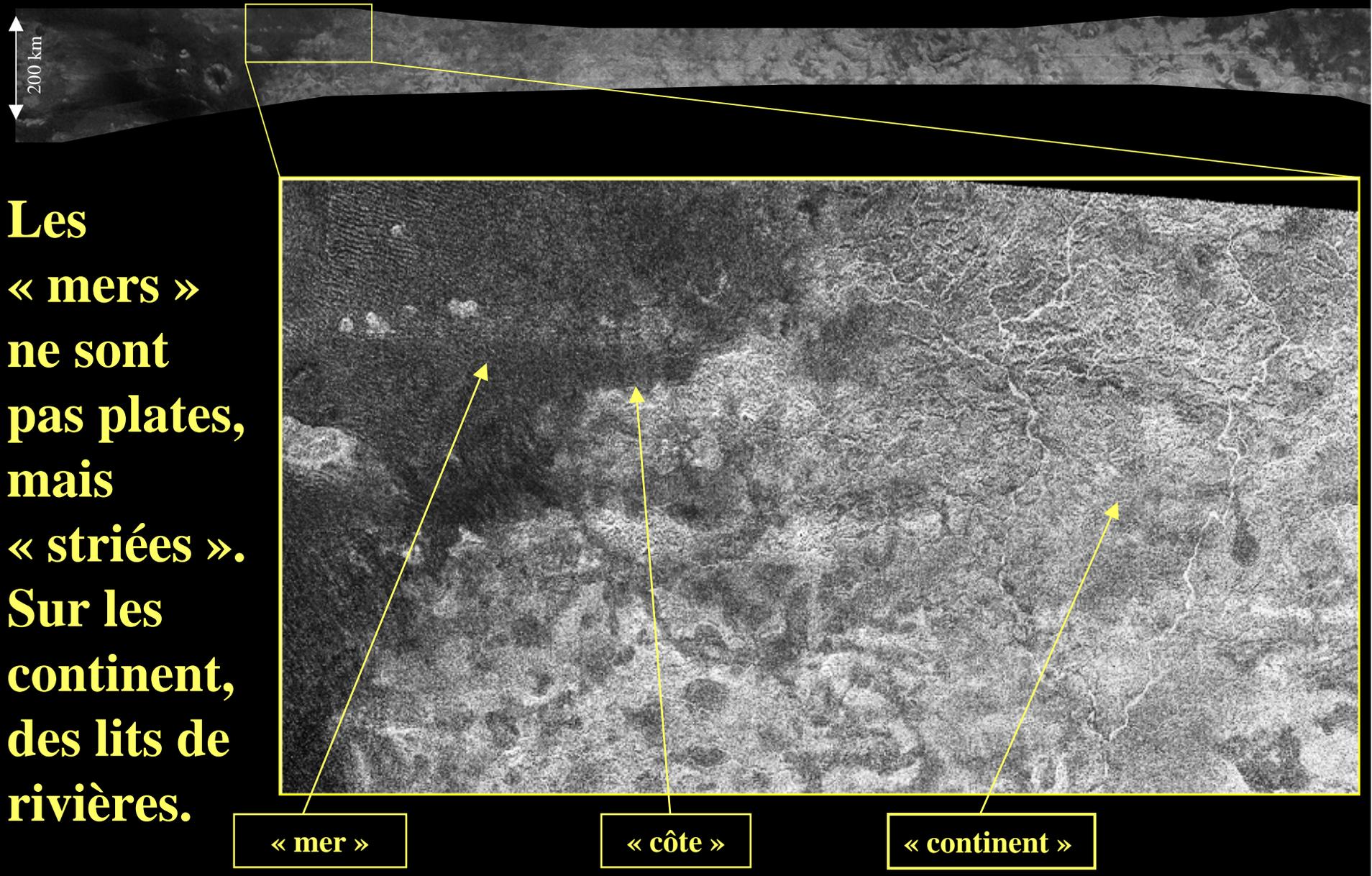
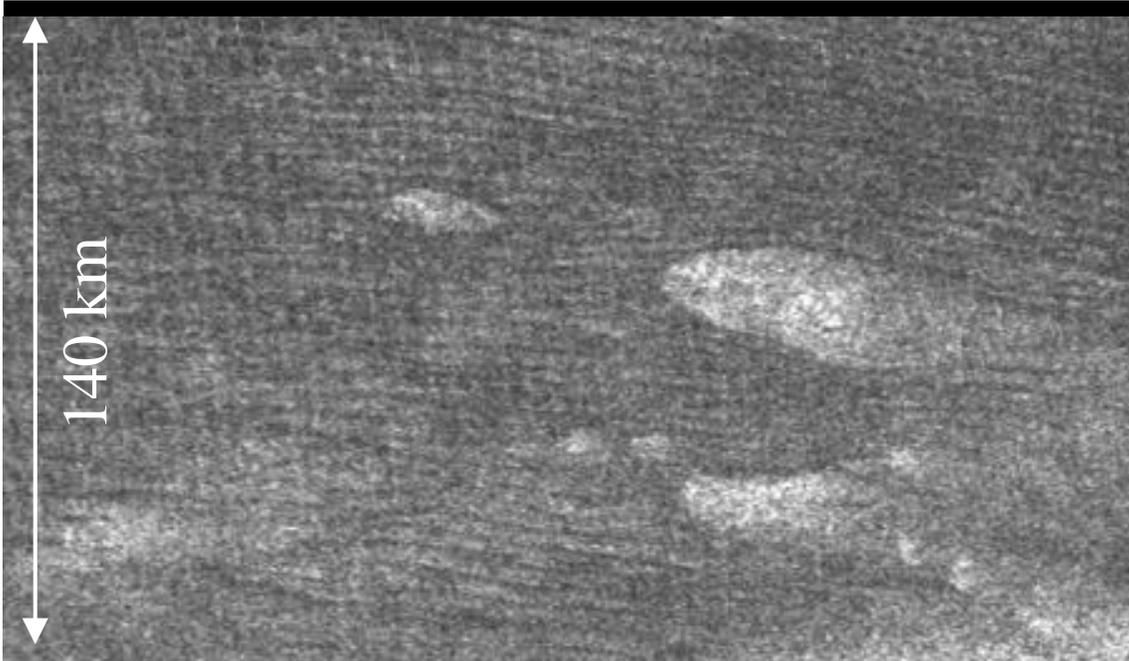


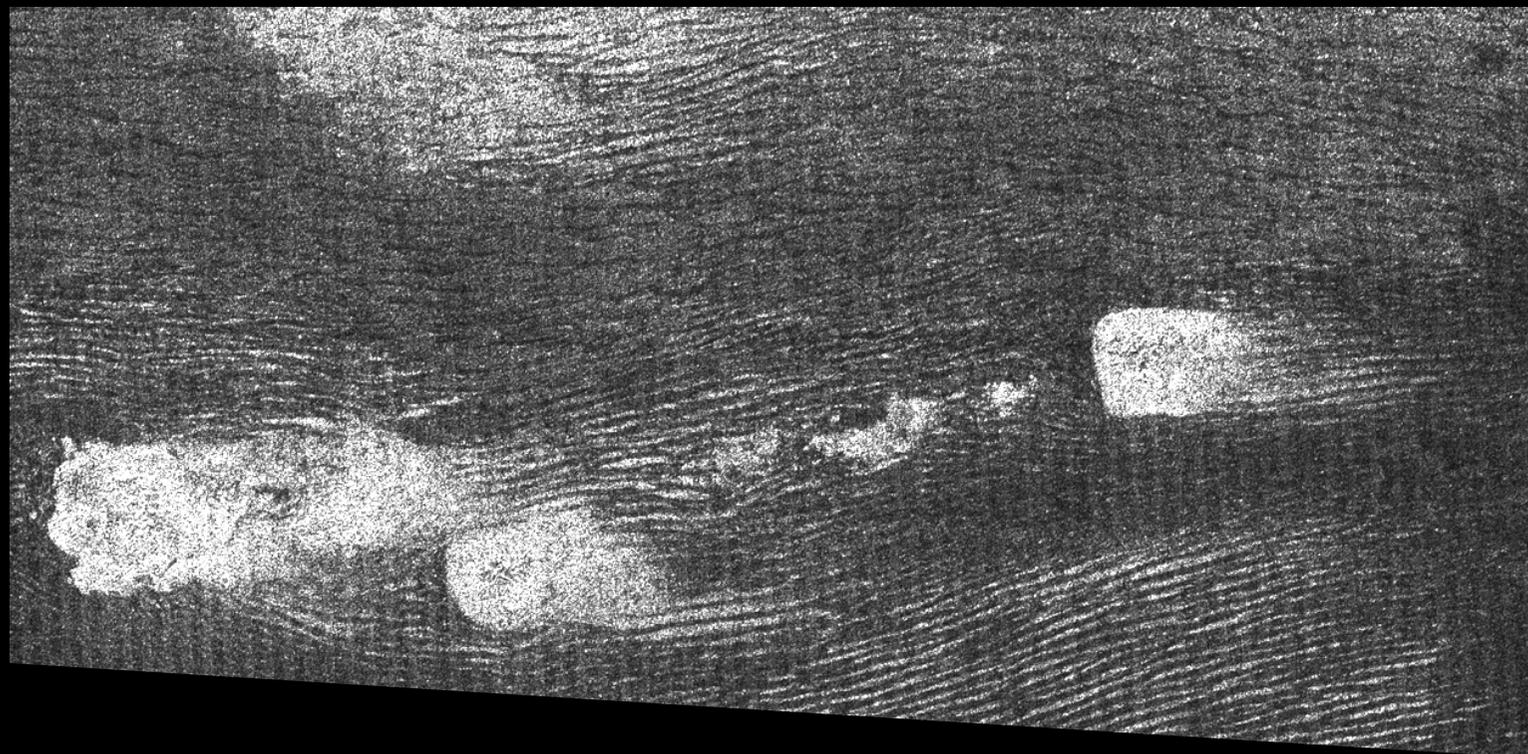
Exemple d'une bande radar (avril 2005) avec la limite « mer » en sombre et « continent » en clair

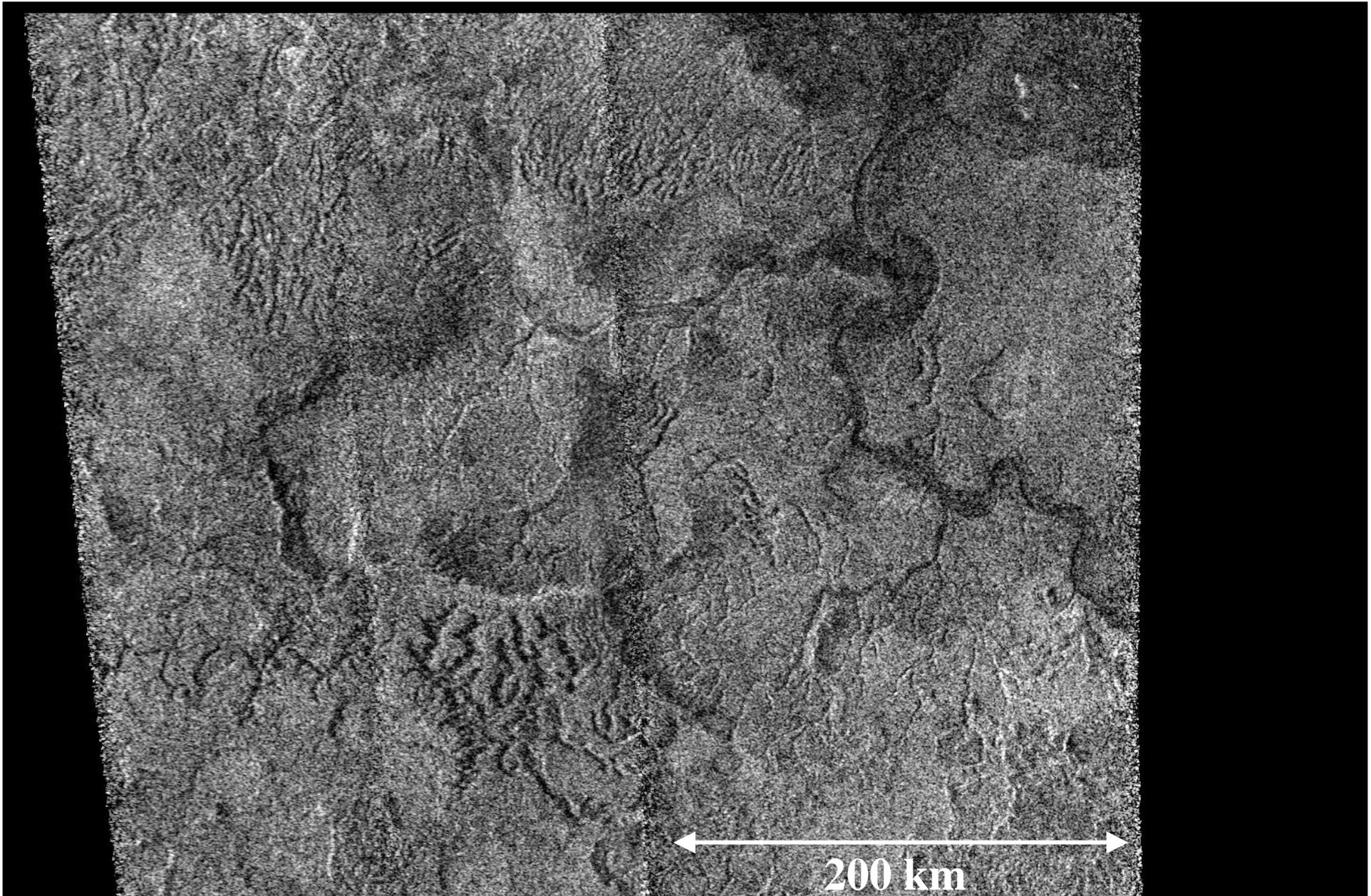




Ces stries dans les « mers », ce sont des champs de dunes. Il ne s'agit pas de mer de méthane liquide, mais de mers de sable (sable de glace et/ou d'hydrocarbures bien sur) !

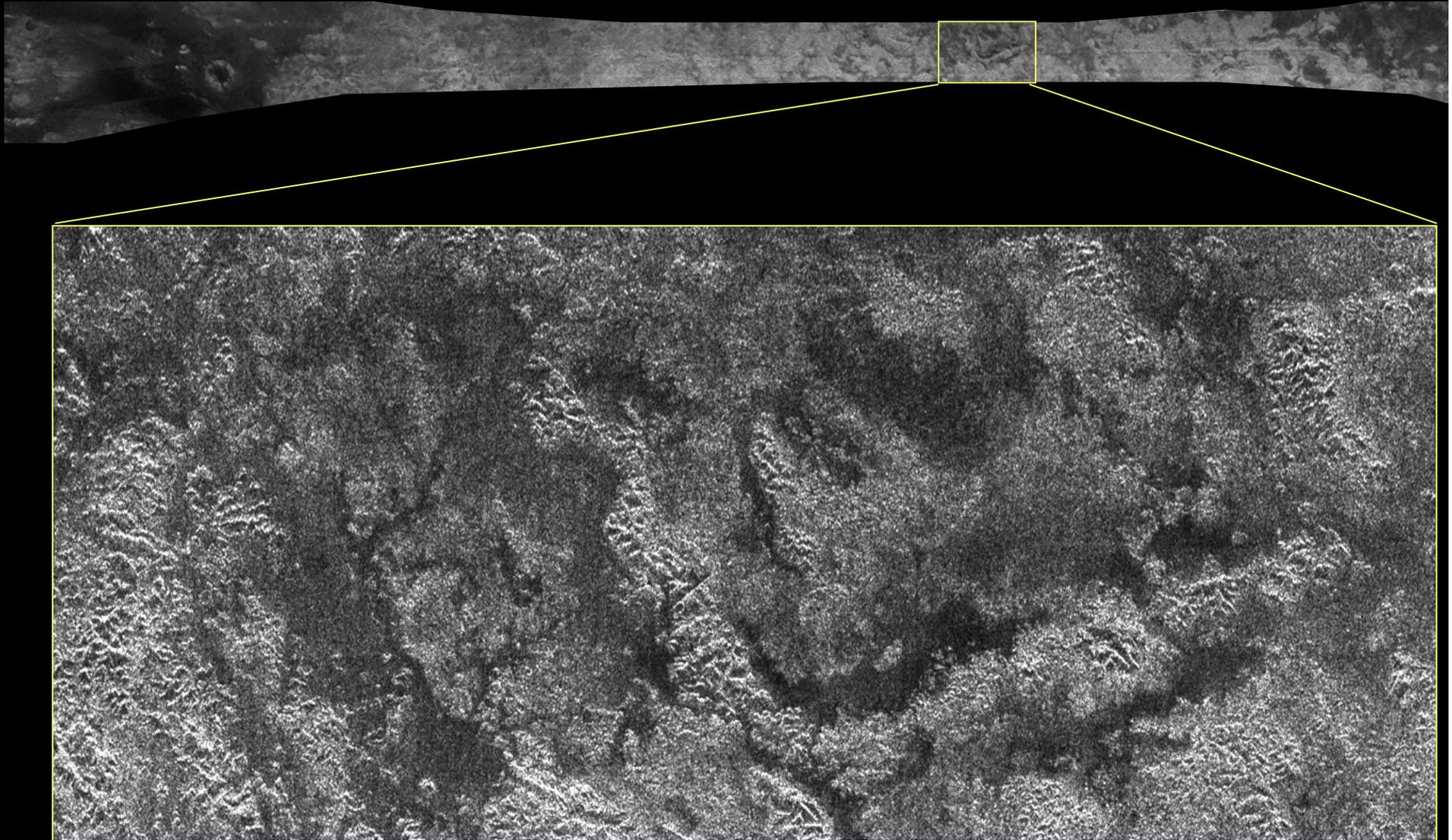
Détails dans les «mers»

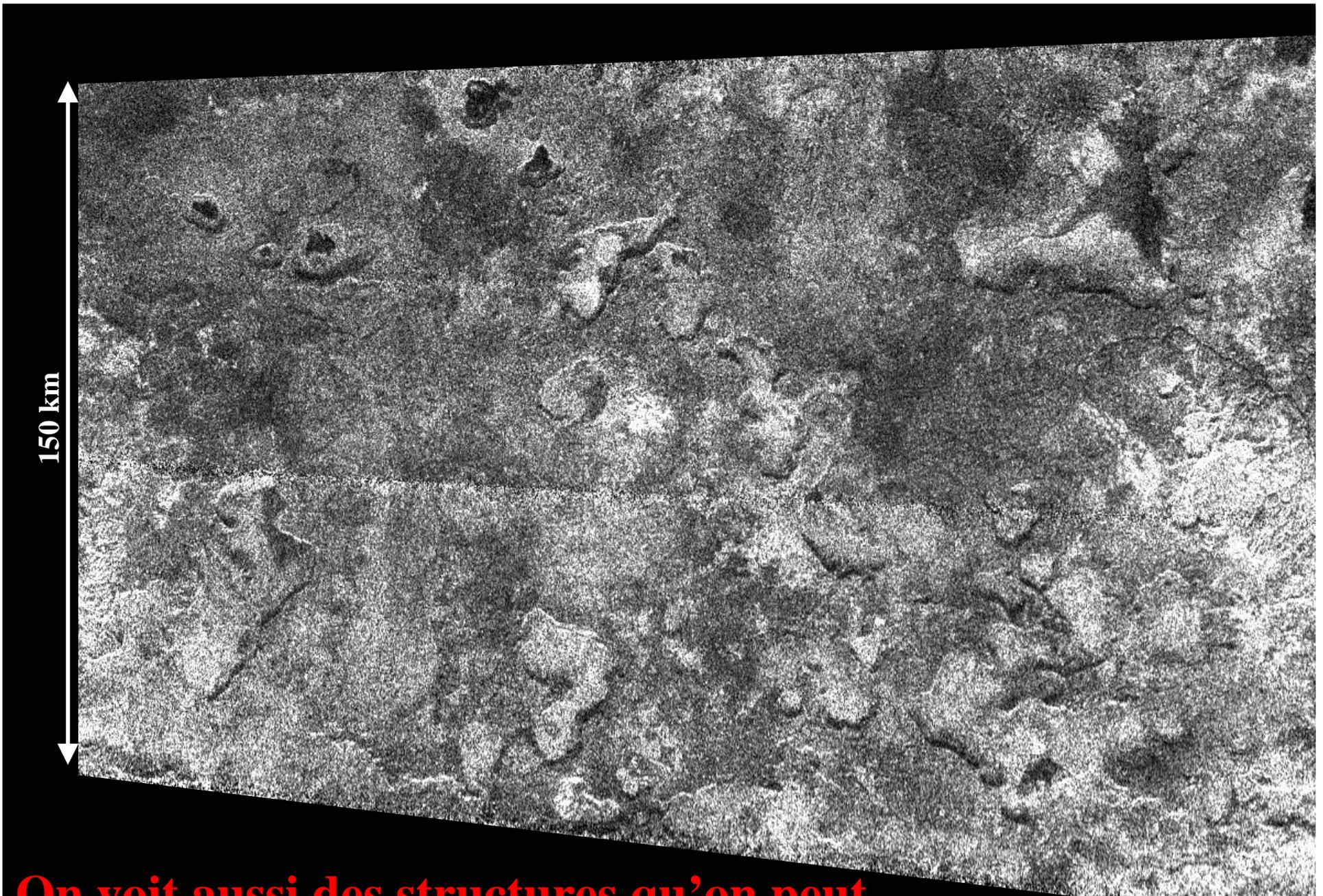




**Sur les « continents, Rivières de CH₄ (ici à sec)
et méandres**

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



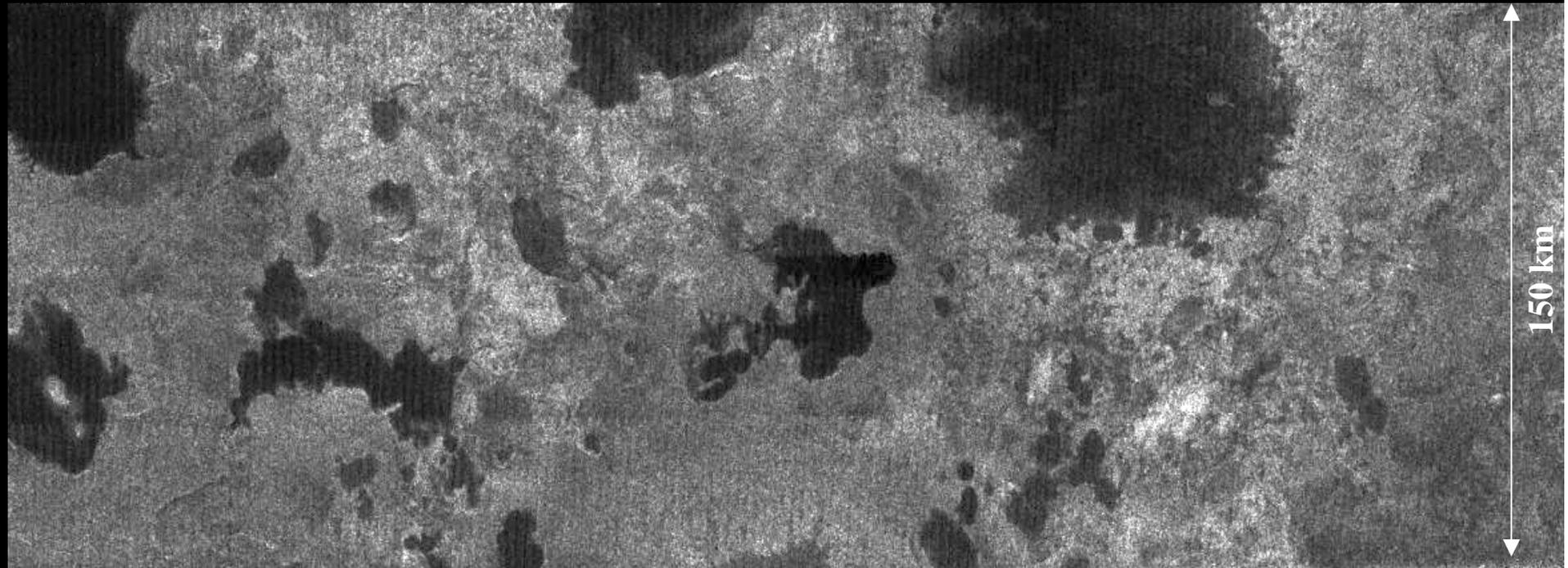


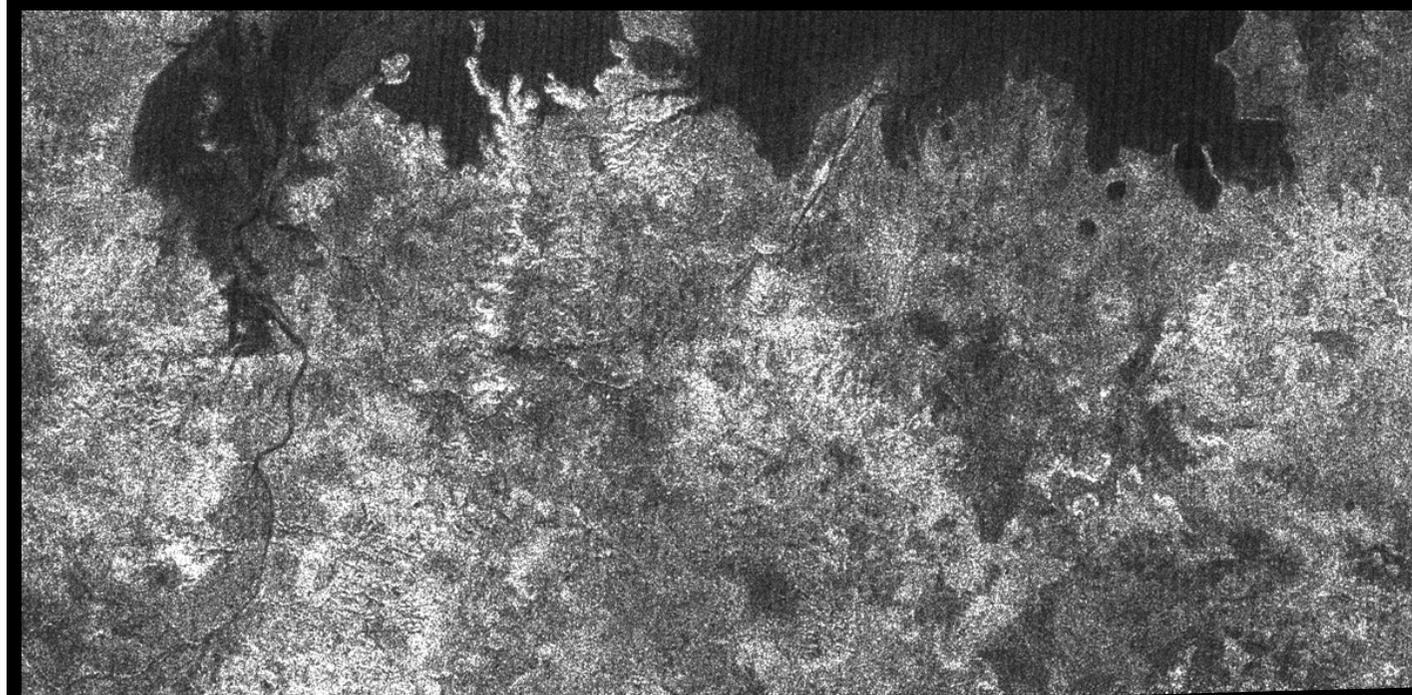
On voit aussi des structures qu'on peut interpréter comme des caldeiras (cratères volcaniques)



La même chose dans la région de Naples

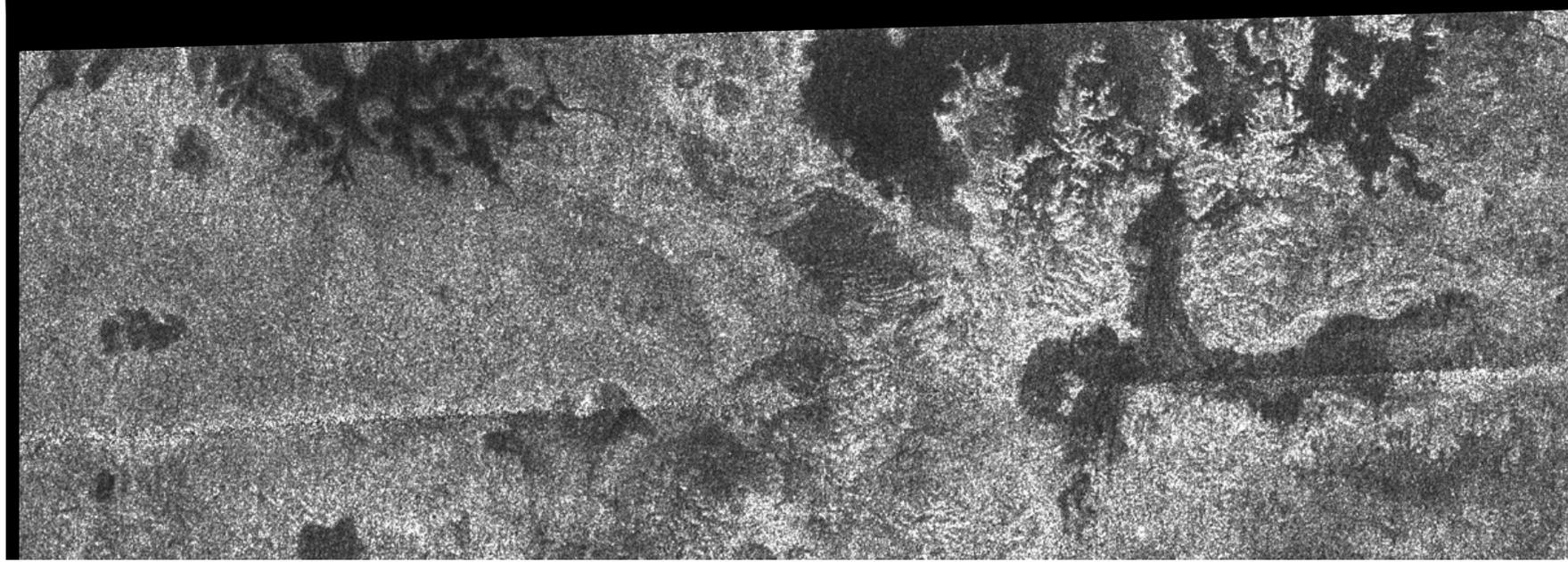
Et les survols radar de juillet et septembre 2006 (puis beaucoup d'autres depuis), au dessus du Pôle Nord plongé dans la nuit polaire, montrent de très probables lacs, lacs de méthane liquide (ou plutôt d'un mélange méthane-éthane) à -190°C .





100 km

D'autres survols 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)**



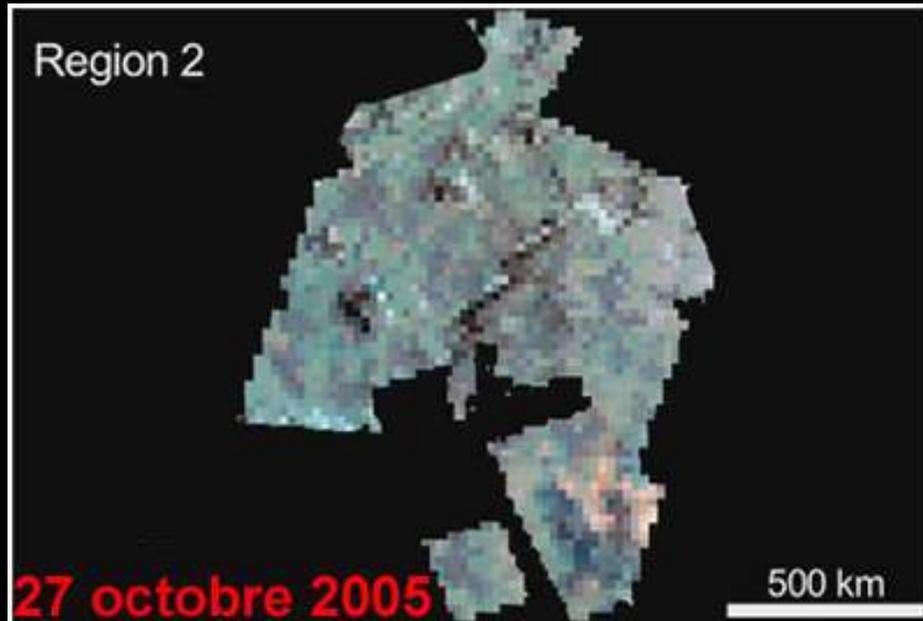
Voici à quoi pourrait ressembler un paysage polaire de Titan pendant le soleil de minuit : montagnes de glaces salées par des macro-molécules organiques, rivières et lacs d'hydrocarbures légers (méthane et éthane à -190°C).

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?

An infrared (IR) image showing a bright, circular sun at the top center, reflecting off a dark, smooth surface. The reflection creates a bright, curved arc below the sun. The background is dark, suggesting a night or low-light environment.

**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 2010 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 ?**



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

Atmosphère, avec nuages, avec pluies de méthane

Couche de glaces « sales »

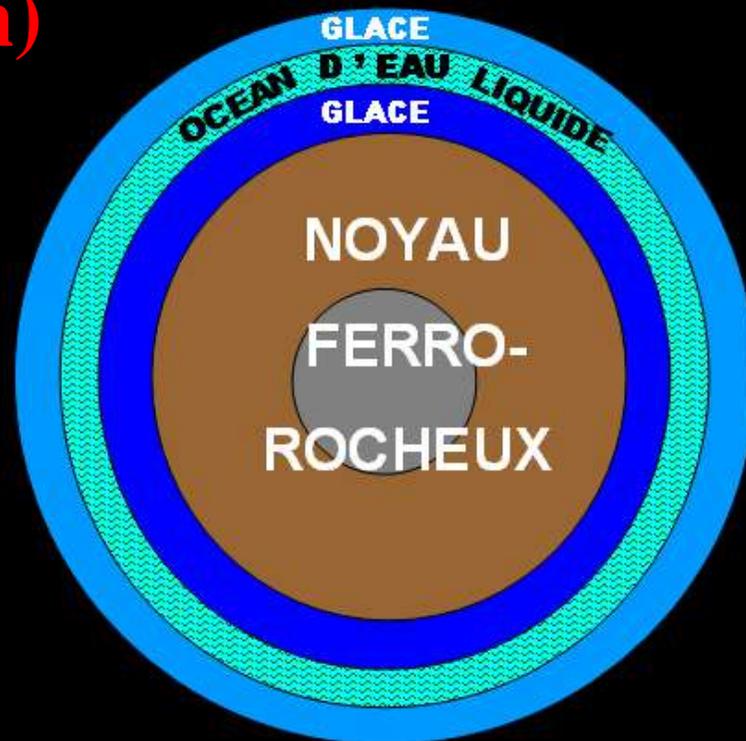
Ganymède, satellite de Jupiter, et sans doute Triton (satellite de Neptune) ont une structure identique et une activité tectono / hydro-magmatique actuelle ou « récente », avec une différence majeure : très peu d'atmosphère sur Triton, et pas du tout sur Ganymède, avec toutes les différences superficielles qui s'en suivent !

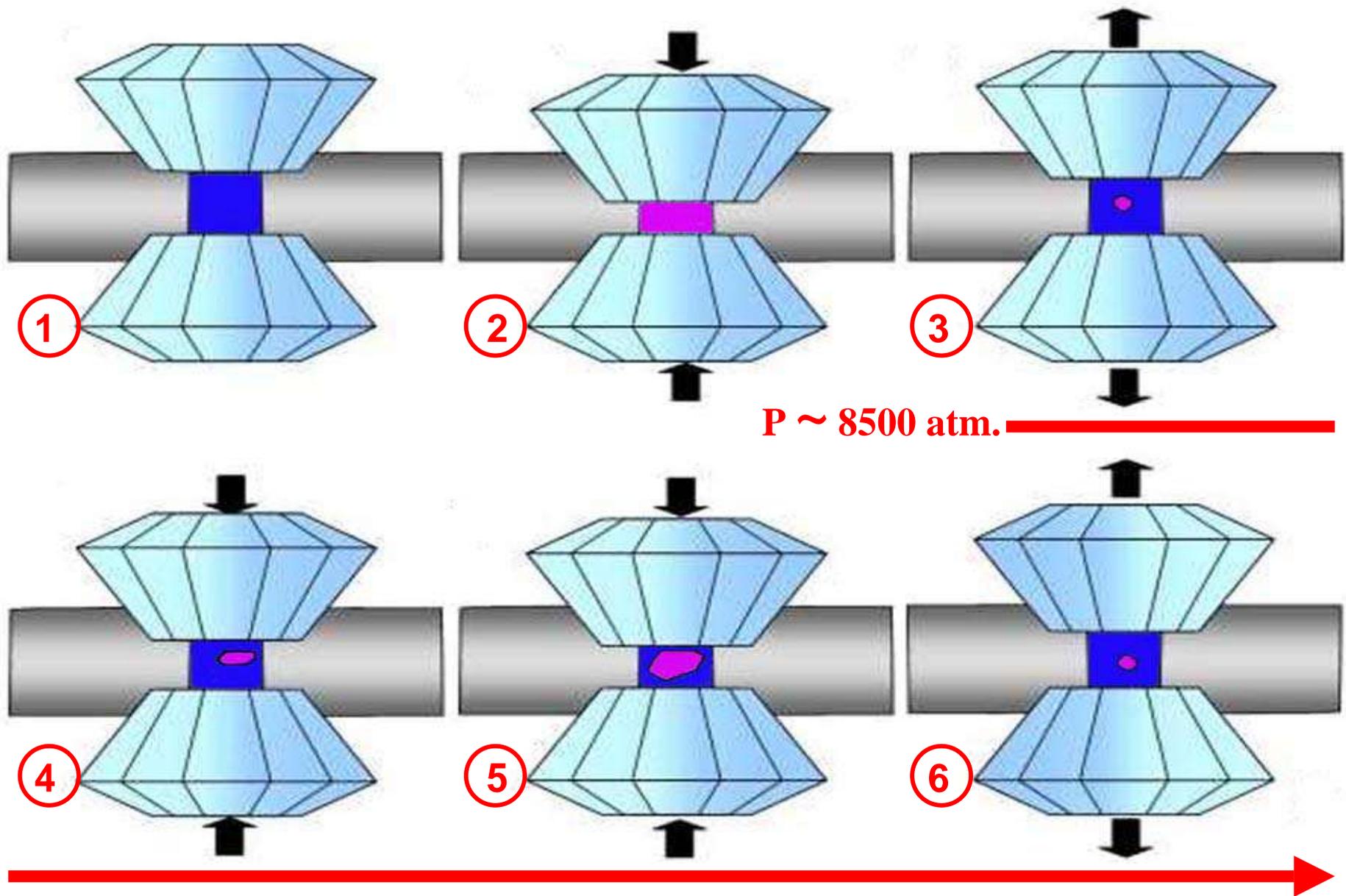
Résumé de la structure probable de Titan

De la glace en surface, normal, il fait -200°C .
En profondeur, il fait plus chaud, l'eau est liquide.
Toujours normal !

Mais pourquoi une nouvelle couche de glace
encore plus en profondeur alors qu'il fait encore
plus chaud ? **A cause de la pression !**

(voir film)



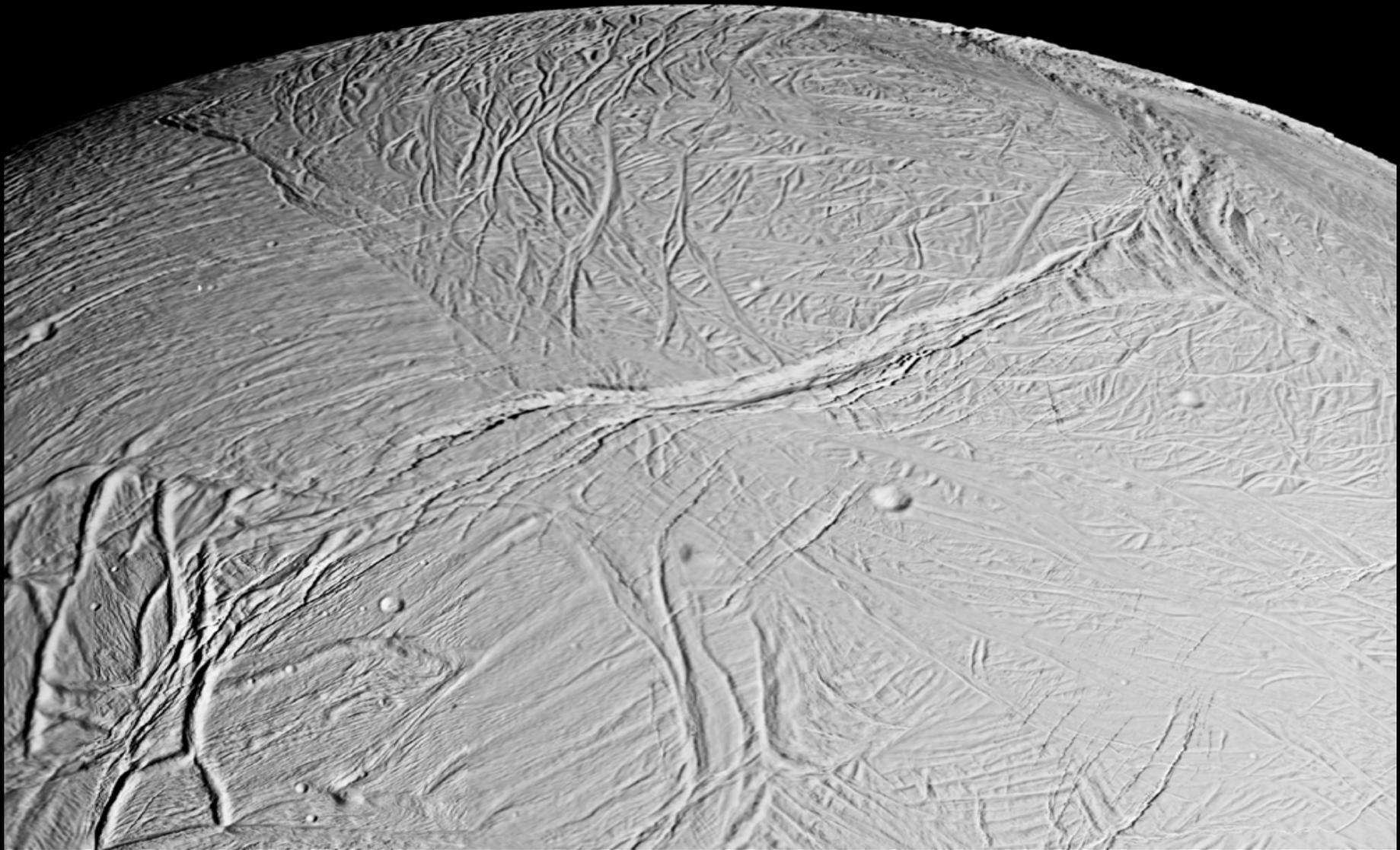


**Principe du film sur la cristallisation de la glace sous pression.
Le film (cliquer sur la diapo) concerne les étapes 3 et suivantes.**



**Et voici d'Encelade
($D = 502$ km), avec
une géologie très
tourmentée. En bas,
on l'a superposé à
l'Europe pour
apprécier sa taille**

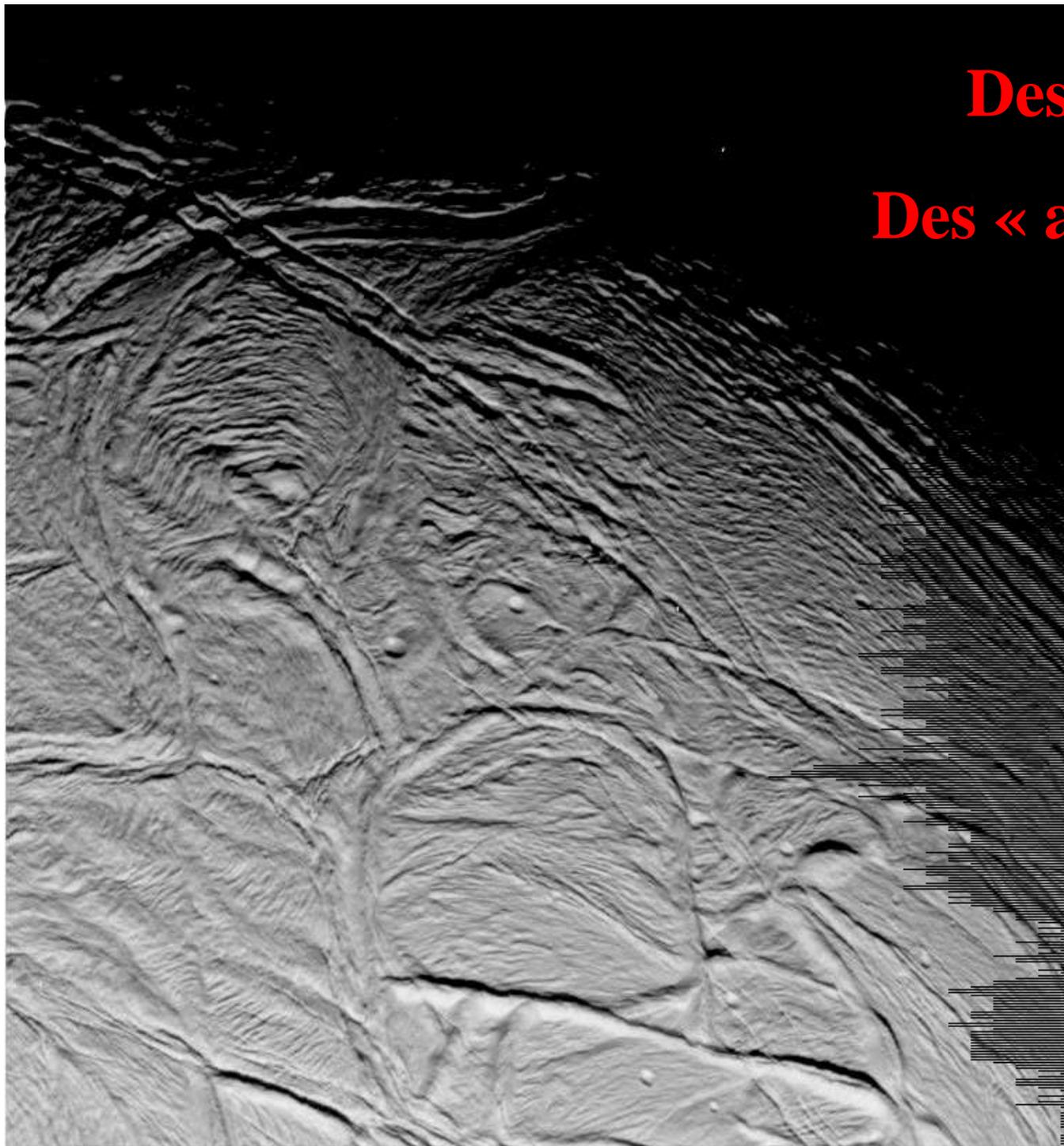


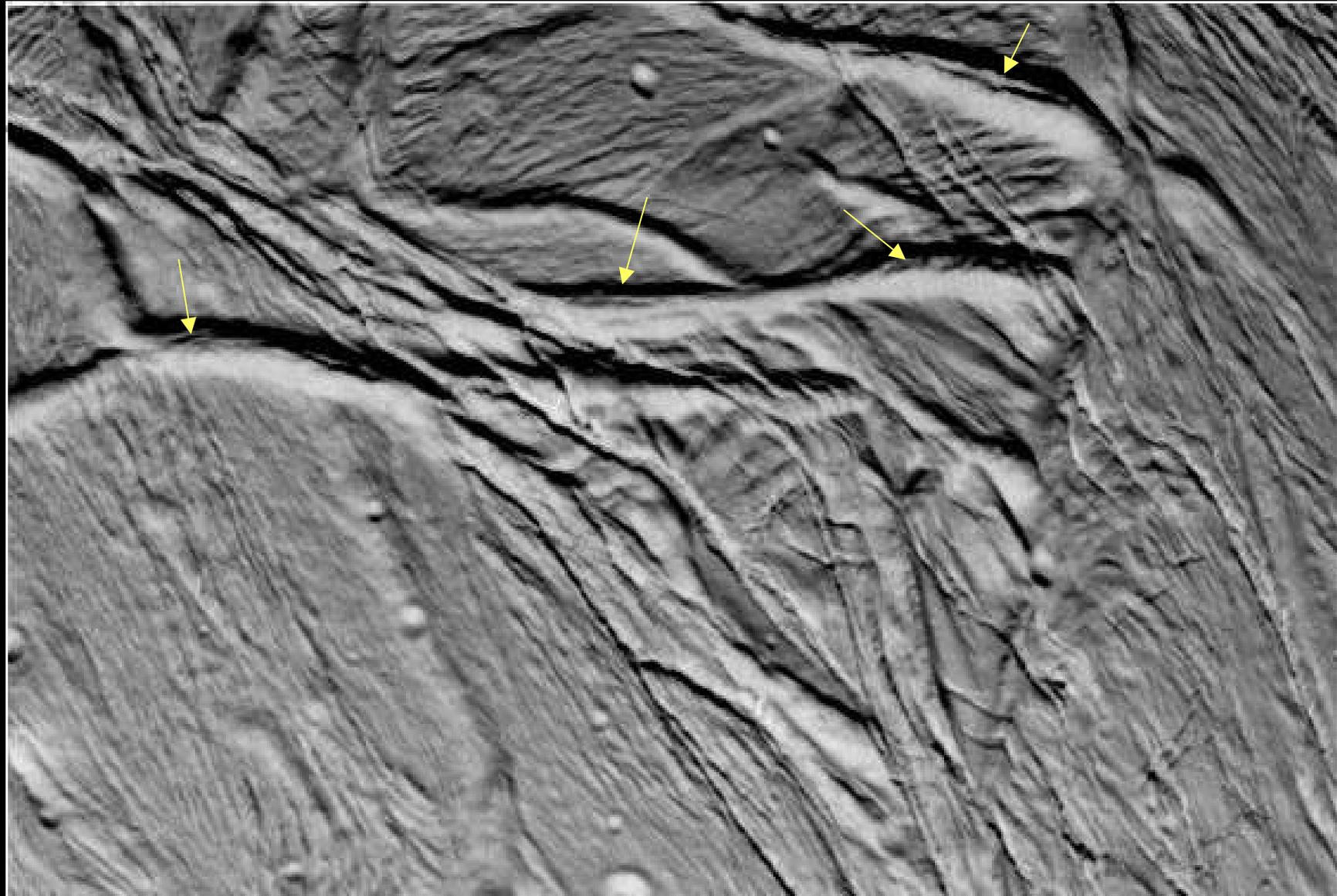


**Des images rapprochées du 1er survol (02 / 2005).
Quel satellite, quelle activité !!**

Des giga-rides .

Des « anticlinaux » ??





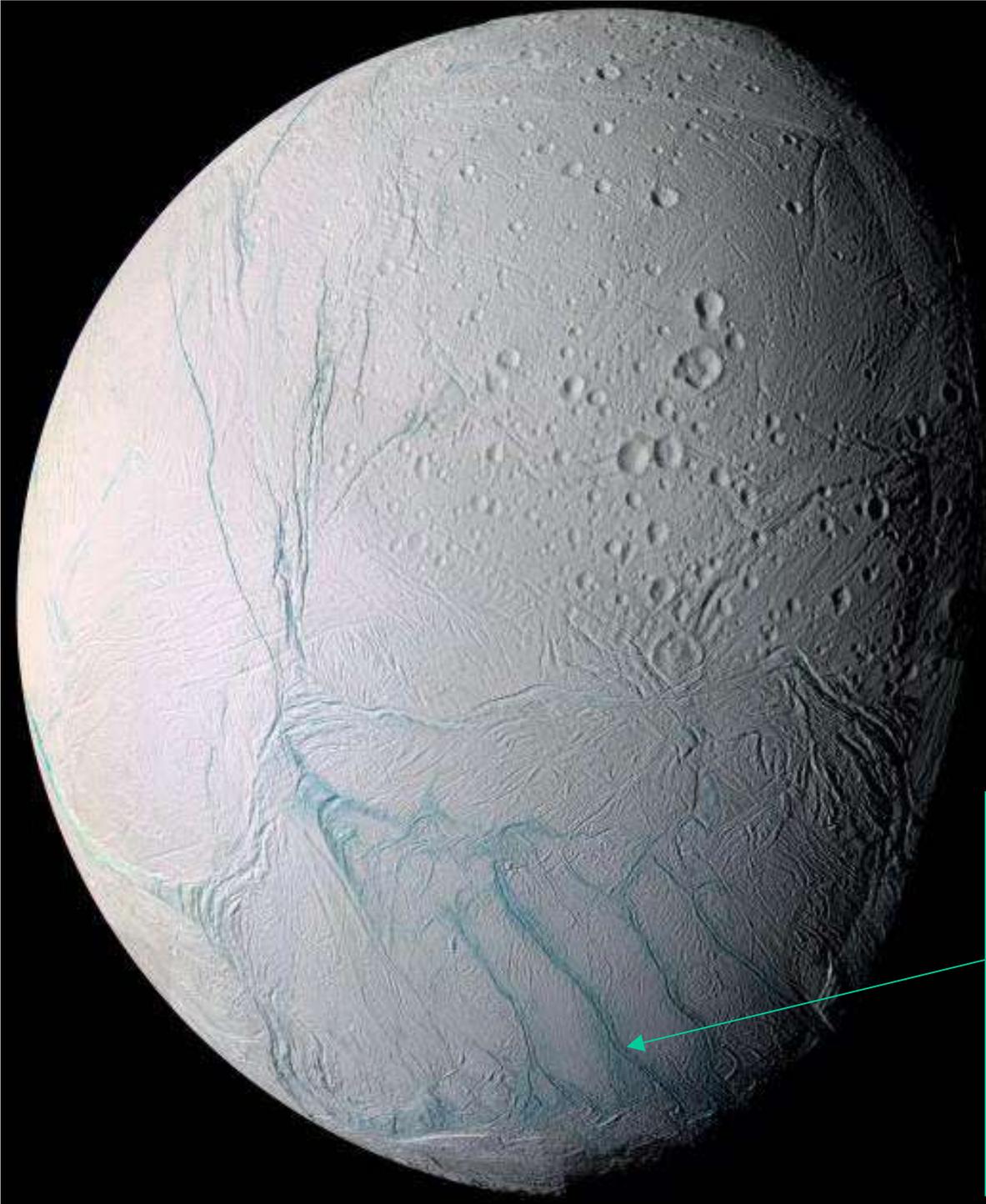
Détail de ces giga-rides. Parfois, il y a une fracture sommitale.

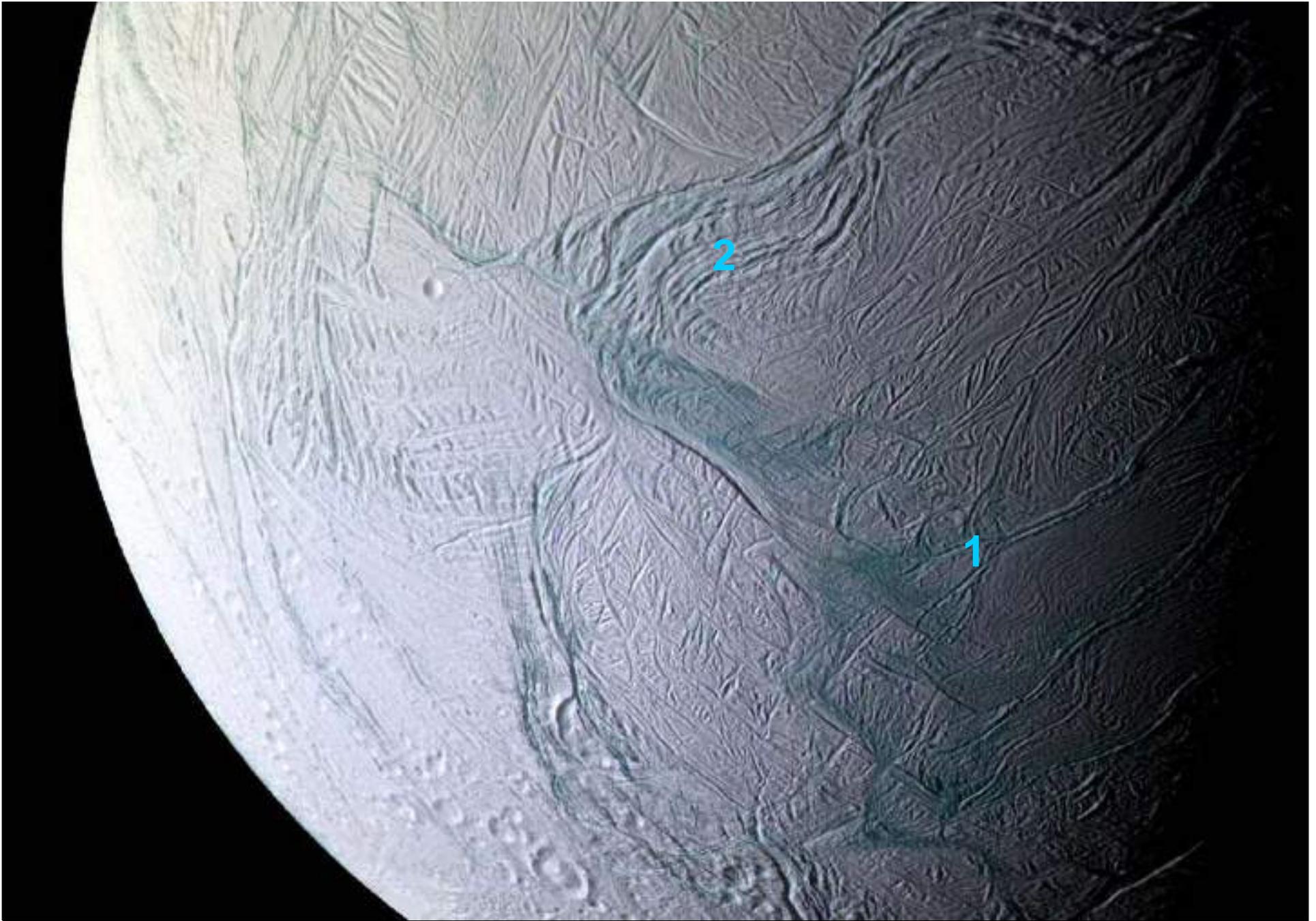


**Cela ressemble à de giga-
« rides de pression » dont
voici 2 mini-équivalents
terrestres, à Hawaï et en
Antarctique**

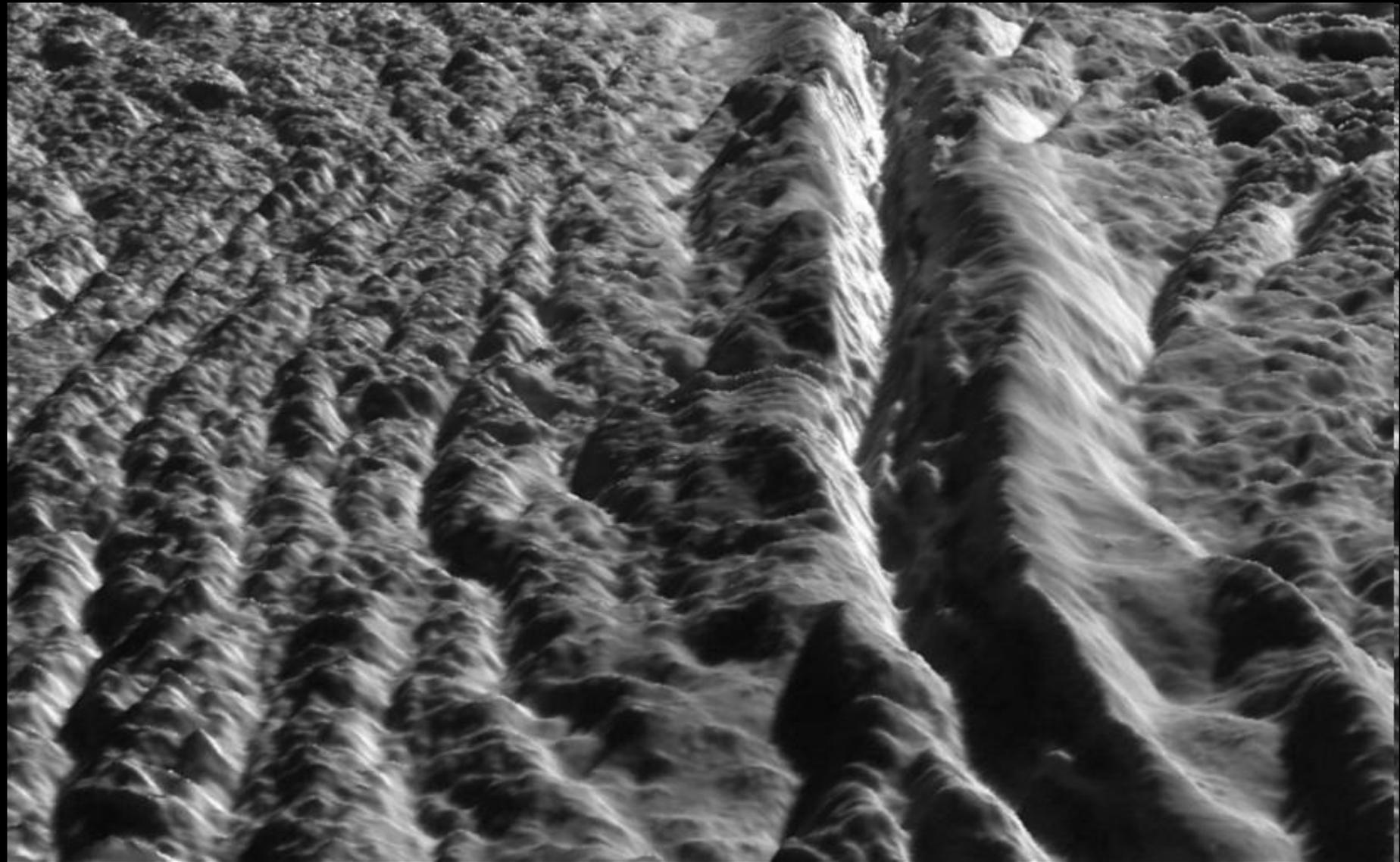
**Le 14 juillet
2005, Cassini a
survolé
Encelade par le
sud**

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

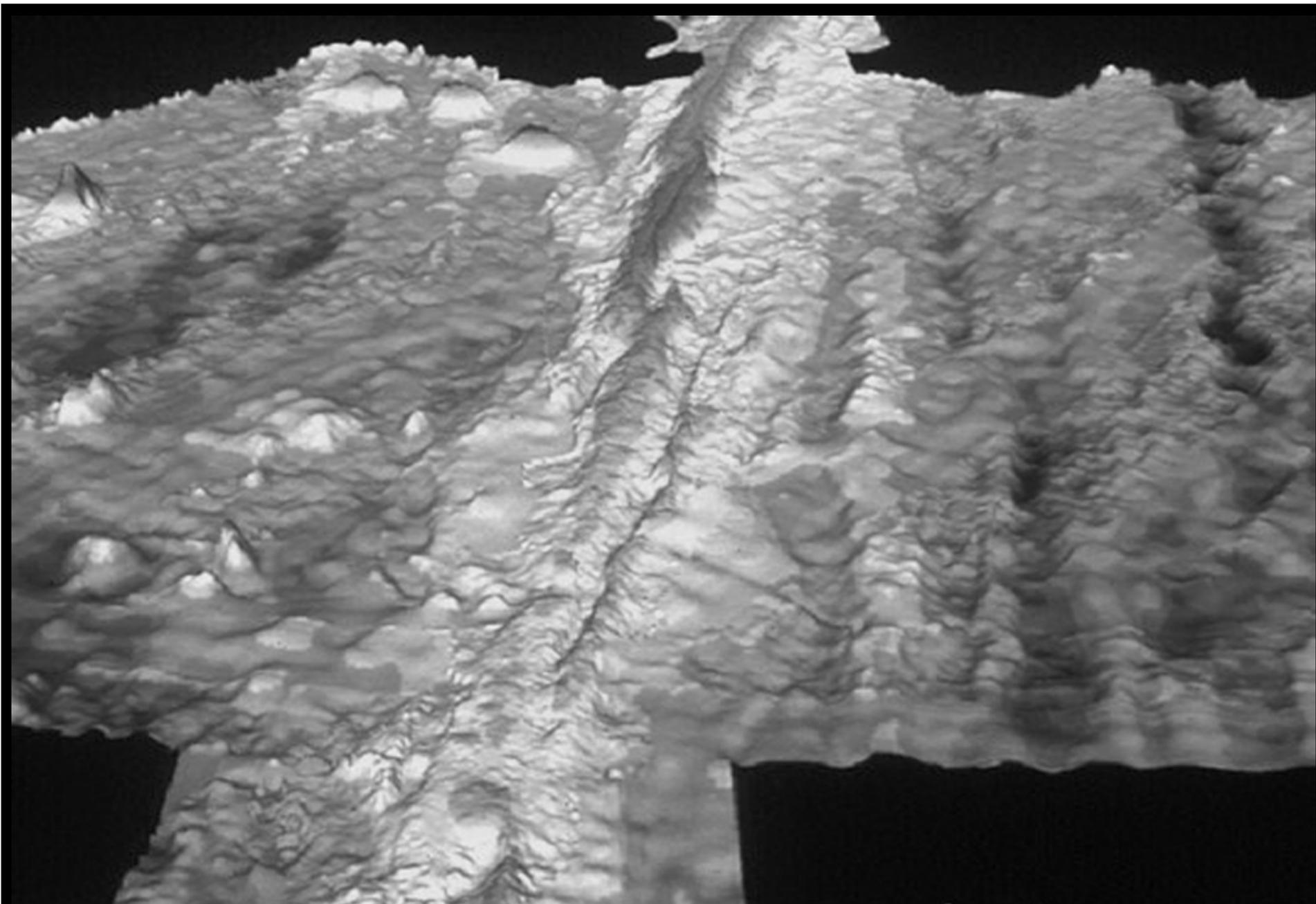




Regardons deux détails de cette région près du Pôle Sud



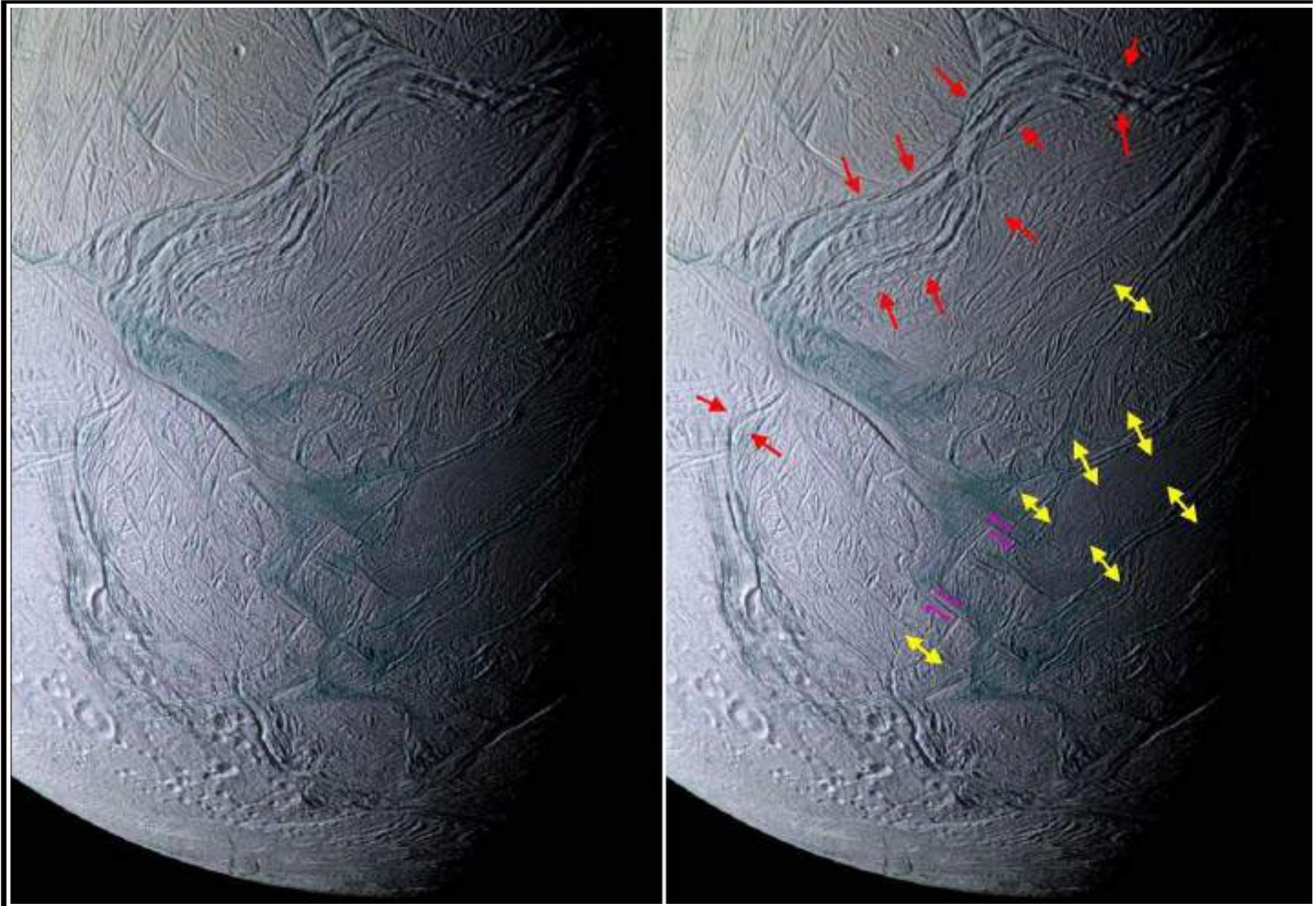
(1) La « rayure de tigre » Damas, qui ressemble à une dorsale avec vallée axiale (dorsale lente)



Un MNT de dorsale terrestre

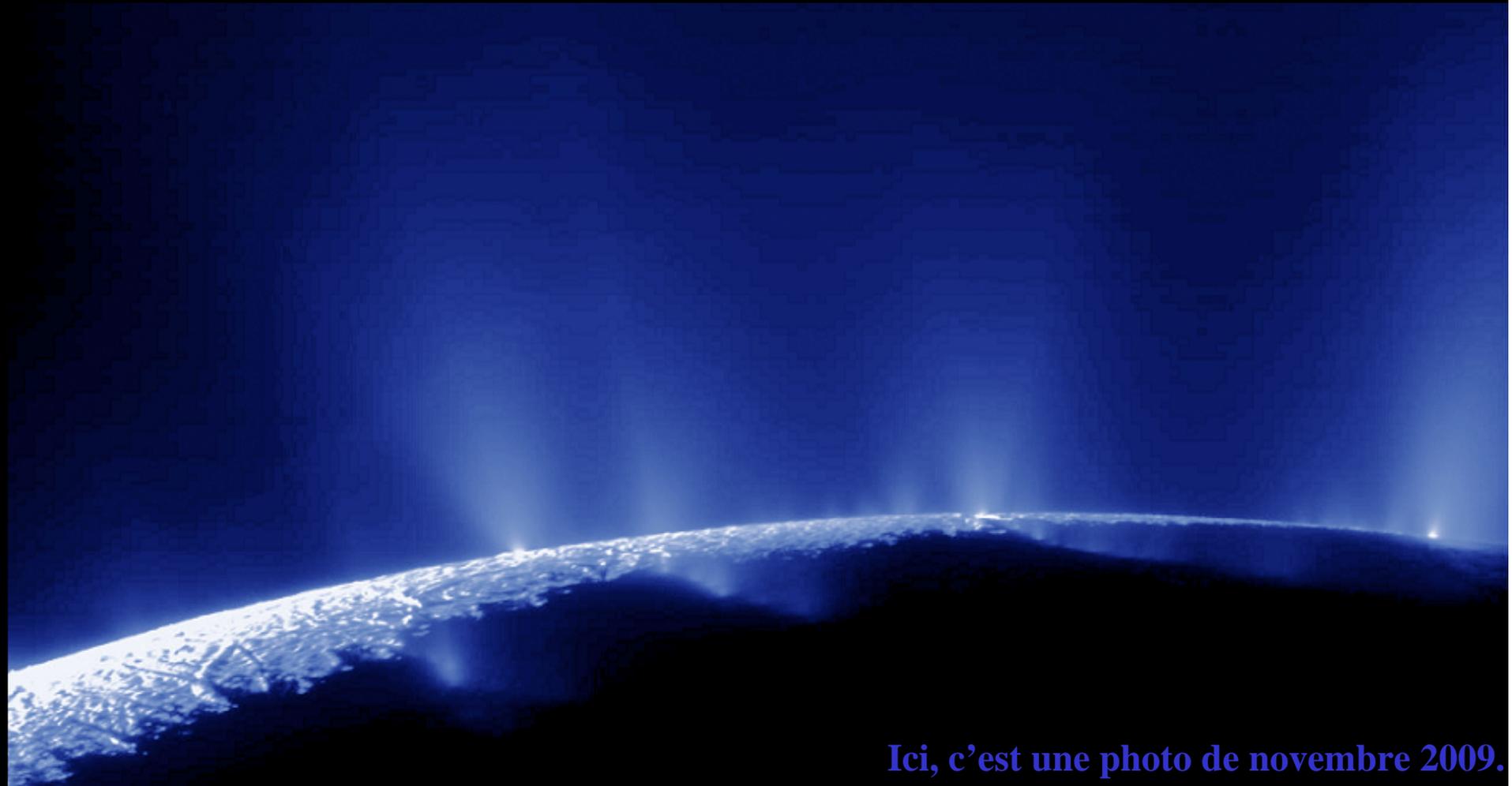


(2) Ce fragment de Montagne Circum-Polaire ressemble à une chaîne de collision



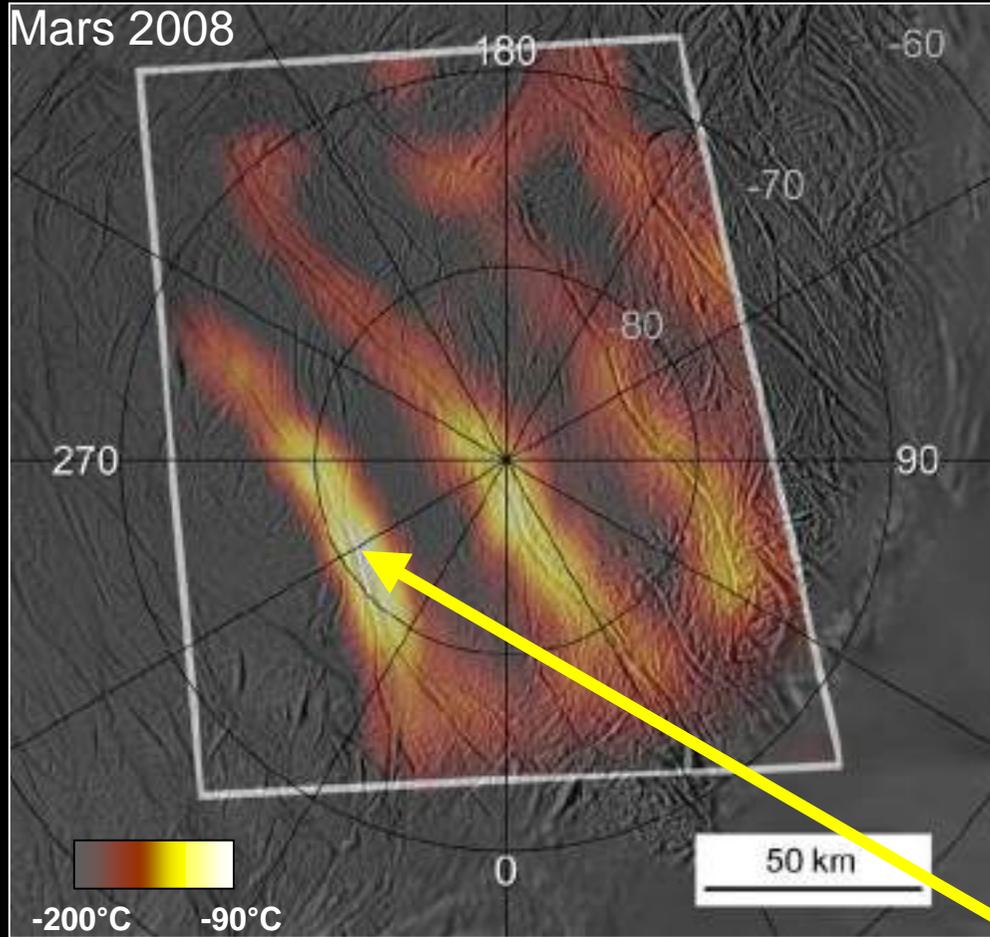
Une pseudo tectonique des plaques sur Encelade ?

**Et le 27 novembre 2005, Cassini découvre qu'il y a au dessus du Pôle Sud, des jets de micro-particules (de givre d'H₂O) qui diffusent la lumière solaire. Il s'agit de volcans (d'H₂O) actifs (des puristes les appellent geysers).
Les panaches sortent par les « rayures de tigre ».**

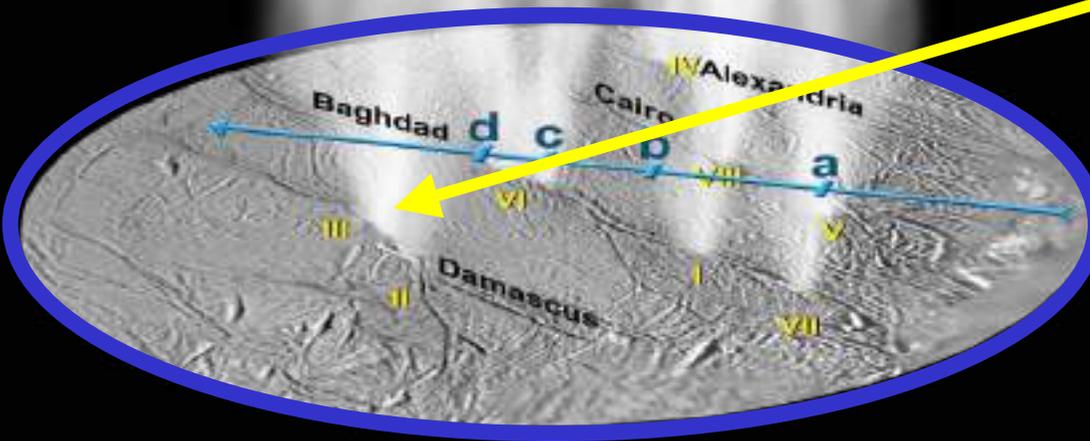
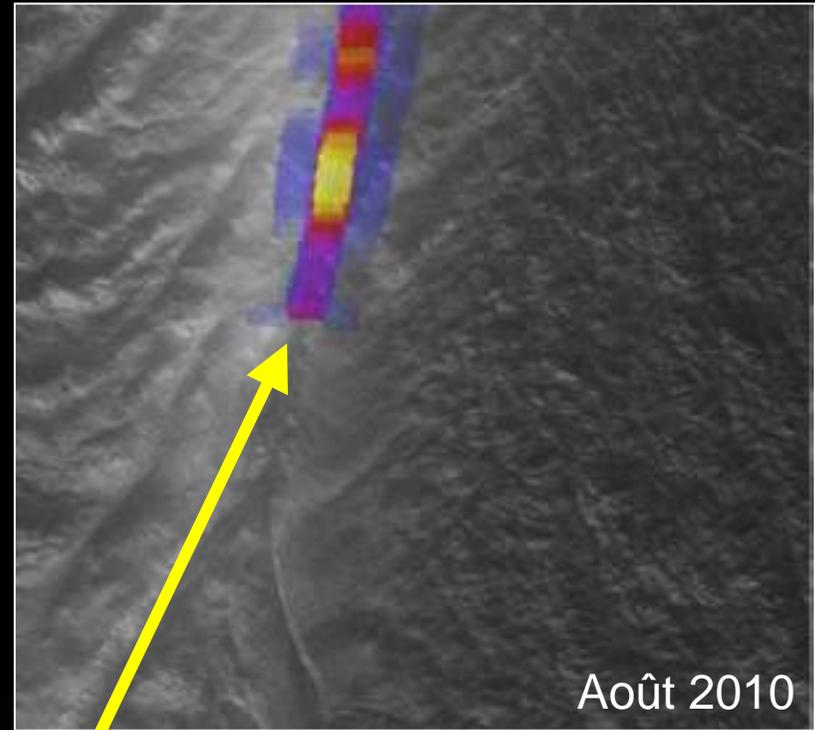


Ici, c'est une photo de novembre 2009.

Mars 2008



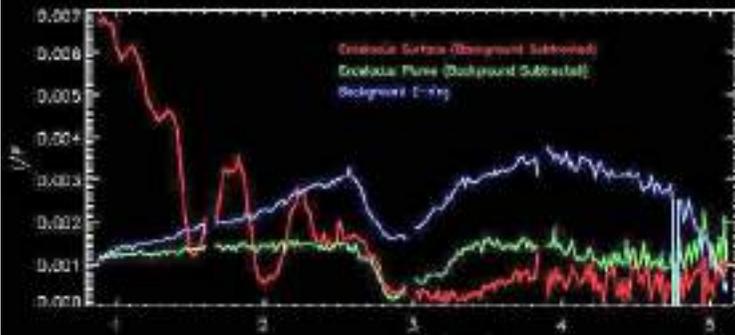
Données Infra-Rouge



La température des « zones en gris » est de -200°C . Là où elle est maximale, elle est de -83°C , soit un excès de $+117^{\circ}\text{C}$



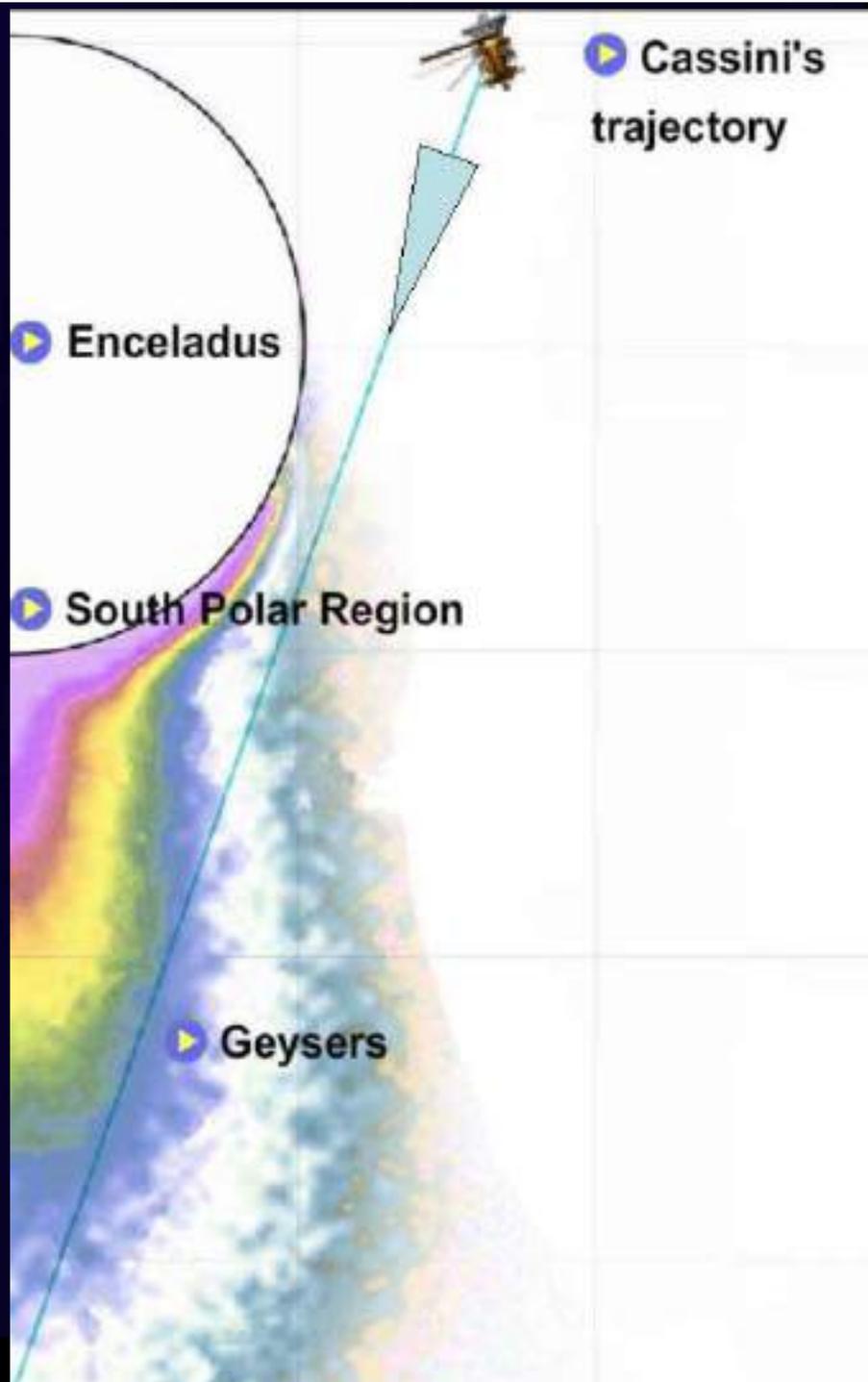
Large Ice Storms
Small Ice Storms
Very Small Ice Storms



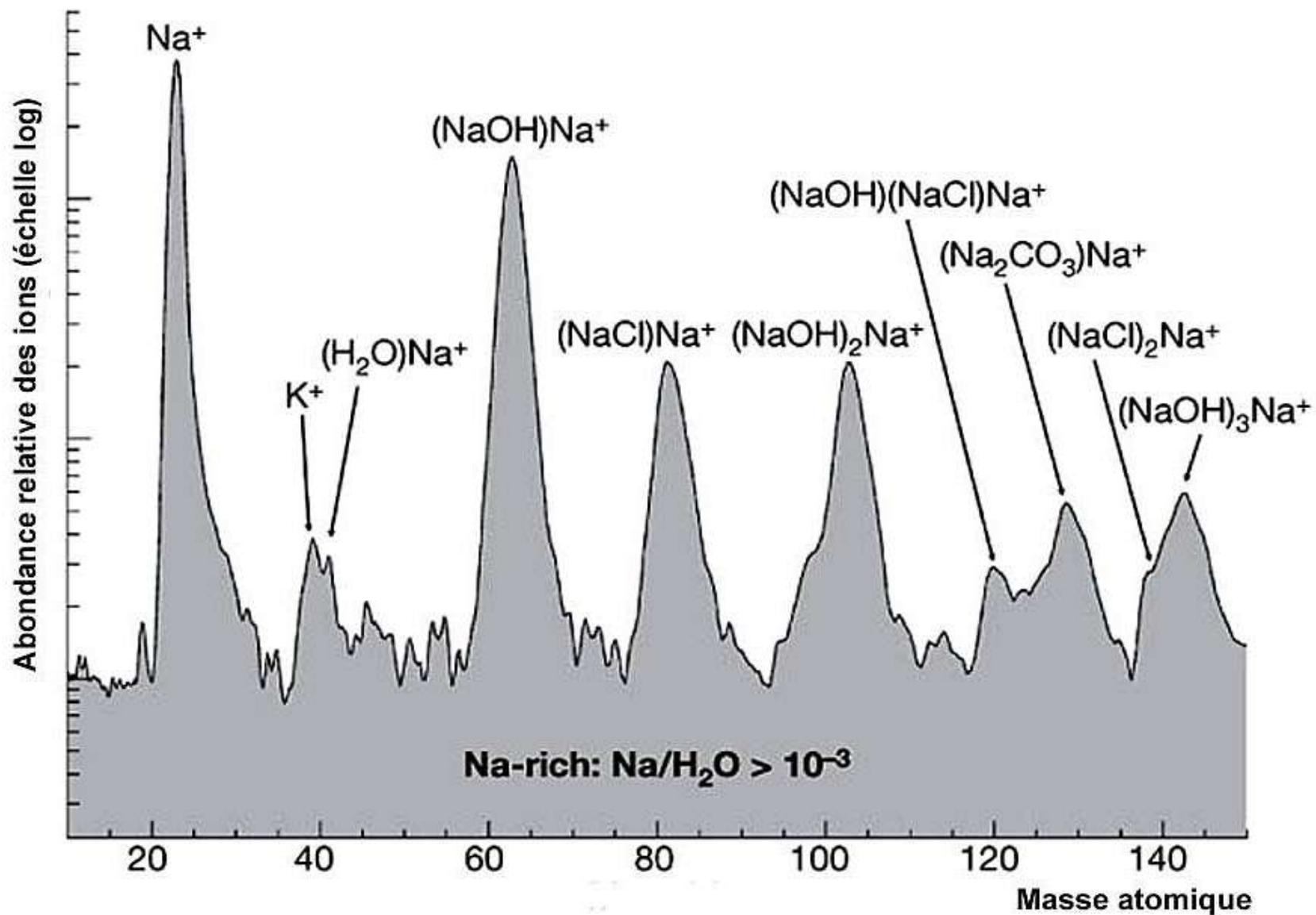
**Le panache de « fumée »,
aussi grand qu'Encelade lui
même**



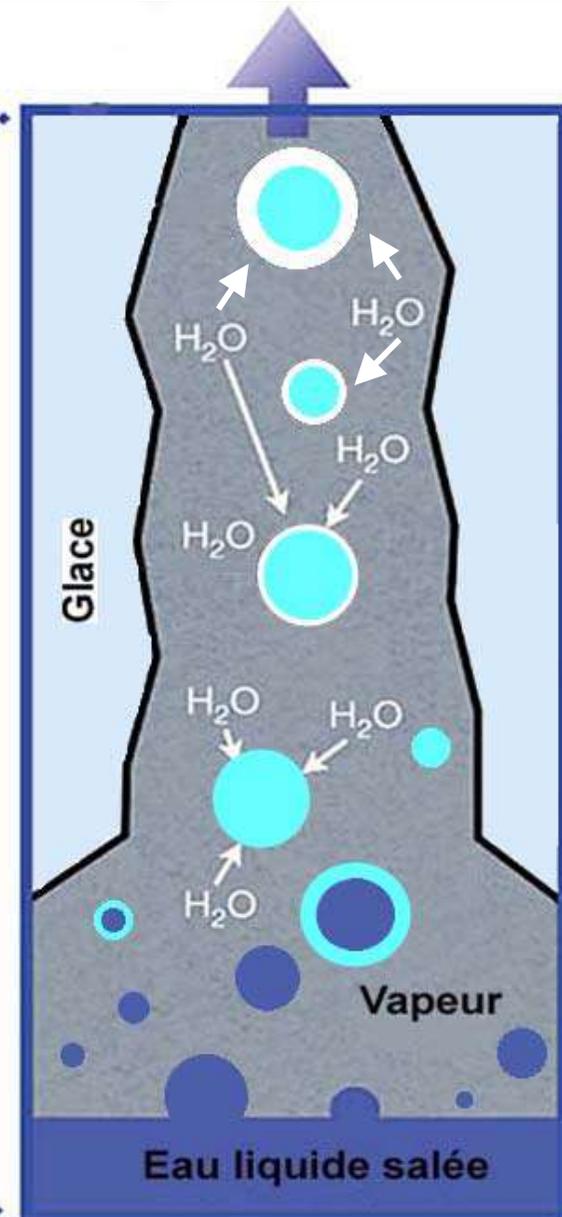
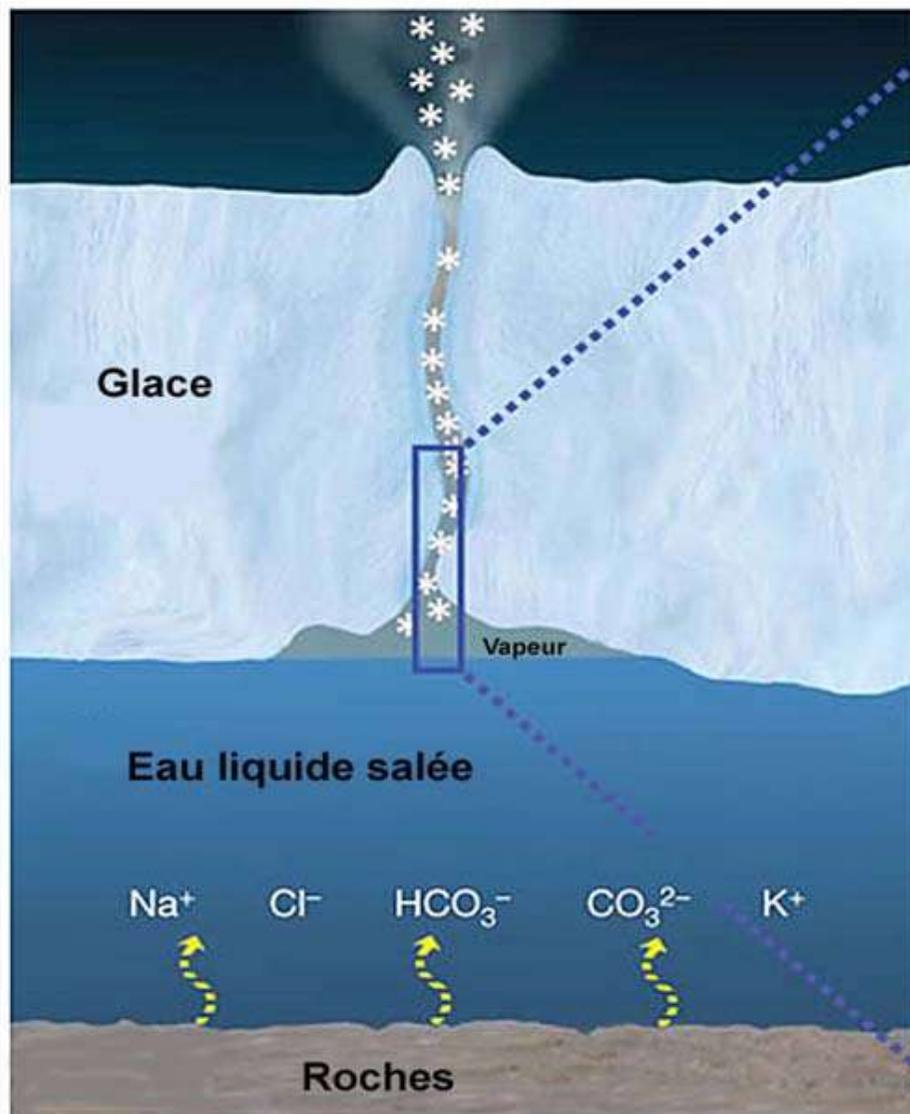
La même « éruption » 5 ans plus tard (2010). Ce qui sort a été analysé « spectralement » : de la « fumée » de fines particules de glace d'H₂O, sans raies spectrales du sodium.



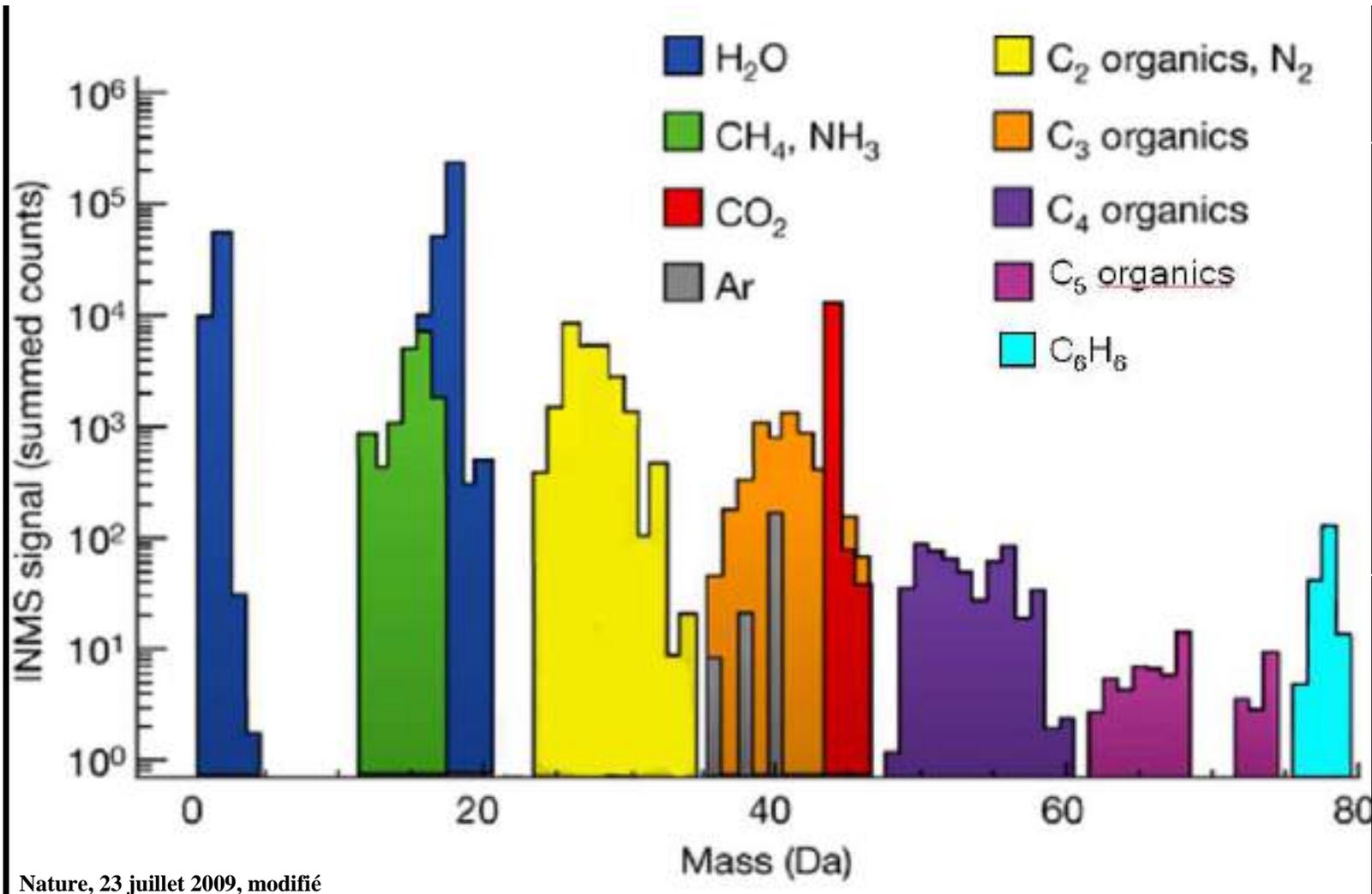
Des survols ont été re-programmés pour traverser ces panaches « geyseriens ». Tous les instruments destinés à la haute atmosphère de Titan ont fonctionné à plein régime.



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



Ce qui impose la présence d'eau liquide, en contact avec des silicates et avec de la vapeur !

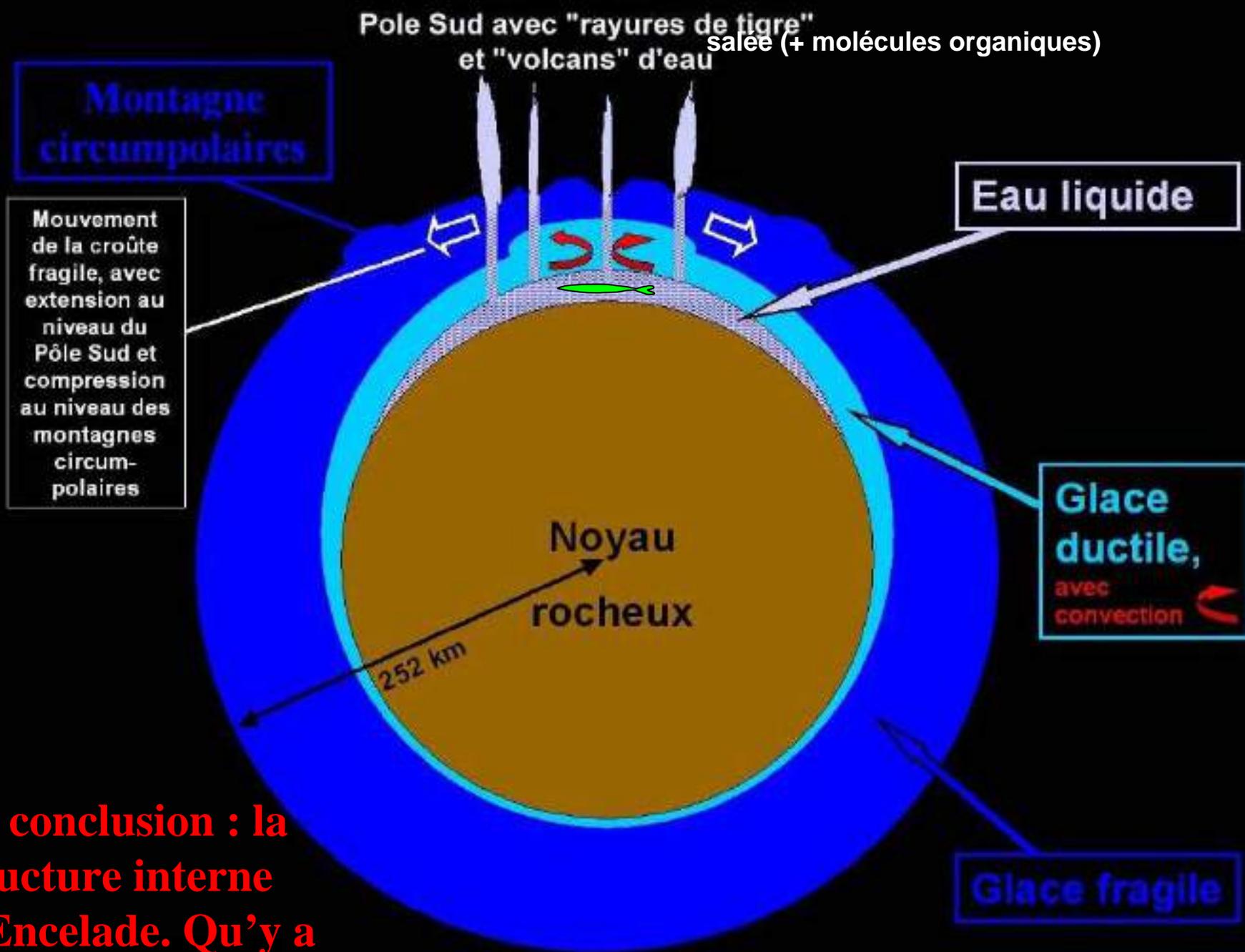


Premiers résultats concernant la matière organique des panaches : il y en a, en quantité non négligeable, et de fort complexes (jusqu'à C₆) ! Et en plus il y a de l'ammoniac ! Tout ça, ce sont les molécules précurseuses de la vie !

**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 !**





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

Parlons un peu des possibilités de vie dans le système solaire (en particulier dans le système saturnien).



Bactéries



Homo (sapiens ?)

La vie « à la mode terrestre », des êtres/organes les plus simples (bactéries) aux plus complexes (cerveau humain) c'est une suite de multiples réactions chimiques extraordinairement compliquées.

Que faut-il pour que de telles réactions chimiques puissent avoir lieu ?

- (1) des macromolécules complexes, multiples et variées,
- (2) un excellent solvant,
- (3) de l'énergie utilisable.

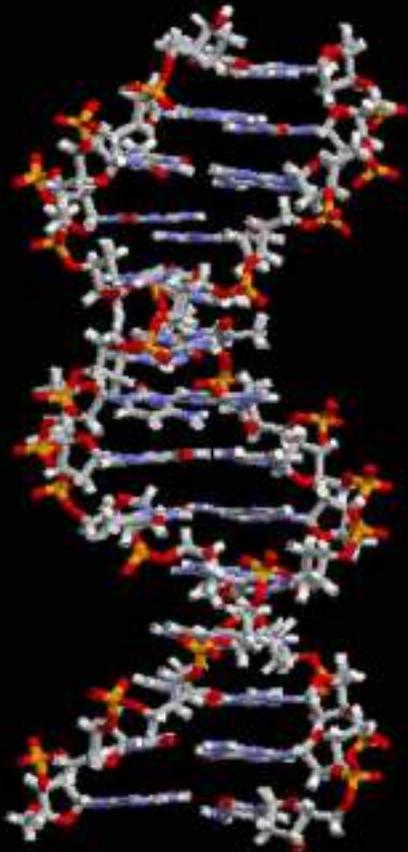


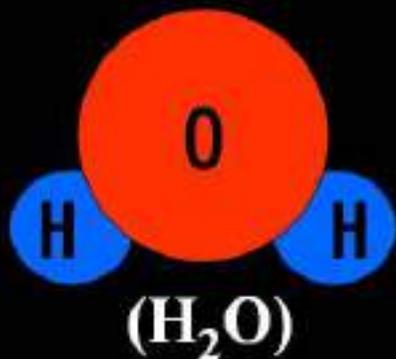
Pour faire des molécules complexes, les chimistes nous disent qu'il faut une architecture basée sur un atome

- (1) tétravalent,**
- (2) de petite taille.**

Parmi les 92 éléments, seuls le Carbone, et dans une moindre mesure le Silicium satisfont ces 2 critères. Et le carbone peut faire des molécules bien plus variées et réactives que le silicium.

Avec les chimistes, nous postulons que seul le Carbone peut être à la base de la vie. Ne pas oublier qu'il faut aussi d'autres éléments (P, N ...) dont on ne parlera pas aujourd'hui, mais qui, sur Terre, sont aussi indispensable que le C.





Les chimistes nous disent que l'eau (H₂O) est de loin le plus puissant et efficace solvant possible pour les molécules carbonées. Le méthane (CH₄ et l'ammoniac NH₃) liquides sont aussi des candidats, à priori beaucoup moins prometteurs (surtout le méthane qui est non polaire), mais théoriquement possibles.

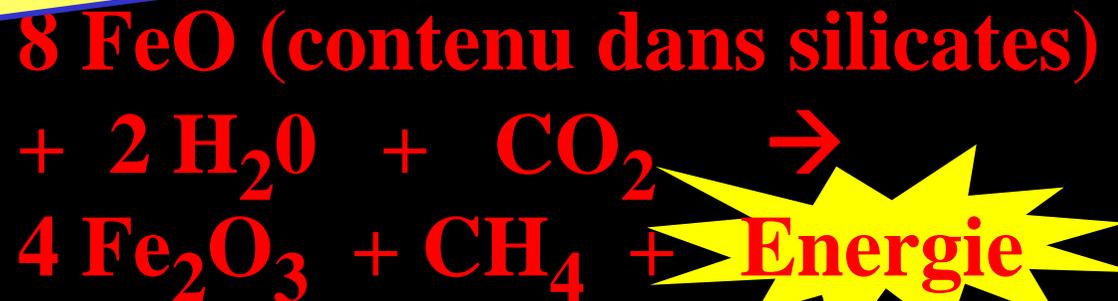


La vie terrestre utilise deux sources d'énergie, à la base de tous les écosystèmes :

(1) la lumière solaire à la base de la photosynthèse,

(2) des réactions chimiques à la base de la chimiosynthèse.

Peuvent se produire en profondeur dans le sous-sol ou dans un océan, même si les conditions de surface sont « impropres » à la vie !



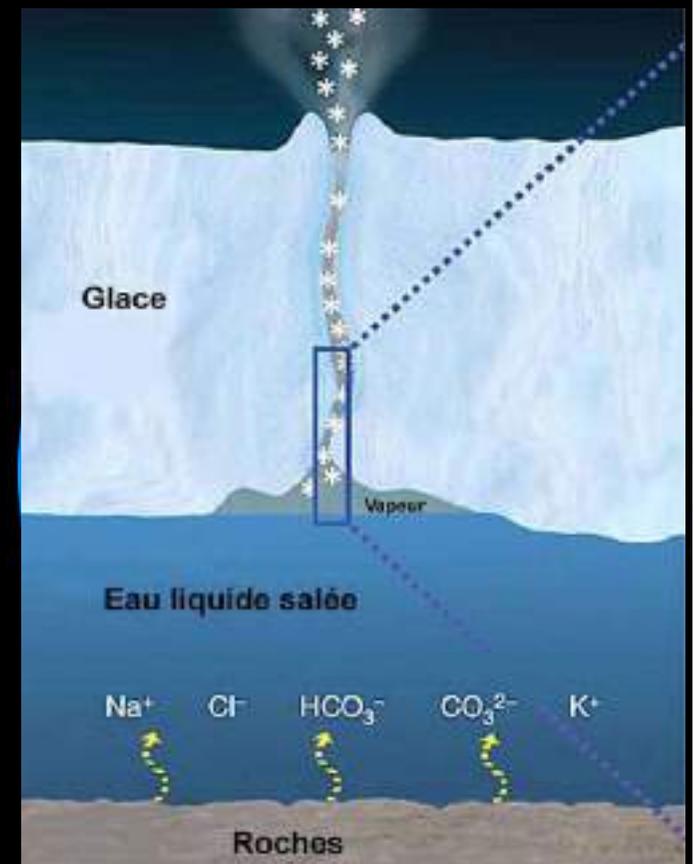
Où, dans le système de Saturne, y a-t-il à la fois les trois « ingrédients » nécessaires à la vie « à la mode terrestre » : (1) Carbone et molécules organiques, (2) eau liquide, et (3) énergie disponible ?

- Carbone et molécules organiques : partout !

- Eau liquide : en profondeur sous la glace de Titan et d'Encelade

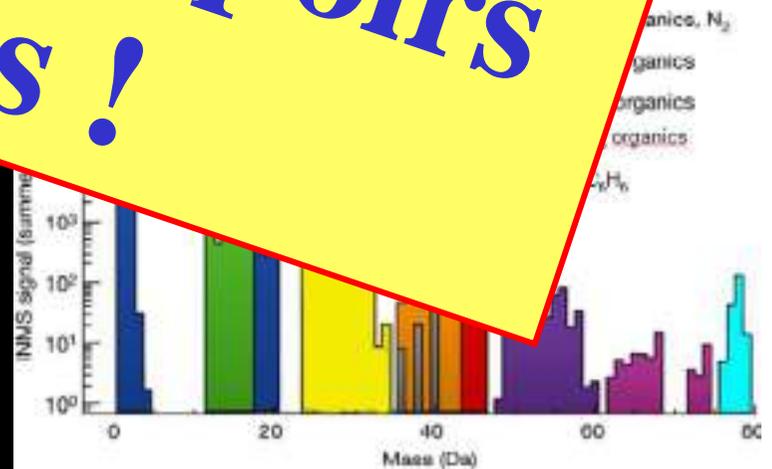
- Energie disponible dans cet océan sous-glaciaire ?

Pas dans Titan car l'océan n'est pas en contact avec les silicates. Mais sur Encelade, si !



**... Encelade, sans doute
Europe, tous les espoirs
sont permis !**

**Alors, y a-t-il de la vie dans
l'océan d'Encelade ?
Nul ne le sais, mais ...**



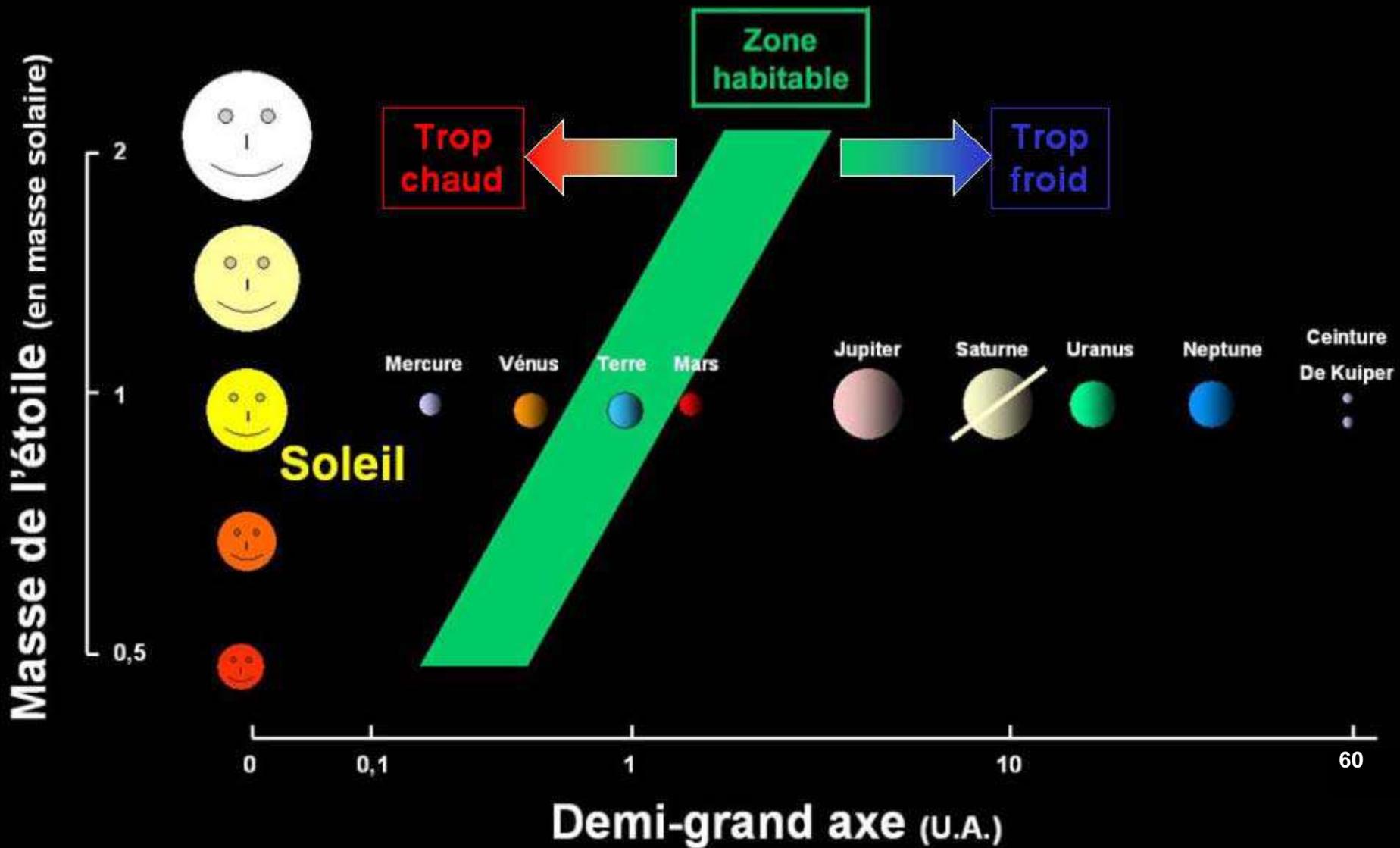


Une parenthèse pour piquer une « grosse colère » sur la notion de zone (ou de fenêtre) d'habitabilité.

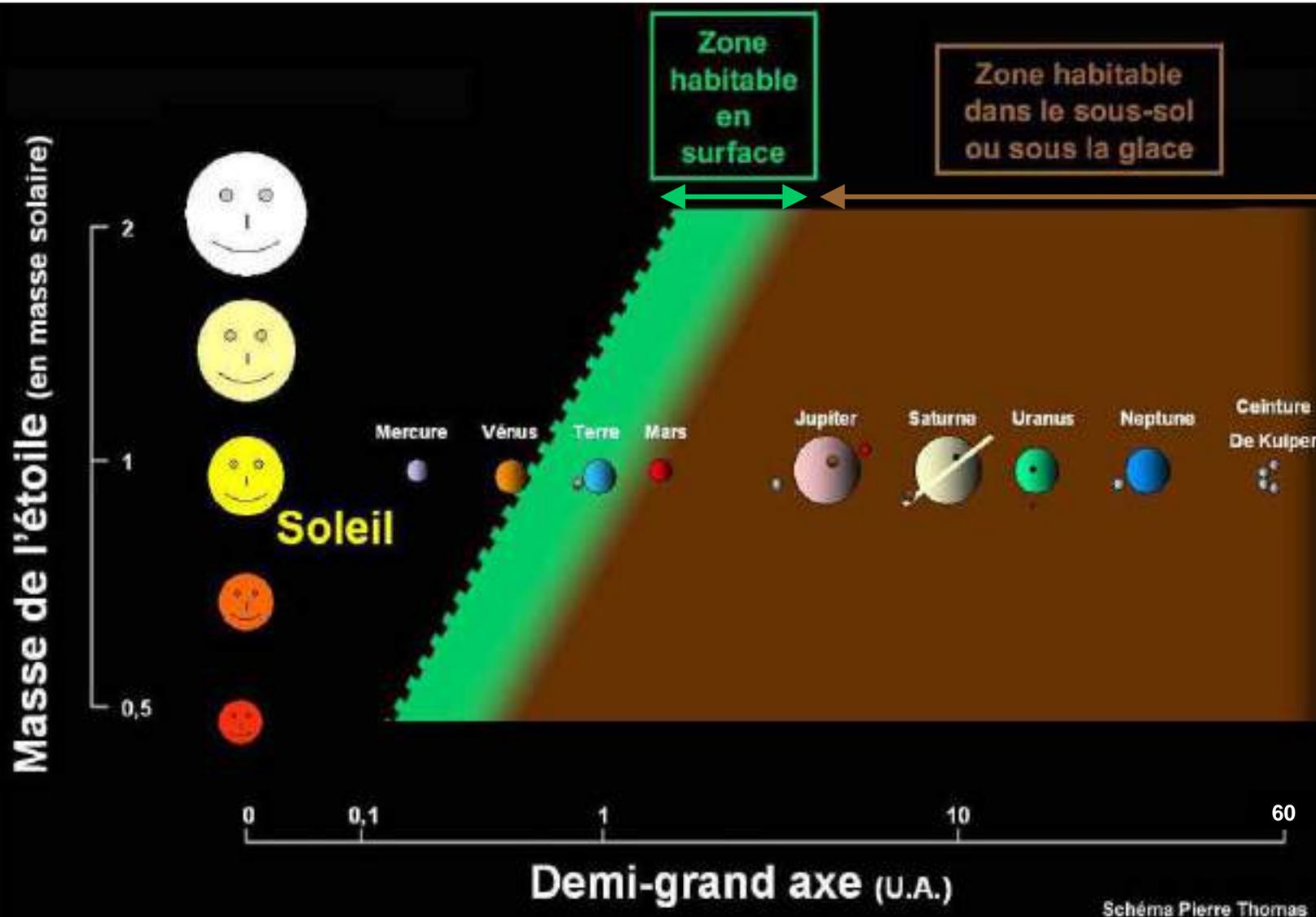


Tout d'abord, même une planète géante, grâce à ses satellites, peut abriter une vie « à la mode terrestre » dans son voisinage. Même les auteurs d'Avatar s'en sont rendu compte !





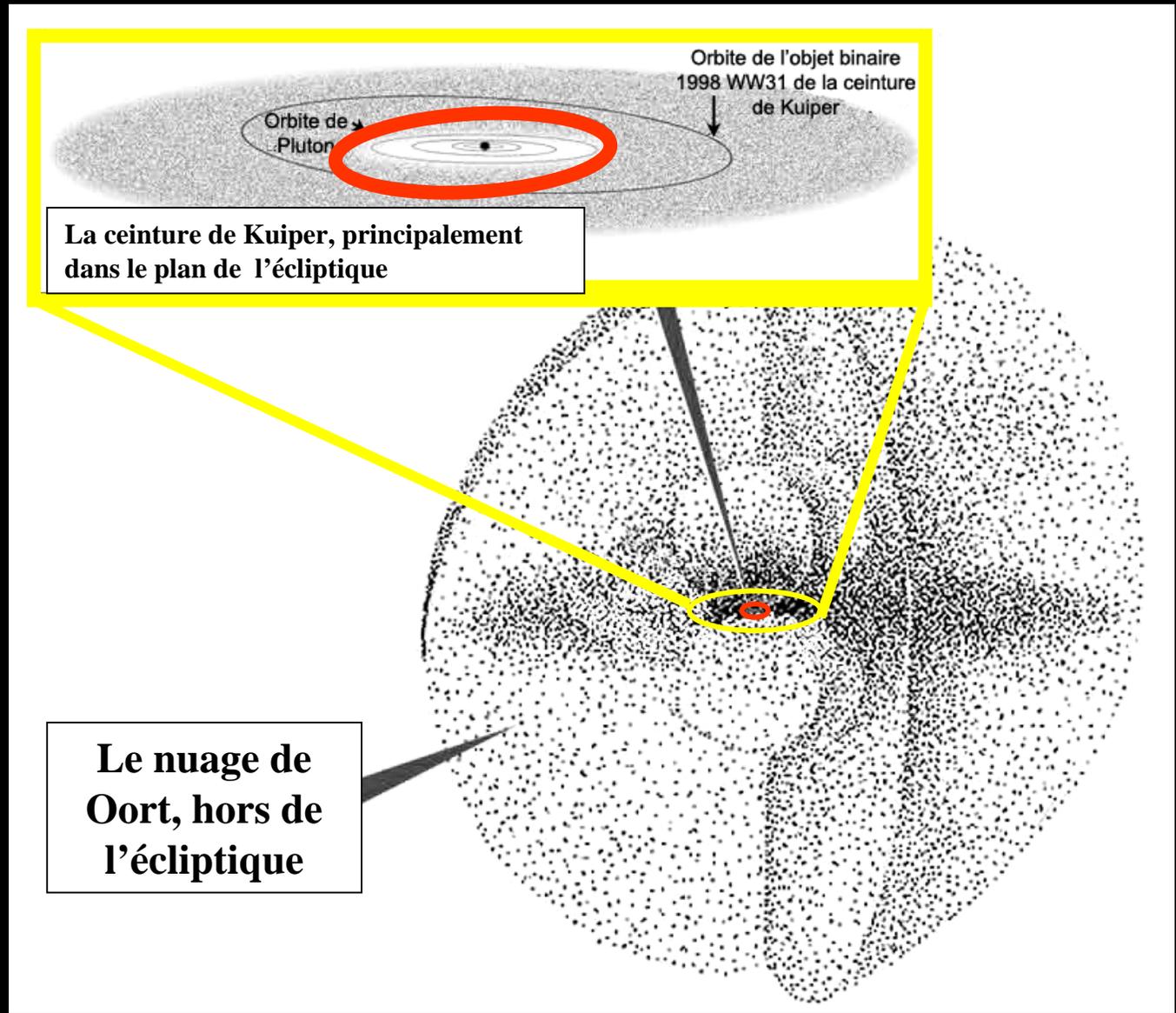
Voici la représentation classique de la zone d'habitabilité. D'abord, elle « néglige » les modulations qu'entraînent les différents effets de serre



Ensuite, c'est oublier les vies « souterraines » ou « sous-glaciaires » qui peuvent bien sûr exister dans les zones très froides, sans eau liquide en surface.

Et au delà des planètes géantes ? Pluton, un des objets de la ceinture de Kuiper, et le nuage de Oort

Des perturbations orbitales font que, parfois, certains de ces objets s'approchent du soleil et deviennent des comètes

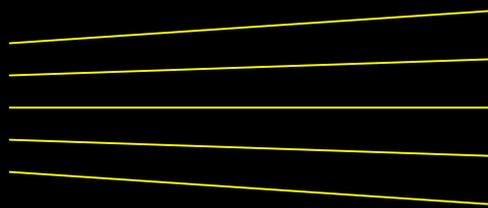


Les molécules et ions (gaz et poussières) cométaires identifiées depuis la Terre



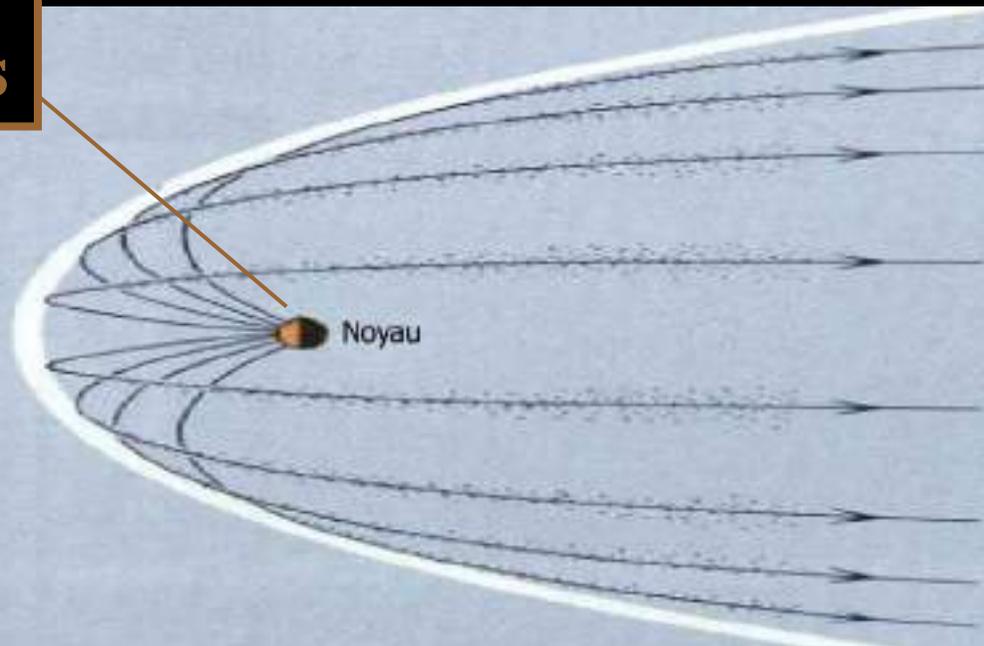
- H_2O , OH , H_2O^+ , H_3O^+ ,
- CO , CO_2 , CO^+ , HCO^+ ,
- H_2S , SO , SO_2 , H_2CS , OCS , CS ,
- CH_3OH , H_2CO , HCOOH , CH_3OCHO ,
- HCN , CH_3CN , HC_3N , HNCO , CN , NH_3 , NH_2 , NH_2CHO , NH ,
- CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , CH^+ , C_3 , C_2 ,
- He , Na , K , O^+ ,
- Mg_2SiO_4 (olivine magnésienne)
- ainsi que les variétés isotopiques suivantes : HDO , DCN , H^{13}CN , HC^{15}N , C^{34}S

Une comète, comment ça marche ? Près du soleil, la glace du noyau devient vapeur d'eau, déviée par le vent solaire, ce qui forme la célèbre queue



Noyau de glaces sales

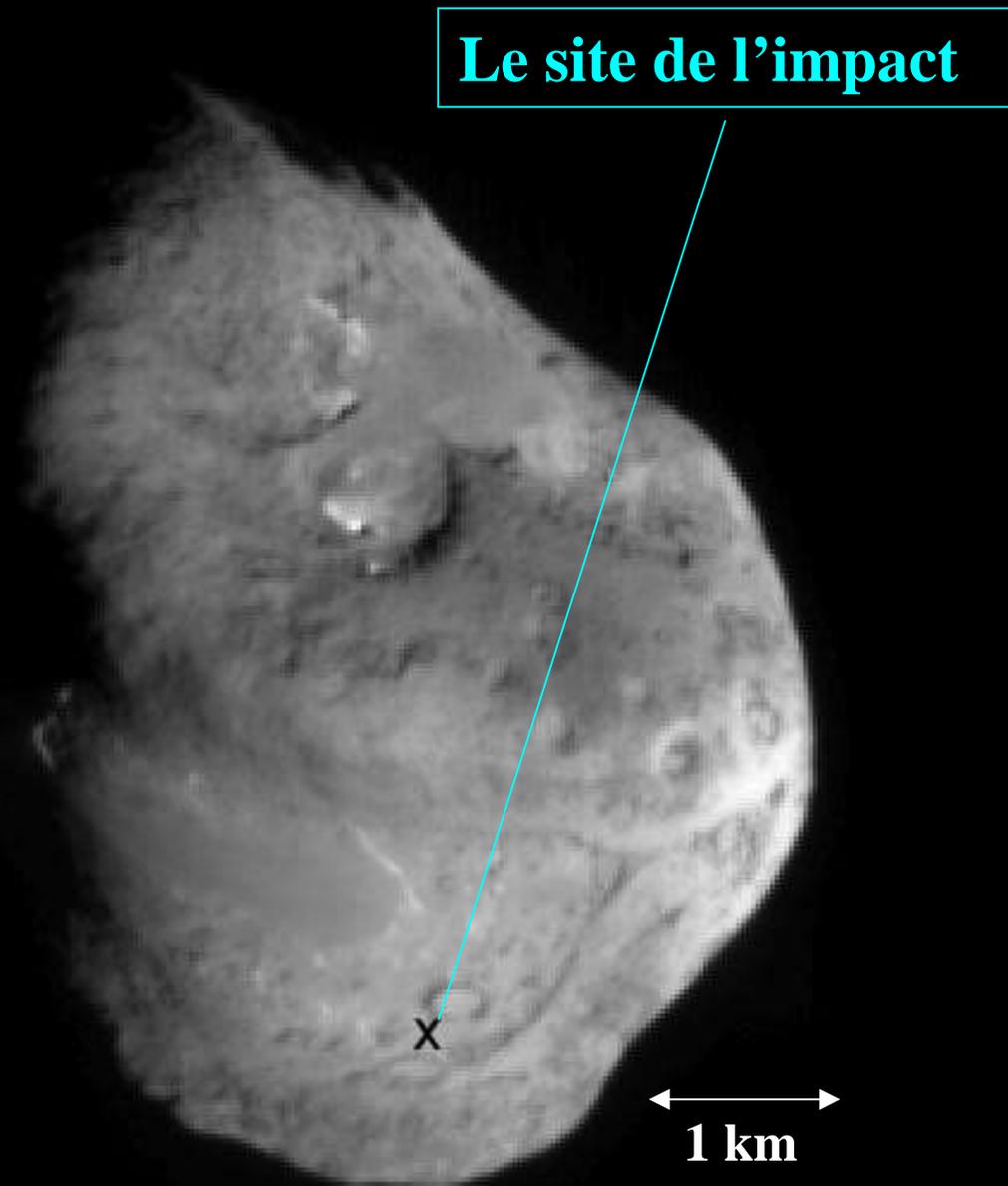
Photons et vent solaire



Noyau

Déviations des poussières par les photons et le vent solaire dans la direction opposée au soleil -> formation de la queue

**La comète
Temple 1
(2005, Nasa),
héroïne malgré
elle du vrai
Deep Impact**



**Avant l'impact, de
la spectroscopie. En
bleu, les surface de
« glace vive »
d'H₂O.**

**Le reste, un
mélange infâme !**

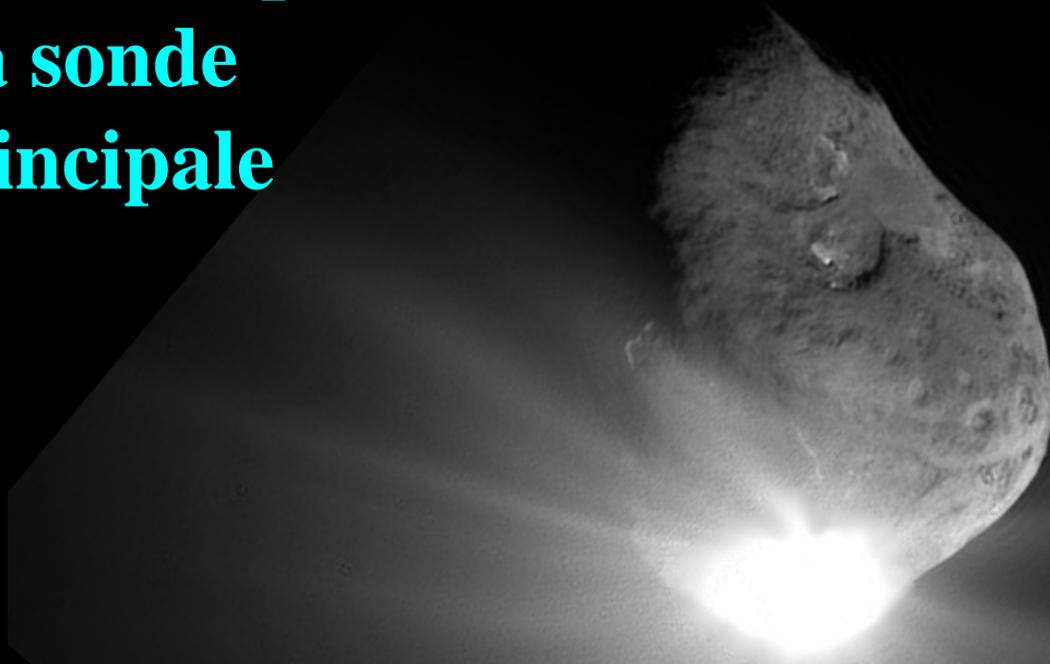


**Un
« boulet »
quitte la
sonde
principale.**

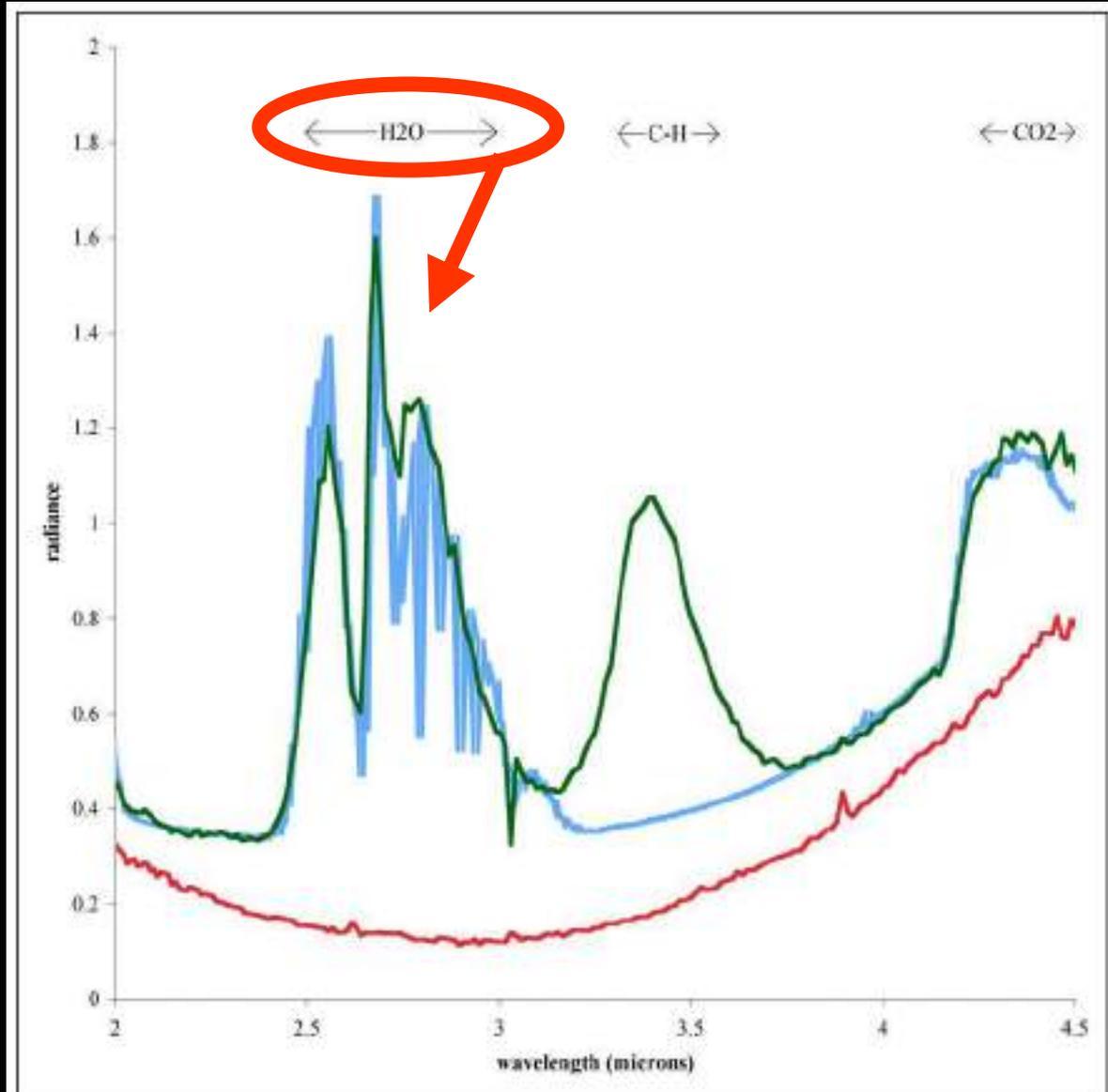
Il s'approche



**L'impact vu par
la sonde
principale**



**Le spectre IR des
« gaz
d'échappement » :
H₂O, CO₂ et
hydrocarbures. Il y a
bien de l'eau sur
cette comète !
Surprise, les études
terrestres montrent
que le rapport
poussières/glaces est
beaucoup plus
important que
prévu.**



**Et je ne peux pas terminer
cette conférence sans vous
montrer cette image prise
le 4 novembre 2010 par la
Sonde Nasa Epoxi :
la comète Hartley 2.**



165 diapositives pour vous parler d'eau liquide, de vapeur et de glace. Je crois qu'il est temps de s'arrêter (et pourquoi pas de boire un coup) !

Merci de votre attention.

