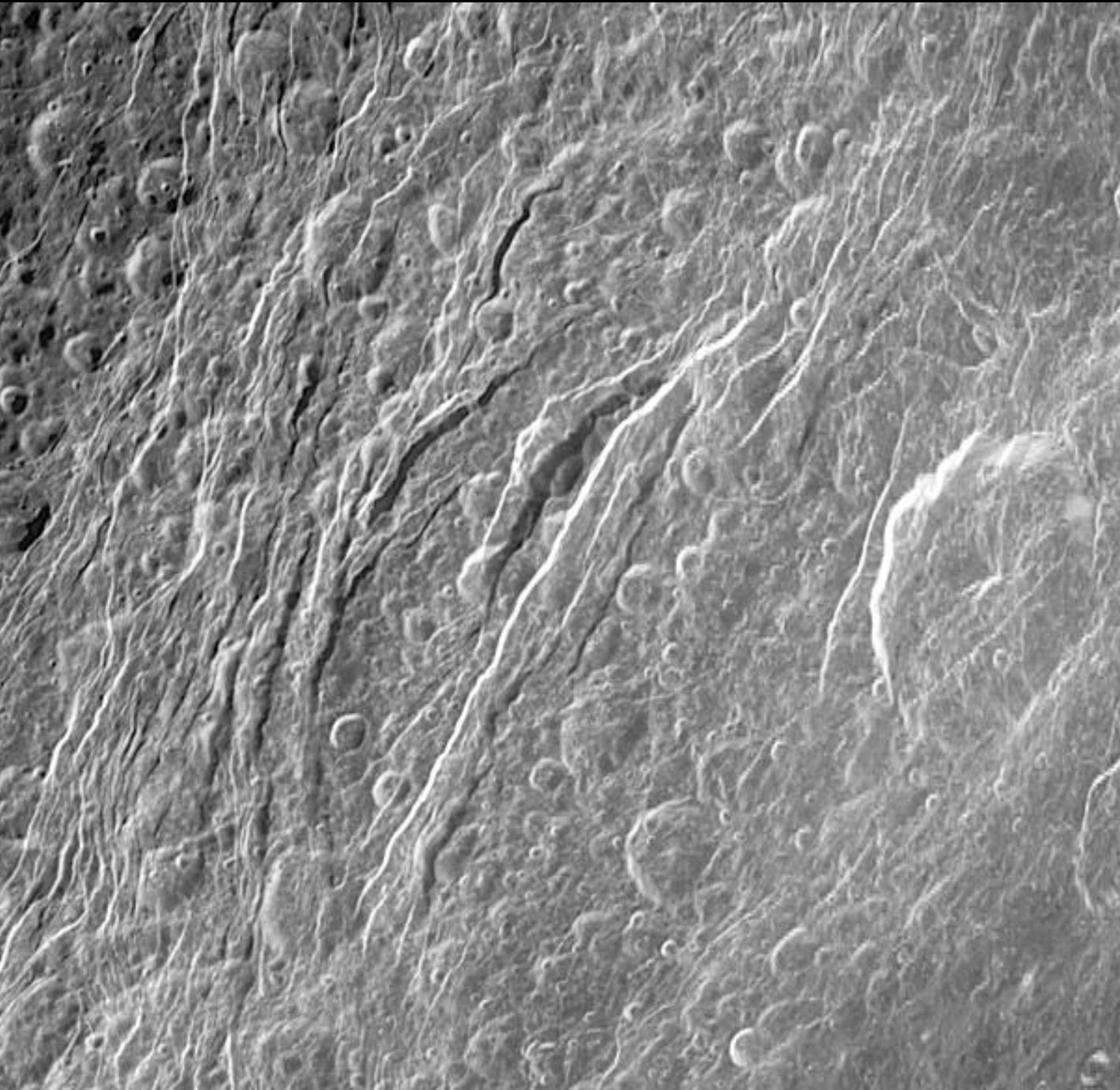
**Saturne,  
les anneaux  
vus par la  
tranche,  
leur ombre  
sur  
Saturne, et  
Dioné**



**Plus près !**



**On  
s'approche,  
et on voit  
des failles  
(en  
extension).**



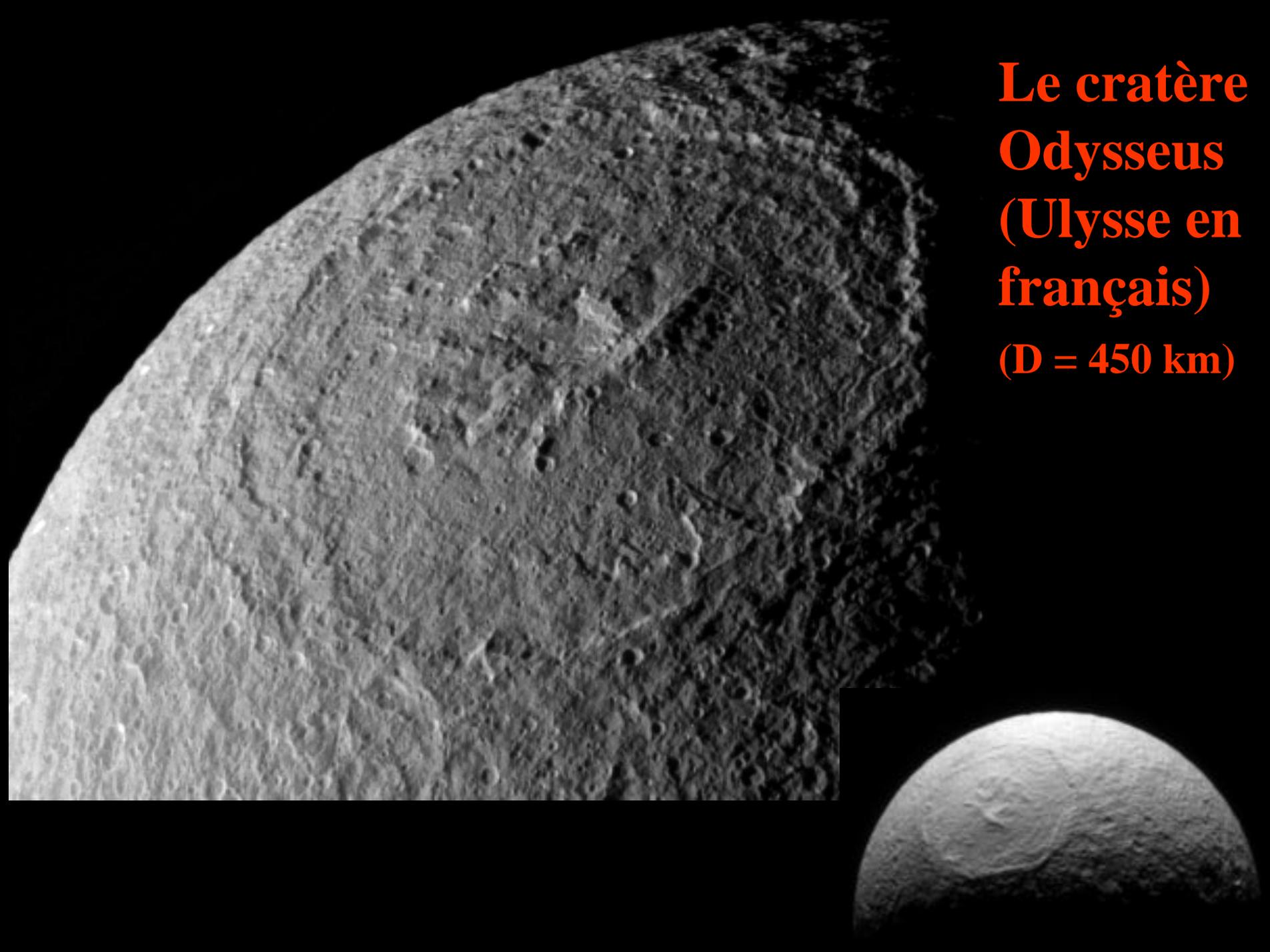
**Gros plan  
sur ces  
failles, dont  
l'origine  
reste bien  
mystérieuse.  
Elles sont  
« jeunes »  
car elles  
recoupent de  
nombreux  
cratères**

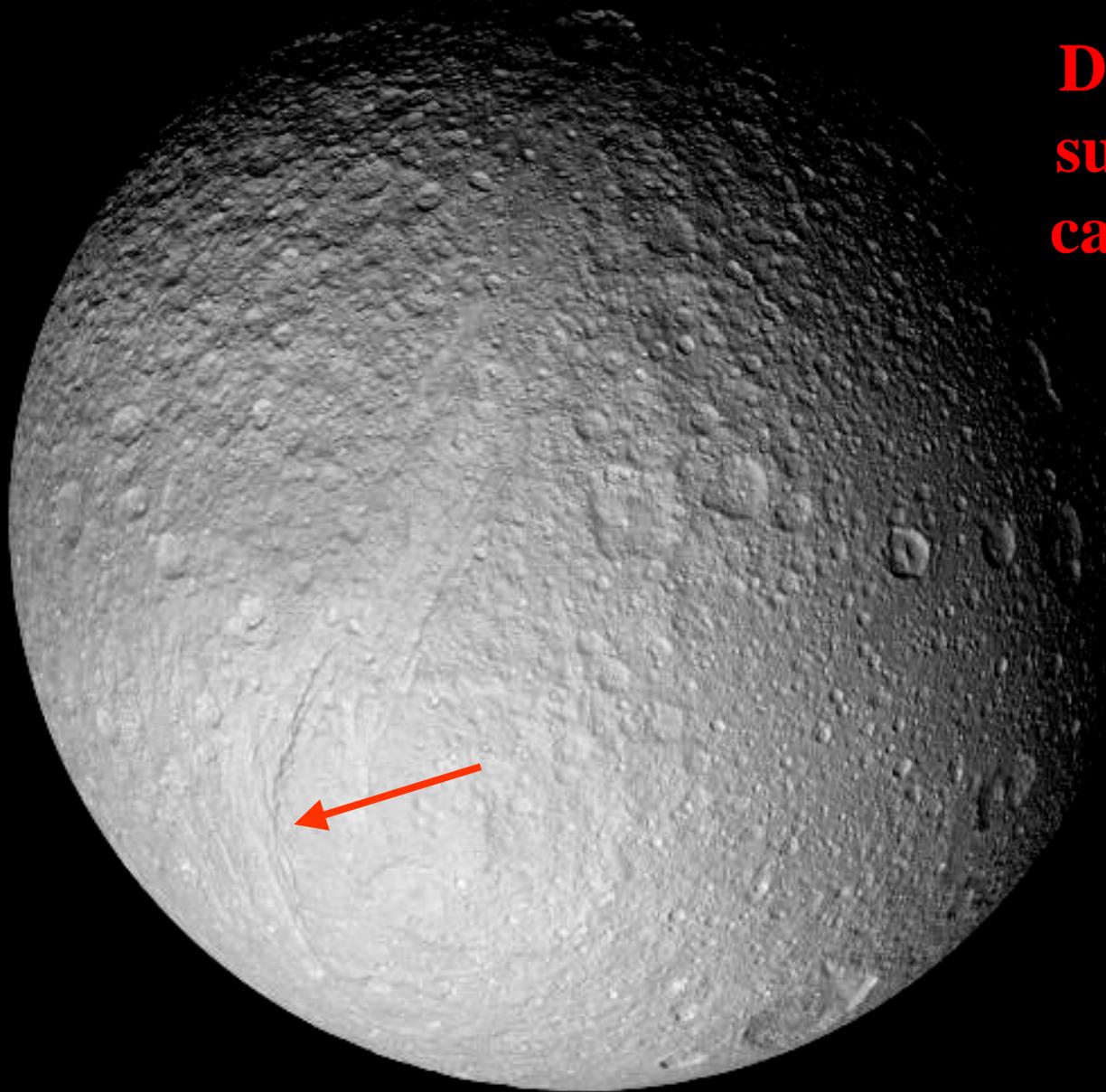
**Après Dioné, Téthys  
(D = 1050 km)**



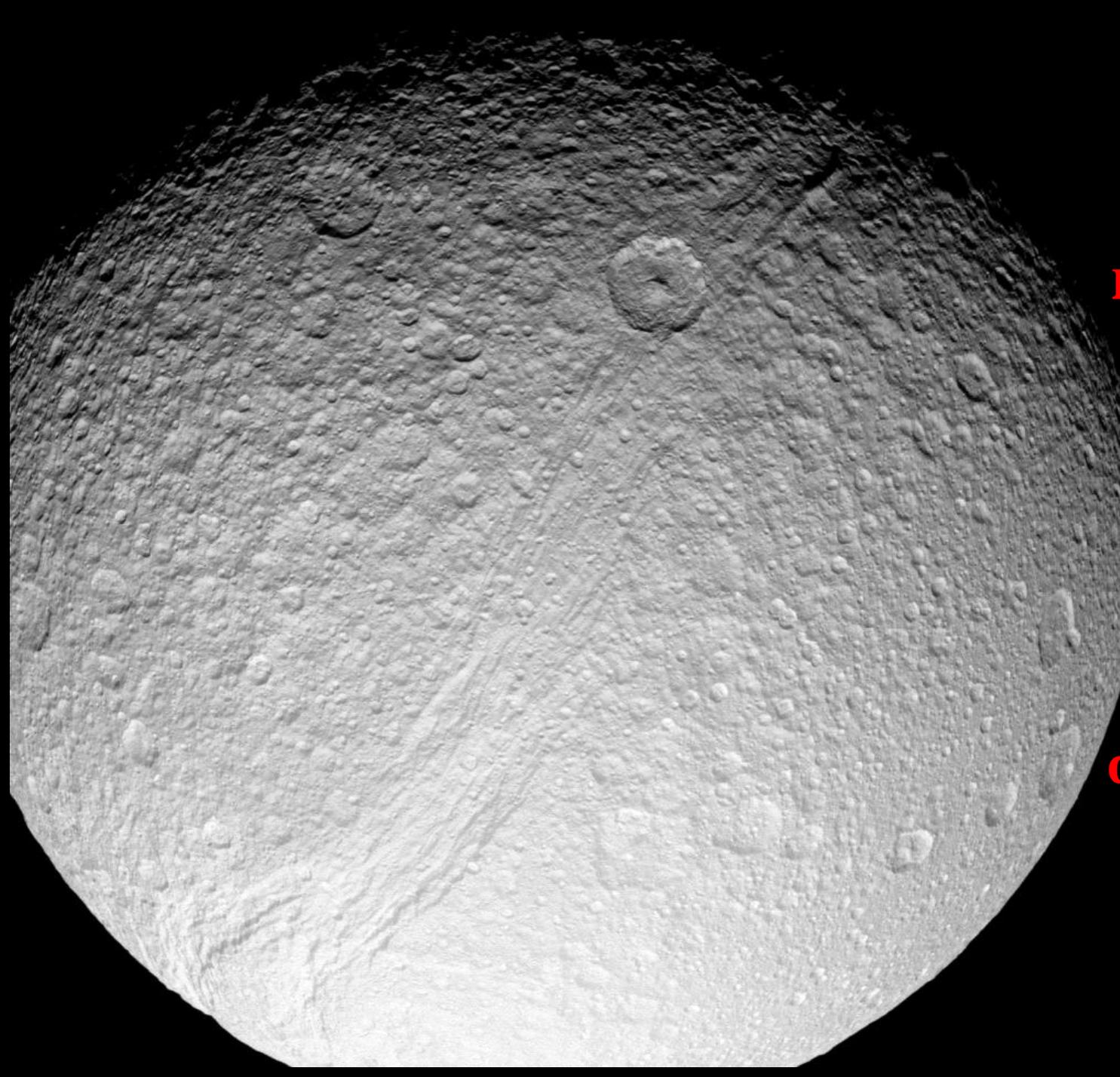
**Trois vues de plus en  
plus rapprochées,  
avec vue sur Pénélope  
et Odysseus (Ulysse)**

**Le cratère  
Odysseus  
(Ulysse en  
français)  
(D = 450 km)**



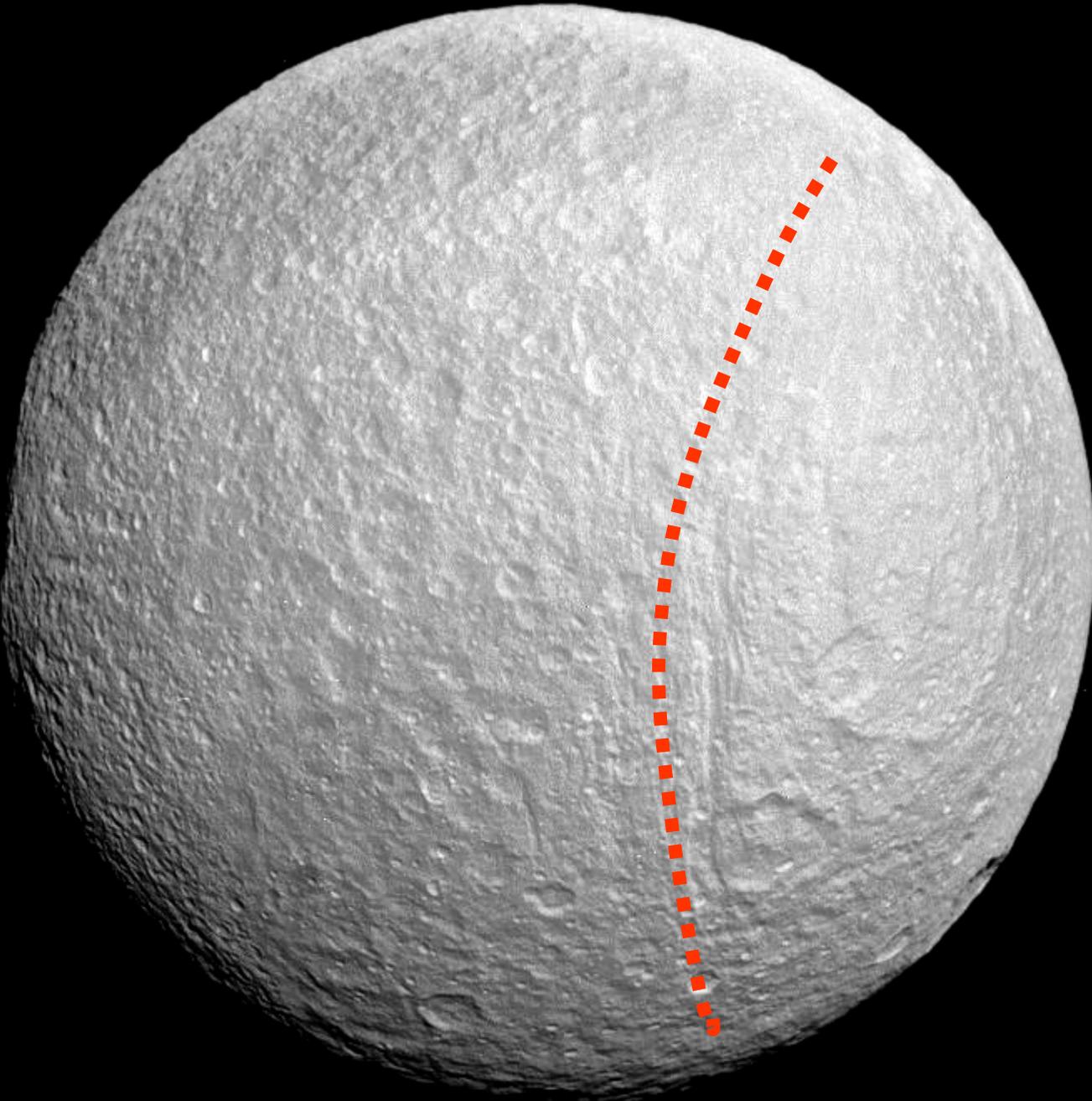


**De l'autre coté, vue  
sur Ithaca Chasma,  
canyons tectoniques  
limités par des  
failles.**

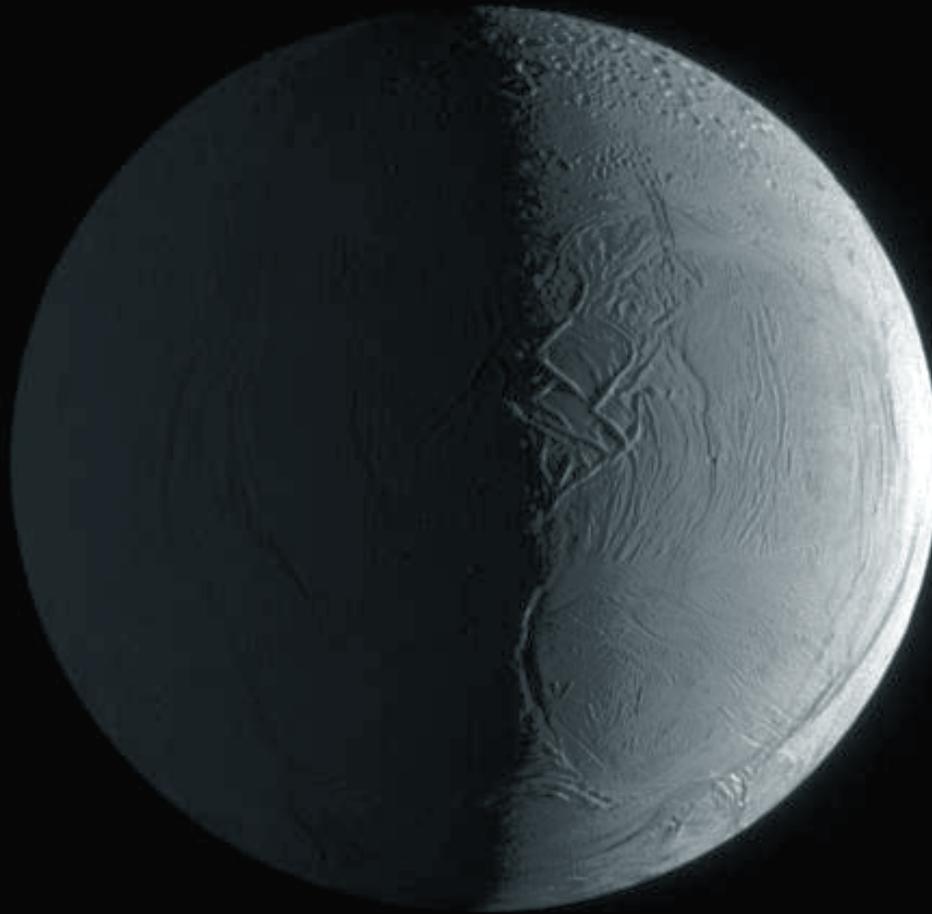


**Vue  
rapprochée  
sur Ithaca  
Chasma :  
des canyons  
tectoniques  
« anciens »,  
car perforés  
de nombreux  
cratères .**

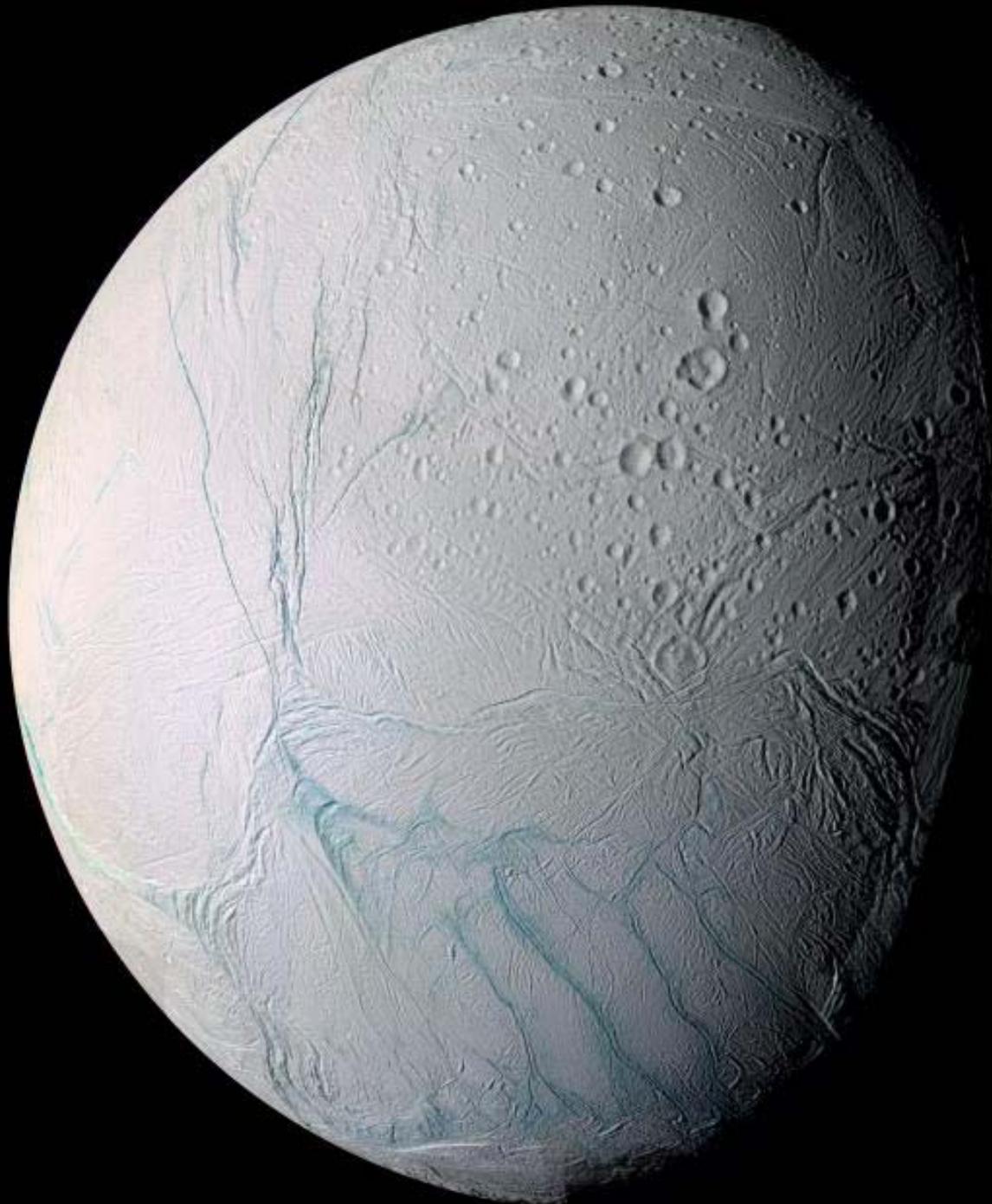
**Odysseus**



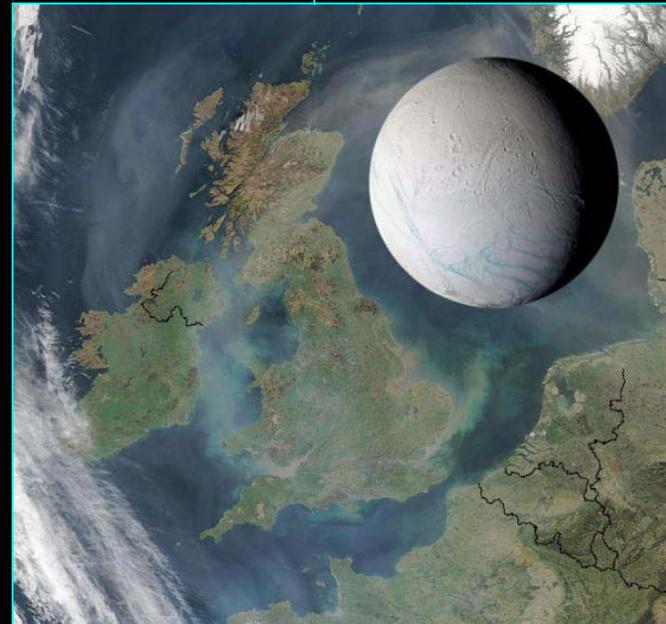
**Il y a une  
relation  
géométrique  
entre le  
cratère  
Odysseus et  
les fossés  
Ithaca  
Chasma,  
relation  
connue depuis  
1981  
(Voyager)**

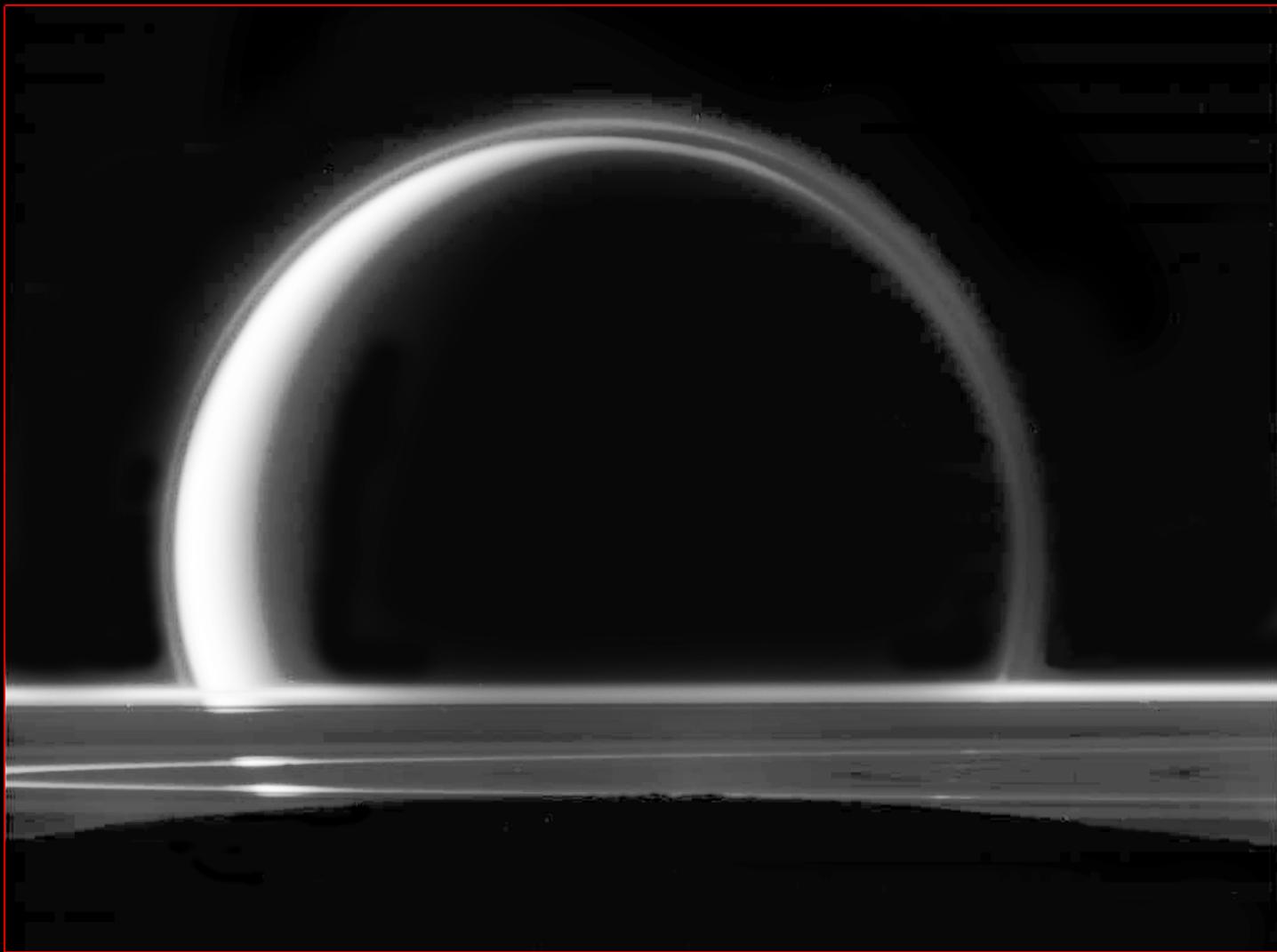


**Et voici un  
quartier  
d'Encelade  
( $D = 510$  km),  
dont la face  
sombre est  
bien éclairée  
par la lumière  
cendrée  
venant de  
Saturne**

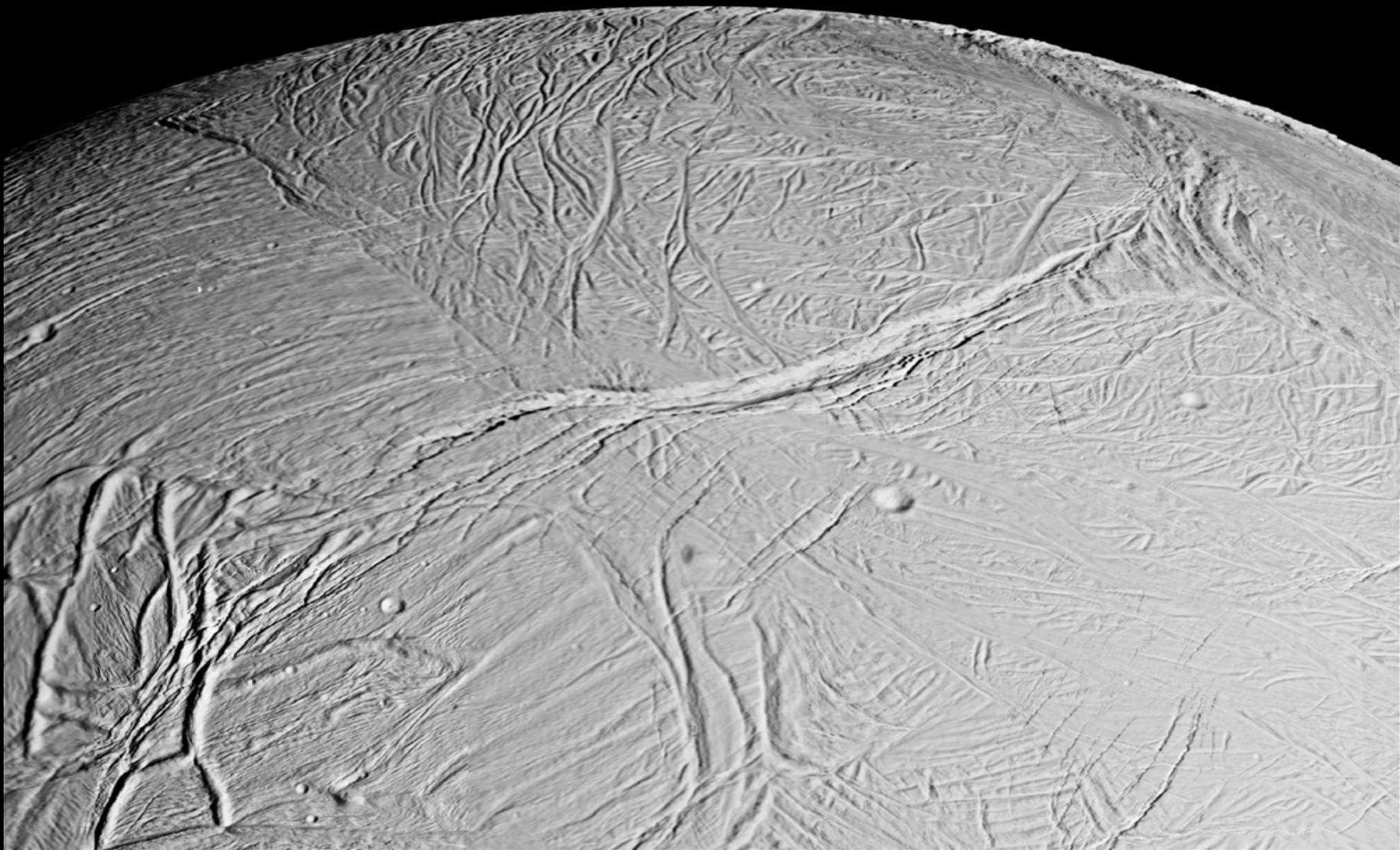


**Pour vous rappeler la  
petite taille  
d'Encelade**





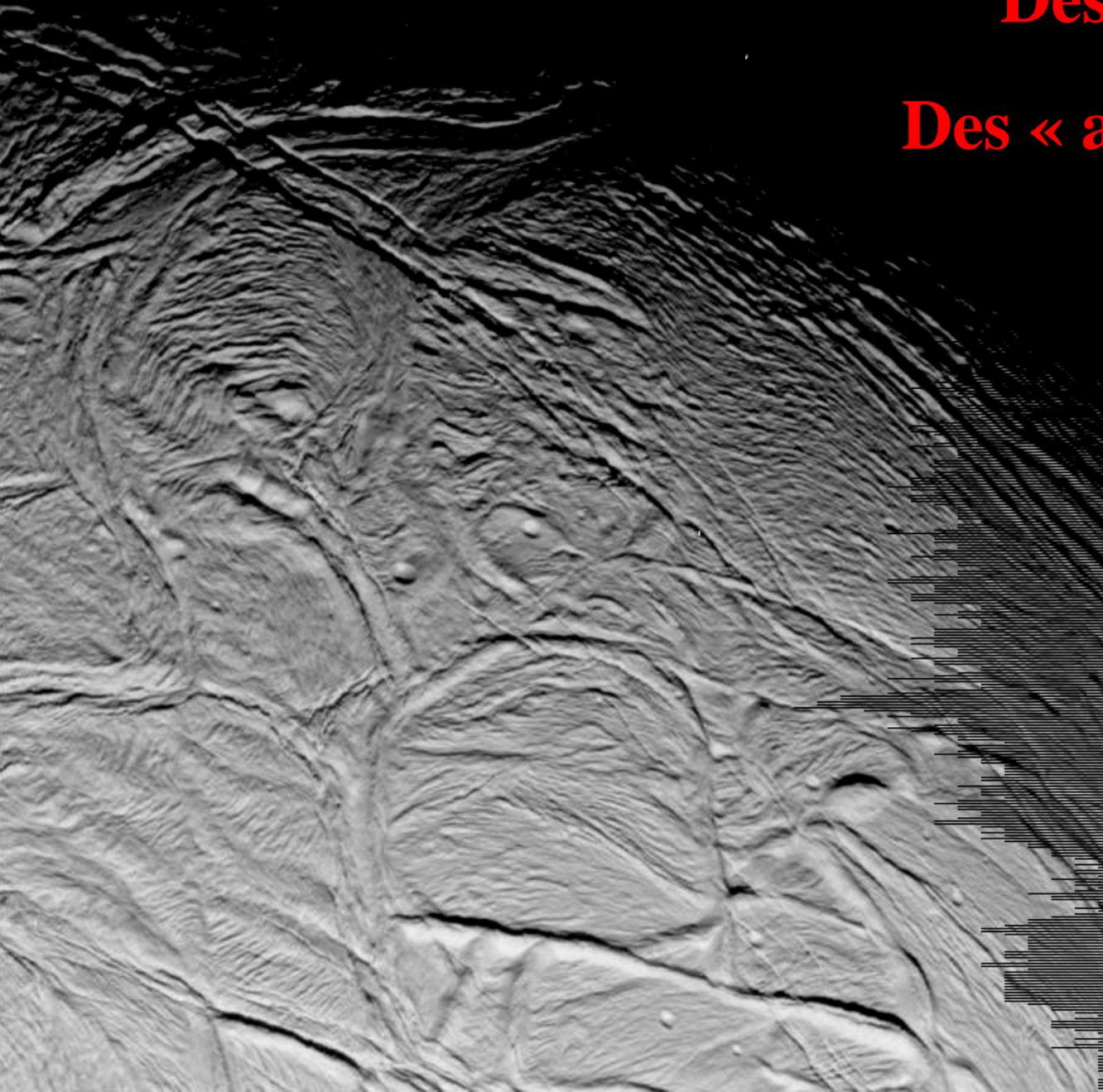
**Une image étonnante : au 1er plan, Encelade (coté nuit) masquant partiellement les anneaux, qui eux même masquent partiellement Titan**

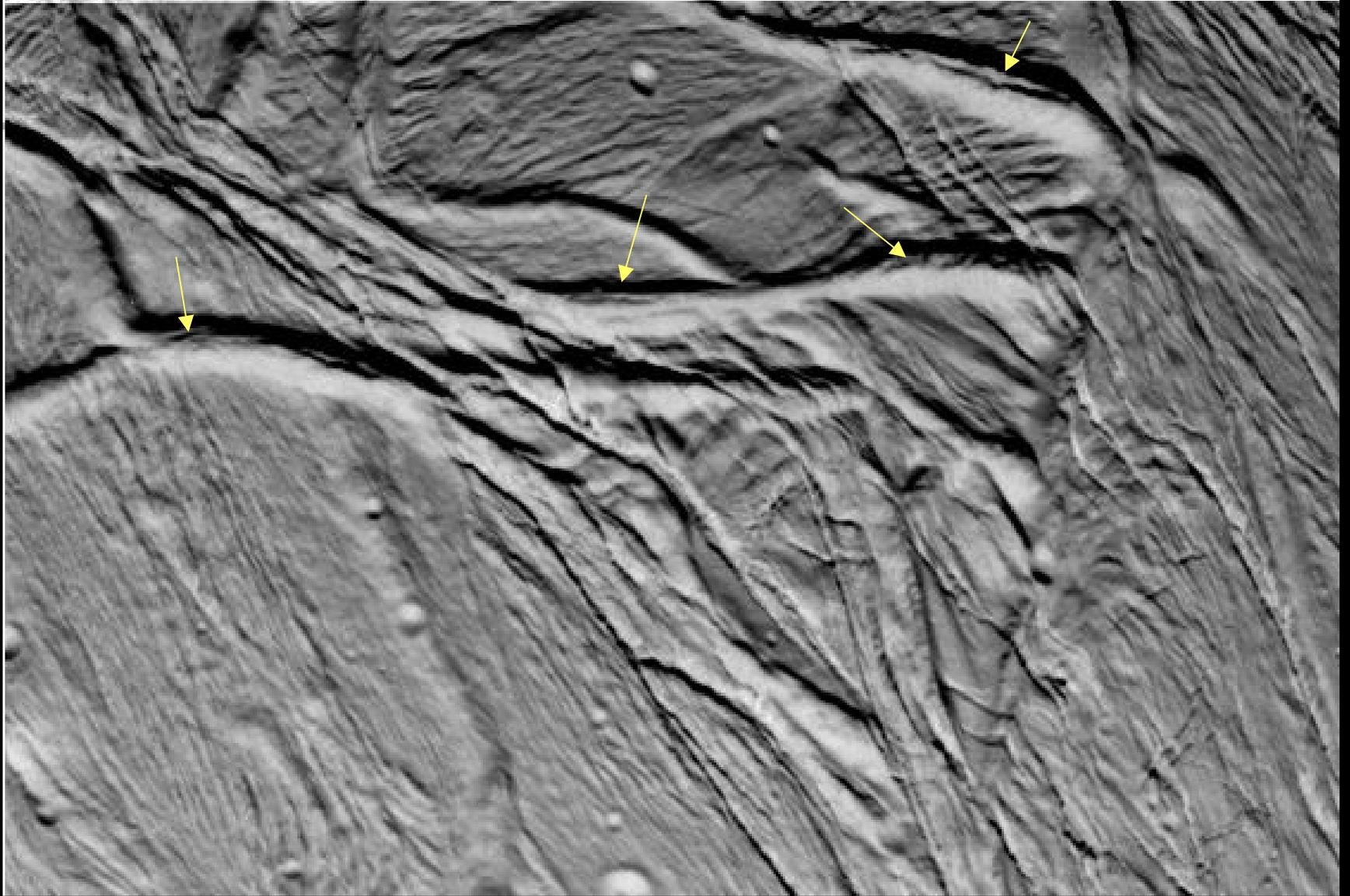


**Des images rapprochées du 1er survol (02 / 2005).  
Quel satellite, quelle activité !!**

**Des giga-rides .**

**Des « anticlinaux » ??**



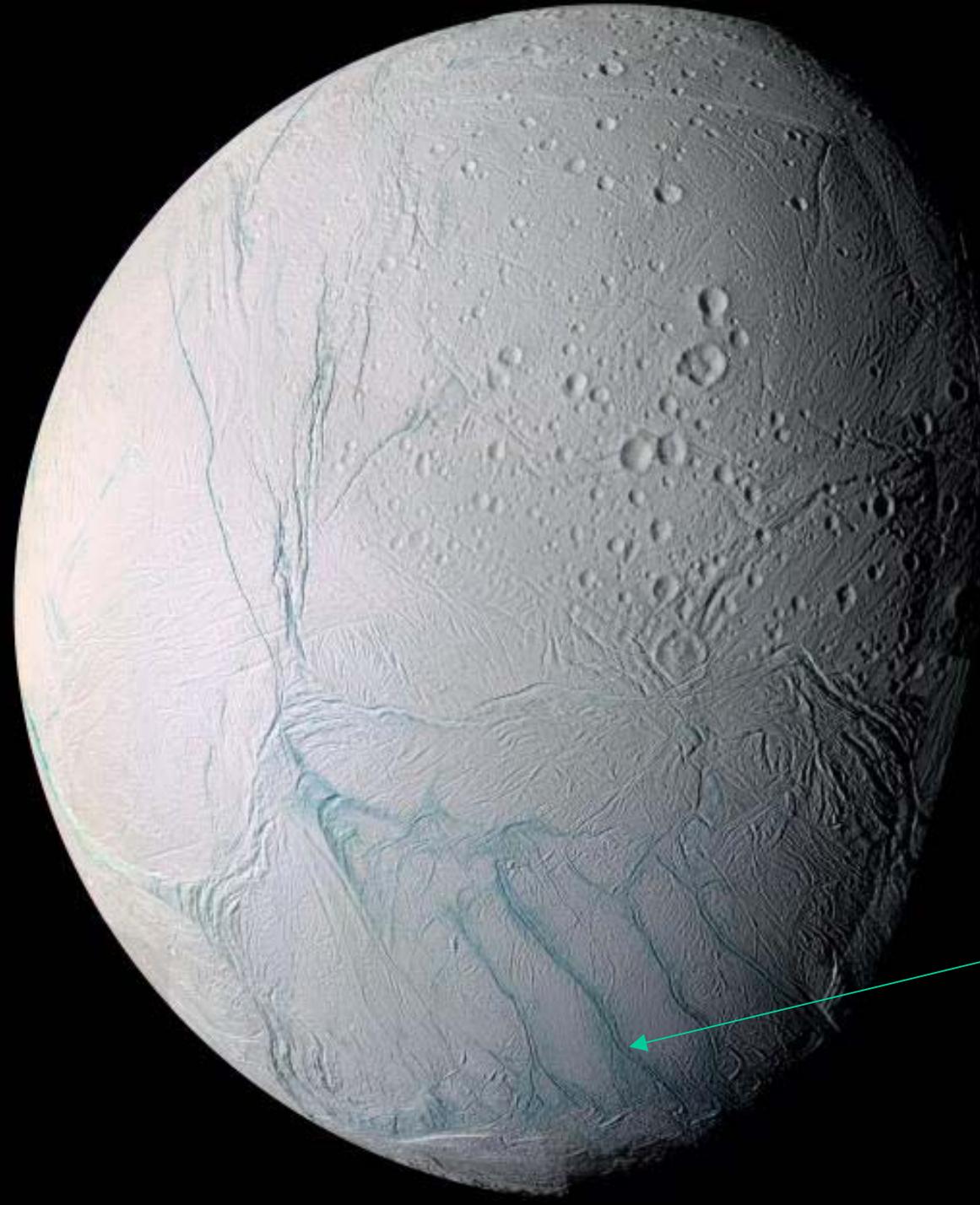


**Détail de ces giga-rides. Parfois, il y a une fracture sommitale.**



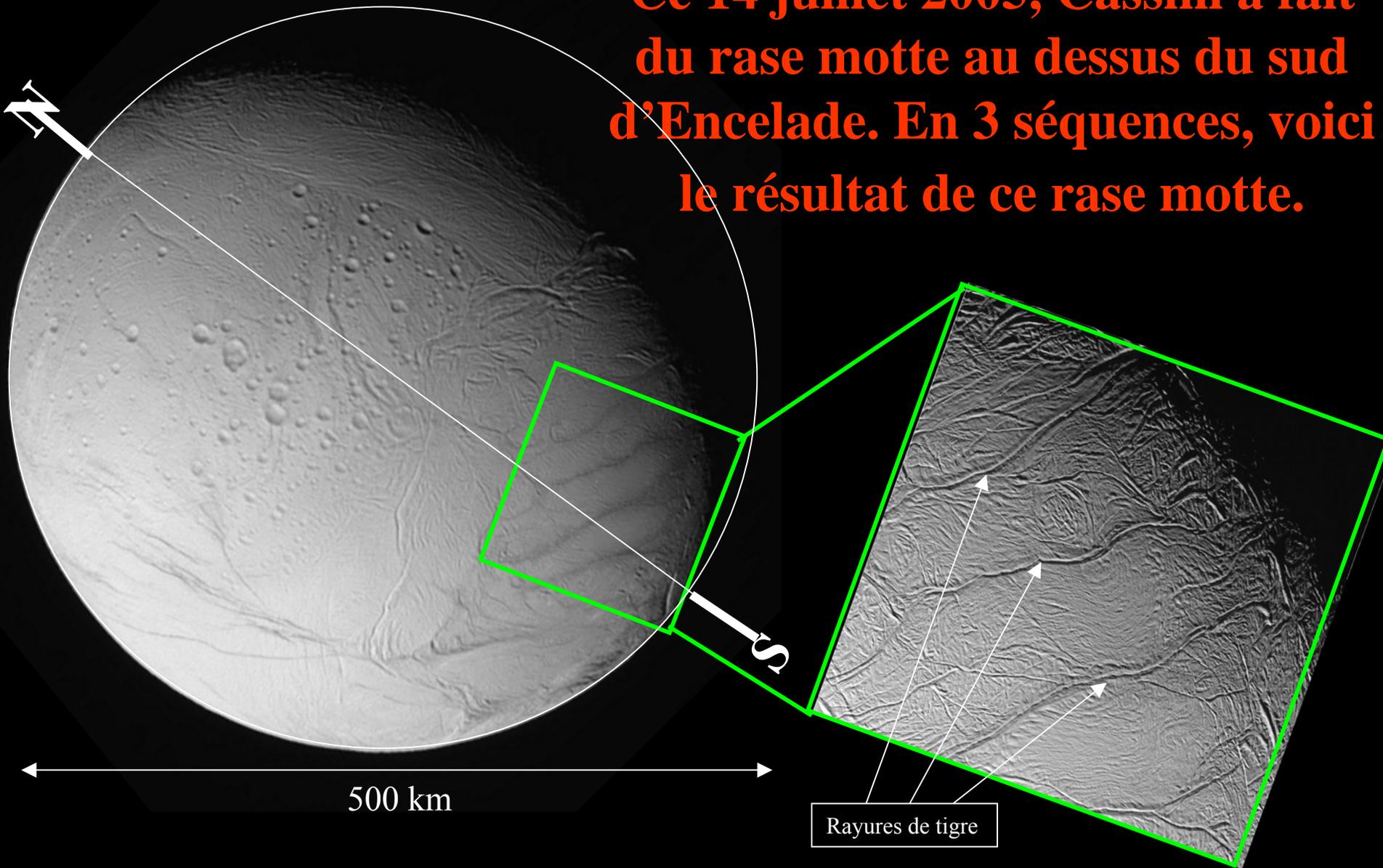
**Cela ressemble à de giga-  
« rides de pression » dont  
voici 2 mini-équivalents  
terrestres, à Hawaï et en  
Antarctique**

**Le 14 juillet  
2005, Cassini a  
survolé  
Encelade par le  
sud**

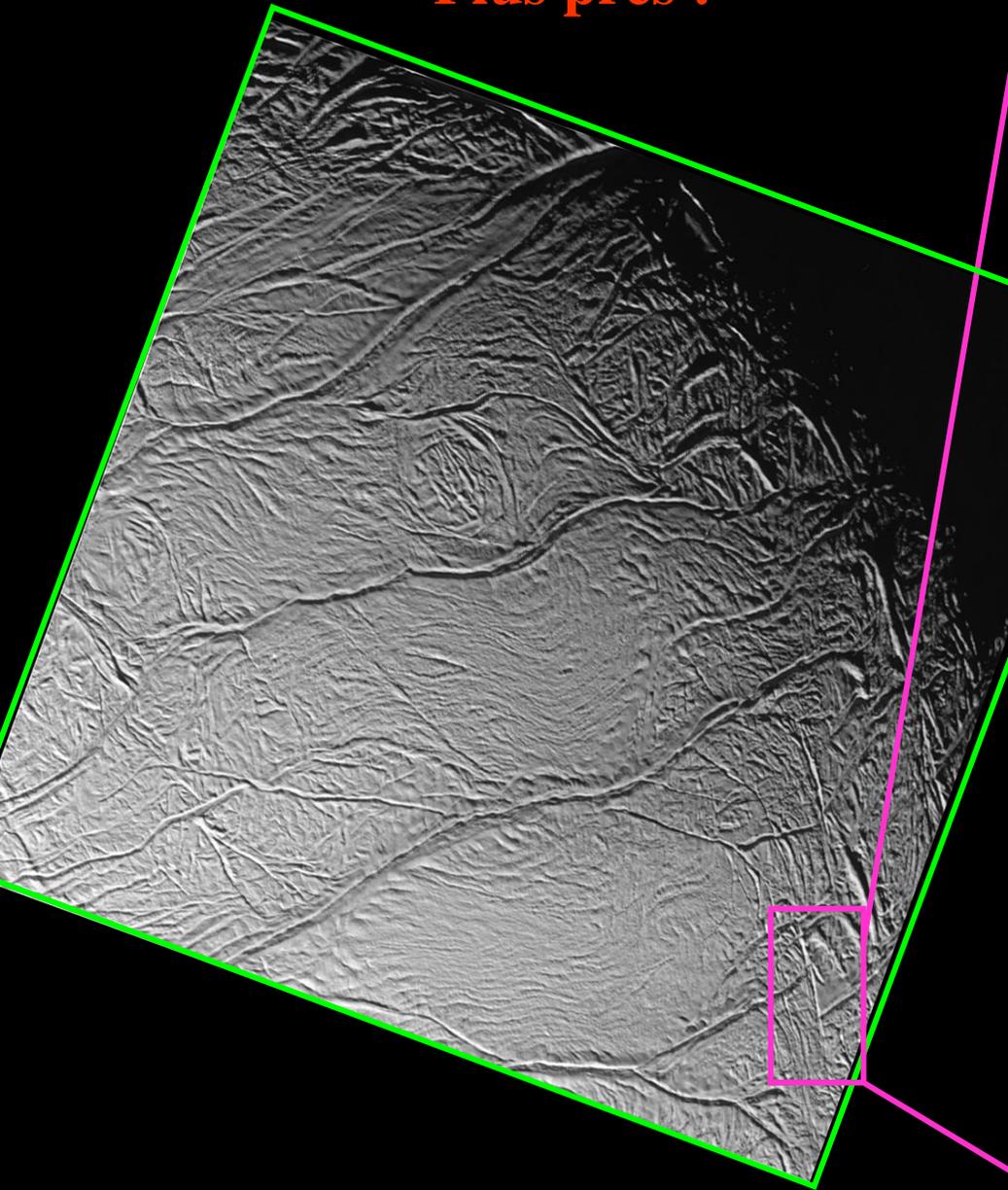


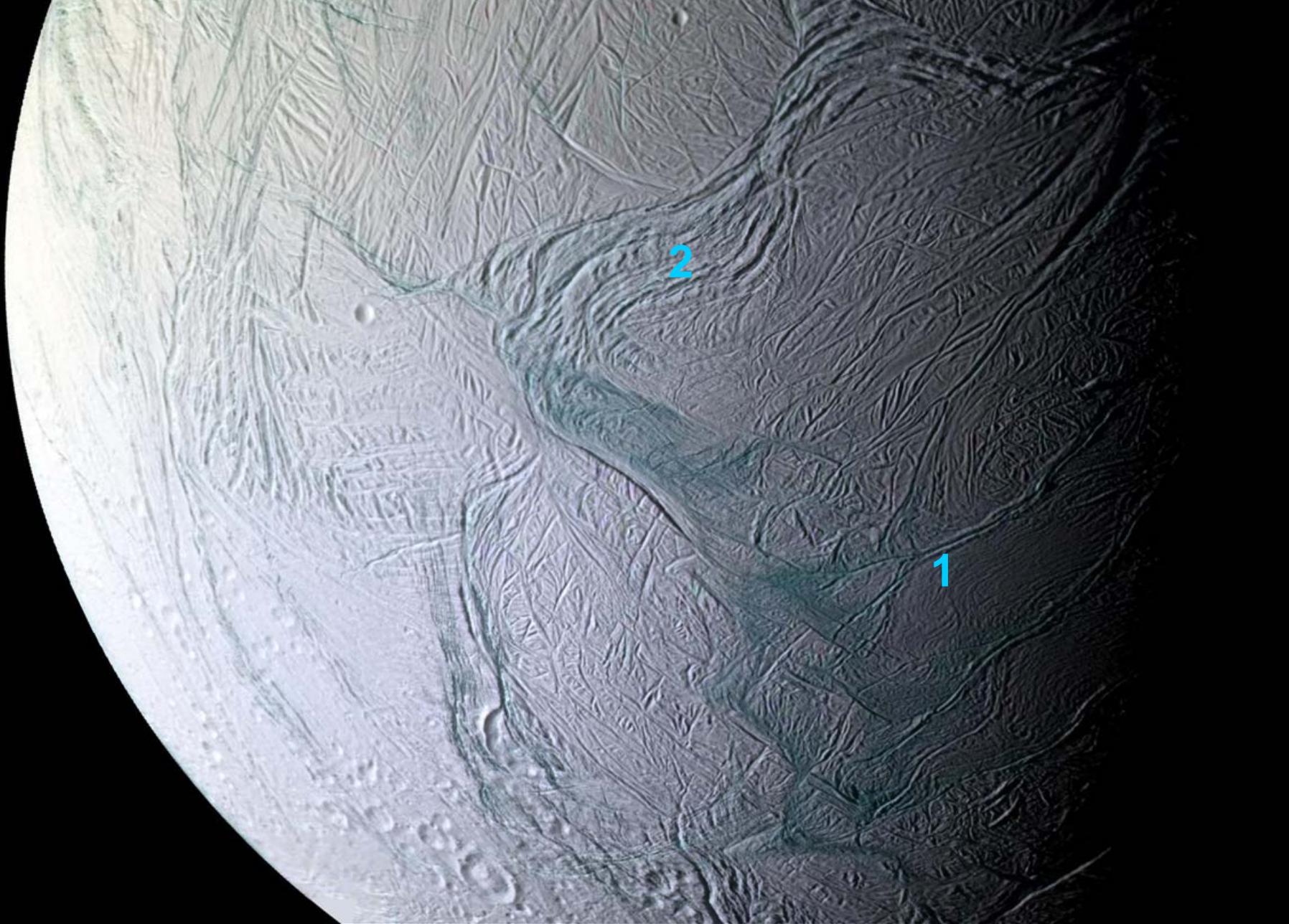
**Le Pôle Sud, région  
avec moins de cratères  
et encore plus  
« tourmentée » que le  
reste, avec des  
« rayures de tigre »**

**Ce 14 juillet 2005, Cassini a fait  
du rase motte au dessus du sud  
d'Encelade. En 3 séquences, voici  
le résultat de ce rase motte.**

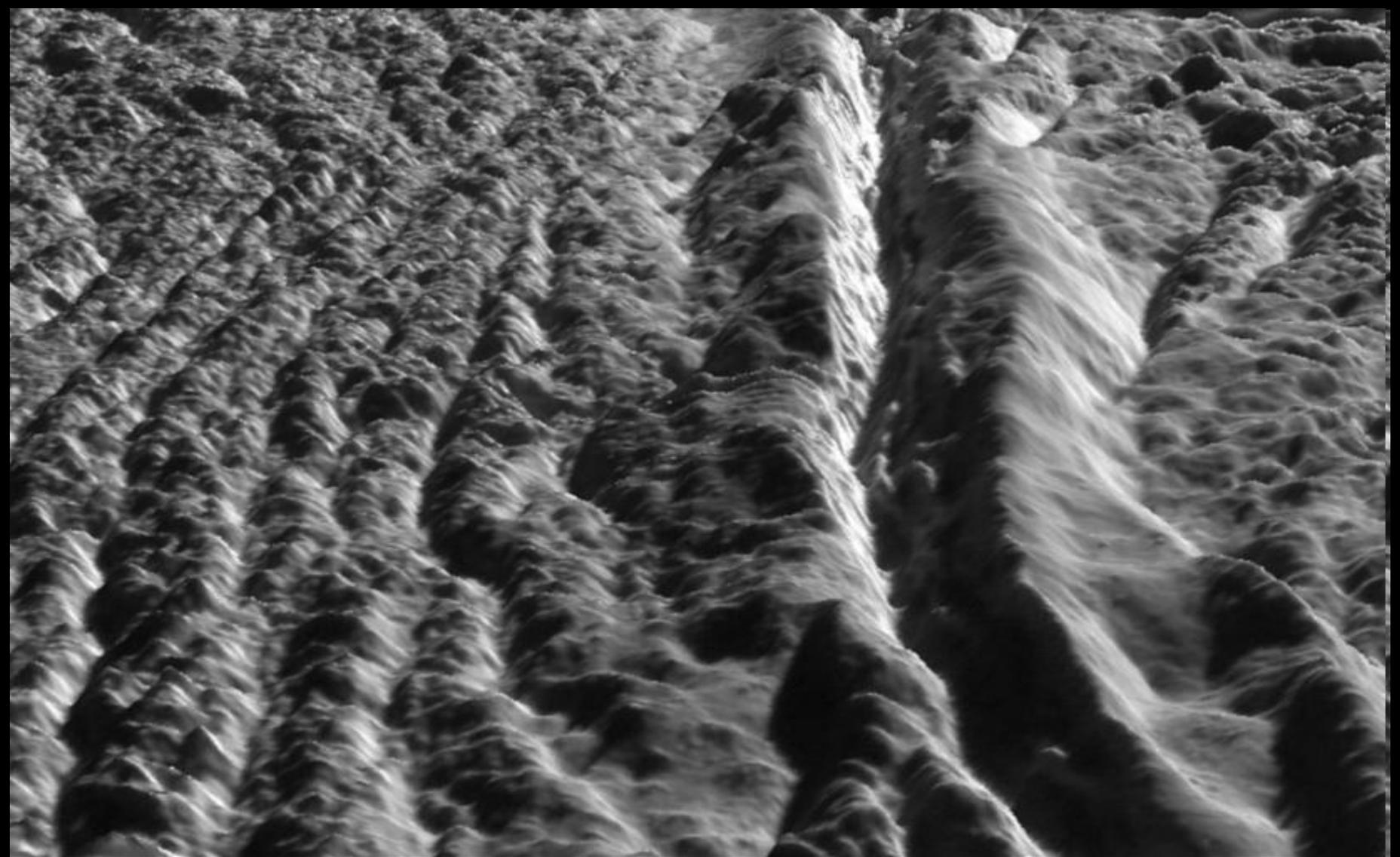


**Plus près !**





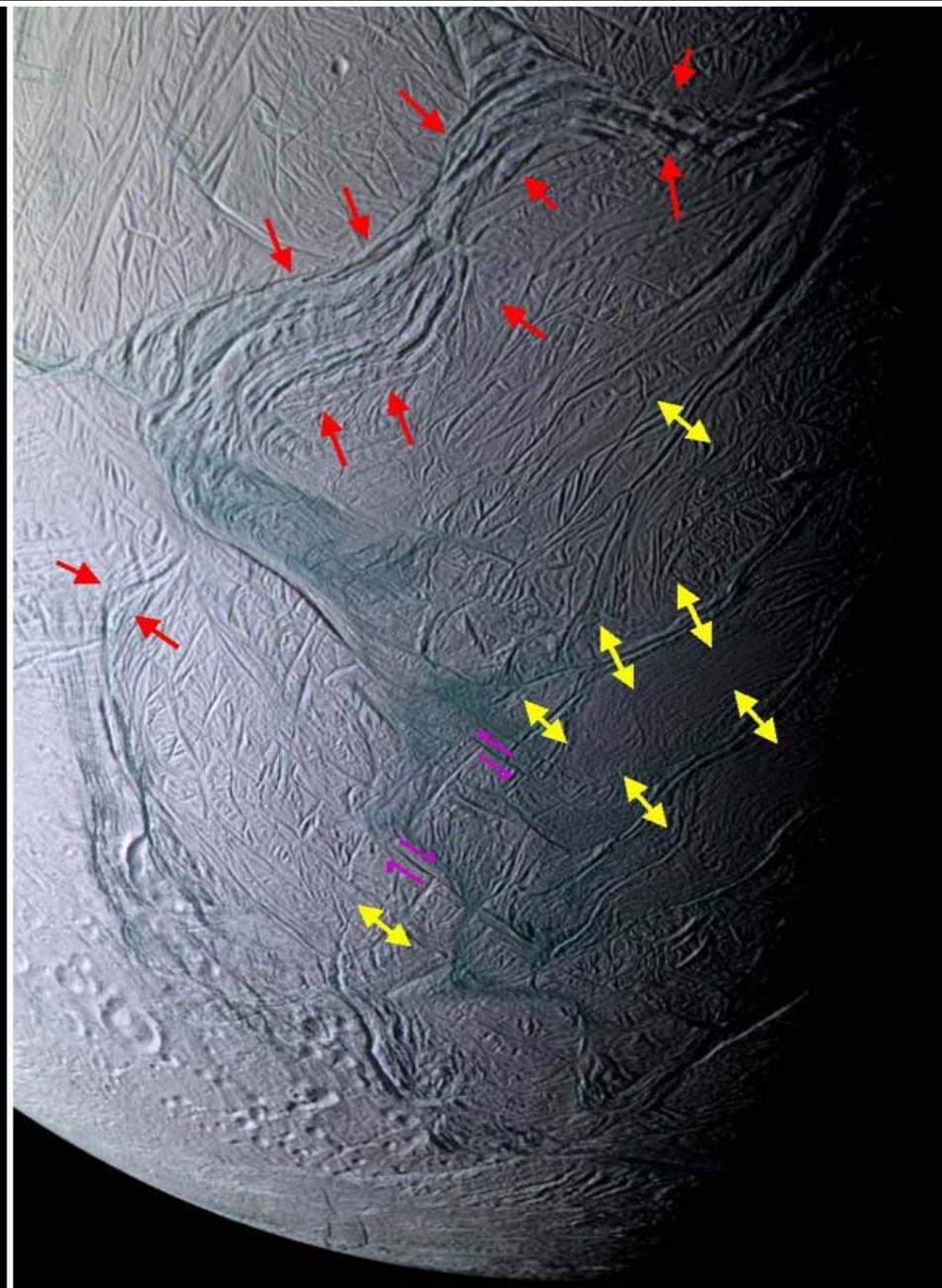
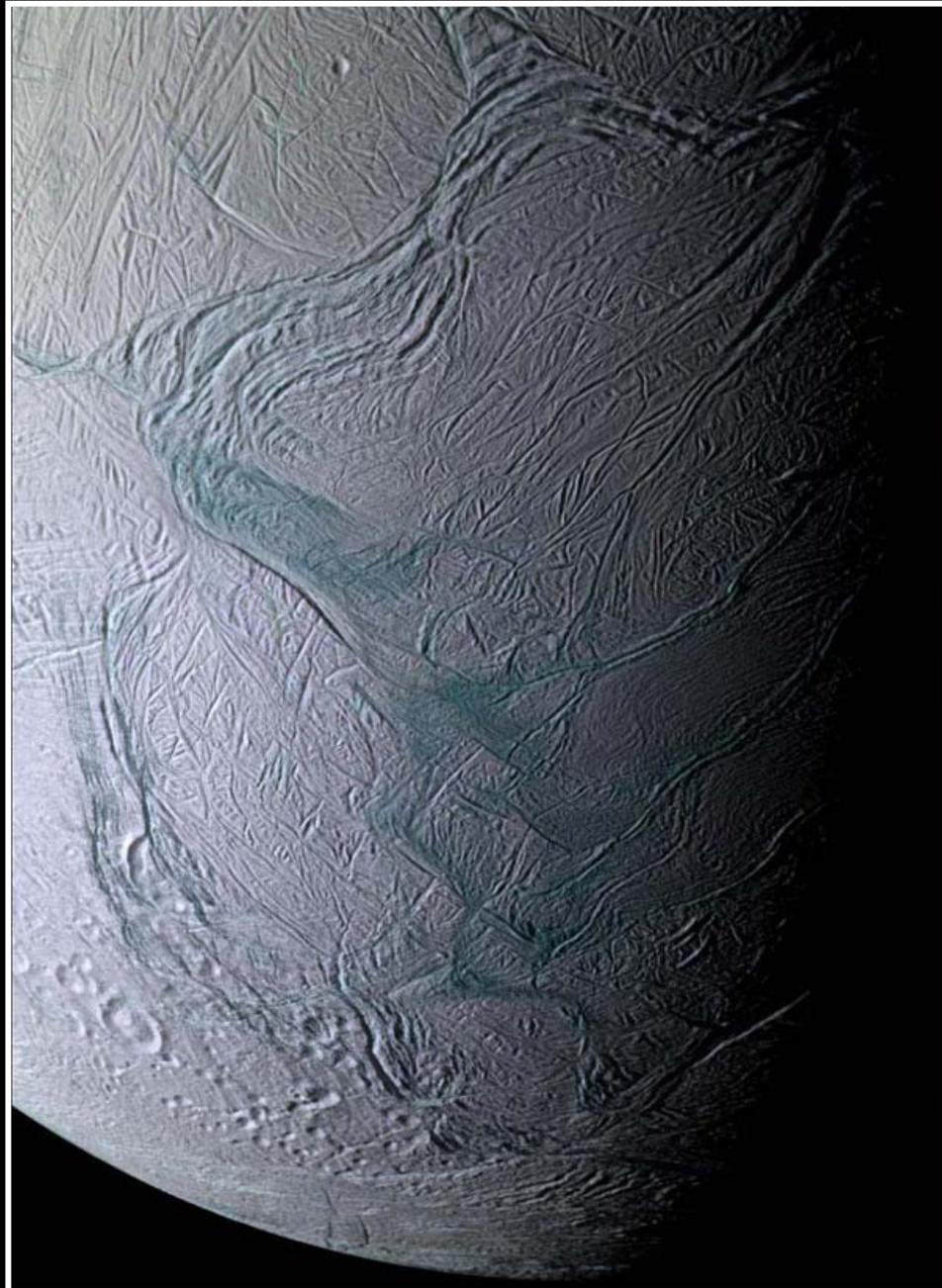
**Regardons deux détails de cette région près du Pôle Sud**



**(1) La « rayure de tigre » Damas, qui ressemble à une dorsale avec vallée axiale (dorsale lente)**



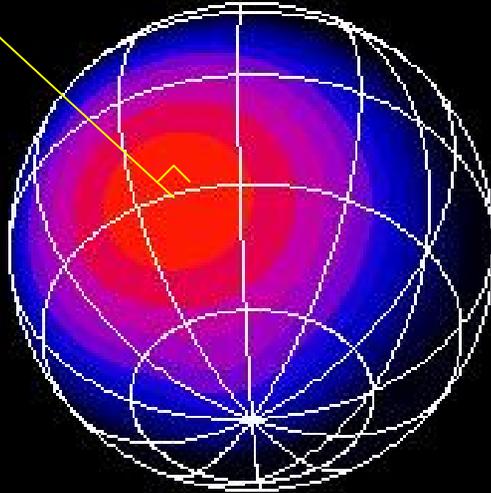
**(2) Ce fragment de Montagne Circum-Polaire ressemble à une chaîne de collision**



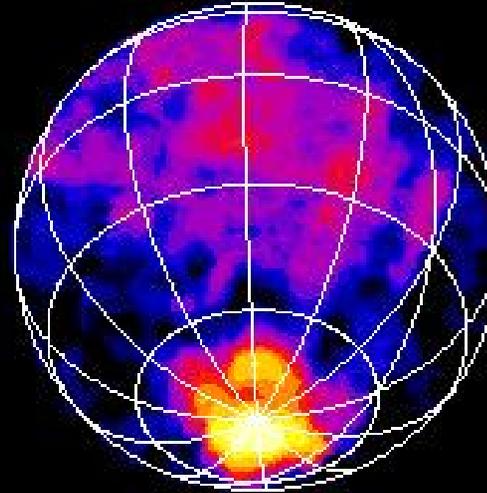
**Une pseudo tectonique des plaques sur Encelade ?**

# Enceladus Temperature Map

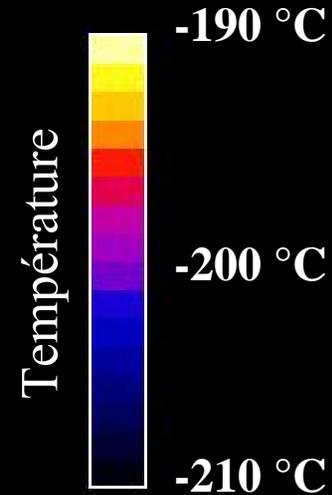
Soleil  
au  
zénith



Predicted  
Temperatures

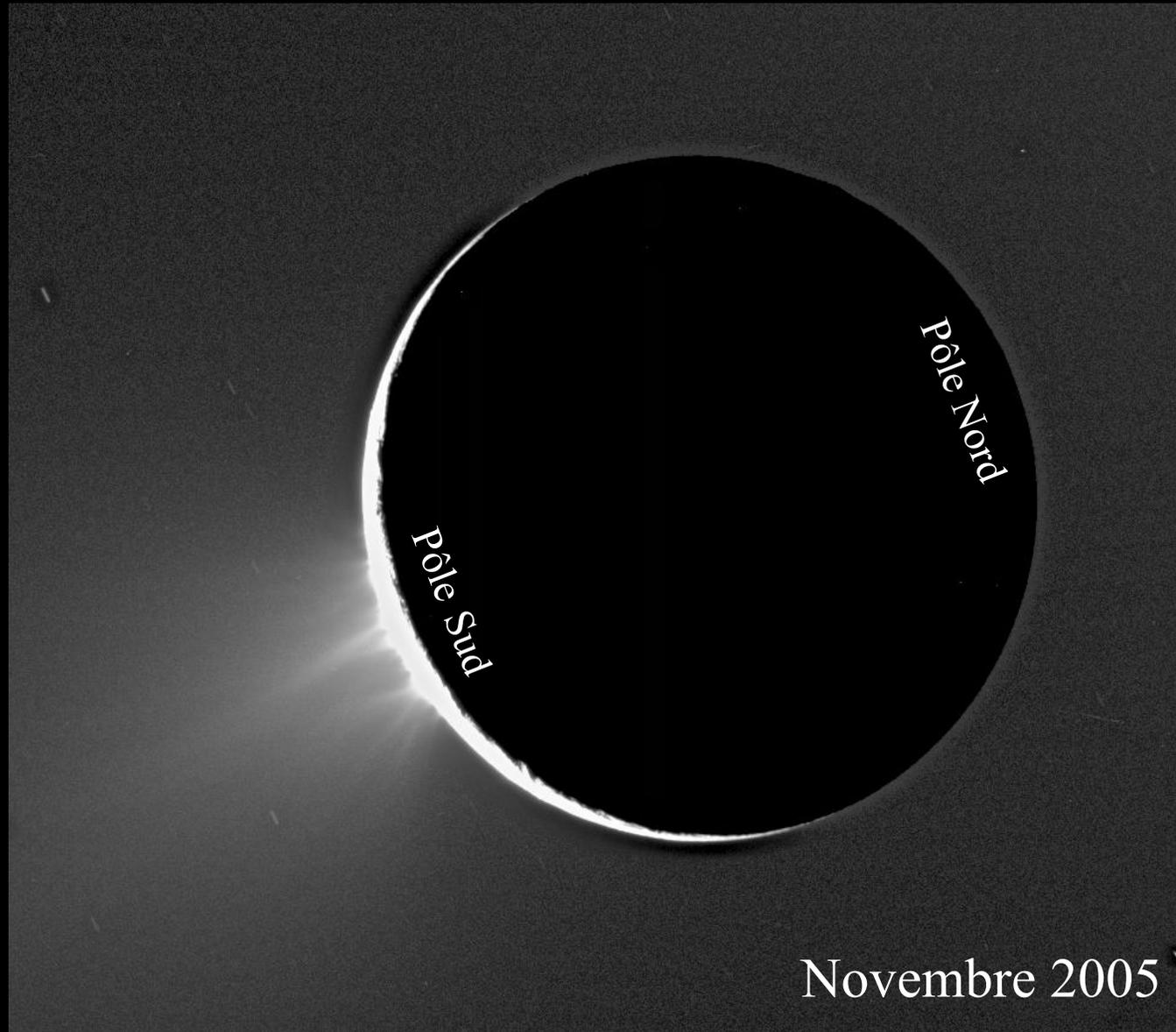


Observed  
Temperatures

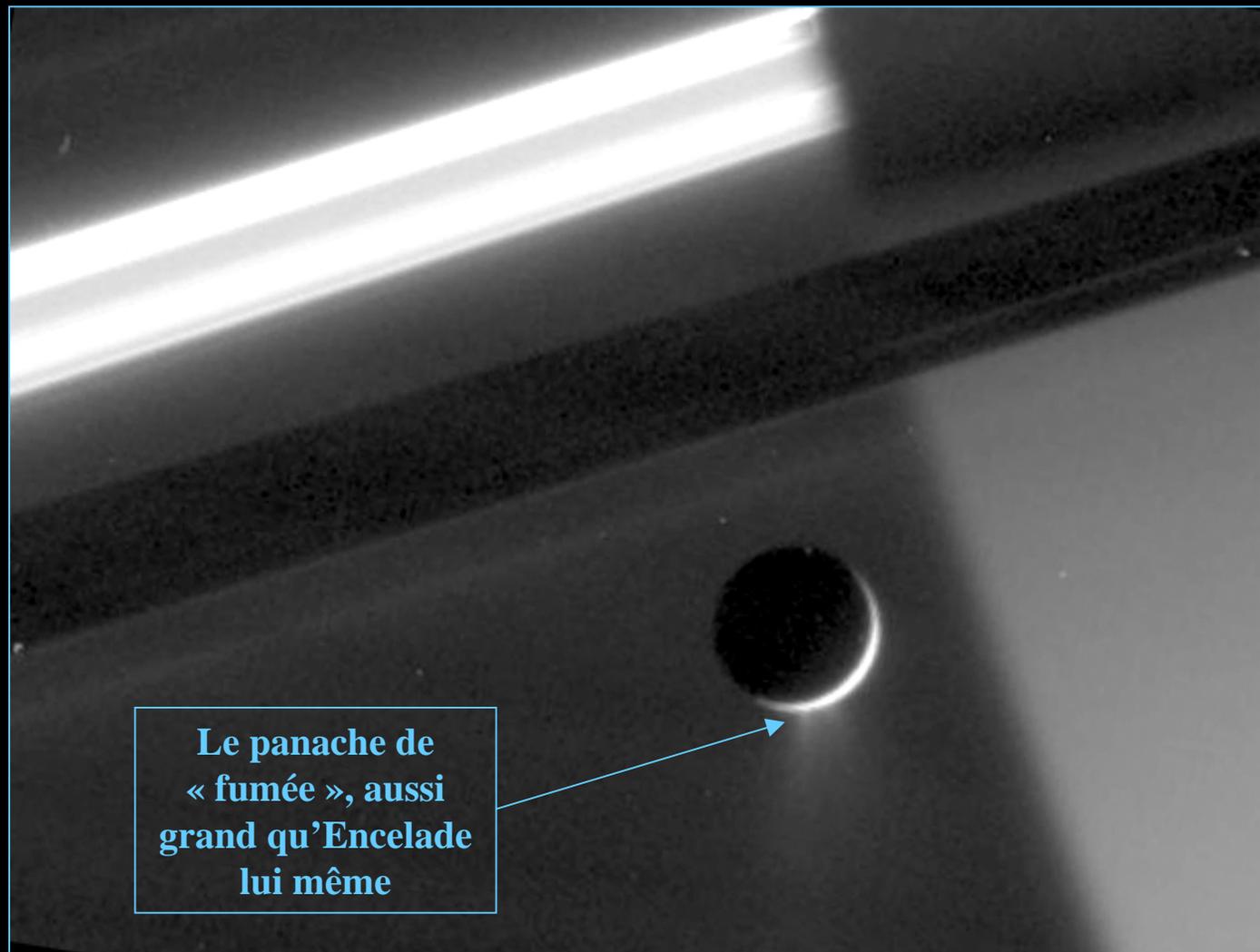


**En survolant le Pôle Sud, Cassini découvre qu'il y fait  
(en moyenne) 20° de plus qu'il ne devrait**

**Nouvelle du 27  
novembre 2005 :  
au dessus du  
Pôle Sud, il y a  
des jets de  
micro-particules  
(de givre  
d'H<sub>2</sub>O) qui  
diffusent la  
lumière solaire.  
Il s'agit de  
volcans (d'H<sub>2</sub>O)  
actifs. Des  
puristes les  
appellent  
geysers !**



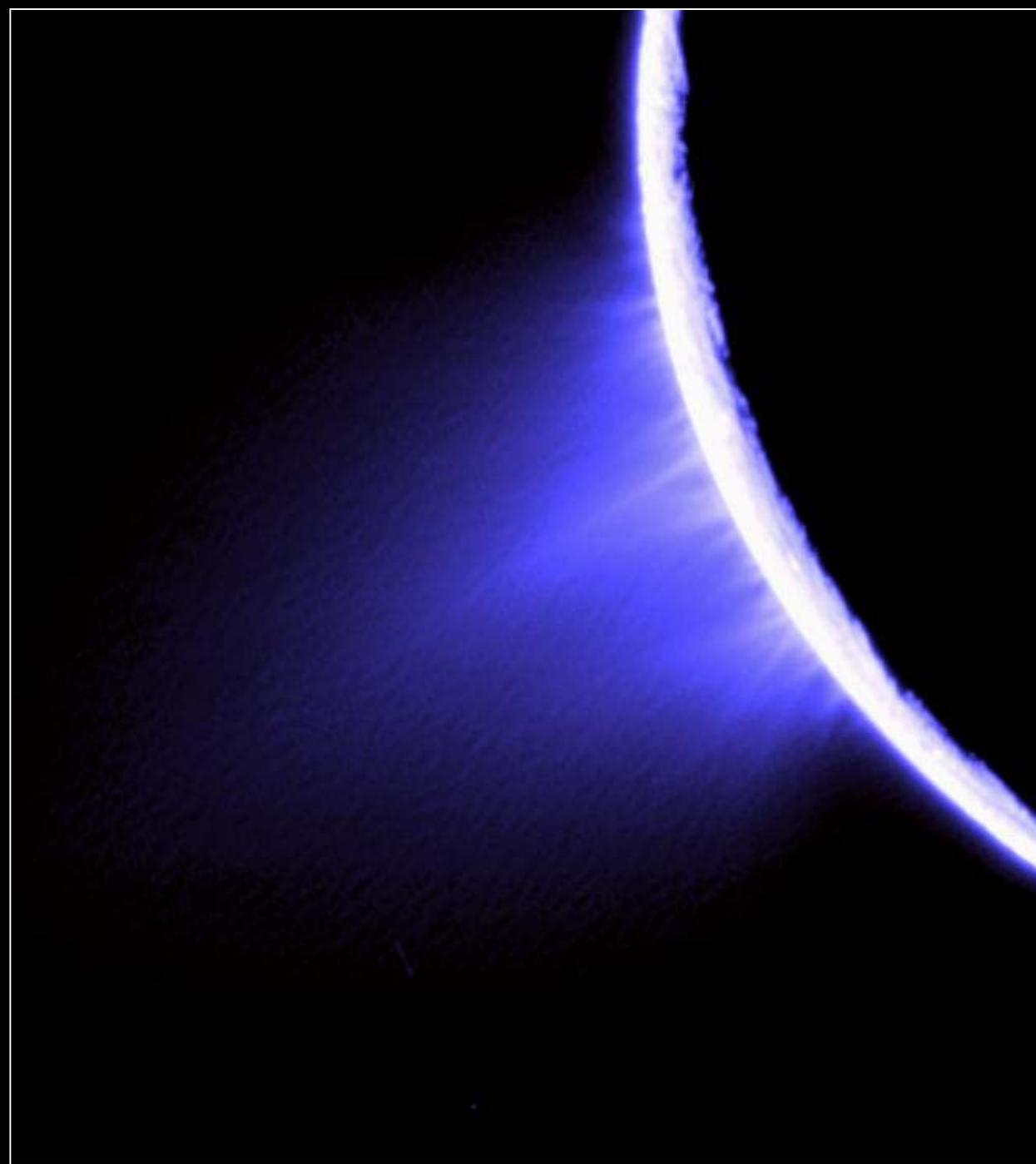
Novembre 2005



Le panache de  
« fumée », aussi  
grand qu'Encelade  
lui même

**La même « éruption » 6 mois plus tard, le 4 mai 2006. Ce qui sort a été analysé « spectralement » : de la « fumée » de fines particules de glace d'H<sub>2</sub>O**

**La meilleure  
image de 2006,  
hyper- traitée  
par la NASA et  
en « fausses  
vraies  
couleurs »**

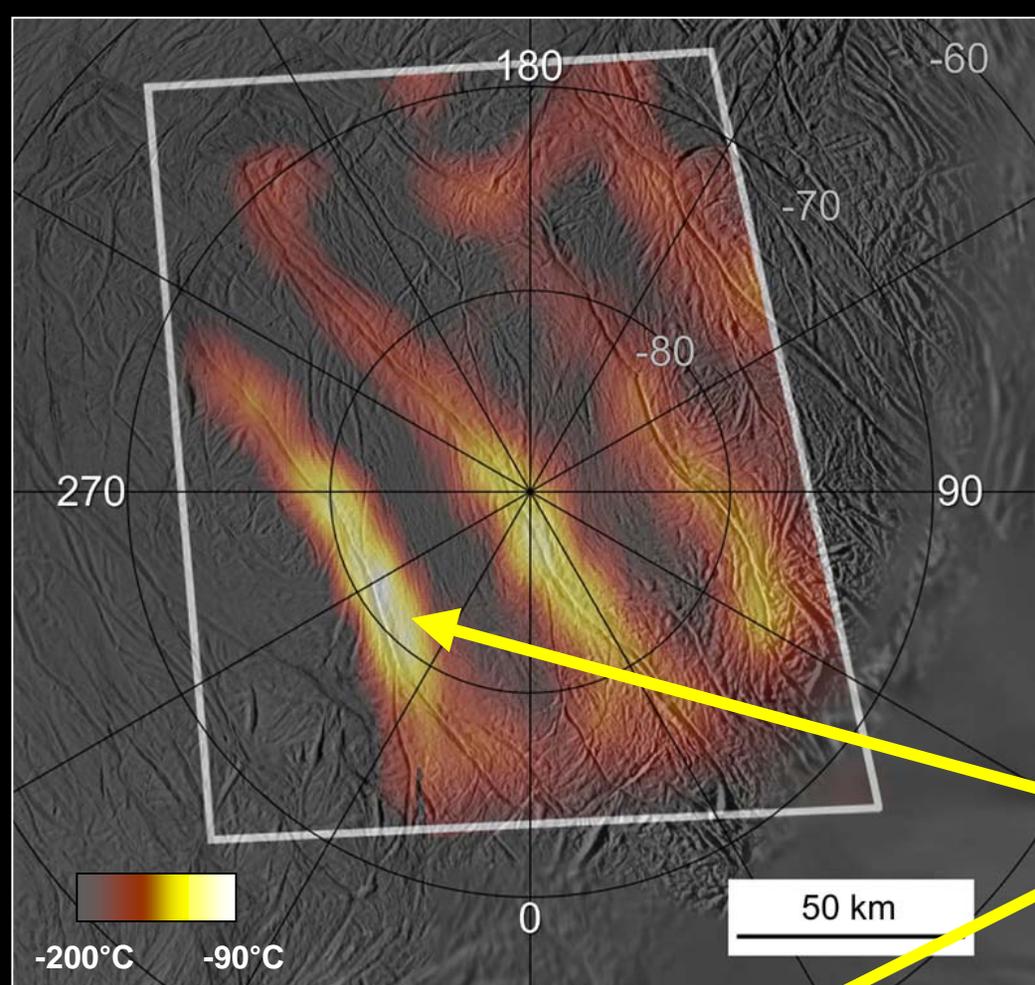




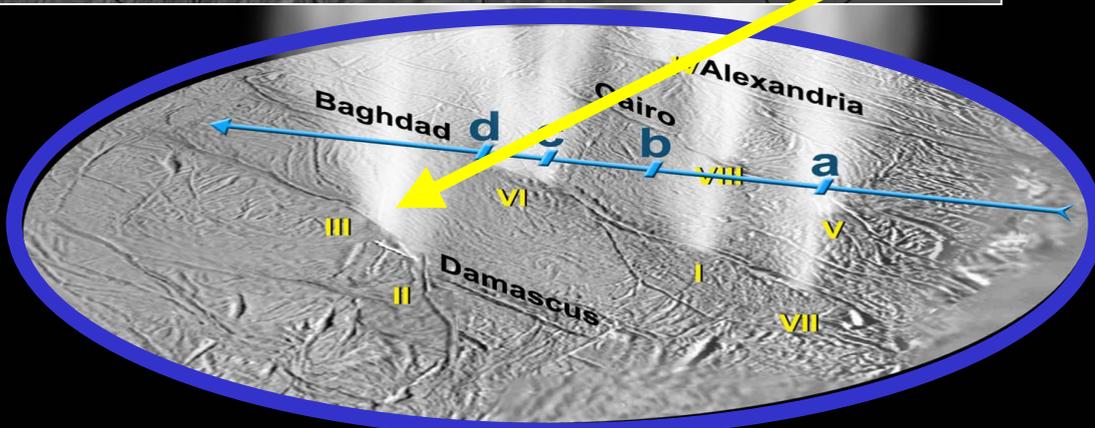
**Encelade (point noir),  
et son interaction  
avec l'anneau E au  
sein duquel il orbite  
et qu'il « alimente ».**

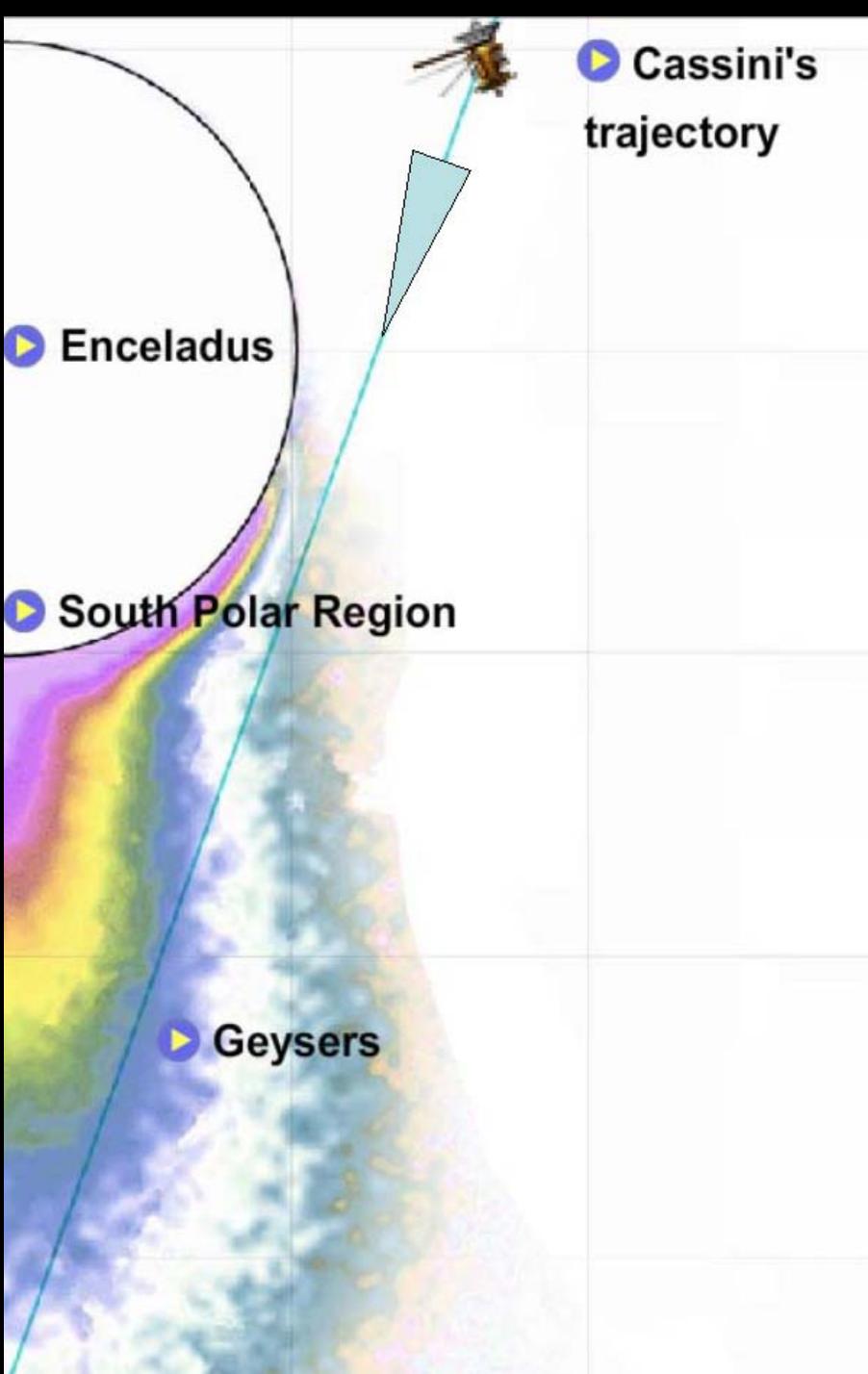


**Résultats du 27 mars  
2008 :  
la température au  
dessus du pôle sud.**



**La température  
des « zones en  
gris » est de  
 $-200^{\circ}\text{C}$ . Là où  
elle est maximale,  
elle est de  $-93^{\circ}\text{C}$ ,  
soit un excès de  
 $+107^{\circ}\text{C}$**

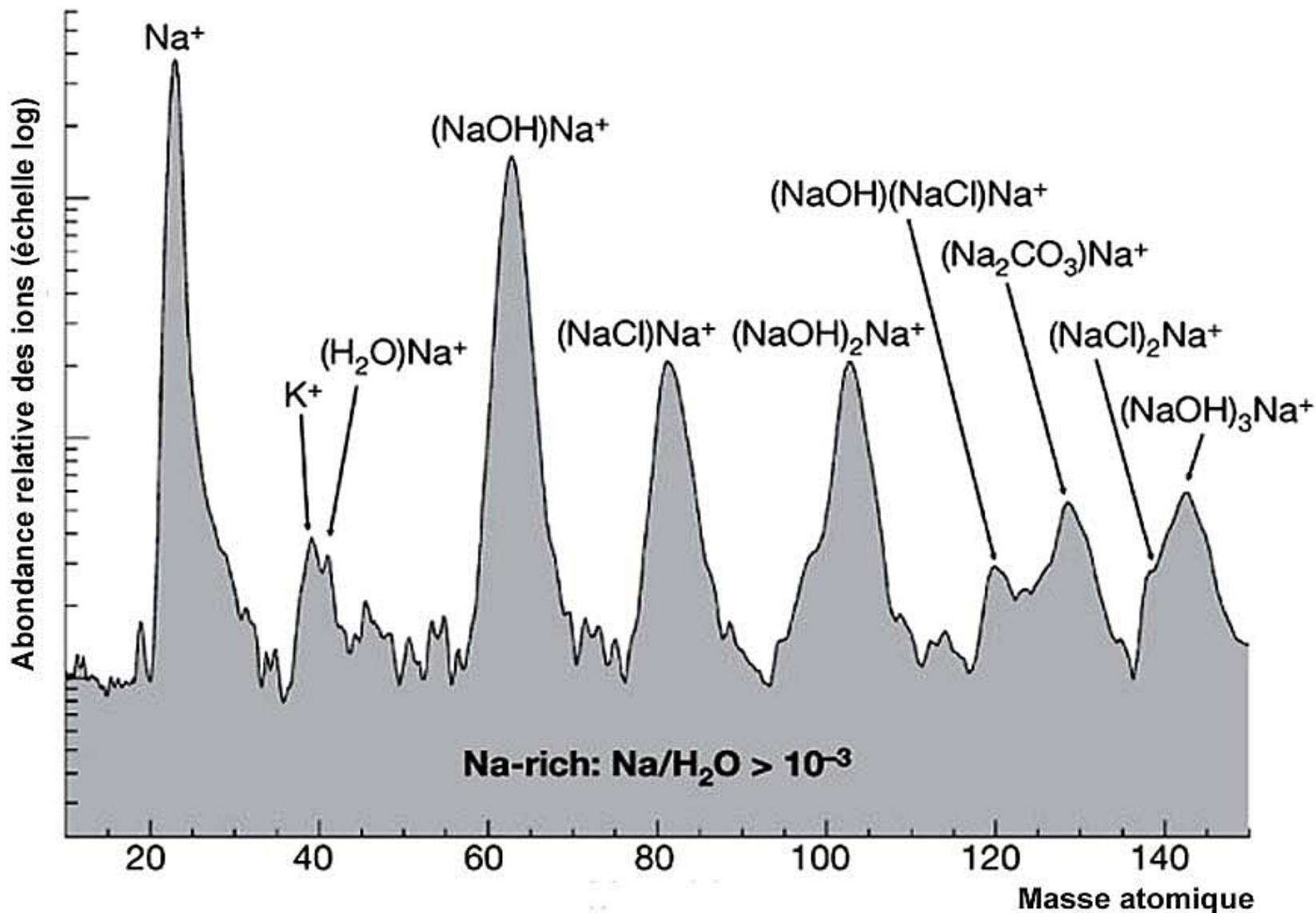




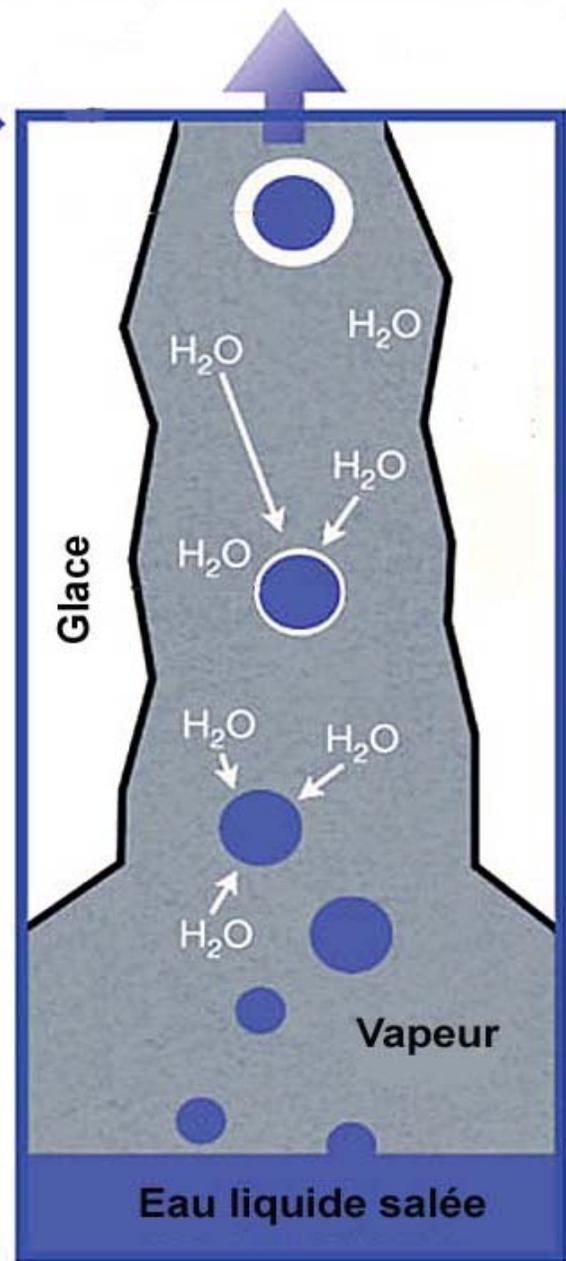
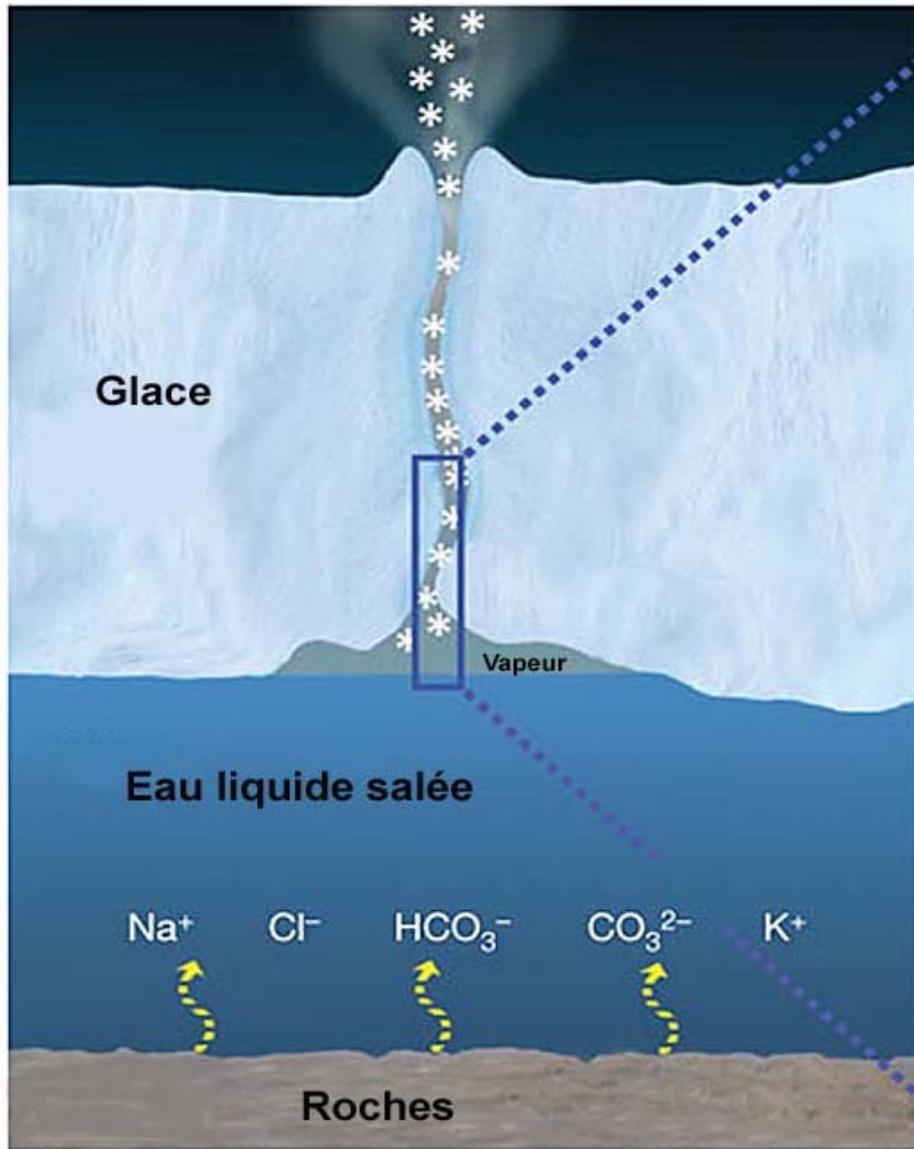
**Des survols ont été re-programmés pour traverser ces panaches « geyseriens ». Tous les instruments destinés à la haute atmosphère de Titan ont fonctionné à plein régime.**



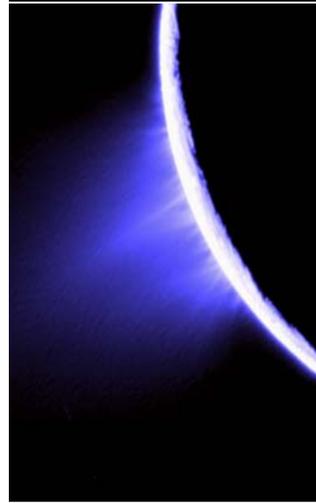
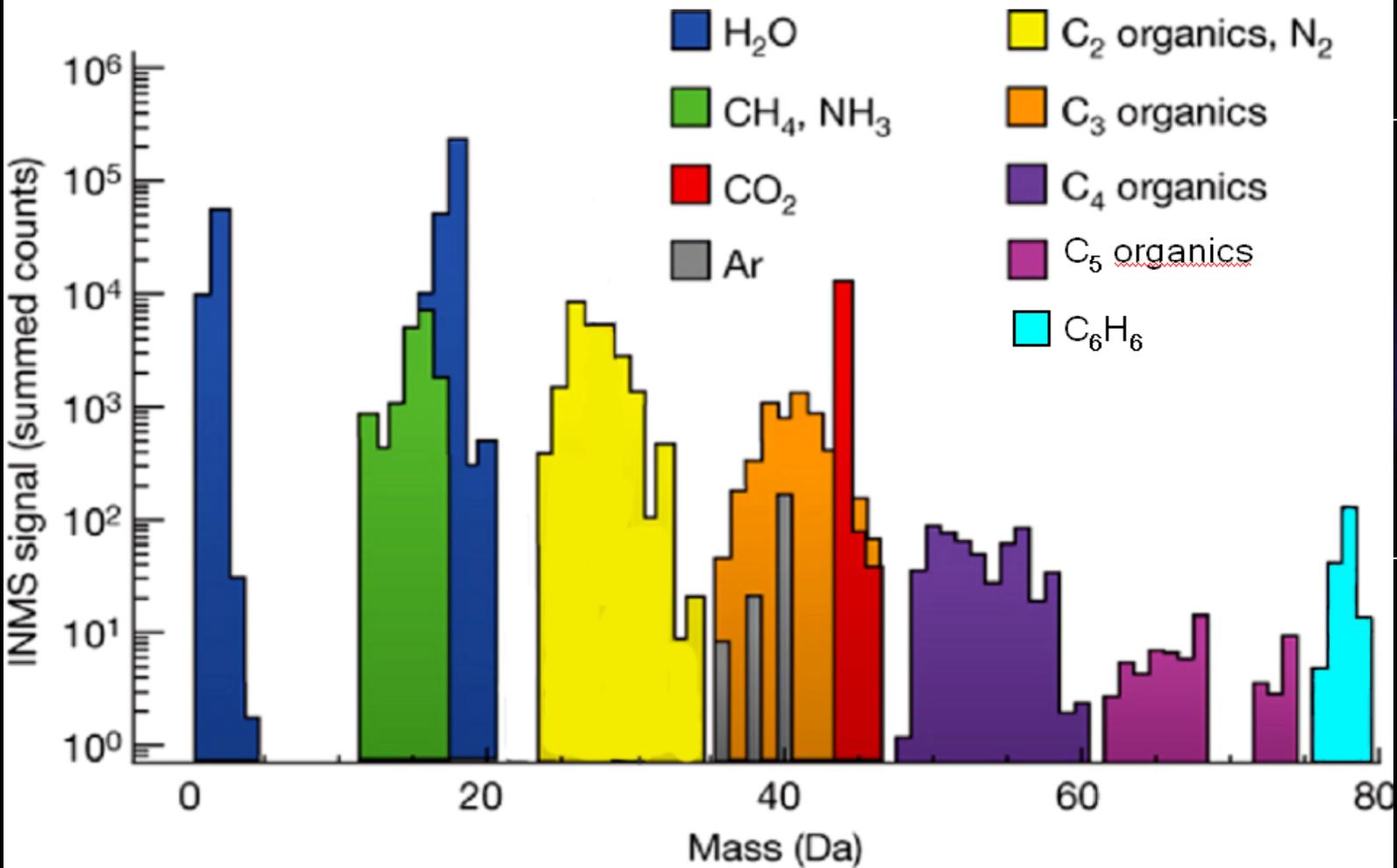
**On fonce dans le panache (vraie photo) !**



**Le spectromètre de masse indique que quelques % des micro-particules sont constitués de glace salée**



**Ce qui impose la présence d'eau liquide !**



Nature, 23 juillet 2009, modifié

**Premiers résultats concernant la matière organique des panaches : il y en a, en quantité non négligeable, et de fort complexes (jusqu'à C<sub>6</sub>) ! Et en plus il y a de l'ammoniac ! Tout ça, ce sont les molécules précurseur de la vie !**

**Comment faire un tel volcanisme sur un si petit corps,  
dans une région si froide ?**

**Un peu d'ammoniaque et de sel dans la glace, ce qui  
facilite sa fusion,  
des marées qui  
déforment et  
réchauffent  
l'intérieur  
(comme pour  
Io), et le tour est  
(presque) joué !**



Pôle Sud avec "rayures de tigre"  
et "volcans" d'eau salée (+ molécules organiques)

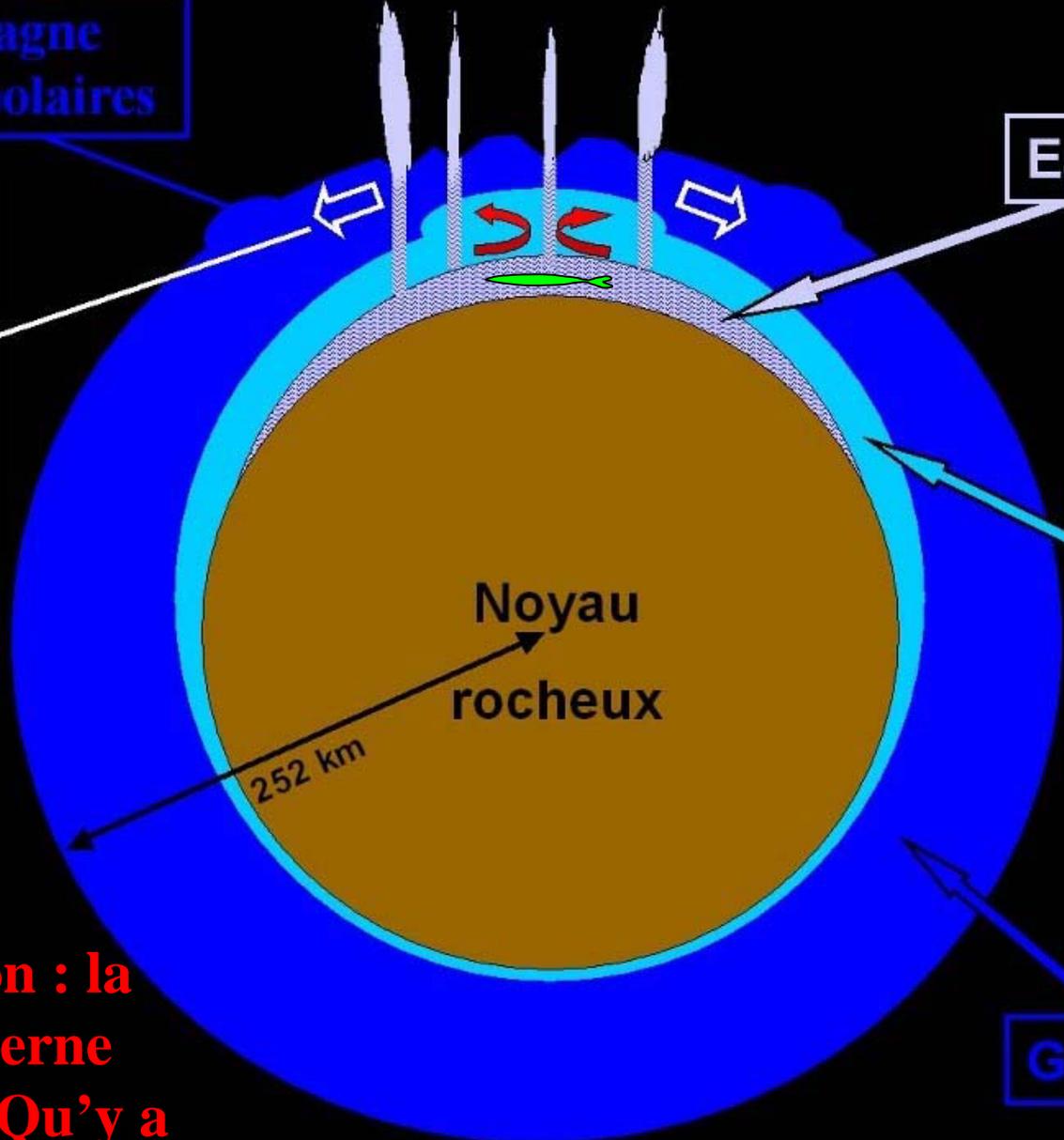
Montagne  
circumpolaires

Mouvement  
de la croûte  
fragile, avec  
extension au  
niveau du  
Pôle Sud et  
compression  
au niveau des  
montagnes  
circum-  
polaires

Eau liquide

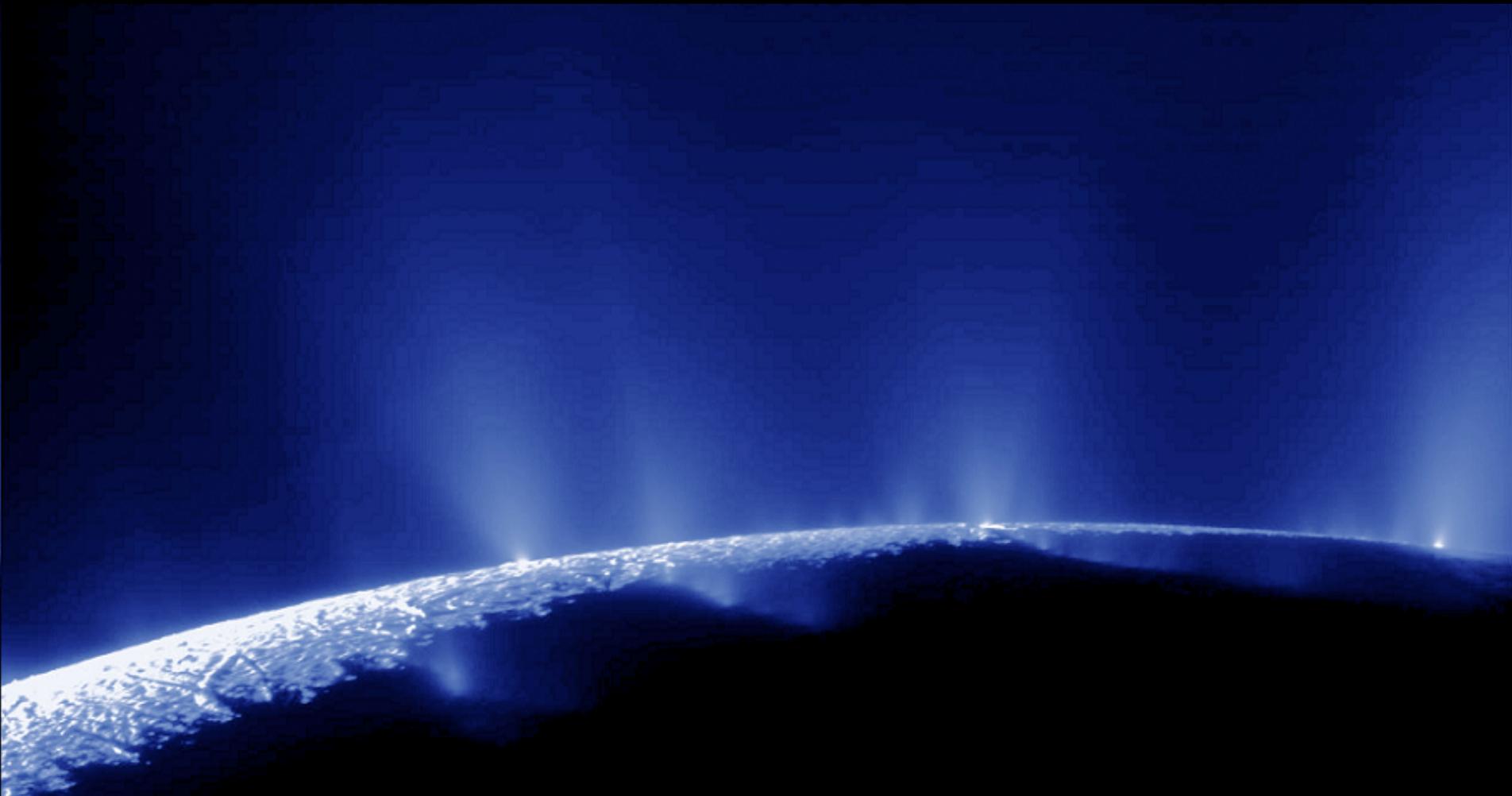
Glace  
ductile,  
avec  
convection

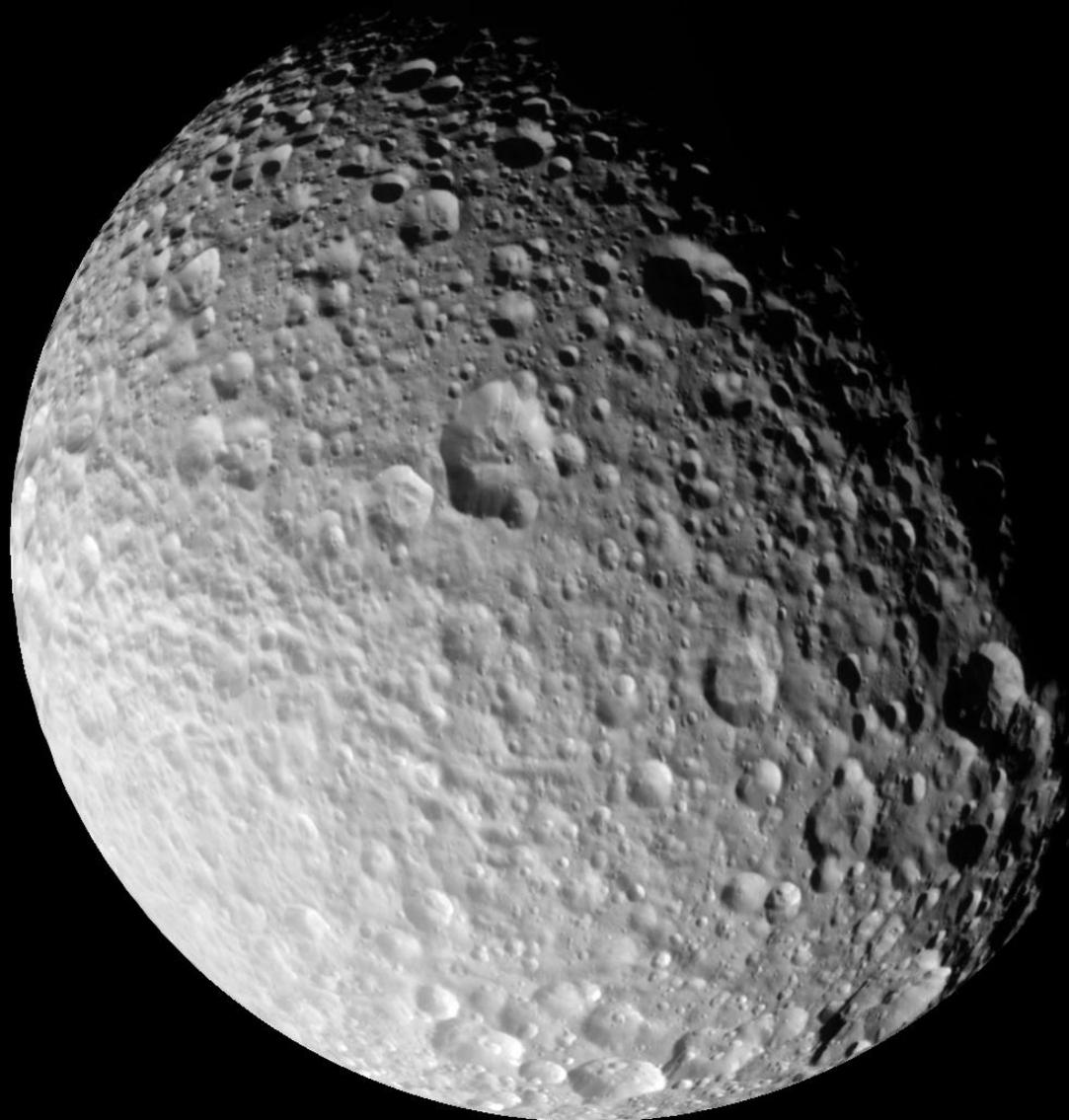
Glace fragile



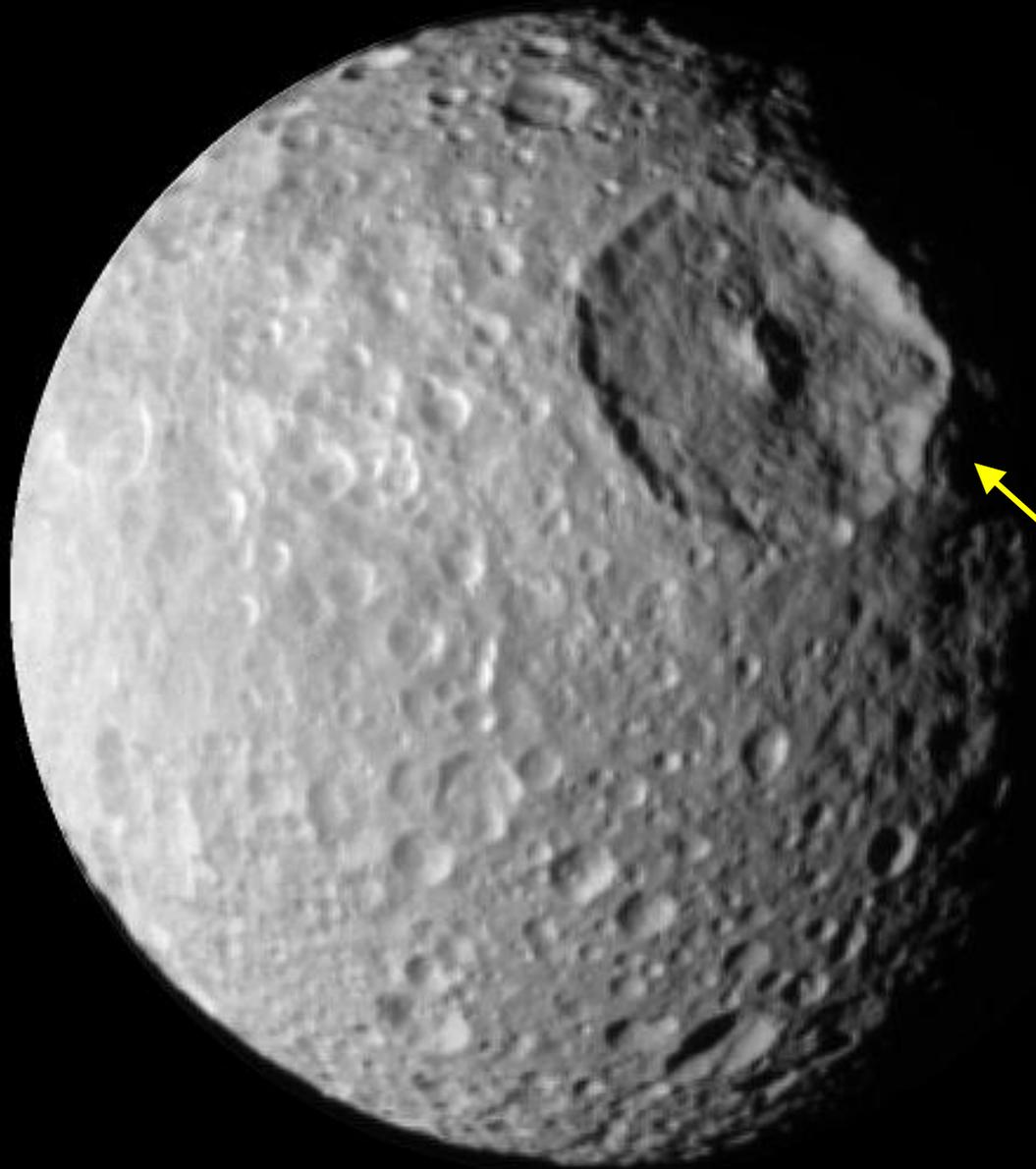
En conclusion : la structure interne d'Encelade. Qu'y a t'il dans « l'océan » constitué d'eau salée et « sucrée » ?

**Avec l'hiver qui arrive, la nuit gagne le pôle sud et ses « geysers ». Pourra-t-on faire mieux de nuit, avec Cassini qui atteint ses limites instrumentales? Attendons d'autres survols et publications !**





**Et voici  
Mimas, le  
plus proche  
de Saturne  
parmi les  
satellites  
majeurs  
( $D = 390 \text{ km}$ ),  
ici du côté  
« pile ».**



**Mimas,  
coté « face »**

**Le cratère Herschel**



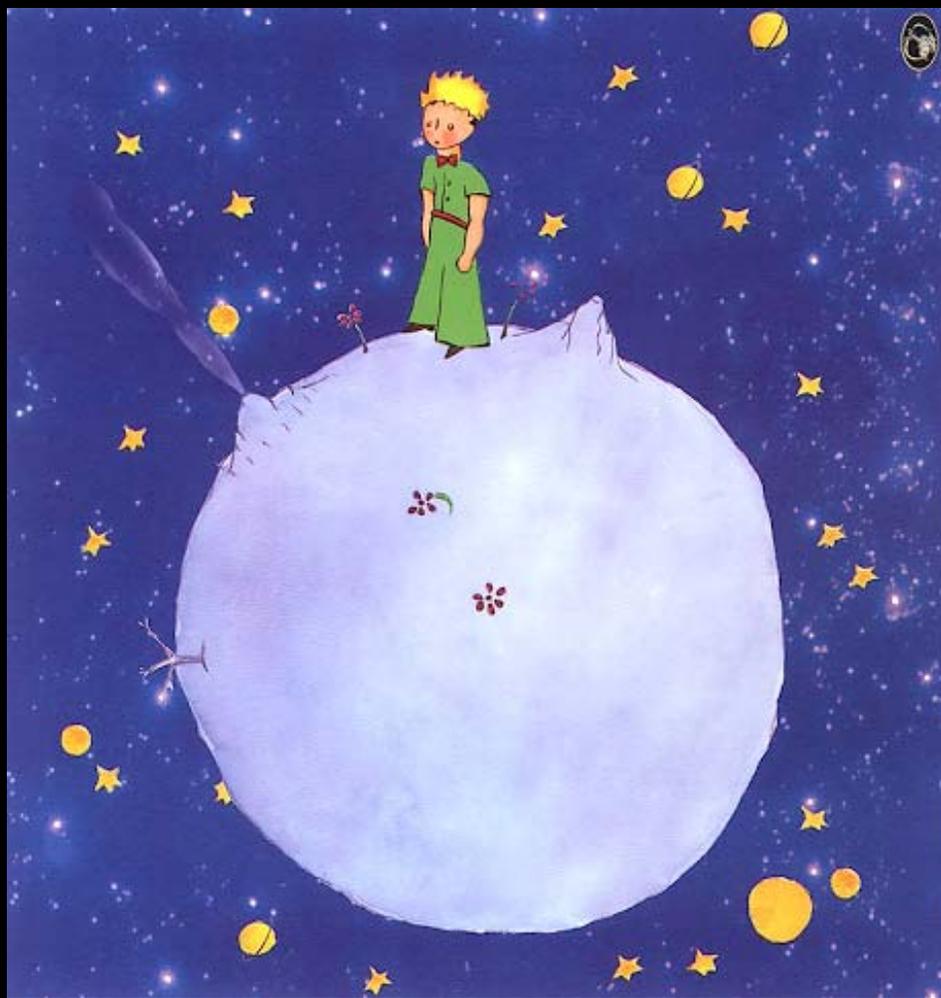
**Herschel au  
niveau du  
terminateur.**

**Voyager 1 avait  
vu Mimas sous  
cet angle en 1981,  
et le quotidien  
Libération avait  
titré : la NASA  
découvre un sein  
de glace dans  
l'espace !**

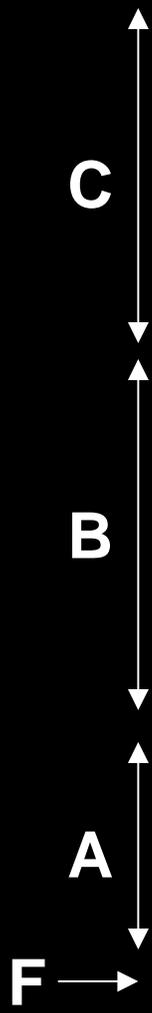
**On passe 2 petits satellites :**  
**Janus (L = 179 km ) et Epiméthée (L = 116 km)**



**Et on arrive là où les satellites laissent  
la place aux anneaux.**



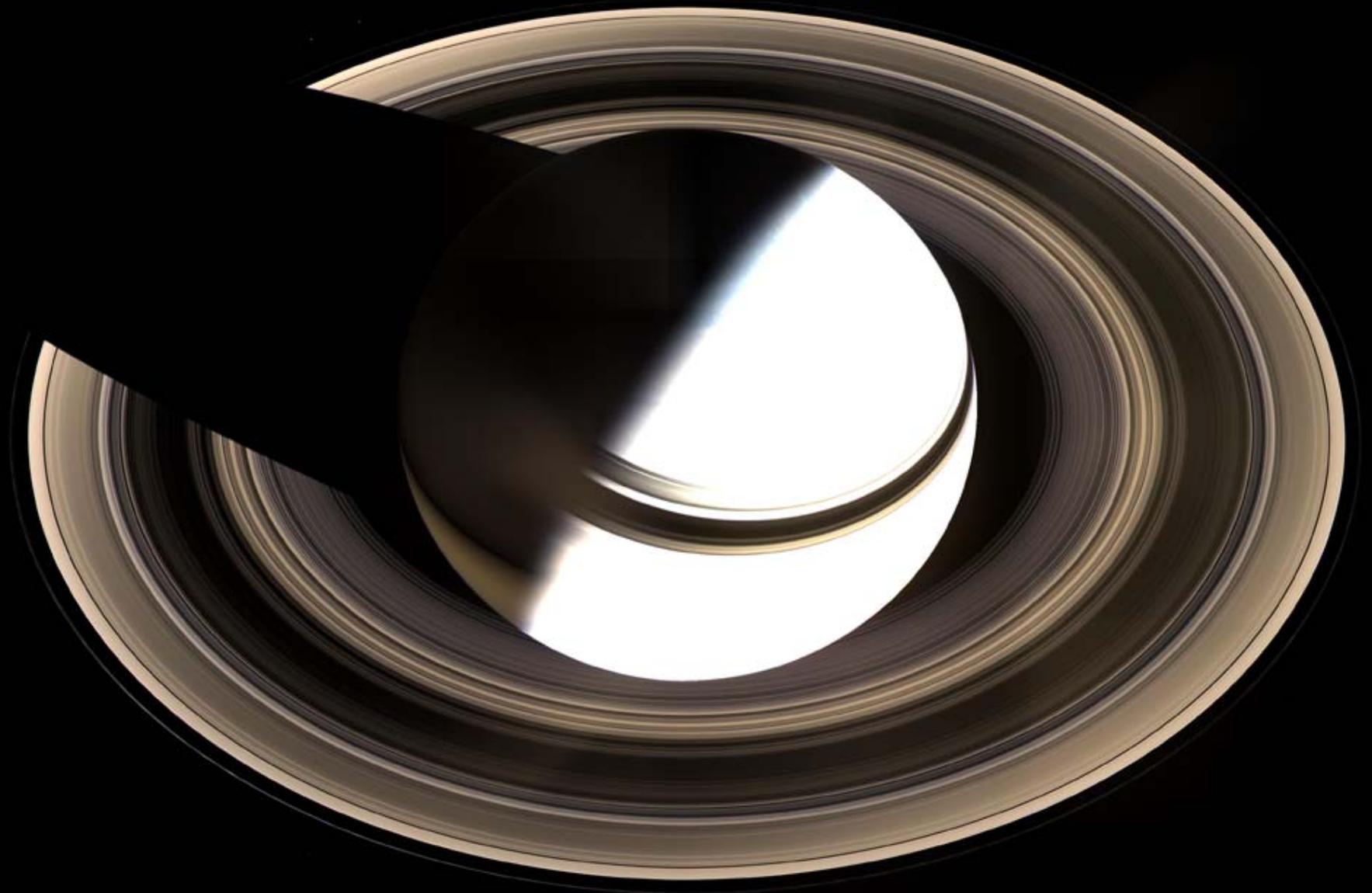
**104 diapos ! Ce voyage à travers les satellites de Saturne est fini. Toutes ces images ne vous-ont-elles pas rappelé quelque chose ? Si il me reste du temps, j'aurais encore 20 diapos à vous montrer, 1 an après l'équinoxe d'août 2009.**



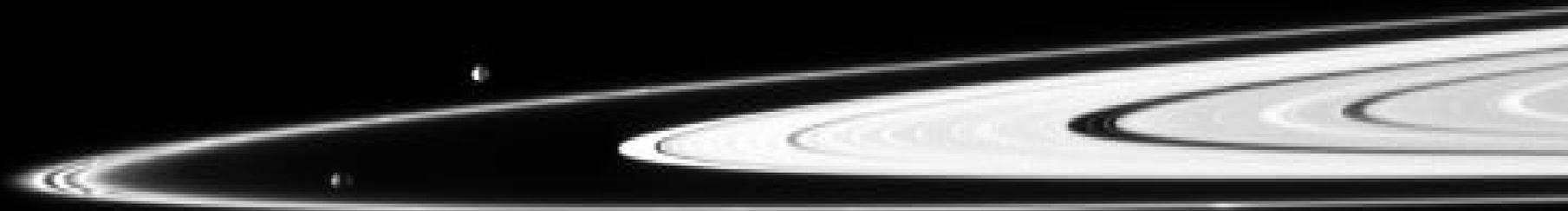
**Cassini**

**Encke**

**Les anneaux vus par  
Voyager (1981)**



**Les anneaux de Saturne dans toute leur majesté  
(vus 25 ans plus tard par Cassini)**



**Une relation satellites / anneaux :  
les satellites confinent, perturbent,  
structurent ... les anneaux.**

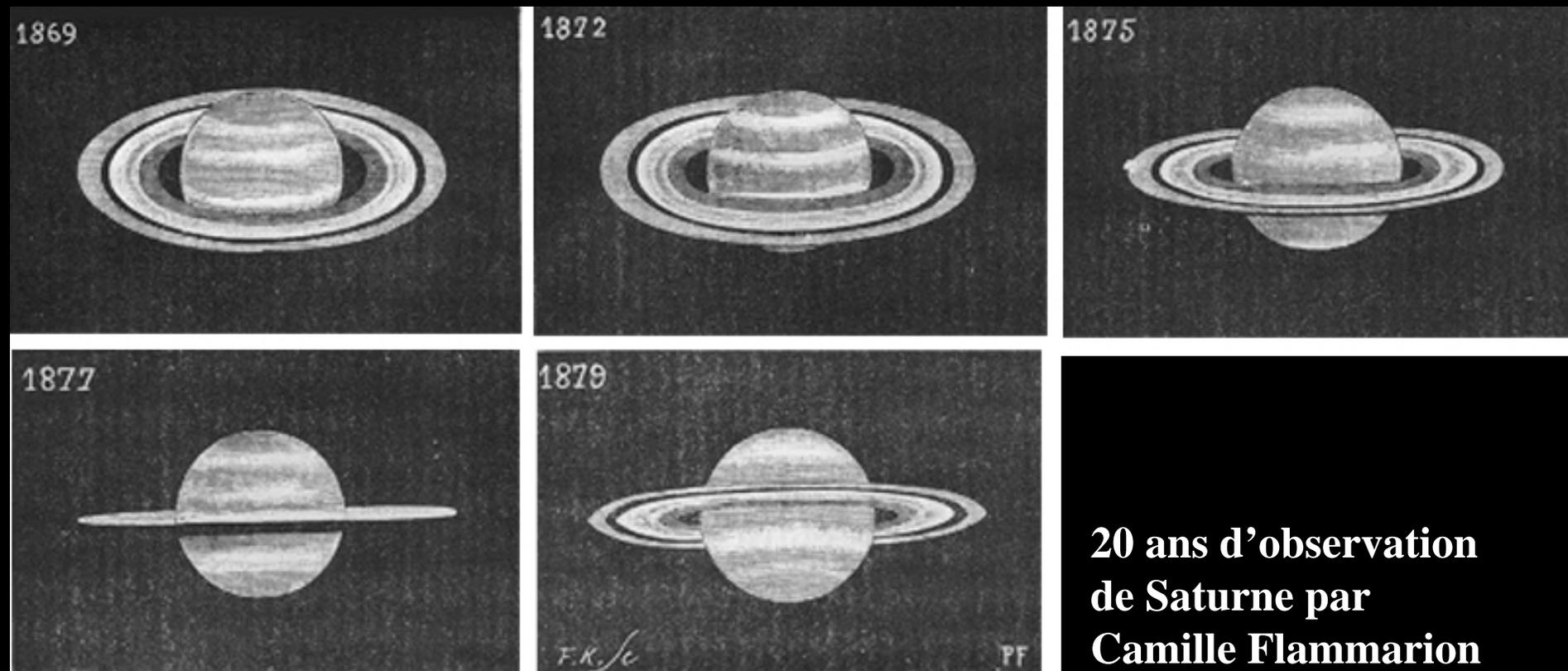
**On voit ici l'anneau F encadré par Pandore  
(L = 81 km) à l'extérieur et Prométhée  
(L = 86 km) à l'intérieur**



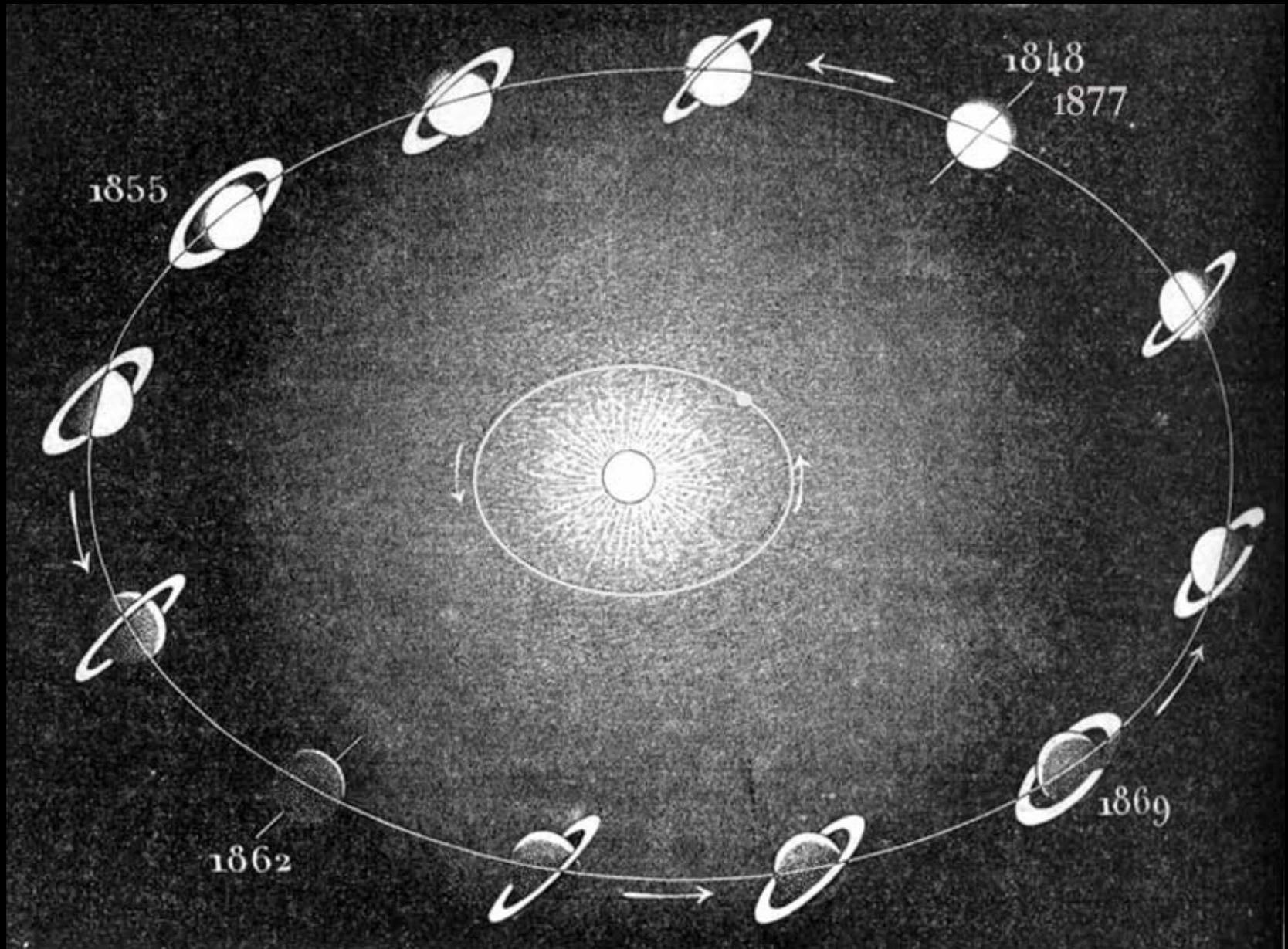
**Les satellites**  
**« confinent » (on parle**  
**de satellites « gardien »**  
**ou « berger »**

**Les satellites, en particulier  
Prométhée, « perturbent »,  
l'anneau F !**





**Vus depuis la Terre, l'aspect des anneaux change, en fonction des paramètres orbitaux de Saturne. C'est pour cela qu'on a mis plus de 50 ans à comprendre la « géométrie anneau » entre Galilée et Huygens**



**L'explication de ce phénomène**

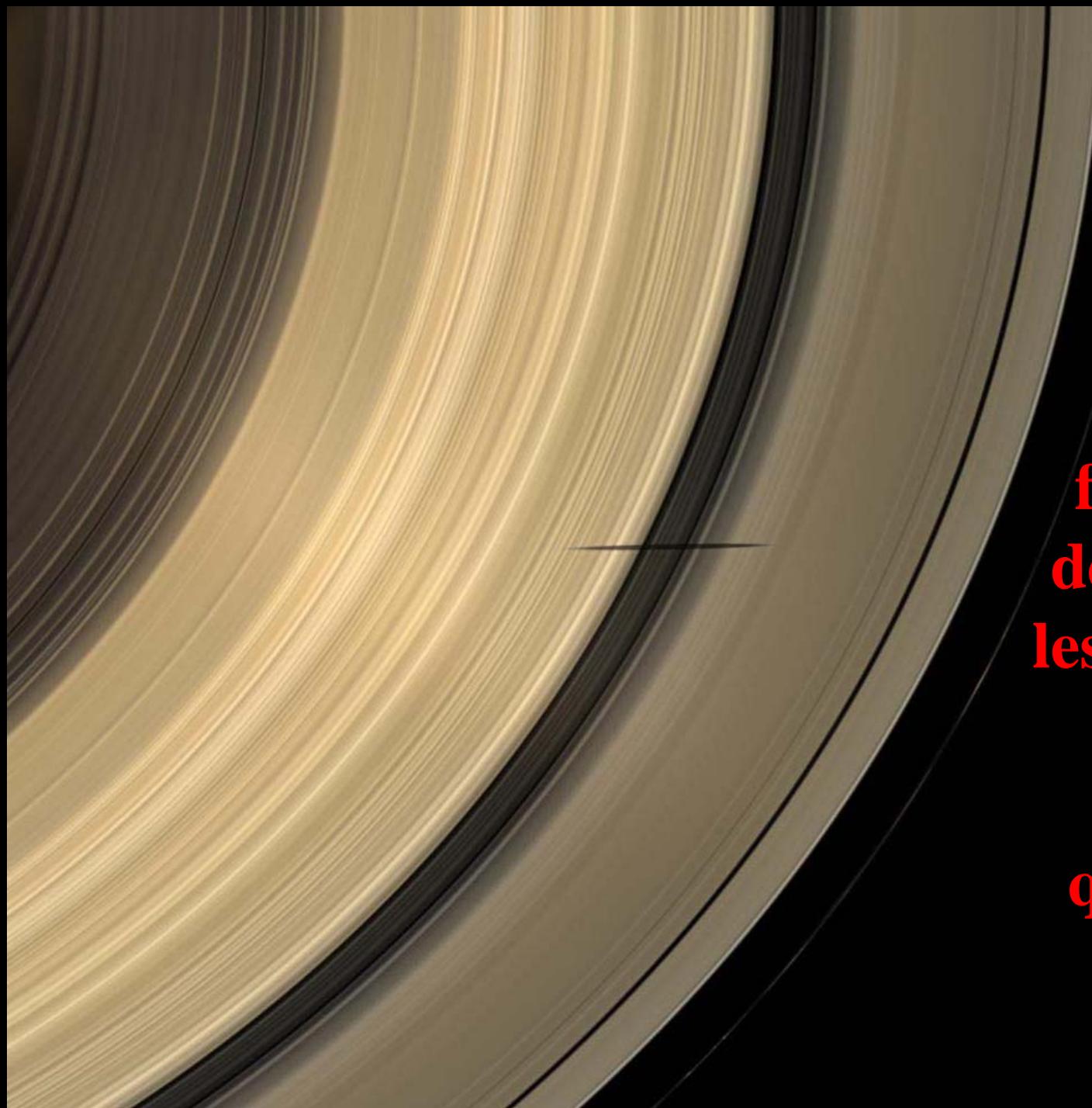


**La même chose vue  
avec un télescope  
« moderne ».**

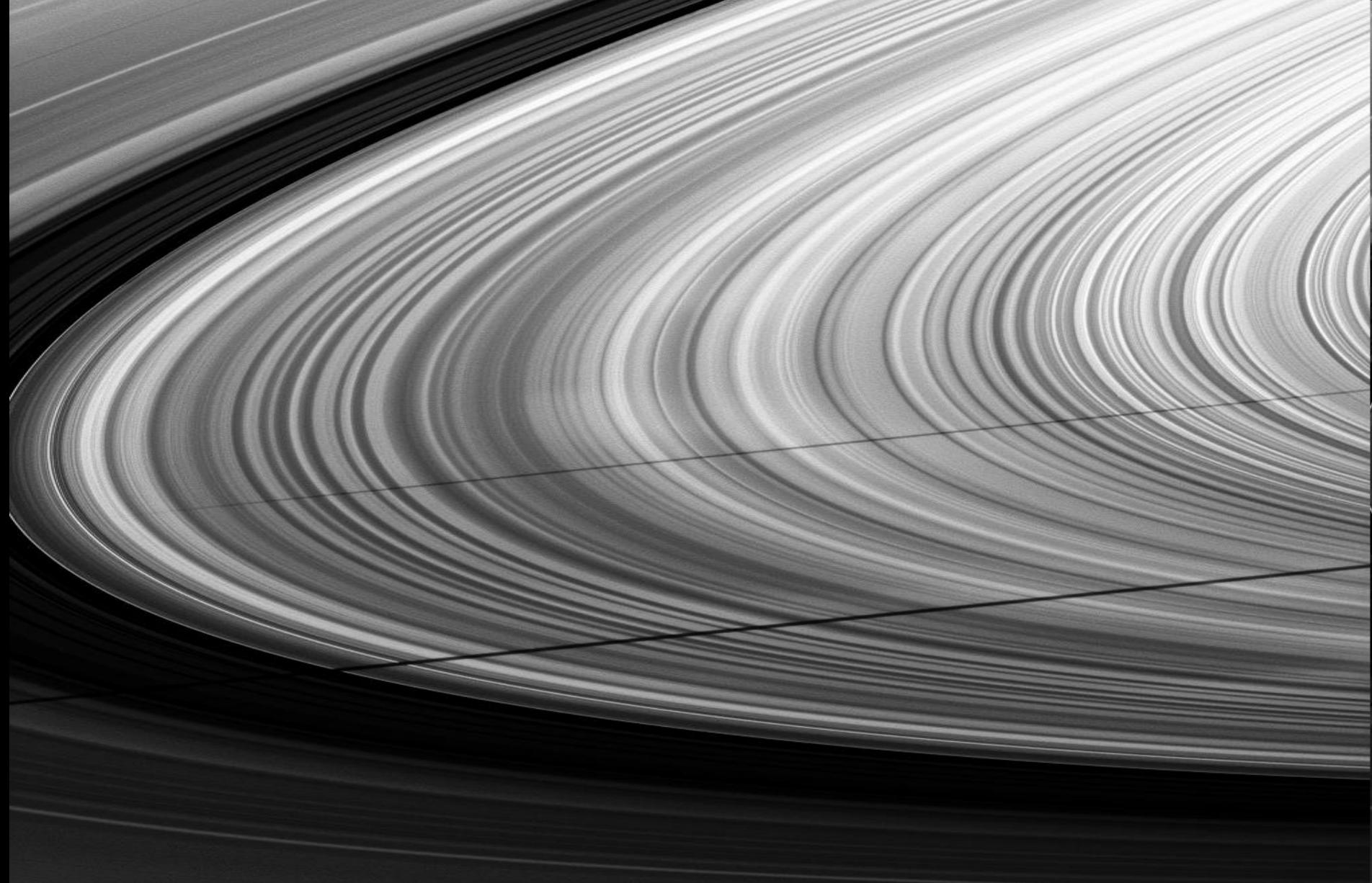


**Les satellites sont quasiment dans le plan des anneaux.**

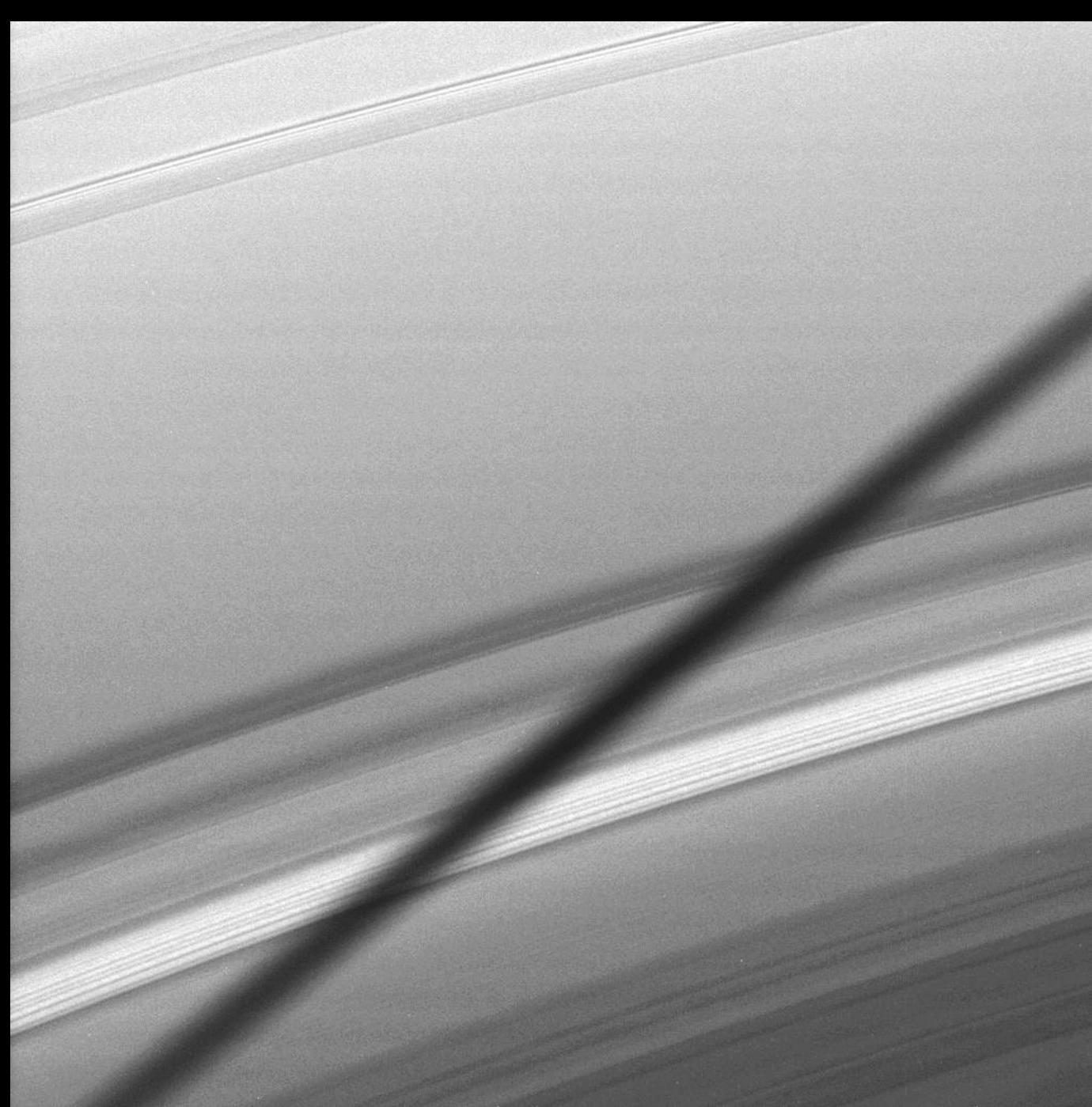
**Soleil, globe de Saturne, anneaux et ombres des satellites sont « mobiles » les uns par rapport aux autres, ce qui entraîne de véritables jeux d'ombres et de lumières pendant les équinoxes. Et il y a juste 1 an (août 2009), c'était l'équinoxe saturnien.**



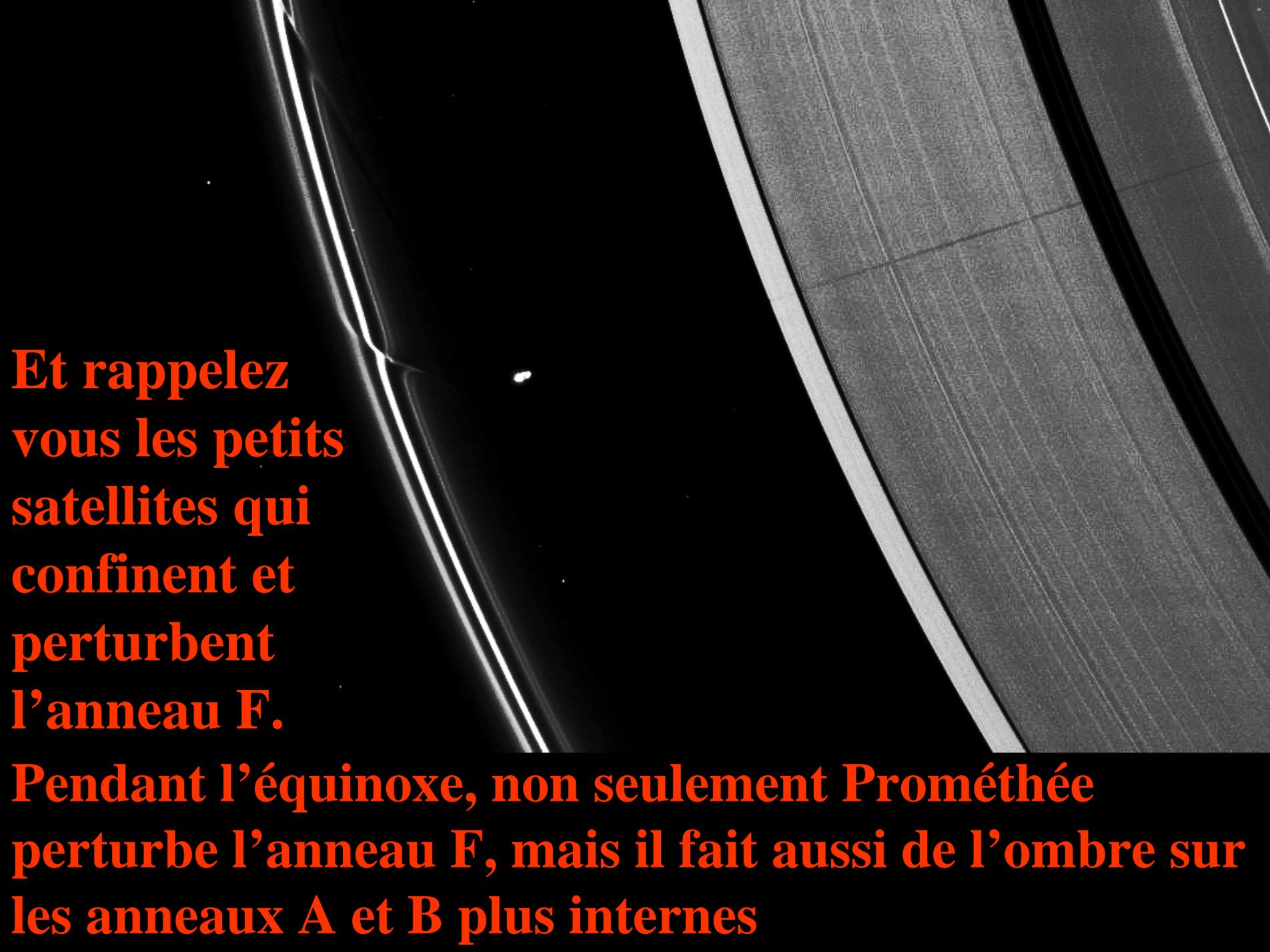
**Les satellites  
faisaient donc  
de l'ombre sur  
les anneaux (ici  
l'ombre de  
Mimas  
quelques mois  
avant  
l'équinoxe)**



**... Juste à l'équinoxe, les ombres Mimas  
et de Janus.**



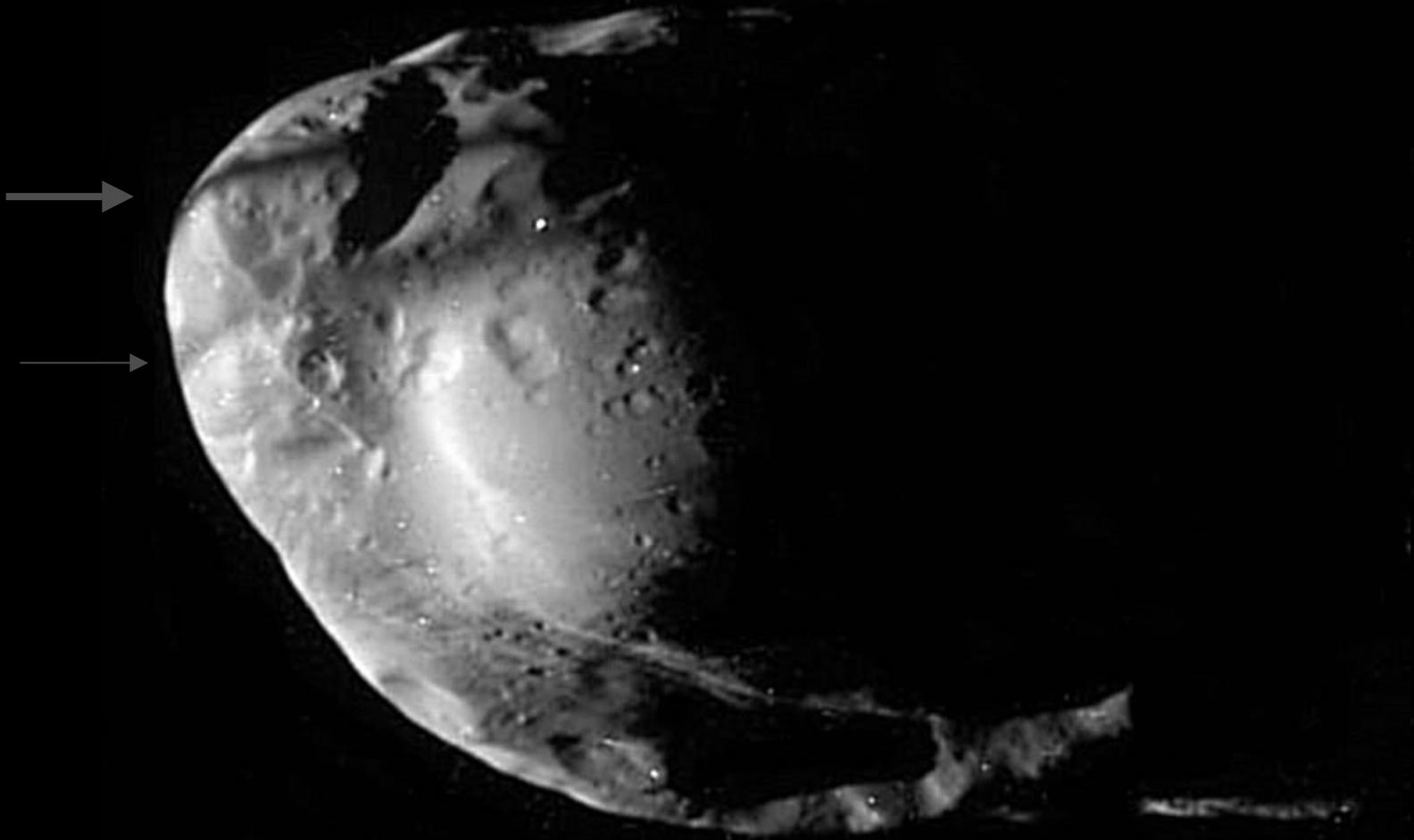
**Un spectacle  
qu'on ne  
verra jamais  
depuis la  
Terre, et  
qu'on ne  
verra plus,  
même sur  
place  
pendant  
14 ans  
(prochain  
équinoxe) !**

A photograph of Saturn's rings, showing the planet's shadow cast onto the rings. The rings are illuminated from the left, and a dark shadow is cast onto the rings from the right. The rings are composed of many small particles, and the shadow is a dark, curved band. The planet's surface is visible on the right side of the image.

**Et rappelez  
vous les petits  
satellites qui  
confinent et  
perturbent  
l'anneau F.**

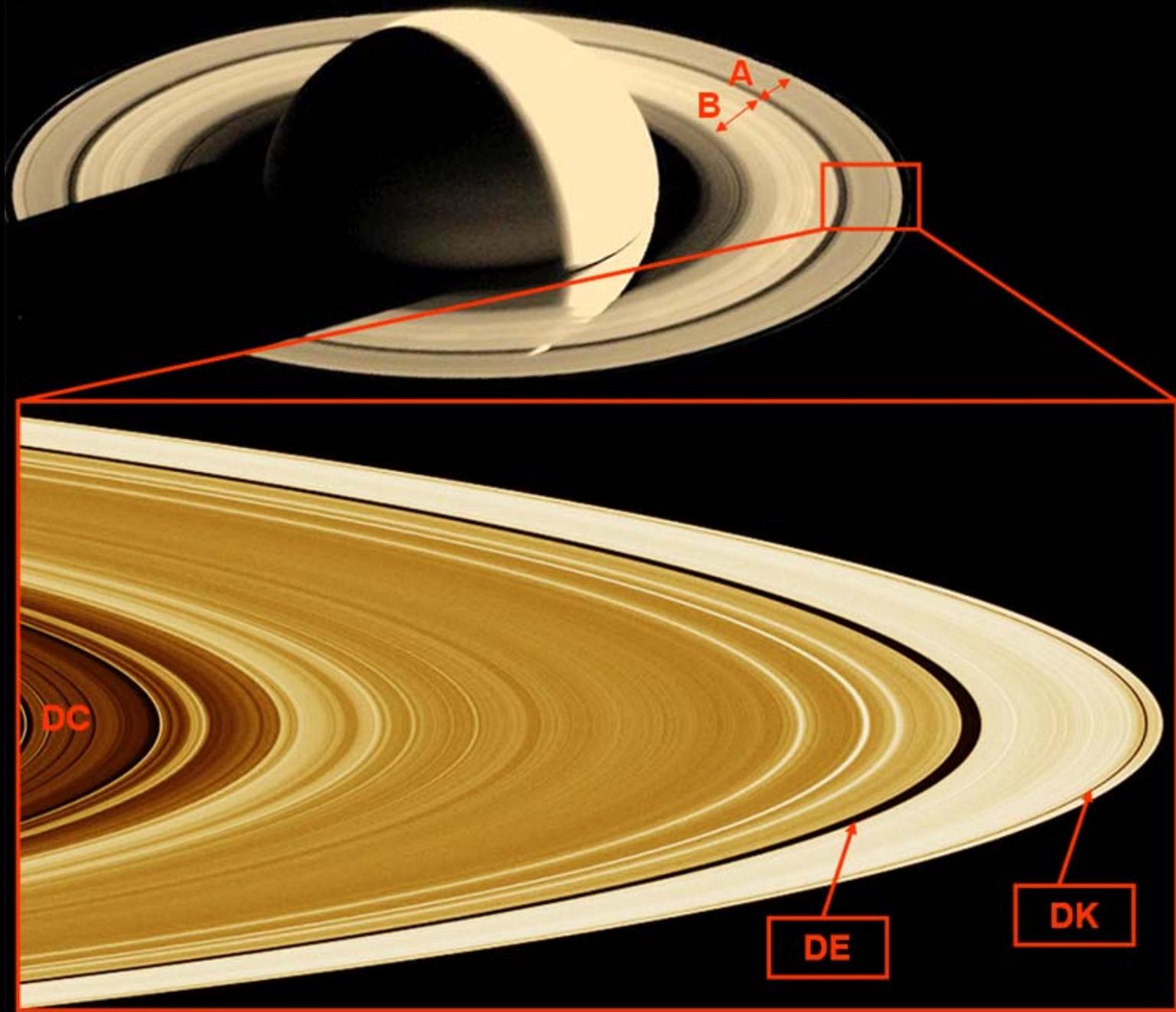
**Pendant l'équinoxe, non seulement Prométhée  
perturbe l'anneau F, mais il fait aussi de l'ombre sur  
les anneaux A et B plus internes**

**Et là c'est l'anneau F qui fait de l'ombre  
sur Prométhée.**



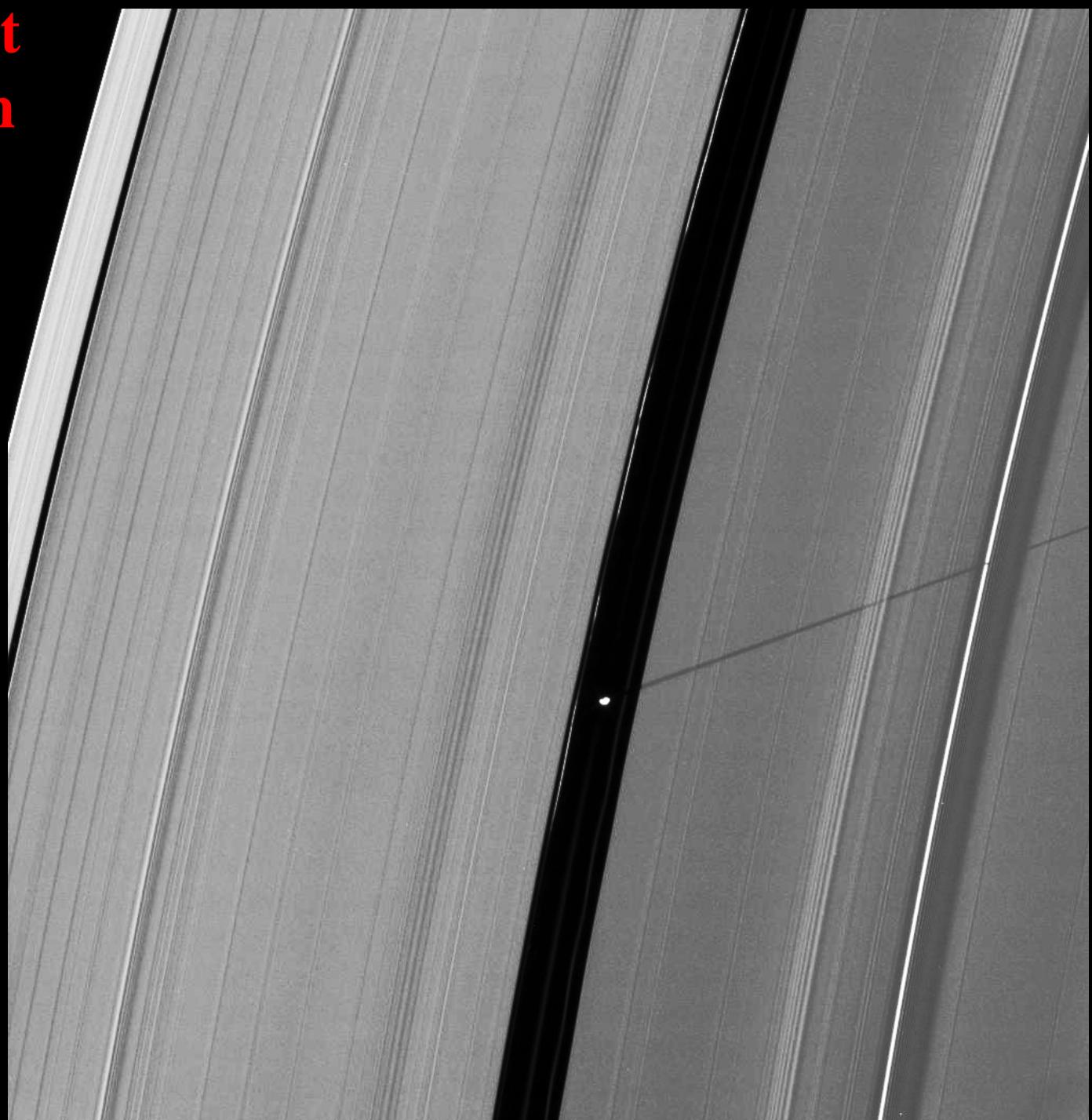
**Et là, c'est Pandore  
(surexposé) qui fait de  
l'ombre sur l'anneau F**

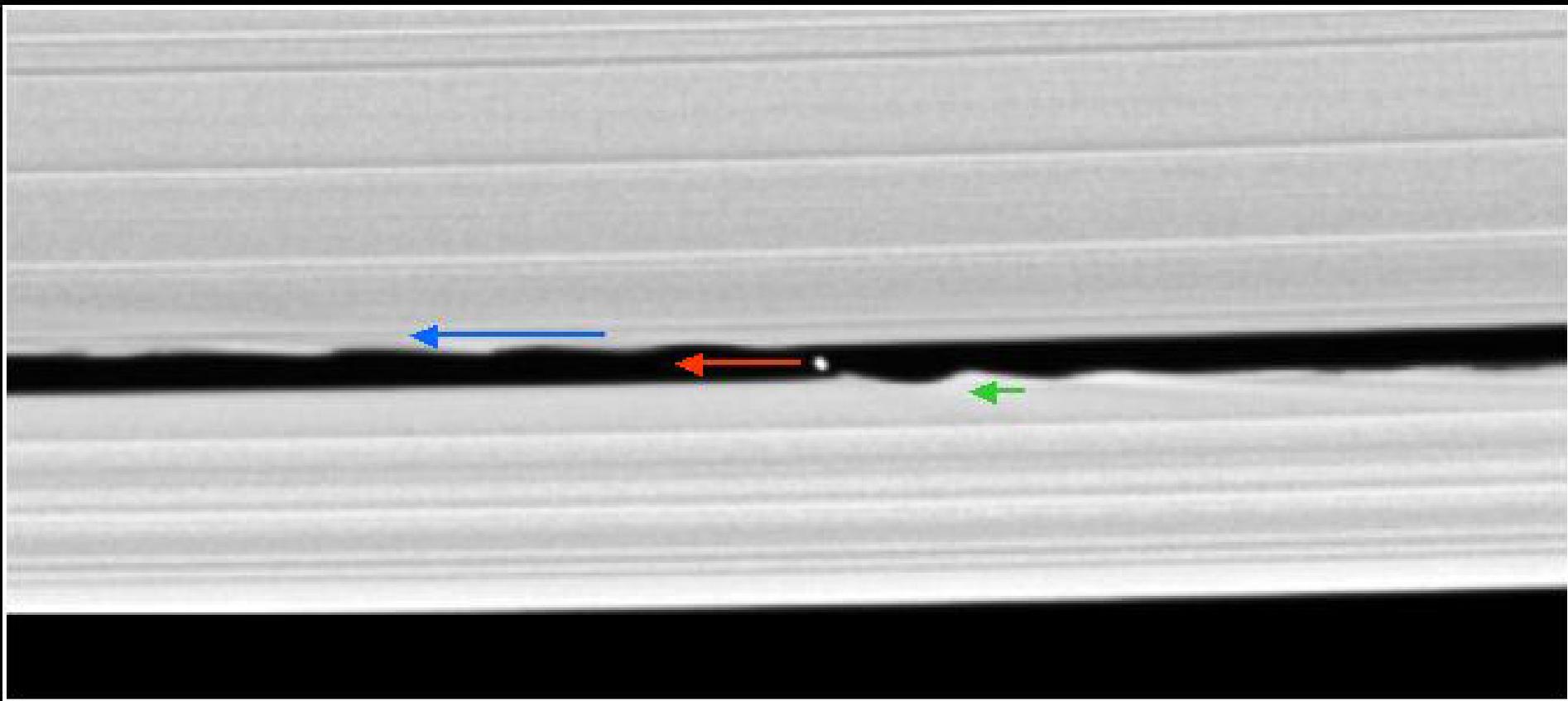




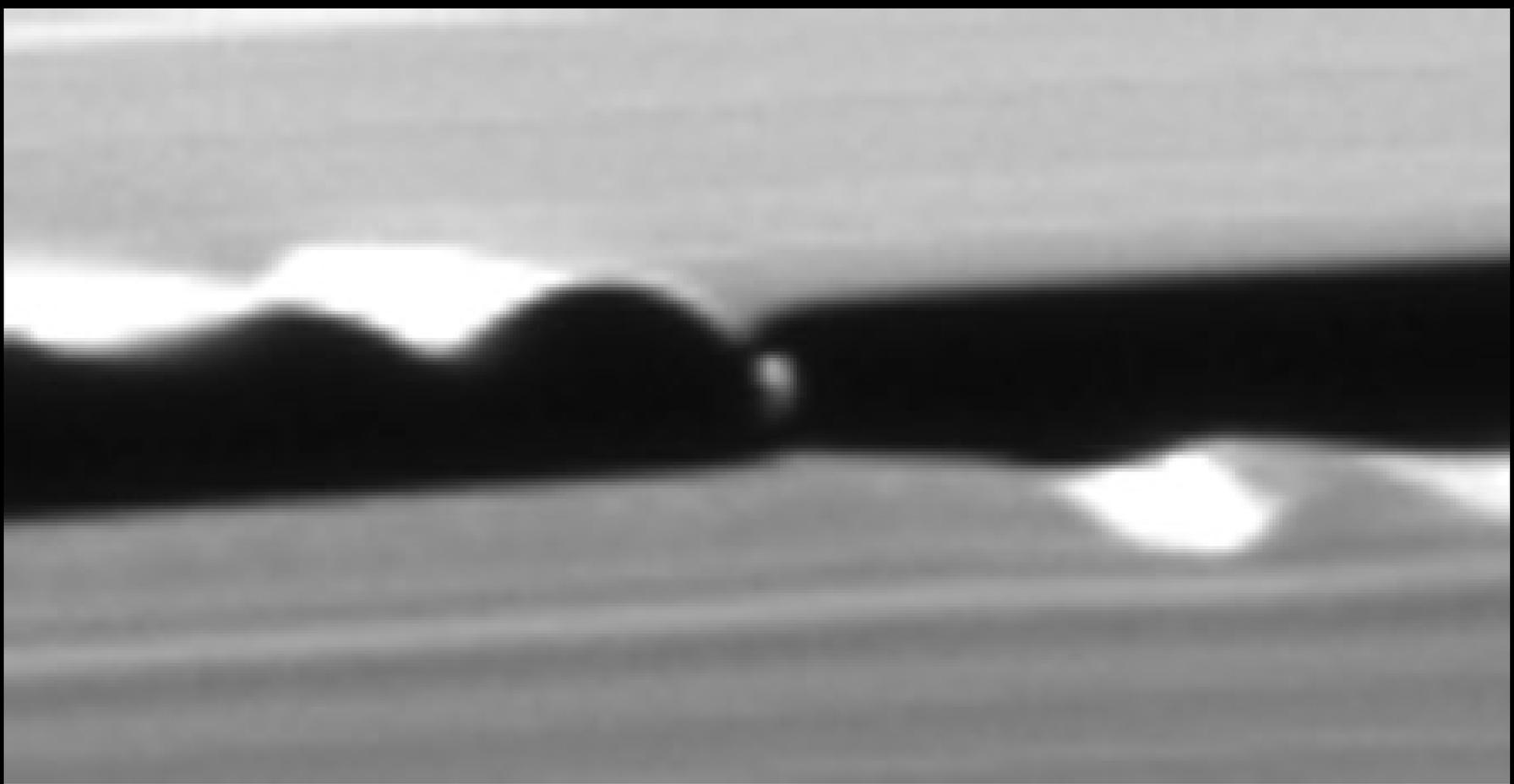
**L'anneau A contient 2 «divisions» : Encke et Keeler**

**On a découvert qu'il y avait un mini-satellite dans chaque division, ici Pan (L = 28 km) dans la division de Encke. Et pendant l'équinoxe, Pan fait de l'ombre sur l'anneau A interne.**

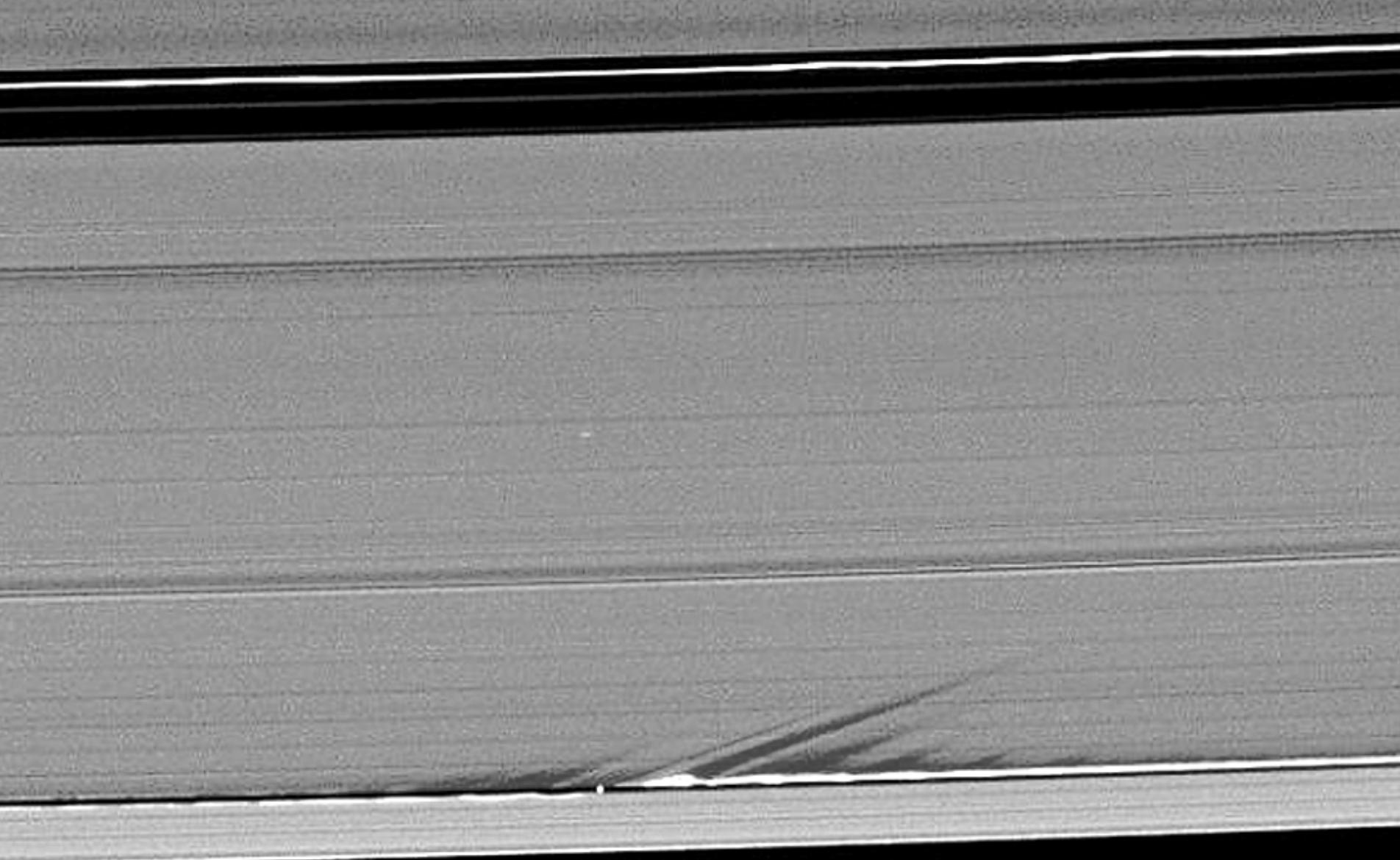




**Ces satellites internes aux divisions y provoquent des ondulations (gravity waves) qui perturbent les limites anneau-division Ici, un gros plan sur la division de Keeler (large de 250 km) où Cassini a découvert un nouveau satellite, Daphnis ( $L = 7$  km)**



**Ces ondulations au passage de Daphnis sont des ondulations en 3D. Quand on s'approche de l'équinoxe, le soleil, « bas sur l'horizon », surexpose les versants bien orientés des ondulations**



**Et pendant l'équinoxe, Daphnis et ses ondulations  
font de l'ombre sur l'anneau A**

**124 diapos ! Il est vraiment temps de  
s'arrêter. C'est avec cette image,  
impensable il y a seulement 10 ans, que je  
vais terminer ce très (trop) rapide  
« panorama » des satellites de Saturne.  
Merci de votre attention !**

**Et pendant l'équinoxe, Daphnis et ses ondulations  
font de l'ombre sur l'anneau A**