Luberon Sud Astro

**TITAN et ENCELADE**

**10/06/2022**

**J.P. BERG**

# TITAN

https://www.bing.com/videos/search?q=Huygens+Titan&&view=detail&mid=D7E8AA5446BB643A9958D7E8AA5446BB643A9958&&FORM=VRDGAR&ru=%2Fvideos%2Fsearch%3Fq%3DHuygens%

# UN VOYAGE DE PLUS DE SEPT ANS DEPUIS LA TERRE

1997 — 1998 — 1999 — 2000 — 2001 — 2002 — 2003 — 2004 — 2005

15 octobre : lancement de Cassini-Huygens

21 avril : premier survol de Vénus. La vitesse de la sonde augmente

20 juin : second survol de Vénus

16 août : passage près de la Terre. La vitesse augmente encore à 68 400 km/h

30 déc. : survol de Jupiter

1er juin : début du programme scientifique
1er juillet : entrée dans l'orbite de Saturne
25 déc. : Huygens se détache de Cassini et vole vers Titan

14 JANV. 2005
Huygens plonge vers TITAN

## LA SONDE PORTEUSE CASSINI

- 5,2 tonnes
- 12 instruments de mesure et d'observation.
- Spectromètres
- Caméras
- Magnétomètres
- Radar

## LA SONDE HUYGENS

- 350 kg
- 6 instruments scientifiques

Bouclier thermique de 2,7 m de diamètre

25 décembre 2004
La sonde Huygens s'est détachée du vaisseau amiral

14 janvier 2005
## UNE PLONGÉE DE 150 MINUTES DANS L'ATMOSPHÈRE DE TITAN

Altitude 150 km
Huygens se sépare de son bouclier thermique
Vitesse Mach 1,5

Altitude 300 km
Huygens plonge vers Titan.
Vitesse Mach 20

Altitude 125 km
Vitesse 35 m/s

## PROFIL DE L'ATMOSPHÈRE

Altitude, km: 140, 120, 100, 80, 60, 40, 20, 0

Pression, bar: 0,003, 0,01, 0,03, 0,1, 0,3, 1,0, 1,5

Couche haute de l'atmosphère

Température

Particules solides

Nuages de $CH_4$-$N_2$

Volcanisme ?

- 170° -130° - 90°
Température (en °C)

TITAN

```
1
```

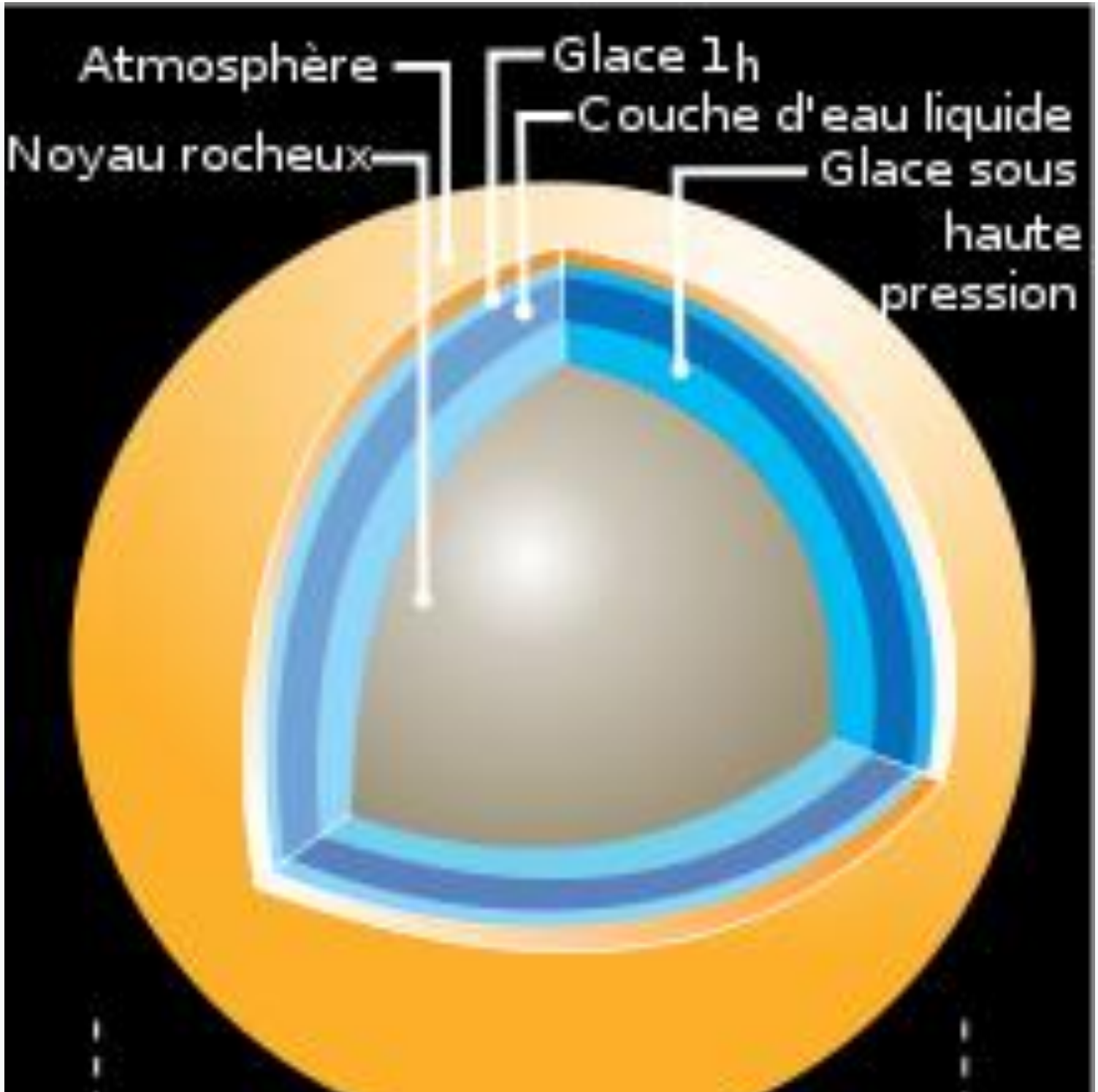
**Titan, comparé à la Terre.**

Titan orbite à une distance de **1 222 000** kilomètres de Saturne (soit 20,2 rayons saturniens). Il a un diamètre de **5 151** kilomètres ; en comparaison, la planète Mercure a un diamètre moyen volumétrique de 4 879 kilomètres, la Lune de 3 474 km, Mars de 6 779 kilomètres et la Terre de 12 742 kilomètres.

Avant l'arrivée de la sonde *Voyager 1* en 1980, la communauté scientifique pensait Titan légèrement plus grand que Ganymède (qui fait 5 262 km de diamètre), ce qui aurait fait de lui la plus grande lune du Système solaire. Cette **surestimation était induite par l'atmosphère dense et opaque de Titan**, qui s'étend à plus de 100 kilomètres au-dessus de sa surface et augmente ainsi son diamètre apparent.

Titan est donc le **deuxième plus grand satellite du Système solaire** et le plus grand satellite de Saturne.

## Structure interne [2]


Atmosphère
Glace 1h
Couche d'eau liquide
Noyau rocheux
Glace sous haute pression

Le diamètre et la masse de Titan (et donc sa masse volumique) sont similaires à ceux des lunes galiléennes Ganymède et Callisto.

Sur la base d'une masse volumique de 1,88 g $cm^{-3}$, Titan serait composé à **moitié de glace d'eau et à moitié de roches** (silicates et fer).

Les composés plus lourds sont très peu présents en surface, où la glace est le composant principal de la croûte (par un phénomène de différenciation)

## ATMOSPHERE

Titan est le seul satellite du système solaire possédant une **atmosphère significativement développée** ; les autres satellites n'ont au mieux que des traces de gaz. L'épaisseur de l'atmosphère de Titan serait comprise entre 200 km et 880 km (sur Terre, 99,999 % de la masse de l'atmosphère réside en dessous de 100 km d'altitude).

Elle est opaque sur de nombreuses longueurs d'onde et interdit l'obtention d'un **spectre de réflectance** complet. Sonde

L'existence d'une atmosphère est découverte par **Gerard Kuiper en 1944** par spectroscopie. Il estime que la pression partielle de méthane est de l'ordre de 0,1 bar. En réalité elle est de **1.6** bars au niveau du sol, et une densité équivalente à **5 fois** l'atmosphère terrestre.

La **température moyenne de l'atmosphère au niveau du sol** est de 94 K **(–179** °C ) ; elle atteint un minimum de 72 K **(–201** °C ) au niveau de la **tropopause** (à une altitude de 40 km).

## Composition [4]

L'atmosphère de Titan est composée à **98,4 % de diazote** — ce qui en fait la seule atmosphère dense riche en azote du Système solaire en dehors de la Terre —, le 1,6 % restant étant composé de méthane et de traces d'autres gaz comme des hydrocarbures , du monoxyde de carbone, de l'argon et de l'hélium.

Les chercheurs de la NASA pensent que les hydrocarbures forment la haute atmosphère. Ils proviennent de réactions de **dissociation du méthane** par la lumière **ultraviolette du soleil,** qui produisent un épais **smog orangé**.

**Titan n'a aucun champ magnétique** et orbite parfois **en dehors de la magnétosphère de Saturne**, l'exposant directement au vent solaire.

Il est possible que certaines molécules soient **ionisées** et emportées en dehors de la haute atmosphère.

Des **anions lourds** ont été détectés dans l'ionosphère de Titan et on estime que ceux-ci tombent vers les régions plus basses pour former la brume orange qui obscurcit la surface du satellite, et recouvrir certaines parties de la surface de titan de **bitume**.

Leur structure n'est pas connue, mais il **pourrait** s'agir de **tholins** formant les bases de molécules plus complexes,

### Vents

La circulation atmosphérique suit la direction de la rotation de Titan, d'ouest en est. Les observations de l'atmosphère effectuées par *Cassini* en 2004 suggèrent que l'atmosphère tourne plus rapidement que la surface.

### Ionosphère

L'ionosphère de Titan est plus complexe que celle de la Terre. La partie principale se situe à 1 200 km d'altitude, mais une couche additionnelle de particules chargées est présente à 63 km d'altitude.

L'atmosphère de Titan est donc en quelque sorte séparée en deux chambres résonnantes aux ondes radio distinctes.

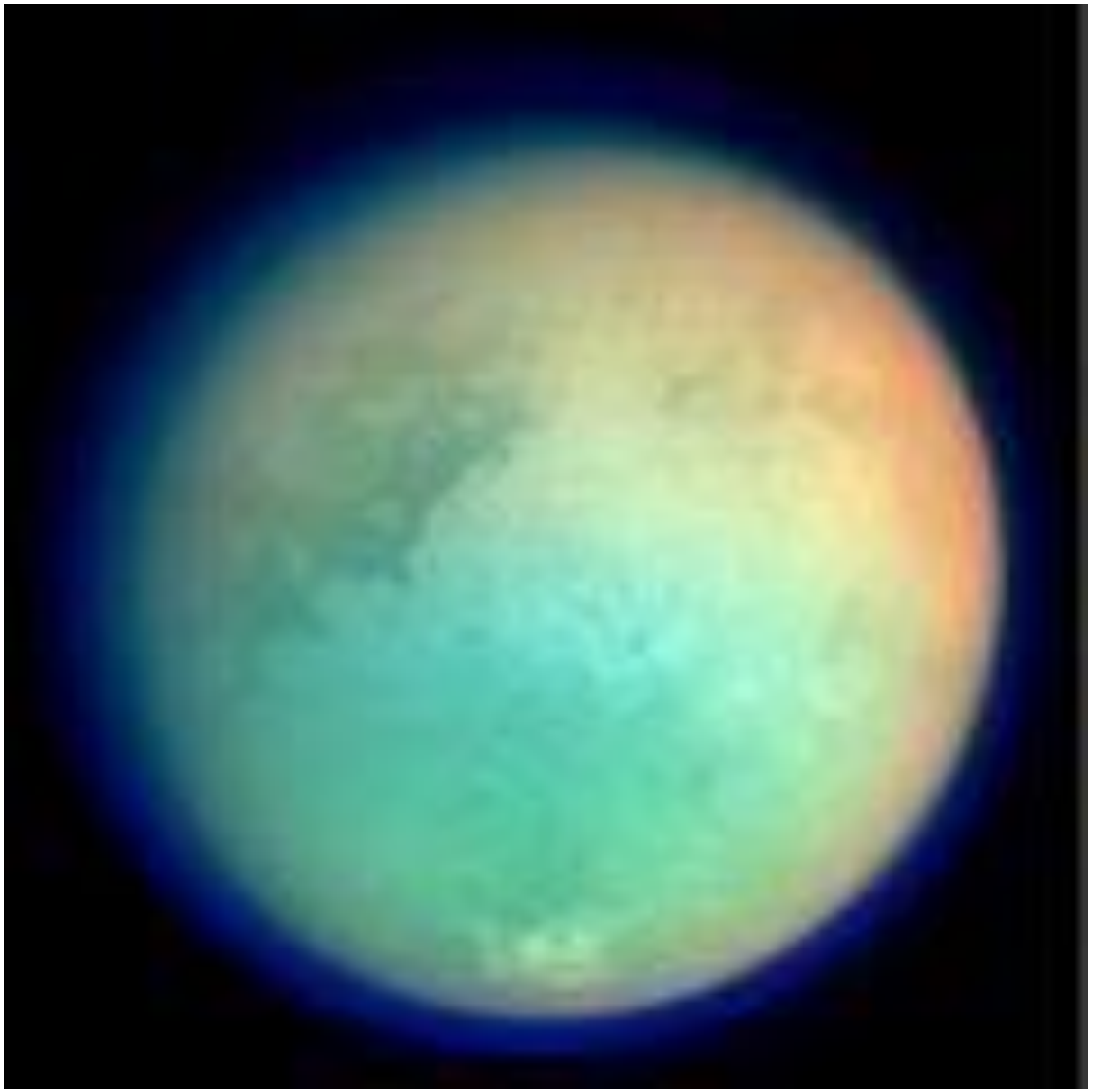
Titan émet des **ondes à très basse fréquence** dont l'origine n'est pas connue, car il ne semble pas y avoir d'activité orageuse intense.

## Surface

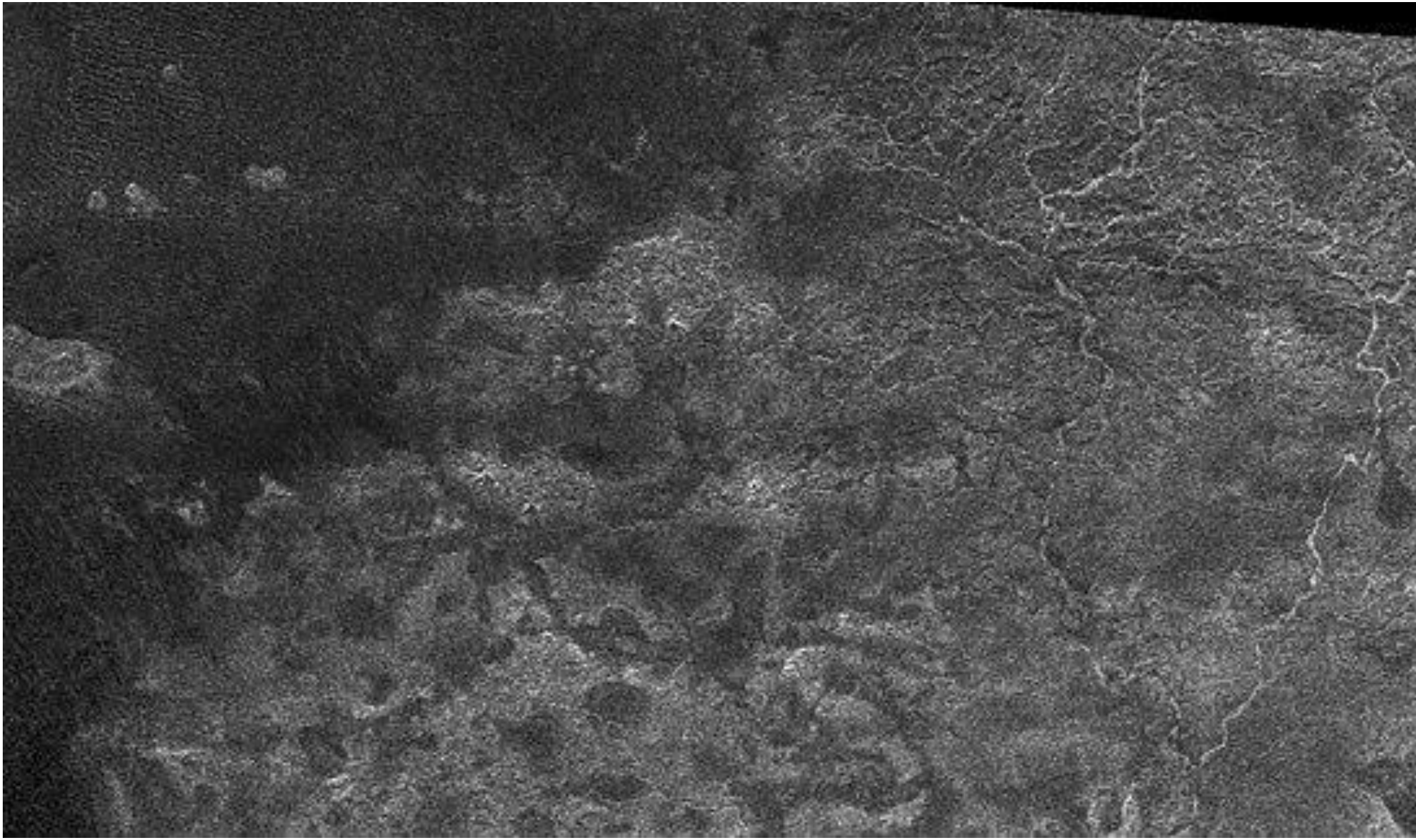
### Généralités [5]

La surface de Titan est décrite comme « **complexe, produite par des fluides et géologiquement jeune** ».

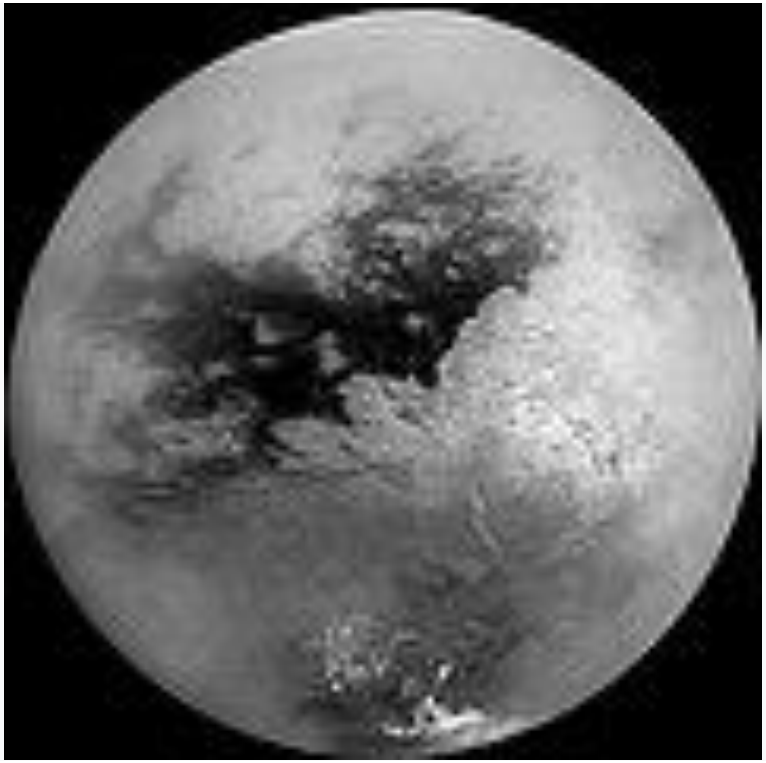
Les données collectées par *Cassini* entre octobre 2005 et mai 2007 montrent que des repères caractéristiques de la surface se sont déplacés jusqu'à 30 km pendant cette période. Ce déplacement suggère que la croûte est séparée de l'intérieur de la lune, ce qui constitue un **indice supplémentaire quant à l'existence d'un océan interne.**



Photographie de Titan en fausses couleurs, montrant des détails de la surface et de l'atmosphère. **Xanadu** est la région brillante située dans le centre-droit.



Région occidentale de Xanadu bordant Shangri-la (visible en haut à gauche) et caractérisée par ses impressionnantes vallées d'hydrocarbures légers — méthane $CH_4$, éthane $C_2H_6$ — et d'azote liquide, bien visibles à droite.

- 

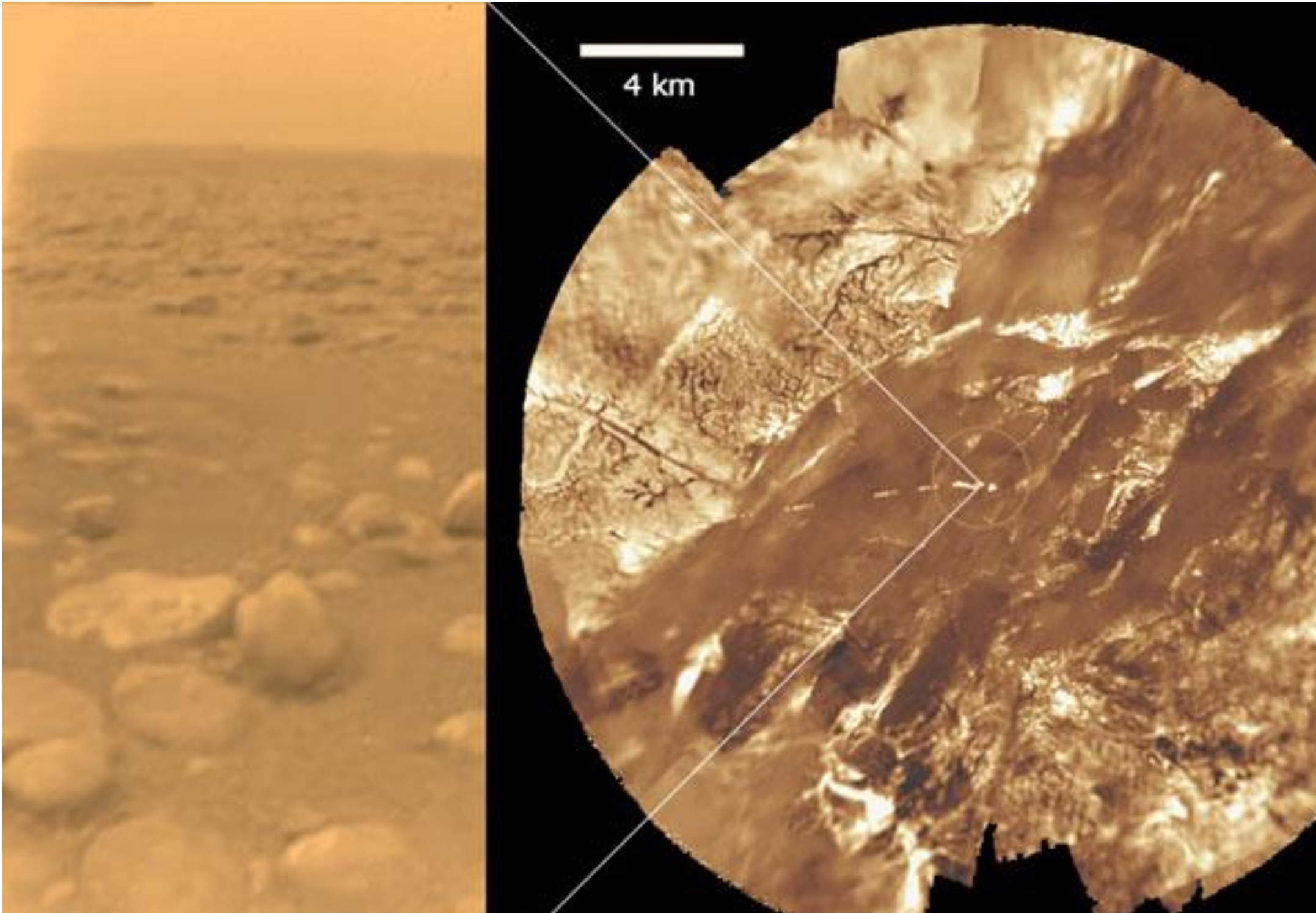
Vue de Titan par la mission *Cassini*, le 26 octobre 2004. Cette mosaïque de neuf images montre des variations d'éclat de la surface de Titan et des nuages lumineux près du pôle sud. La région la plus lumineuse du côté droit et la région équatoriale portent le nom de **Xanadu**, tandis que la plus sombre s'appelle **Shangri-La**. La surface semble jeune du fait de l'absence de cratère visible.

Image recomposée de Titan en infrarouge vu par la sonde *Cassini* en novembre 2015. Le bleu représente les longueurs d'onde centrées sur 1,3 µm, le vert sur 2,0 et le rouge sur 5,0.

La surface de Titan est marquée par de grandes régions de terrain clair ou foncé. Parmi celles-ci, **Xanadu** est une zone équatoriale réfléchissante d'une **surface égale à celle de l'Australie**. Elle est identifiée pour la première fois grâce à des images prises dans l'infrarouge par le télescope spatial *Hubble* en 1994, puis observée par la suite par la sonde *Cassini*.

En 2005, le module *Huygens* se pose sur Titan à l'est de la région nommée **Adiri** et photographie des collines pâles traversées de « rivières » sombres se dirigeant vers une plaine également sombre. Ces collines seraient composées de glace d'eau. Des composés organiques sombres, créés dans la haute atmosphère de Titan par le rayonnement ultraviolet du Soleil, pourraient pleuvoir sur ces montagnes. Ils seraient ensuite lessivés par la pluie de méthane et déposés sur les plaines.

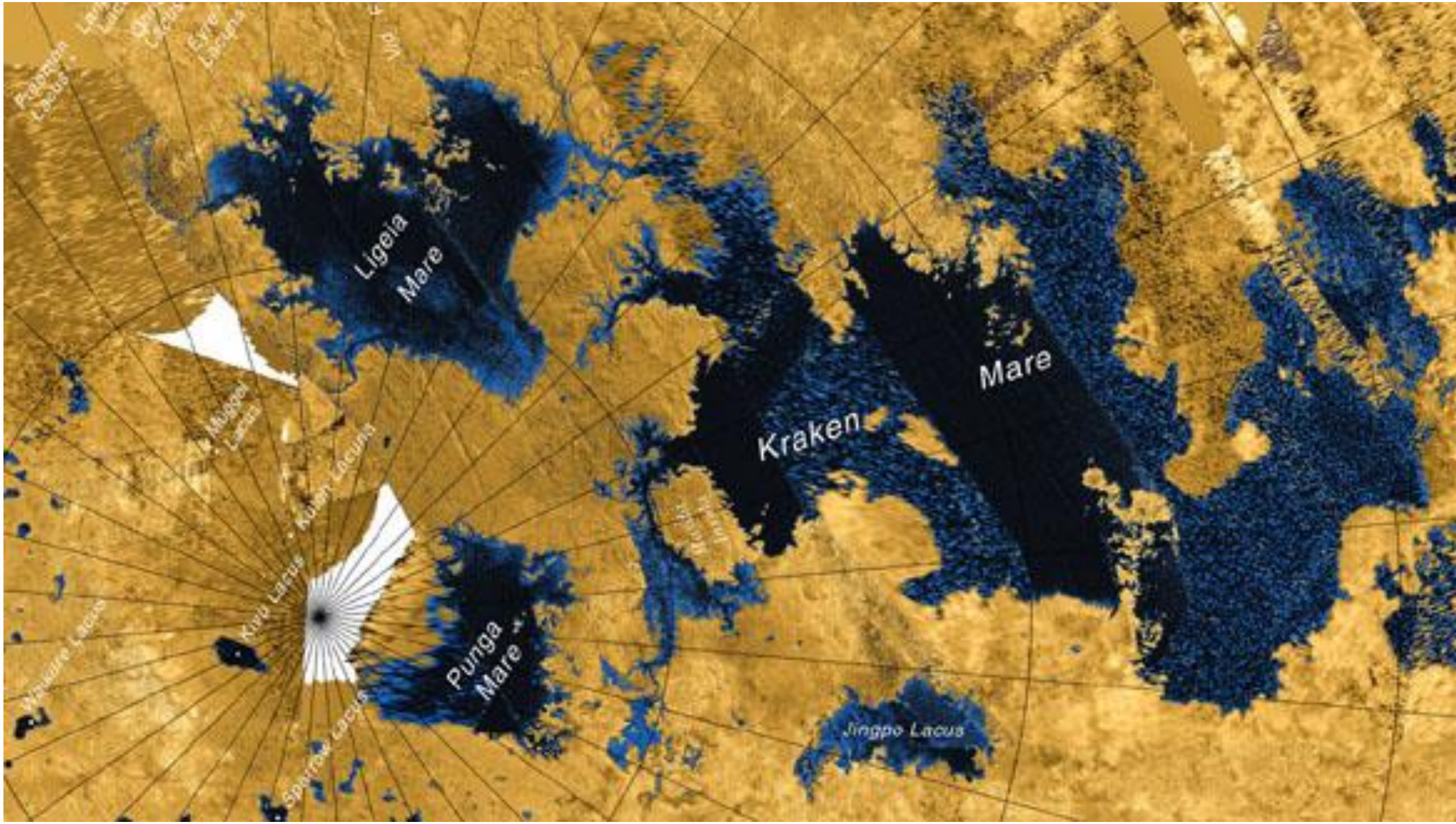
Une cartographie complète de Titan avec une résolution inférieure au kilomètre a été publiée en 2019, basée sur les données de la sonde Cassini.


4 km

Si Cassini nous en apprend un peu plus à chacun des survols de Titan qu'elle réalise, l'atterrisseur européen **Huygens** a permis aux scientifiques de faire un grand bond en avant

**Liquides** 6

Lacs de Titan.




Le pôle Nord de Titan est parsemé de lacs d'hydrocarbures légers et d'azote liquide comme le Ligeia Mare ou encore le Kraken Mare. Ce dernier est la plus vaste étendue liquide connue sur Titan avec ses 1 170 km de long - Photo NASA/JPL-Caltech/ASI/USGS

Il existe deux types de lacs et sont essentiellement situés dans les régions polaires. Les lacs permanents et les lacs intermittents.

Les premiers sont de grande taille et persistent même pendant la saison chaude tandis que les seconds s'évaporent et viennent alimenter l'atmosphère avant de retomber sous forme de précipitations de gouttes mesurant en moyenne 1 cm de diamètre.

La quantité de méthane évaporé ne correspond pas à la quantité de méthane présent dans l'atmosphère.

Le rayonnement ultraviolet du Soleil le détruit après une dizaine de millions d'années.

Si les lacs ne sont pas assez nombreux pour fournir la quantité mesurée dans l'atmosphère, c'est qu'il existe un autre procédé qui alimente cette dernière en méthane.

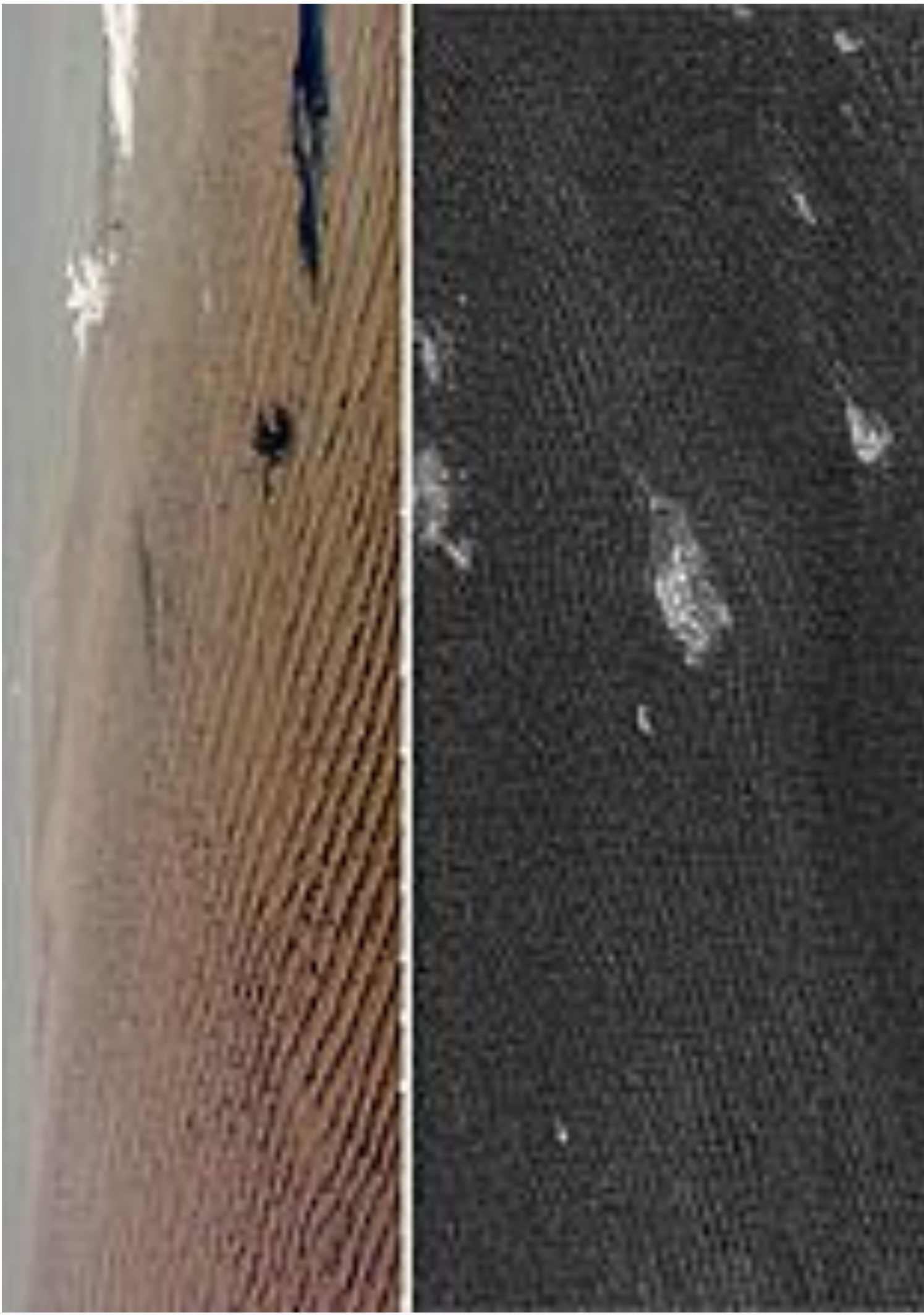
## Cratères

La sonde *Cassini* ne découvre que peu de cratères d'impact à la surface de Titan, ce qui suggère une surface jeune. Parmi les cratères découverts, les plus notables sont **Menrva**, le plus grand avec un bassin de 440 km de diamètre à plusieurs anneaux

## Cryovolcanisme et montagnes [7]

Titan est sujet au Cryo volcanisme. De l'argon 40 détecté dans l'atmosphère indique que des volcans expulsent des panaches non pas de lave mais de liquides composés d'eau et d'ammoniac. *Cassini* ayant détecté des émissions de méthane provenant d'un Cryo volcan, la communauté scientifique pense désormais que ce volcanisme est une source significative de la présence de méthane dans l'atmosphère

Les montagnes de Titan sont nommées suivant les noms fictifs donnés par **Tolkien** dans son univers littéraire fantastique.



Dunes sur la Terre (en haut), comparées aux dunes à la surface de Titan (en bas).

Sur les premières images de la surface de Titan prises depuis la Terre au début des années 2000, de grandes régions sombres sont mises en évidence à cheval sur l'équateur.

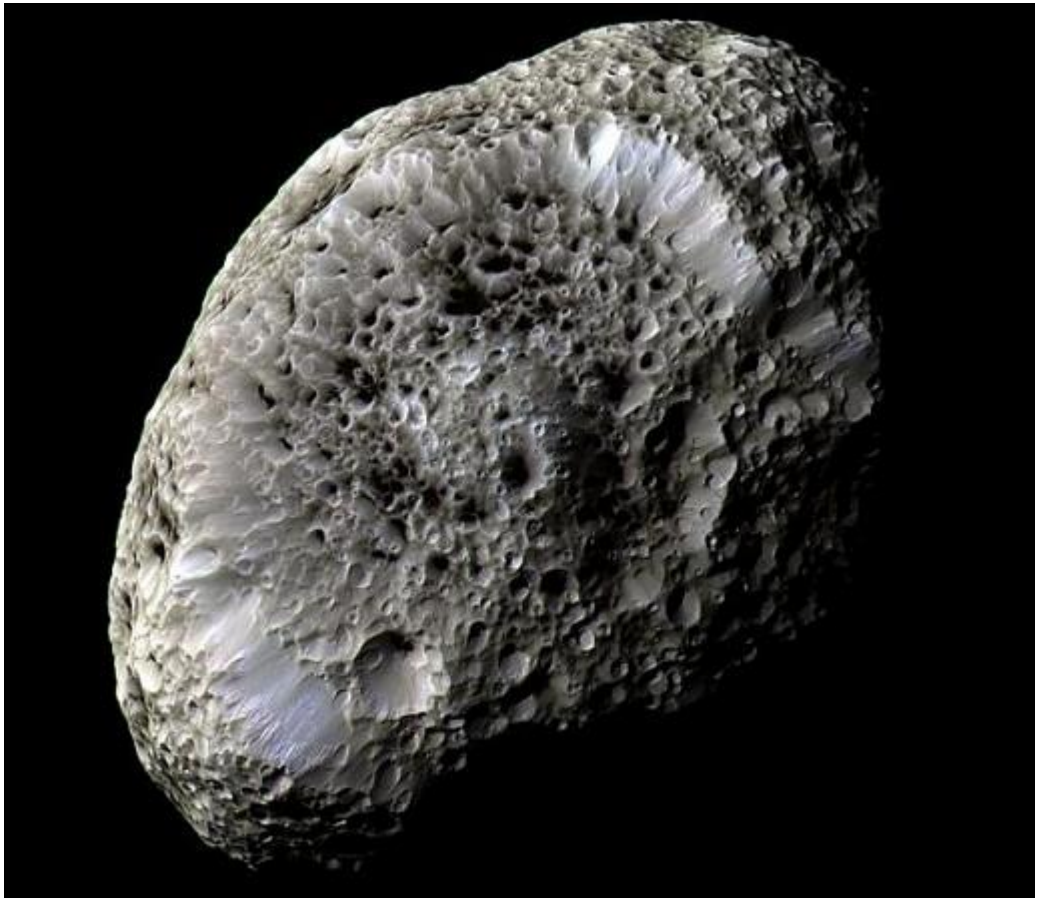
Avant l'arrivée de *Cassini*, les chercheurs pensaient que ces régions étaient des mers de matière organique, de bitume ou d'hydrocarbures liquides.

Les images radar prises par *Cassini* révèlent que certaines de ces régions sont en réalité de grandes plaines recouvertes de dunes, certaines mesurant jusqu'à 330 mètres de hauteur

**ORBITE** [9]

Titan parcourt son orbite autour de Saturne en **15 jours et 22 heures**. Comme la Lune et de nombreux autres satellites des géantes gazeuses, sa période orbitale est identique à sa période de rotation : Titan est donc en **rotation synchrone avec Saturne**.

Les orbites de Titan et d'**Hypérion** — un petit satellite irrégulier — sont en **résonance 3:4** : Titan effectue quatre orbites autour de Saturne quand Hypérion en accomplit trois. Sur la base des modèles de formation du système saturnien, Hypérion se serait probablement formé dans cet îlot de stabilité orbitale, Titan ayant absorbé ou éjecté les objets situés en dehors.



**Climat**

La brume atmosphérique diminue la température dans la basse atmosphère, tandis que le méthane fait monter la température à la surface. Les cryovolcans produisent des éruptions de méthane dans l'atmosphère, méthane qui retombe ensuite sous forme de pluies sur la surface, pour former des lacs.

La température à la surface de Titan est d'environ 94 K **(–179** °C). À cette température, la glace d'eau **ne se sublime pas** et l'atmosphère est presque entièrement **dénuée de vapeur d'eau**. Le brouillard de l'atmosphère contribue à **un contre-effet de serre en réfléchissant la lumière du soleil** : la surface de Titan **est nettement plus froide** que sa haute atmosphère.

Les simulations de la configuration globale des vents, fondées sur les données de la vitesse des vents prises par *Huygens* durant sa descente, ont suggéré que l'atmosphère de Titan circule dans une énorme et unique **cellule de Hadley**. [10]

L'air chaud monte dans l'hémisphère sud de Titan (hémisphère qui était en « été » lors de la descente de Huygens) et descend dans l'hémisphère nord.

Cela entraîne un débit d'air de haute altitude du sud vers le nord, et un flux d'air à basse altitude du nord au sud. Une telle cellule de Hadley **n'est possible que sur un système qui tourne lentement**, ce qui est le cas de Titan.

**Nuages** [11]

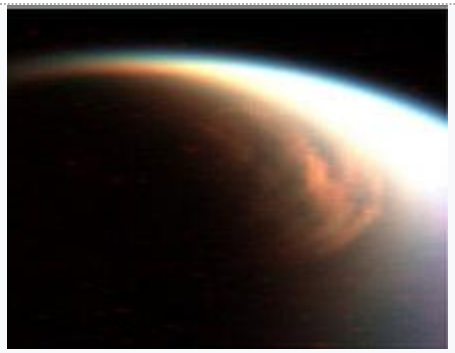


Image en fausses couleurs d'un nuage au-dessus du pôle nord de Titan.

En septembre, *Cassini* a pris une image d'un gros nuage à une altitude de 40 km au-dessus du pôle nord de Titan. Bien que le méthane soit connu pour se condenser dans l'atmosphère de Titan, le nuage serait plus probablement composé d'éthane, car les particules détectées mesuraient seulement de 1 à 3 µm, et que l'éthane pouvait aussi congeler à ces altitudes.

Conditions prébiotiques et possible vie

**Vie sur Titan**. [12]

La composition actuelle de l'atmosphère de Titan semble assez proche de l'hypothèse faite pour celle de l'atmosphère primitive de la Terre, c'est-à-dire avant que les premiers organismes vivants n'aient commencé à libérer de l'oxygène. La présence, au sein de l'atmosphère de Titan, de molécules organiques complexes identiques à celles qui pourraient être à l'origine de l'apparition de la vie sur Terre, fait de Titan un objet d'étude très intéressant pour les exobiologistes.

L'expérience de Miller-Urey et d'autres expériences ultérieures démontrent qu'il est possible de produire des molécules complexes et des polymères, comme les **Tholins**, à partir d'une atmosphère similaire à celle de Titan soumise à un rayonnement ultraviolet. Les réactions débutent par la dissociation de l'azote et du méthane, formant du cyanure d'hydrogène et de l'acétylène. Des réactions ultérieures sont le sujet de nombreuses études.

Malgré ces possibilités, **l'analogie avec la Terre est inexacte.**

À cette distance du Soleil, Titan est glaciale (un effet accru par l'anti-effet de serre de sa couverture nuageuse), et son atmosphère est dépourvue de dioxyde de carbone, qui est gelé dans le sol, mélangé à la glace d'eau.

Du fait de ces contraintes, le sujet de la vie sur Titan est sans doute mieux décrit comme une **expérience permettant de tester les théories t**raitant des conditions nécessaires précédant le développement de la vie sur Terre

## Historique

### Découverte

Christian Huygens, découvreur de Titan en 1655.

Titan est découvert le 25 mars 1655 par l'astronome néerlandais Christian Huygens, inspiré par la découverte des quatre satellites de Jupiter par Galilée en 1610 à l'aide d'un télescope. La chance a été de son côté car il l'a observé au moment où l'anneau était sur le point de se cacher.

**Observation**

Titan n'est jamais visible à l'œil nu, mais peut être observé à l'aide de petits télescopes ou de bonnes jumelles.

Son observation en amateur est difficile à cause de la proximité du globe de Saturne et du système annulaire.

C'est pourquoi les observations du satellite sont peu nombreuses avant l'âge spatial.

En 1907, l'astronome espagnol Josep Comas i Solá annonce qu'il a observé un assombrissement des bords du disque de Titan et deux zones blanches et rondes en son centre.

En 1940, Gerard Kuiper déduit que Titan possède une atmosphère.

## Exploration

### Prochaine mission : *Dragonfly* *13*

Schéma présentant le déroulement de la mission de ***Dragonfly*.**

La prochaine mission qui doit explorer Titan est *Dragon Fly*, sonde qui doit être lancée en 2026 et arriver à la surface de Titan en 2034.

*Dragonfly* a été sélectionnée en tant que quatrième mission du programme *New Frontiers* : ce programme de l'agence spatiale américaine, la NASA, regroupe des missions d'exploration du Système solaire dont le coût est plafonné à un milliard de dollars.

*Dragon Fly* tire parti de la gravité de Titan, largement inférieure à celle de la Terre (13,8 %), et de son atmosphère quatre fois plus épaisse. Ces deux caractéristiques sont favorables à la mise en œuvre d'un engin volant.

*Dragon Fly* est ainsi un drone hélicoptère de 450 kg comportant quatre rotors d'un mètre de diamètre.

Il est capable d'effectuer de courts vols en pilotage automatique d'environ huit kilomètres avant de se poser pour recharger ses batteries à l'aide d'un générateur thermoélectrique à radioisotope embarqué.

Durant la phase de vol (à une vitesse 36 km/h et une altitude plafonnée à 4 km), le drone analyse la composition de l'atmosphère et établit le profil vertical de celle-ci.

Lorsqu'il est au sol, il étudie la composition des matériaux organiques et des glaces de la surface en utilisant un spectromètre de masse et un spectromètre gamma à neutrons actifs. Le drone dispose également d'instruments pour étudier la météorologie et effectuer des études sismiques

Sources WIKIPEDIA

Titan (lune de Saturne) — Astronoo

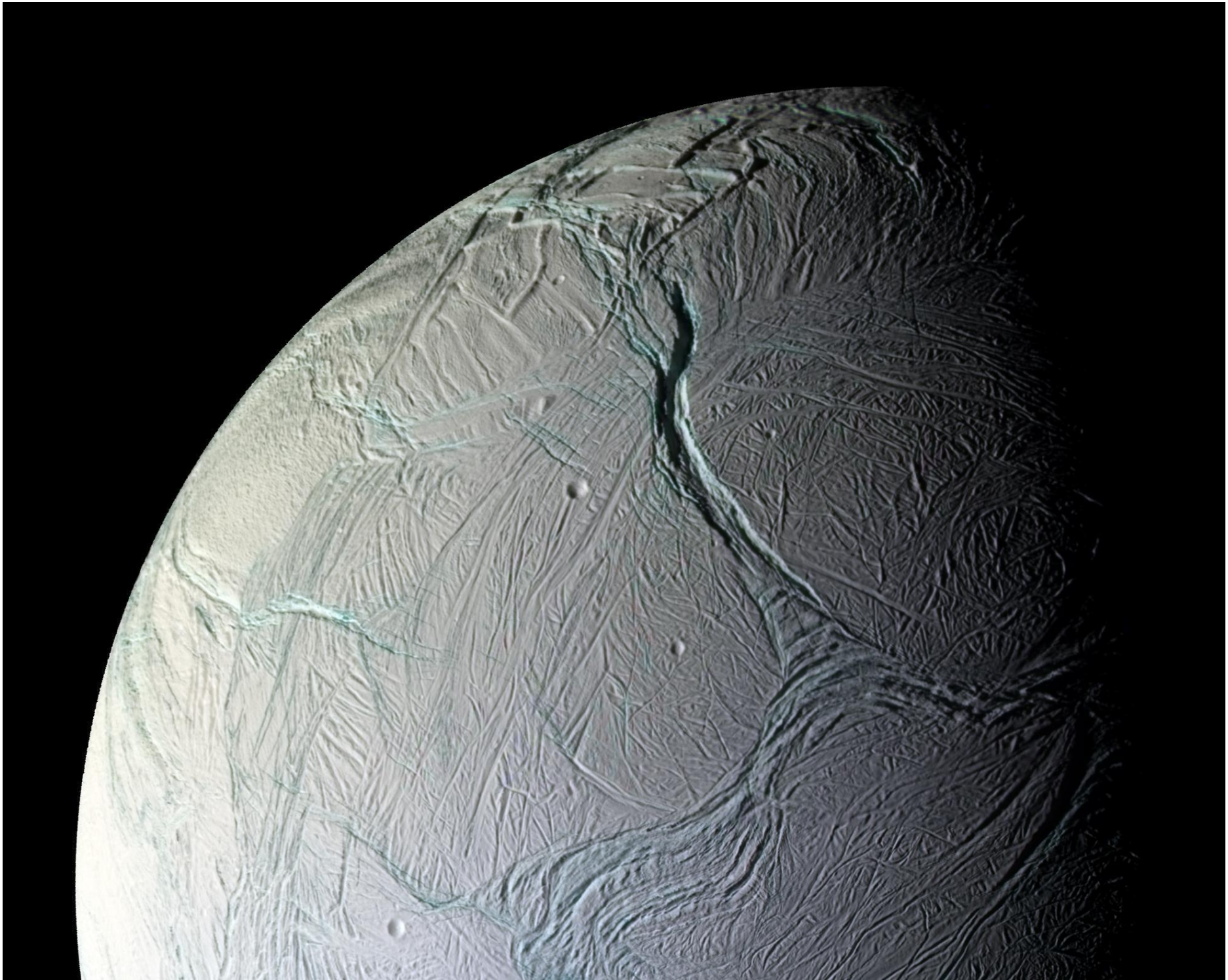
La lune Titan (destination-orbite.net)

# ENCELADE

**10/06/2022**

**J.P. BERG**

**Le 9 octobre 2008, juste après être arrivé à moins de 25 kilomètres (15,6 miles) de la surface d'Encelade**, **Cassini** de la NASA a capturé cette magnifique photo alors que le vaisseau spatial s'éloignait de cette lune géologiquement active de Saturne. Crédit d'image : NASA/JPL/Space Science Institute



**La sonde Cassini de la NASA a capturé cette image d'Encelade le 30 novembre 2010**. L'ombre du corps d'Encelade sur les parties inférieures des jets est clairement visible. Crédit d'image : NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

**Encelade** (*S II Enceladus*) est un satellite naturel de Saturne, découvert par William Herschel en 1789. Il s'agit du sixième satellite de Saturne par la taille et du quatorzième par son éloignement.

Dans la mythologie grecque, **Encelade** ou **Encélade** (en grec ancien Ἐγκέλαδος / *Egkélados*) est un des Géants, fils de Gaïa (la Terre), fertilisée par le sang de la castration d'Ouranos (le Ciel).

Depuis la mission *Voyager 2*, et surtout la mission *Cassini-Huygens*, arrivée en orbite saturnienne en 2004, Encelade est réputé pour posséder plusieurs caractéristiques étonnantes, dont une géologie très complexe jusque-là insoupçonnée, et une activité qui reste toujours actuellement difficile à expliquer, pour un corps de si petite taille (500 km de diamètre en moyenne).

La sonde *Cassini* a d'ailleurs observé à sa surface des jets de matière qui pourraient être semblables à des geysers composés « **d'une sorte d'eau carbonique mélangée à une essence de gaz naturel**», et qui semblent **indiquer la présence d'eau liquide sous la surface**. De récentes observations ont permis de confirmer cette hypothèse, en démontrant la présence d'un océan d'eau liquide sous sa surface. Les trois ingrédients de la vie (chaleur, eau, molécules organiques) seraient donc potentiellement présents sur Encelade.

Encelade tourne autour de Saturne au sein de l'anneau le plus externe et le plus ténu de tous, appelé **anneau E** ; cet anneau serait alimenté en permanence en particules par les « éruptions volcaniques » actuelles (ou récentes) d'Encelade. Ce satellite est l'un des quatre seuls objets du Système solaire (avec le satellite de Jupiter, Io, celui de Neptune, Triton, et bien sûr la Terre) sur lesquels des éruptions ou des éjections de matière ont pu être directement observées.

## Observation

Pour un observateur terrestre, la magnitude apparente d'Encelade à l'opposition est de 11,7, **il n'est donc jamais visible à l'œil nu**. Suivant les conditions d'observation et la « qualité du ciel », un télescope de **300 mm de diamètre** est en général nécessaire pour réussir à l'apercevoir.

Puisqu'il fait le tour de Saturne en **1,37** jour (soit un peu moins de **33 heures**), il est possible, au cours d'une même nuit d'observation, de se rendre compte du mouvement d'Encelade autour de sa planète, pour peu que la durée de visibilité soit suffisamment longue.

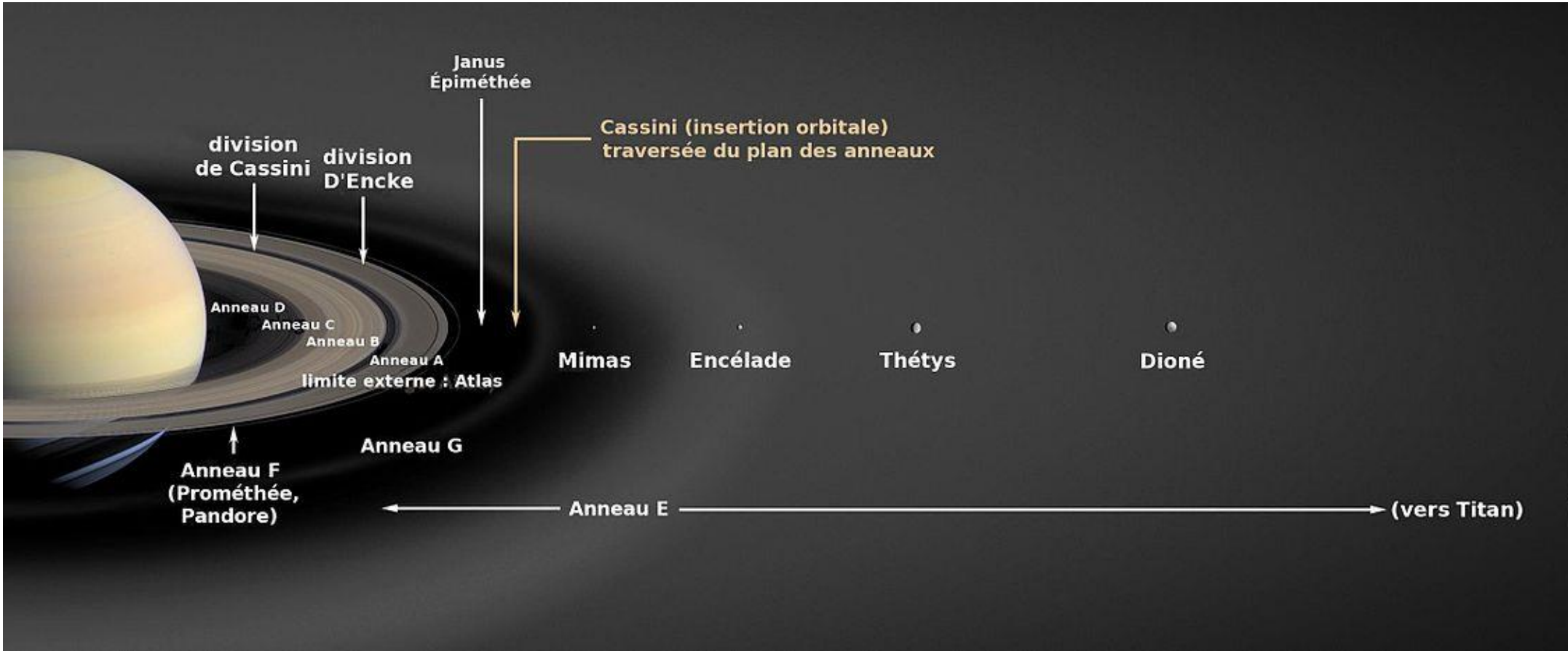
En août 1981, *Voyager 2* réussit à saisir des images de bien meilleure résolution, suffisamment détaillées pour révéler que, contrairement par exemple à **Mimas**, qui possède une surface vieille, sombre et abondamment cratérisée, la **surface d'Encelade est plutôt lisse, jeune et brillante**.

Encelade fait partie des *satellites majeurs internes* du système saturnien, et se situe en quatorzième position par ordre d'éloignement à partir de Saturne ; il orbite à l'intérieur de l'anneau E, le plus externe de tous, à l'endroit où la densité de matière est maximale au sein de cette couronne très large mais très ténue.

Encelade se trouve de plus en **résonance 2:1 avec une autre lune de Saturne, Dioné** ; il parcourt donc exactement deux orbites pendant que Dioné de son côté fait une révolution autour de la planète.

Encelade est en moyenne à **238 000 km du centre de Saturne, mais seulement à 180 000 km de ses nuages les plus élevés**, soit trois fois le rayon de la planète, et en fait le tour en **32 h 53 min environ**. Comme beaucoup de satellites naturels, Encelade est

en **rotation synchrone** autour de Saturne ; sa période orbitale étant égale à sa période de rotation, il présente toujours la même face vers la planète, comme le fait la Lune avec la Terre.



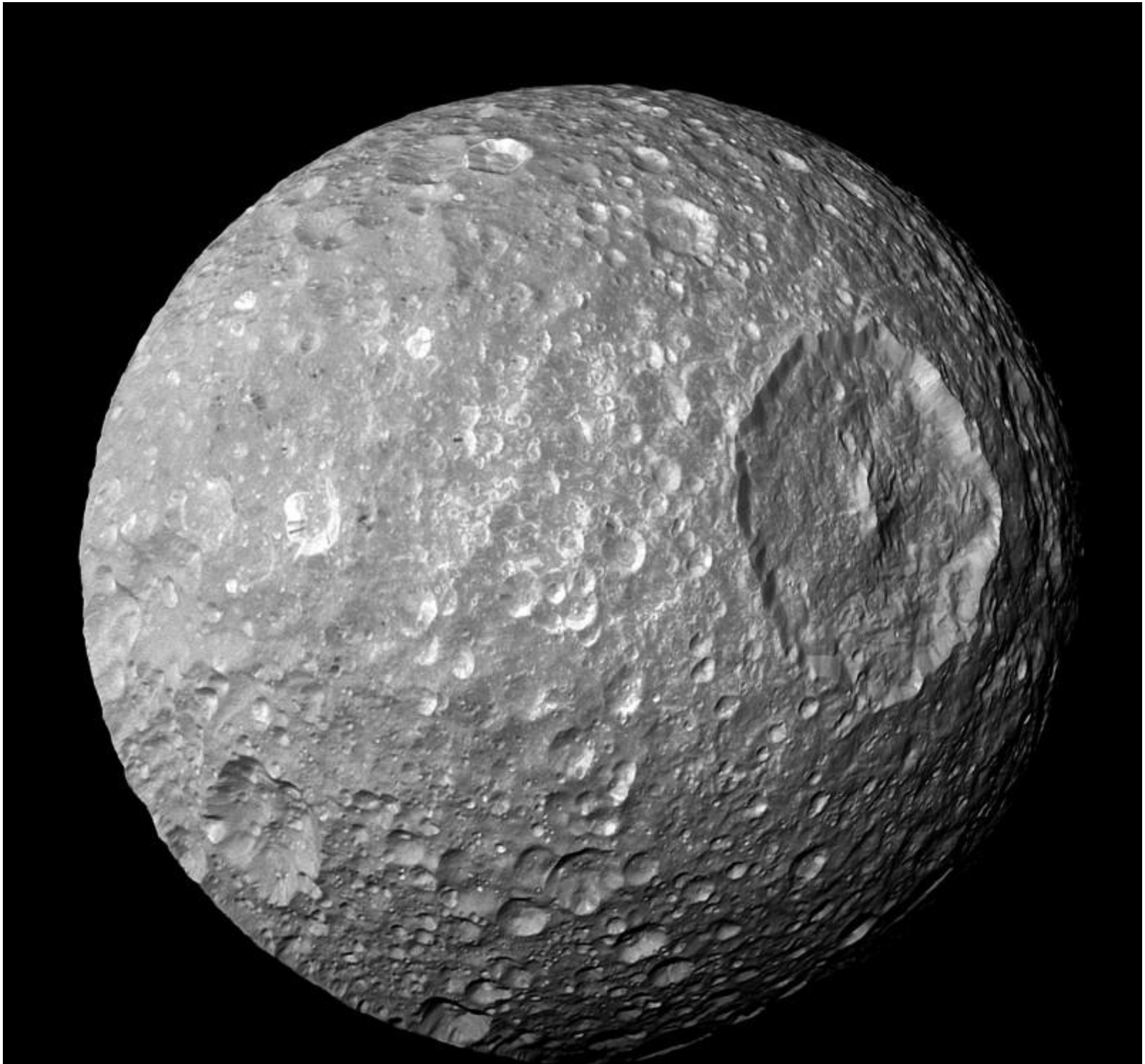

**Encelade orbite à l'intérieur de l'anneau E, à l'endroit où celui-ci est le plus dense.**

## Forme et dimensions

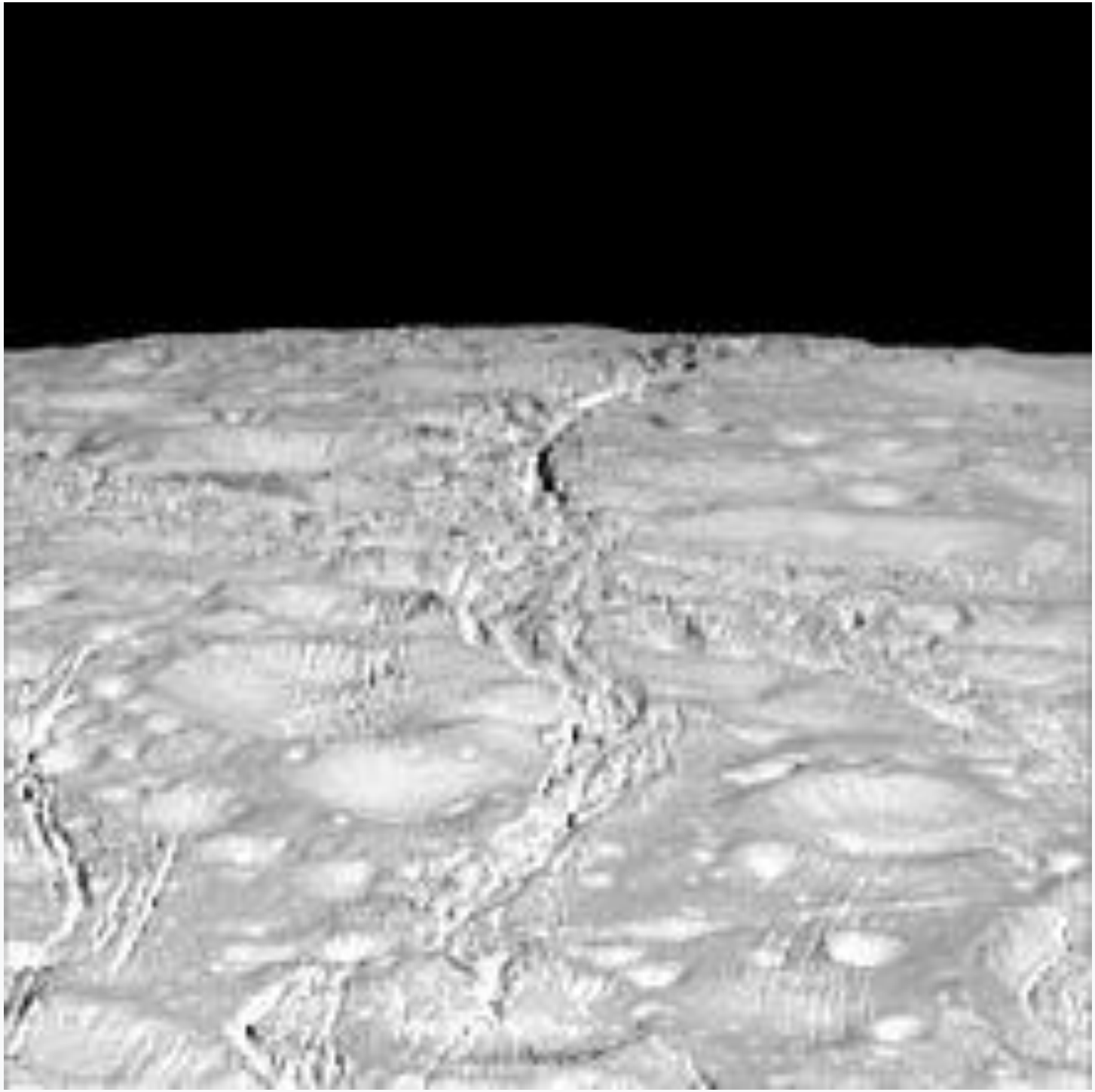
Comparaison à l'échelle de la taille d'Encelade et de celle de la Grande-Bretagne.

Encelade est un satellite plutôt petit, par son diamètre moyen de **500 km**, soit presque sept fois inférieur à celui de la Lune. Ces dimensions réduites lui permettraient de tenir à l'intérieur de la Grande-Bretagne, comme le montre l'illustration ci-contre.

Il s'agit du sixième satellite de Saturne par ordre de masse et de diamètre décroissant, après **Titan** (5 150 km de diamètre), **Rhéa** (1 530 km), **Japet** (1 440 km), **Dioné** (1 120 km) et **Téthys** (1 050 km). C'est également l'un des plus petits satellites sphériques du système interne, tous les autres satellites plus petits ayant une forme irrégulière (mis à part **Mimas** avec ses 390 km de diamètre).



## Surface 1



Photographie de la surface d'Encelade, prise par la **sonde *Cassini* le 14 octobre 2015** et montrant des cratères traversés par de fines fractures.

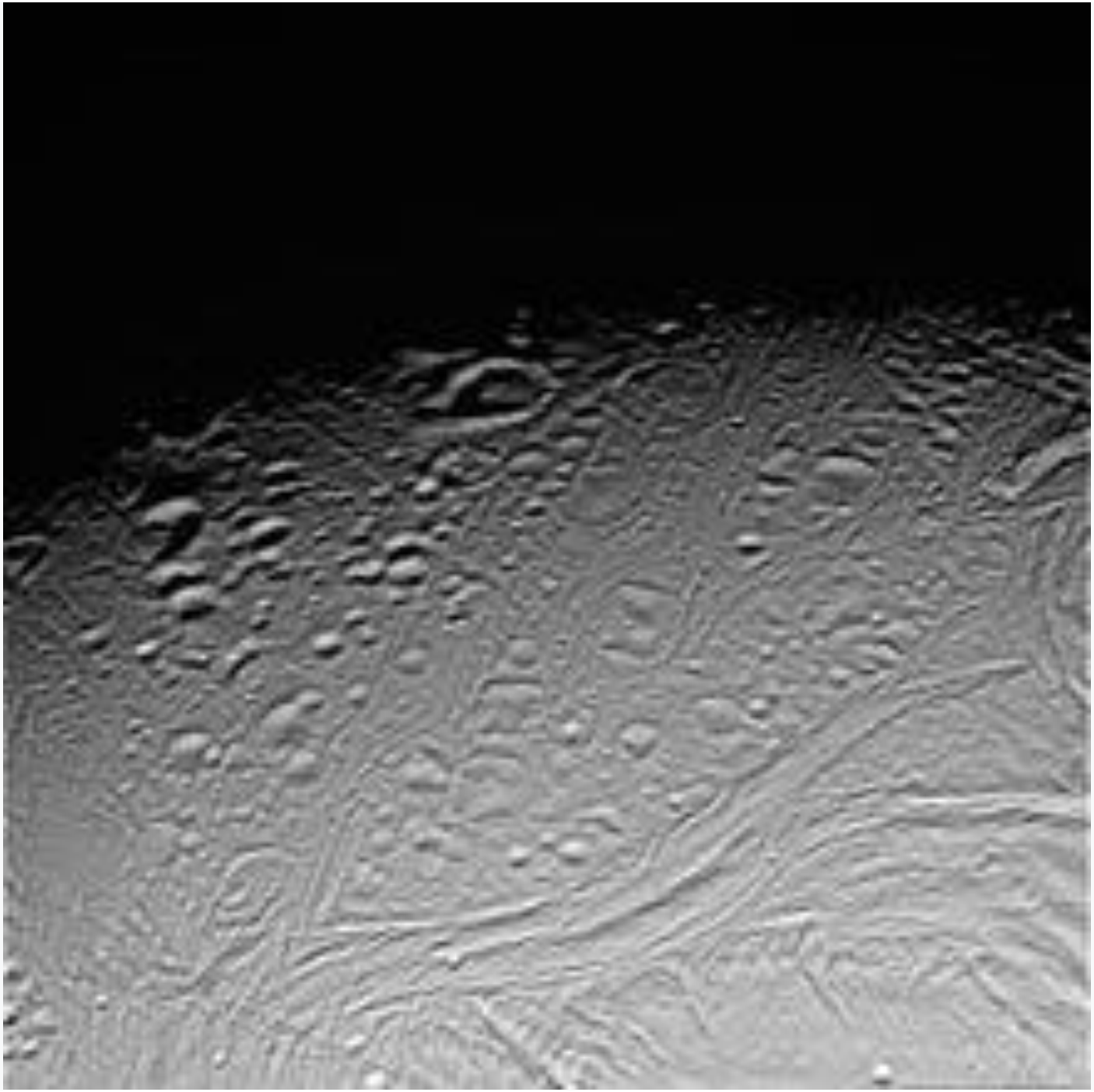
Les images prises par *Voyager 2* en août 1981 étaient les premières à fournir des observations topographiques intéressantes de la surface d'Encelade.

## Désignations des caractéristiques géologiques

Les formations géologiques d'Encelade tiennent leurs noms de personnages et de lieux présents dans le recueil de contes persans les *Mille et une nuits*https://fr.wikipedia.org/wiki/Encelade_(lune) - cite_note-Burton-11.

**Sinbad, Aladin**, Iznogod

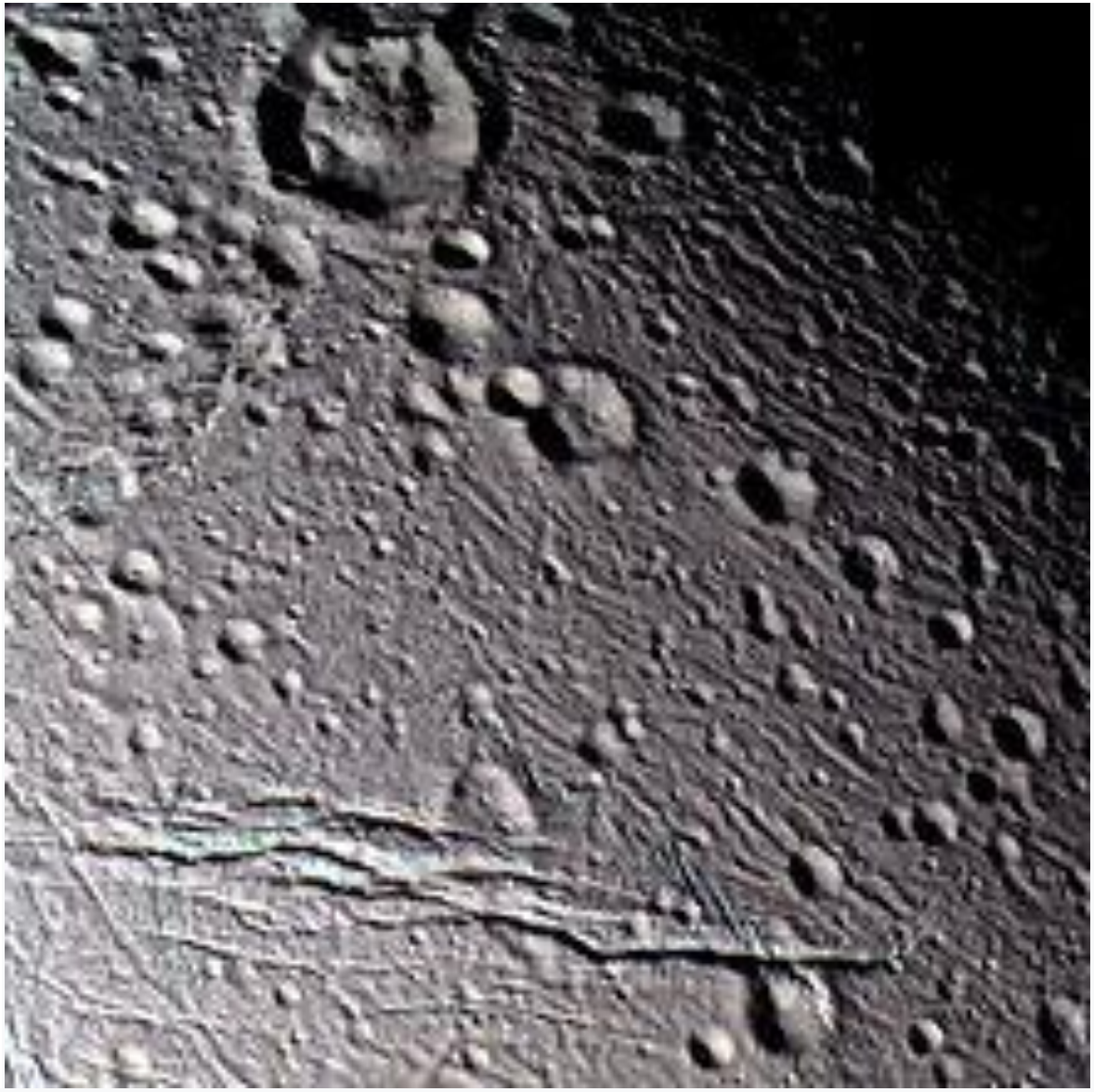
## Cratères d'impact 2



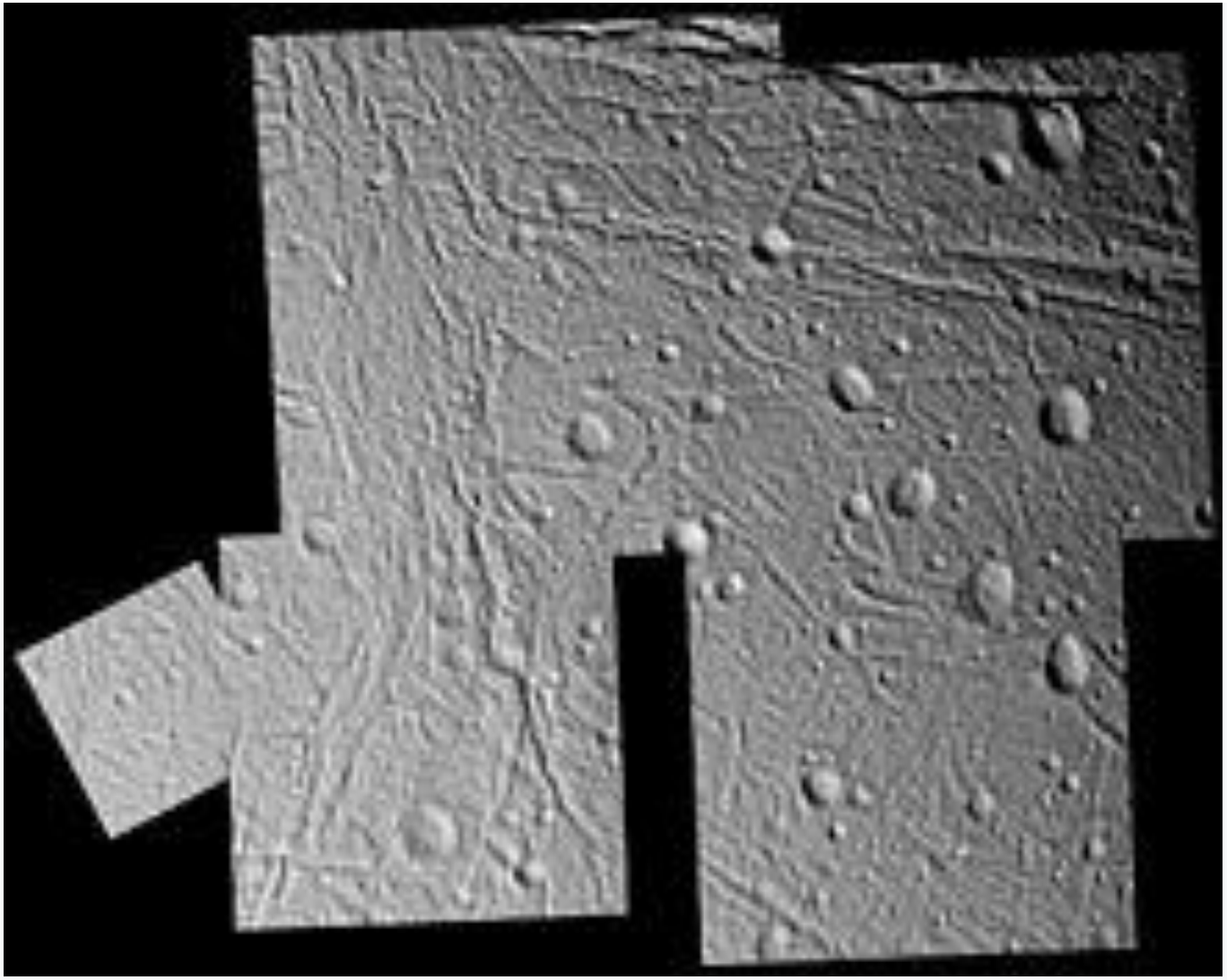
**Cratères dégradés par relaxation visqueuse**. Dans la partie centrale de l'image, seules quelques traces du rebord circulaire et le centre formé en dôme permettent de deviner la présence d'anciens cratères.

La **relaxation visqueuse** est le phénomène par lequel des cratères formés sur une croûte de glace d'eau se déforment, à des échelles de temps géologiques. La rapidité du phénomène dépend en grande partie de la température de la glace, une glace « chaude » étant moins visqueuse et, en conséquence, plus facile à déformer. Le fond des cratères ayant été déformé par relaxation visqueuse tend généralement à prendre une forme de dôme ; après une très longue période, il peut ne subsister comme preuve de la présence d'un cratère que le rebord circulaire, légèrement plus élevé que le sol environnant.

Des cratères d'impact sont présents à la surface de la plupart des objets du Système solaire.



Cratères dégradés par des fractures tectoniques.

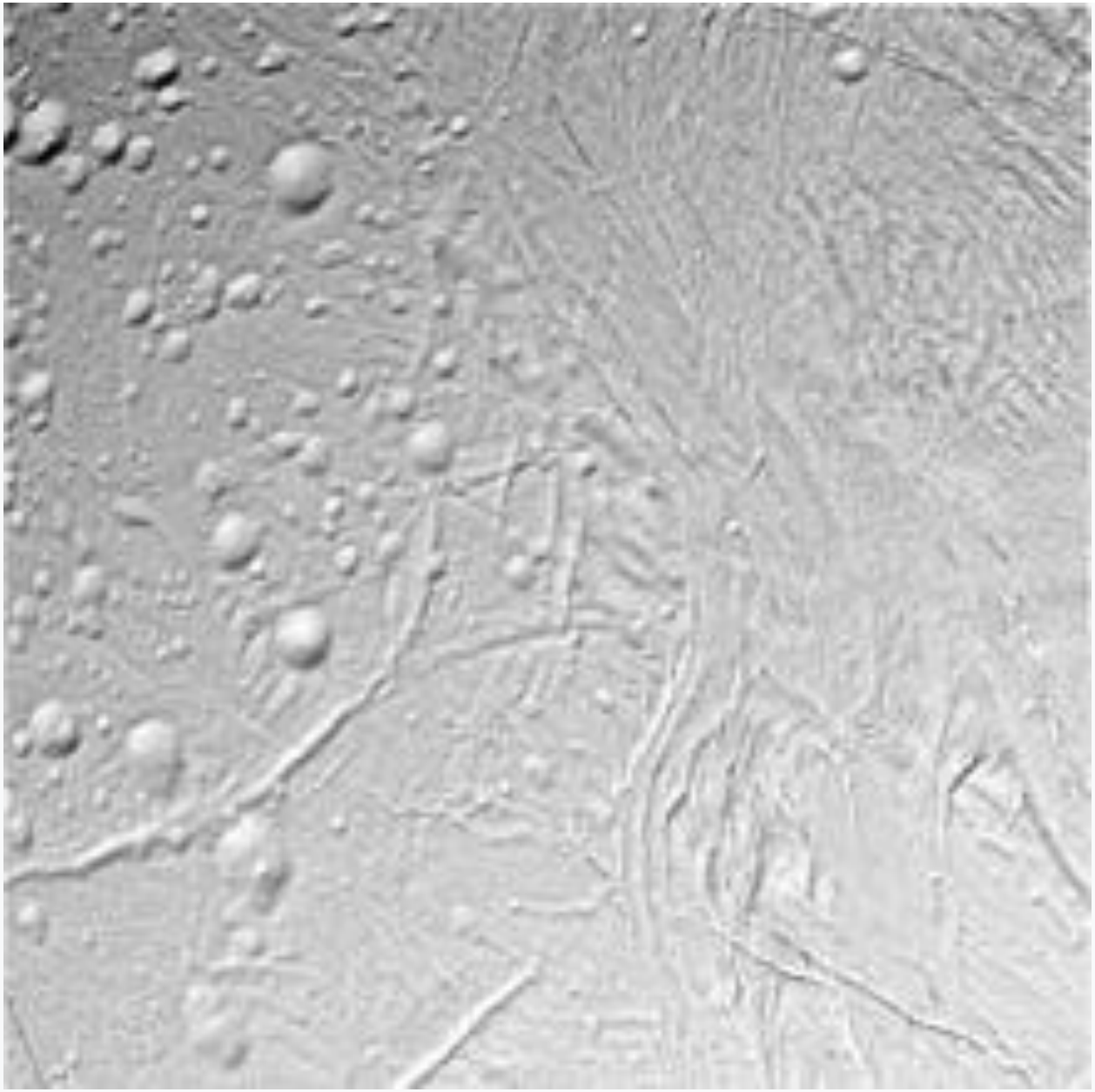


Cratères et fractures dégradés par un phénomène d'« adoucissement » des reliefs.

**Tectonique** 3

*Voyager 2* a permis de découvrir plusieurs types de formations tectoniques sur Encelade, parmi lesquelles des groupes de failles linéaires et de grandes bandes ridées curvilignes.

Les résultats ultérieurs obtenus par *Cassini* suggèrent que les mouvements tectoniques sont la principale cause de déformation de la croûte sur Encelade. L'une des manifestations les plus spectaculaires de ces mouvements tectoniques est des rifts (appelés *fossae* sur Encelade) qui peuvent atteindre près de 200 km de long et 5 à 10 km de largeur, sur un kilomètre de profondeur. Ces formations semblent relativement récentes puisqu'elles coupent à travers d'autres formations de type tectonique, et que leurs reliefs apparaissent abrupts et anguleux le long des *falaises*.



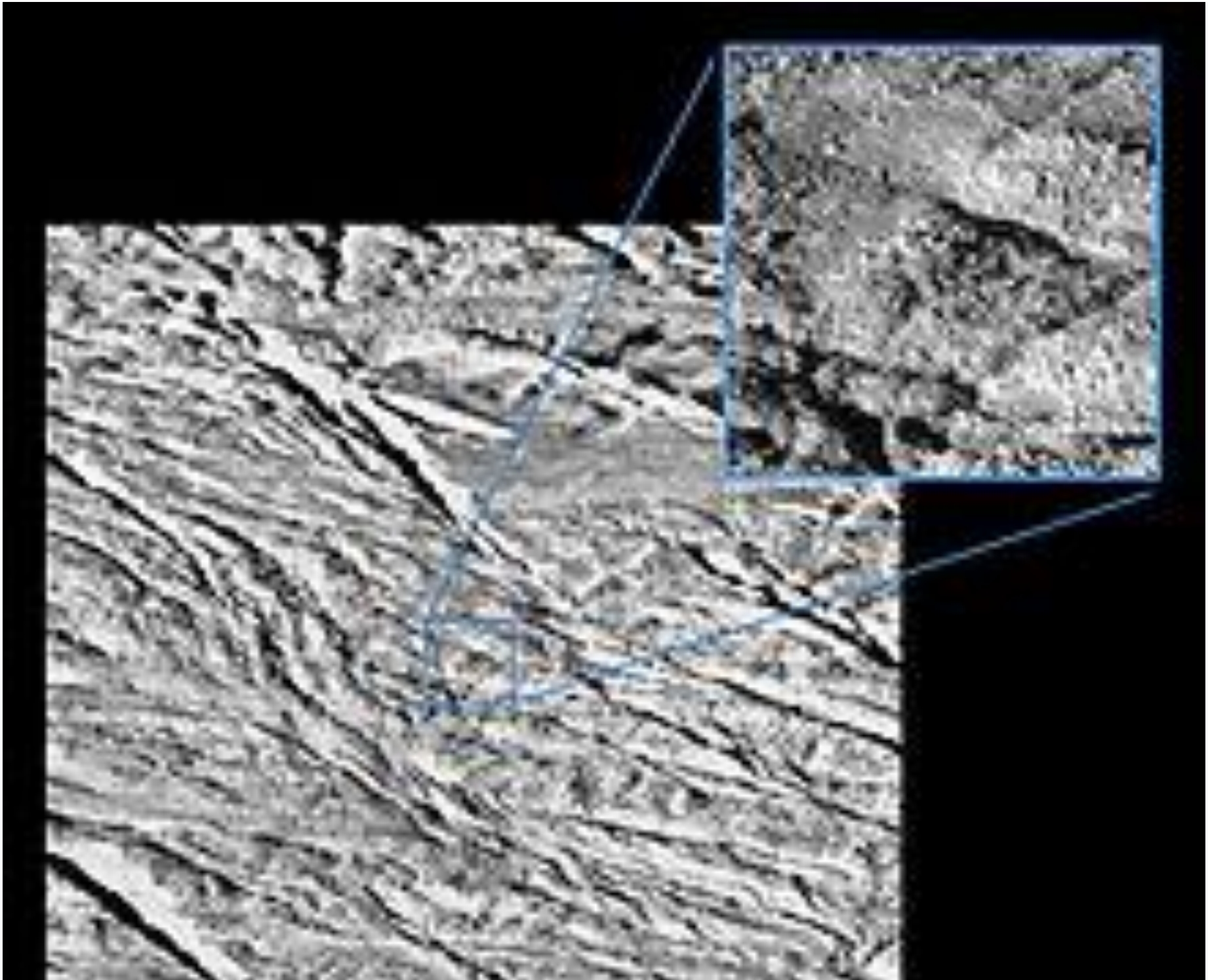
*Samarkand Sulci*, traversant l'image de haut en bas par le milieu.

**Le pôle sud et sa région**

L'inventaire des différentes formations de la surface d'Encelade montre que celle-ci a été modelée par une histoire géologique à la fois longue et complexe, dont l'épisode le plus récent semble lié à une région centrée sur le pôle sud. Les images prises par la sonde *Cassini* pendant le survol effectué le 14 juillet 2005 ont permis d'étudier en détail cette « nouvelle » région, qui n'apparaissait pas clairement sur les images précédentes de *Voyager 2.*

Cette zone, qui englobe le pôle sud jusqu'à une latitude de 55° Sud environ, est couverte de fractures tectoniques et de failles mais ne possède aucun cratère (ou du moins aucun cratère visible avec la résolution des instruments de la sonde), suggérant ainsi qu'il s'agit de la surface la plus récente d'Encelade. Les modèles concernant le taux théorique d'impacts dans cette région du Système solaire permettent d'en déduire que cette région serait âgée de 10 à 100 millions d'années au maximum.

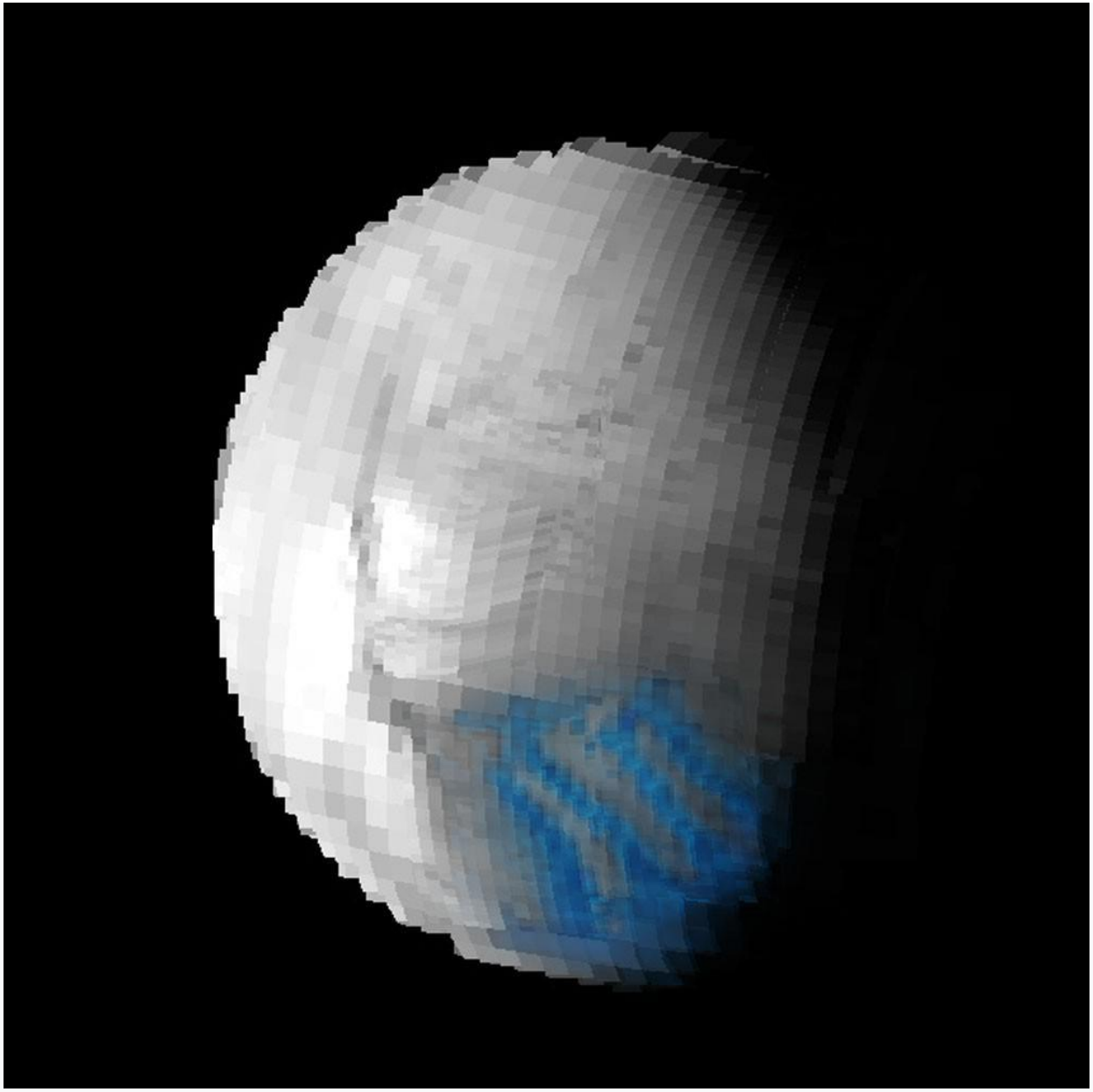
Au centre de cette région se trouvent quatre grandes failles d'environ 2 km de large sur 130 km de long et 500 mètres de profondeur. Elles sont bordées par des arêtes de 100 mètres de haut et de 2 à 4 km de large. Officieusement dénommées « **rayures de tigre** » et séparées d'environ 35 km, elles sont presque exactement parallèles, et une analyse attentive des images, notamment des intersections entre les différentes failles de la région, montre que ces fractures sont les plus récentes formations géologiques de la zone.



Gros plan d'une zone proche des « rayures de tigre ». L'image de droite a une résolution d'environ 4 mètres par pixel, et montre que la surface, très fracturée, est couverte d'énormes blocs de glace de 10 à 100 mètres de large.

**Cryovolcanisme** 4

Le chiffre au-dessus de chaque carré indique la température moyenne (en kelvins) de chacun. La température au niveau d'une « rayure de tigre » est de 10 à 15 K supérieure à celle des terrains environnants. Chaque carré couvre une surface de 6 × 6 km environ.



La glace cristalline, qui apparaît en bleu sur cette image, est localisée exactement à l'emplacement des « rayures de tigre ».

Les rayures de tigre sont donc devenues **la plus probable source d'émission de matière** dans « l'atmosphère » d'encelade

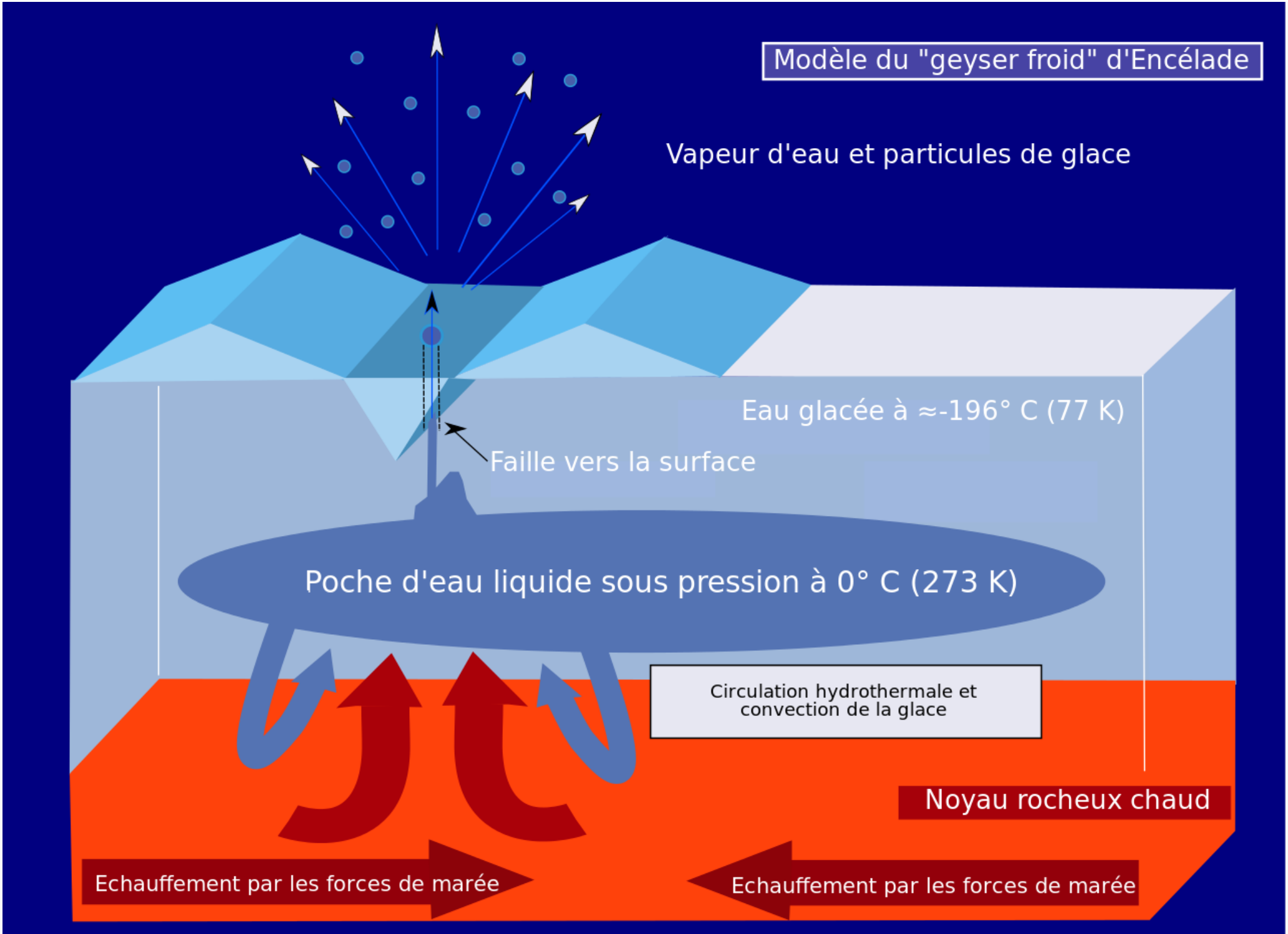
L'atmosphère d'Encelade ne peut pas perdurer durablement pour un corps aussi petit, du fait de sa faible gravité de surface (0,113 $m/s^2$, soit 0,012 fois la gravité terrestre). Si elle est encore présente, c'est qu'elle est récente et n'a pas encore eu le temps de s'échapper dans l'espace, et qu'il existe un mécanisme permettant de la régénérer continuellement.

Le mécanisme à l'origine de ce dégazage reste encore en bonne partie inconnu, et l'explication du phénomène dépend en grande partie du modèle utilisé pour la structure interne d'Encelade

Parmi les deux hypothèses les plus développées, l'une suggère que ces jets pourraient provenir de poches de vapeur d'eau sous pression situées sous la surface, à la manière des geysers terrestres ;

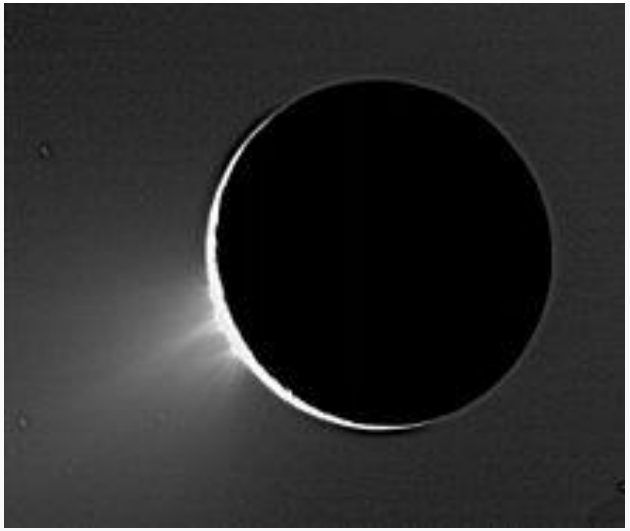
L'autre hypothèse fait intervenir un mécanisme de **sublimation de la glace de surface,** réchauffée par la présence en profondeur d'une mélasse plus ou moins liquide et « chaude » composée d'eau et d'ammoniac ($NH_3$).

**Origine de l'activité géologique** 5

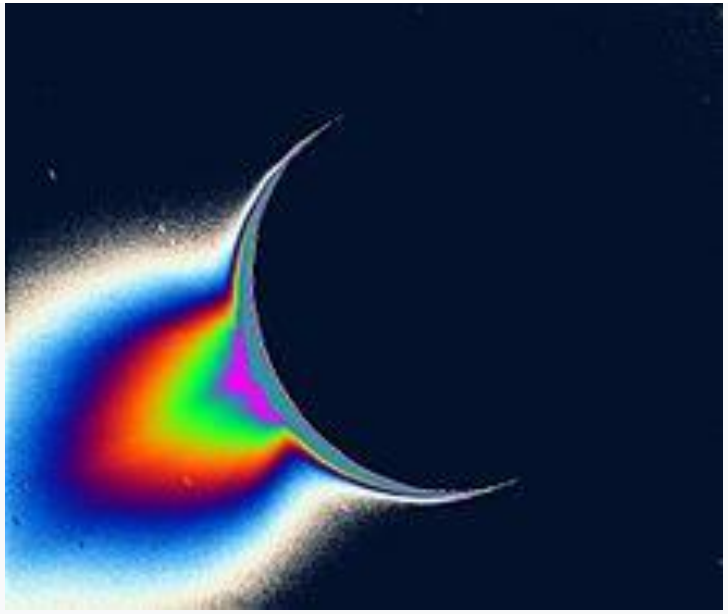

Modèle du "geyser froid" d'Encélade
Vapeur d'eau et particules de glace
Eau glacée à ≈-196° C (77 K)
Faille vers la surface
Poche d'eau liquide sous pression à 0° C (273 K)
Circulation hydrothermale et convection de la glace
Noyau rocheux chaud
Echauffement par les forces de marée
Echauffement par les forces de marée

Modèle dit du « **geyser froid** ». De l'eau s'échappe de poches situées en profondeur à une température proche du point de fusion (273 K), pour se sublimer à la surface du satellite. La radioactivité du noyau, ainsi que l'action des forces de marée, contribuent à maintenir ces poches à température.

À la suite du passage de *Voyager 2* au début des années 1980, les scientifiques ont émis l'hypothèse qu'Encelade pourrait posséder des **cryovolcans** encore actifs, en se basant notamment sur la relative jeunesse de sa surface, et sur la position du satellite au cœur de l'anneau E de Saturne.

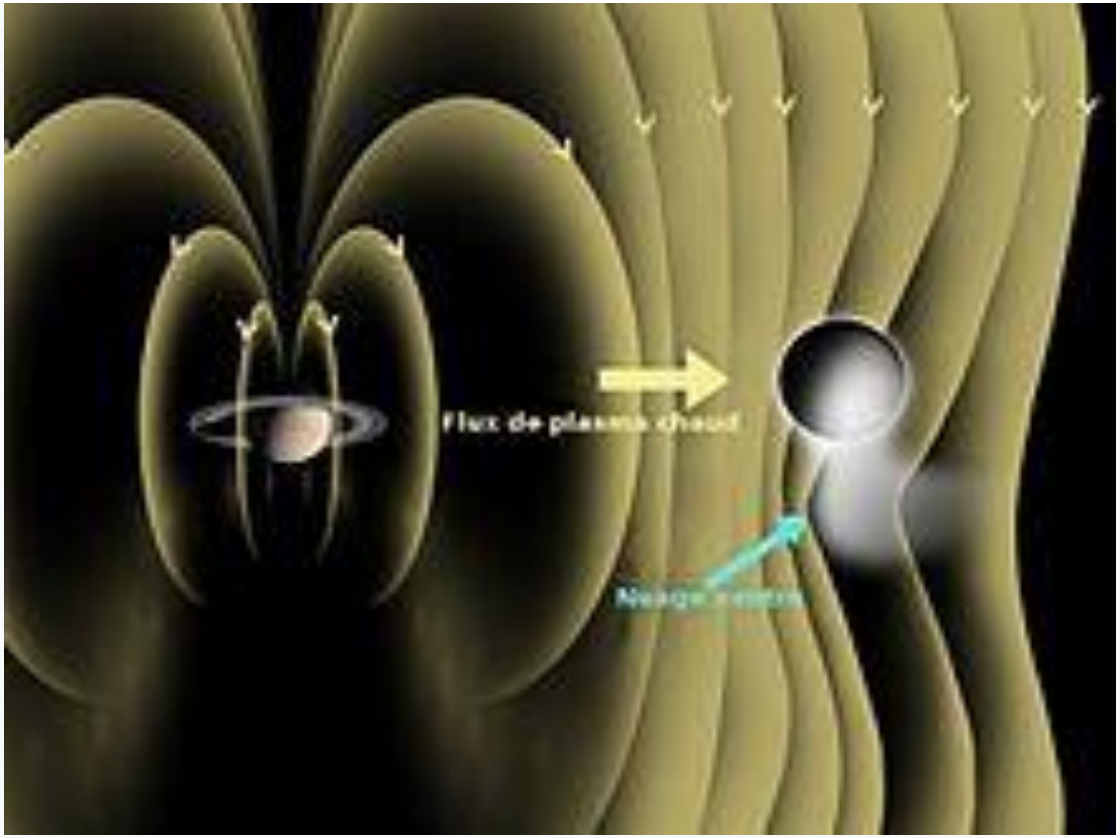


Jets de matière au-dessus du pôle sud d'Encelade.



Traitement en fausses couleurs de l'image précédente, montrant la taille de la zone contenant les microparticules diffusant la lumière.

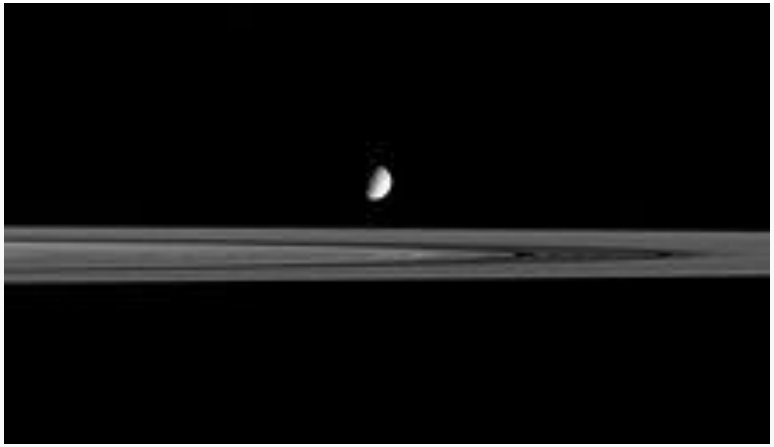
**Atmosphère** 6




Vue d'artiste de la magnétosphère de Saturne montrant la déflexion des lignes du champ magnétique autour d'Encelade, causée par la présence d'une atmosphère.

### Interactions avec l'anneau E

L'anneau E est le plus externe et le plus étendu des anneaux de Saturne, ainsi d'ailleurs que de tous les anneaux planétaires du Système solaire. Bien que très ténu, il s'étend de l'orbite de Mimas à celle de Titan, sur presque un million de kilomètres de diamètre. Or les modèles théoriques montrent que cet anneau est instable sur une échelle de temps de l'ordre de 10 000 ans à un million d'années, ce qui impose que l'apport de particules soit très récent.



Encelade vu devant l'anneau B et en couleurs réelles par la sonde *Cassini*. L'anneau E, beaucoup trop ténu, n'est pas visible sur cette image.

Encelade orbitant à l'intérieur de cet anneau, à l'endroit où la densité est la plus élevée et où l'anneau est le moins épais, il a longtemps été soupçonné d'être, au moins en partie, la source des poussières glacées composant l'anneau. Ceci a été confirmé par les observations de la sonde *Cassini* qui montrent deux mécanismes bien distincts conduisant à ce transfert de matière :

- D'une part, l'émission de particules de glace d'eau sous forme de jets au pôle sud d'Encelade, qui est probablement la source principale alimentant l'anneau. Si une bonne partie des particules émises finissent par retomber à la surface, un pour cent environ de celles-ci sont éjectées avec une vitesse suffisante pour échapper définitivement à l'attraction gravitationnelle du satellite et contribuer à alimenter l'anneau ;
- D'autre part, les collisions incessantes entre Encelade et les poussières interplanétaires, ou micrométéorites, qui conduiraient à la fois à l'éjection de matière et à l'érosion de la surface du satellite, par la formation d'un grand nombre de micro cratères. Ce phénomène n'est pas spécifique à Encelade, mais se produit pour toutes les autres lunes orbitant à l'intérieur de l'anneau E.

Océan souterrain [7]

La NASA a annoncée en avril 2014 que Cassini avait détecté la présence d'un **grand océan souterrain d'eau liquide** sous le Pôle sud de 500km de large et 10km d'épaisseur.

Finalement, il recouvrirait **l'ensemble de la lune**

## Possibilité de vie [7]

Peu de mondes dans notre système solaire **sont aussi convaincants que la lune océanique glacée de Saturne, Encelade**. On pense qu'une poignée de mondes ont des océans d'eau liquide sous leur coquille gelée, mais Encelade pulvérise son océan dans l'espace où un vaisseau spatial peut l'échantillonner. À partir de ces échantillons, les scientifiques ont déterminé qu'Encelade contient la plupart des ingrédients chimiques nécessaires à la vie et qu'il a probablement des cheminées hydrothermales crachant de l'eau chaude et riche en minéraux dans son océan.

Des organismes primitifs d'Encelade pourraient atteindre d'autres planètes du Système solaire (panspermie).

## Le ciel vu depuis Encelade [8]

Vue d'artiste du ciel nocturne d'Encelade.

Depuis la surface d'Encelade, Saturne a un diamètre apparent de presque 30°, soit soixante fois plus grand que celui de la Lune telle que vue depuis la Terre. De plus, puisque la période de rotation et la période de révolution sidérale d'Encelade sont synchrones, Saturne occupe toujours la même position dans le ciel (avec une toute petite variation liée à l'excentricité de l'orbite autour de la planète), et donc ne serait jamais visible depuis le côté qui lui est opposé. Les anneaux quant à eux seraient vus presque exactement par la tranche grâce à la très faible inclinaison (0,019°) de l'orbite d'Encelade, mais l'ombre qu'ils projettent sur la surface de Saturne serait quant à elle nettement visible.

Comme pour la Lune, Saturne apparaîtrait la plupart du temps sous forme d'un énorme croissant. Le Soleil vu depuis Encelade aurait en fait un diamètre apparent d'environ 3,5 minutes d'arc, presque dix fois inférieur à celui perçu depuis la Terre.

L'observateur placé sur Encelade, du côté qui fait face à Saturne, pourrait également voir Mimas (le plus grand des satellites dont l'orbite est située à l'intérieur de celle d'Encelade) transiter régulièrement — toutes les 72 heures environ — devant le disque de Saturne.

Sources WIKIPEDIA

Les anneaux de Saturne (le-systeme-solaire.net)

De quoi sont faits les anneaux de Saturne ? (astropolis.fr)

Encelade, la lune glacée de Saturne, pourrait vraiment abriter la vie | National Geographic

Observer Saturne la magnifique planète aux anneaux (stelvision.com)