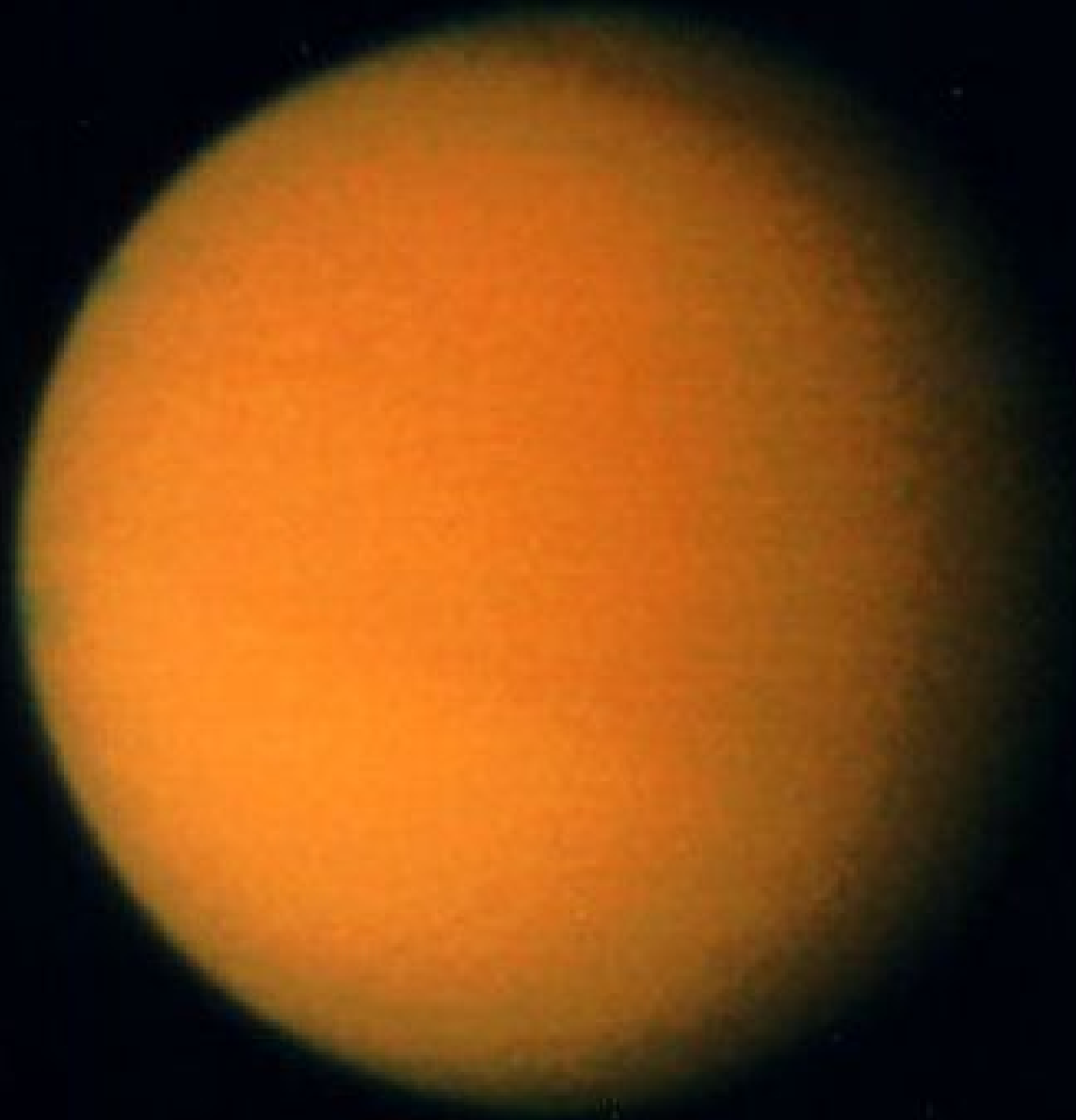


Titan

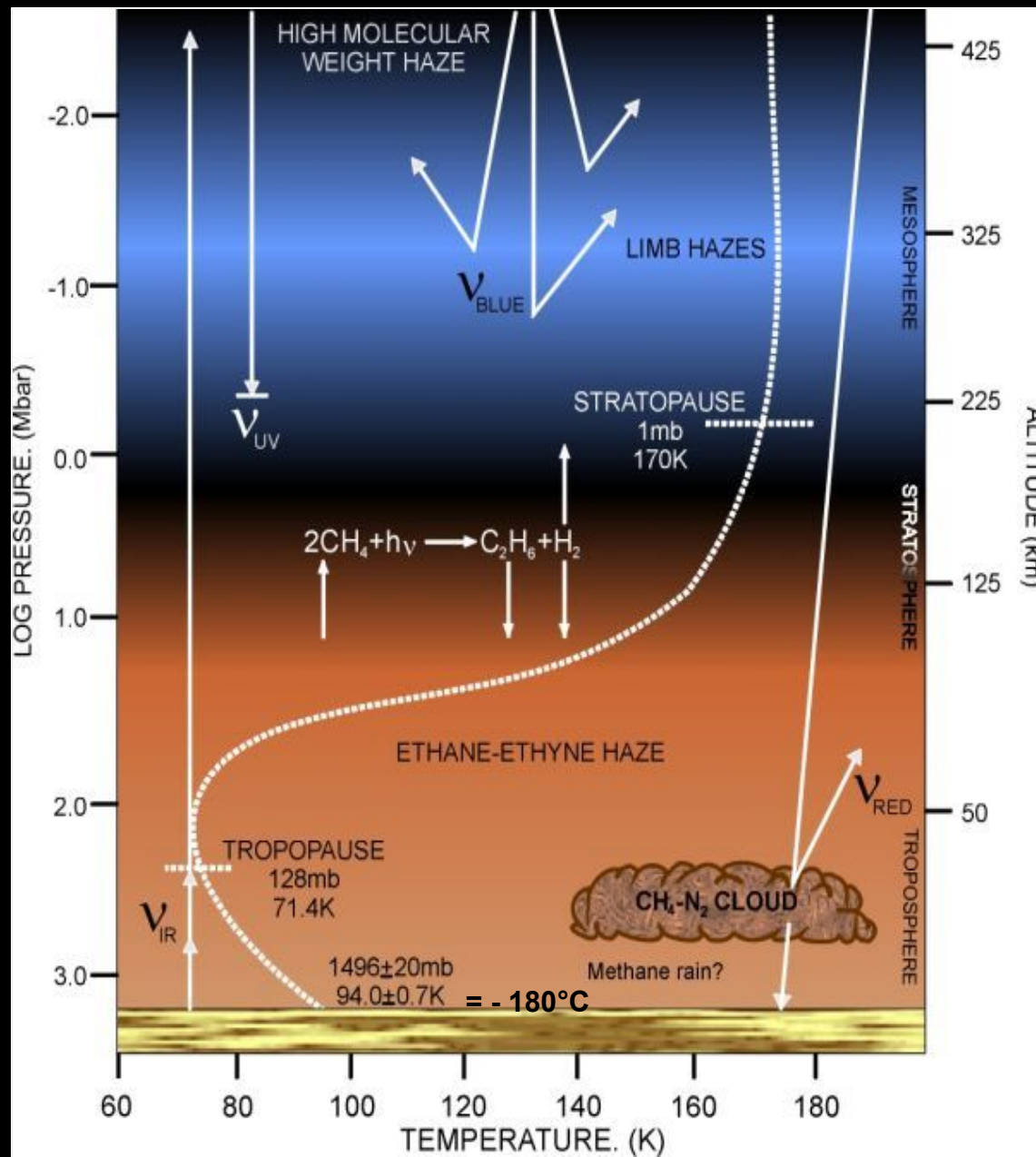
**Titan, le « clou » et
le but principal de
la mission Cassini-
Huygens**



**Titan, vu par
Voyager
D = 5150 km**



**Coucher de
soleil derrière
l'atmosphère
de Titan
(Voyager)**



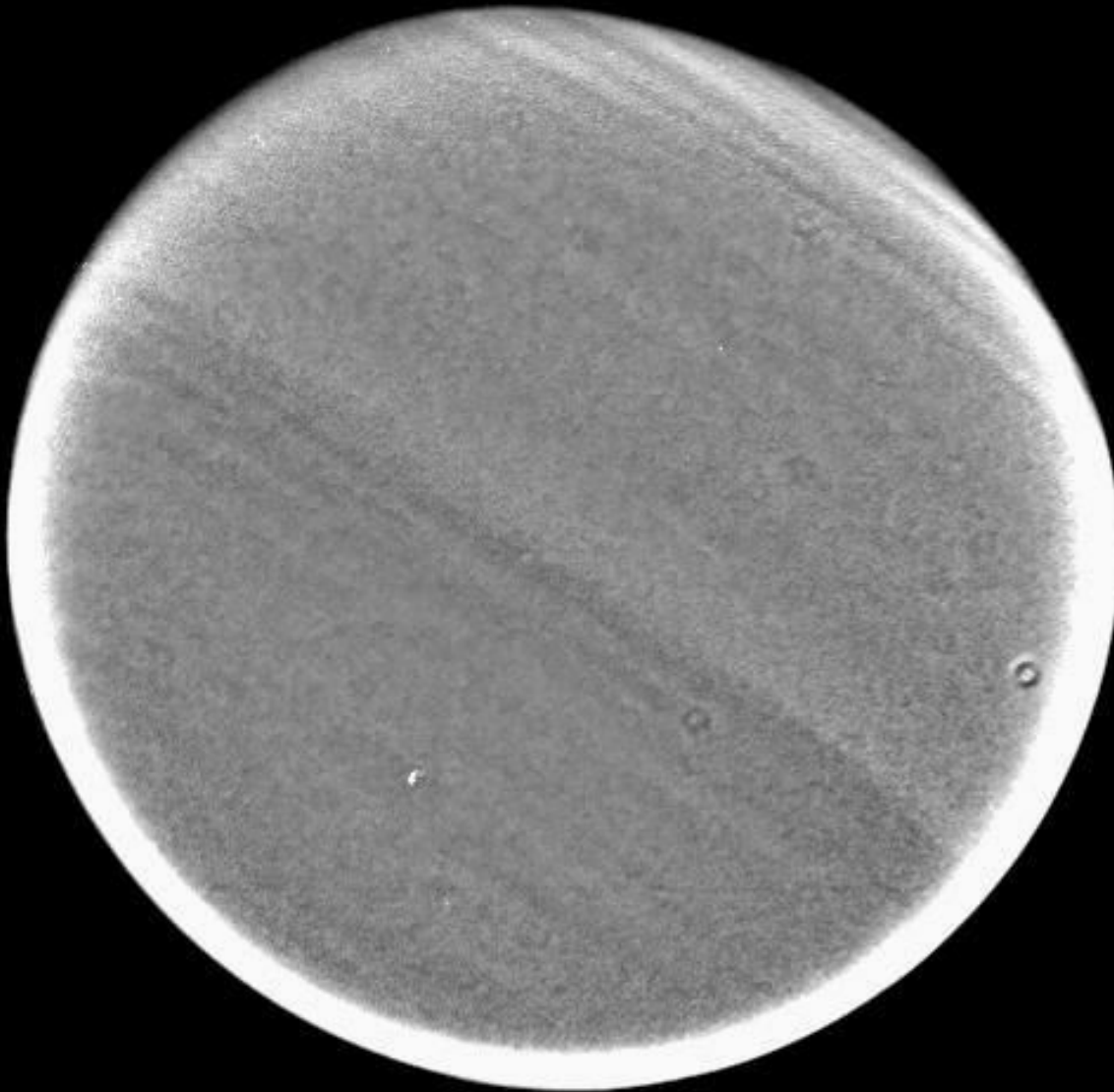
$\text{CH}_4 + \text{photons UV} \rightarrow$
 $2 \text{CH}_3\cdot + 2\text{H}\cdot \rightarrow$
 2CH_4 (majoritairement) et
 aussi $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2$

$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{CH}_4 +$
 photons UV \rightarrow
 $\text{C}_2\text{H}_5\cdot + \text{CH}_3\cdot + 2\text{H}\cdot$
 $\rightarrow \text{C}_3\text{H}_8 + \text{H}_2 \dots$

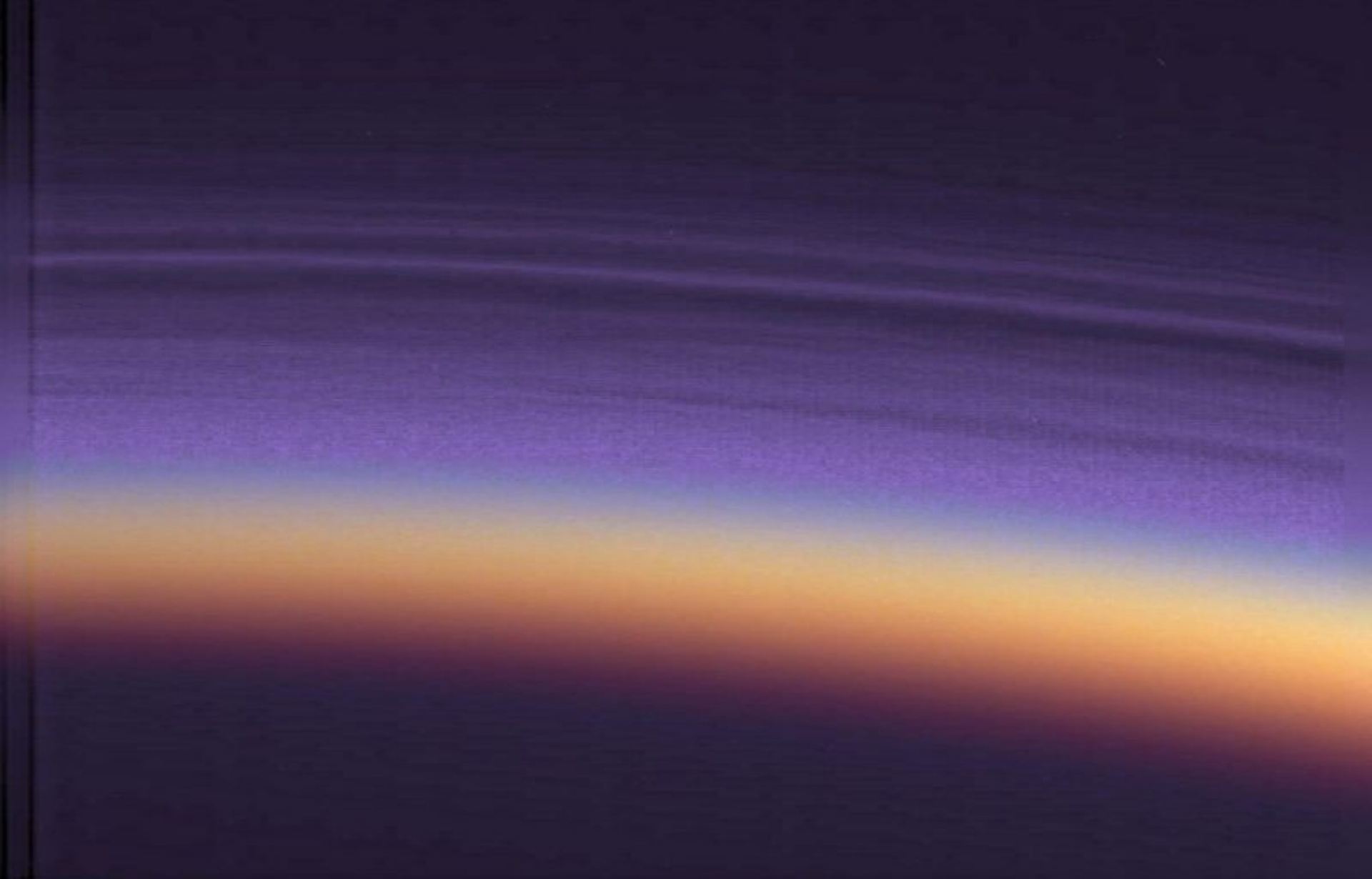
Ce qui « doit » se

l'atmosphère de Titan ; il faut aller dans plus près

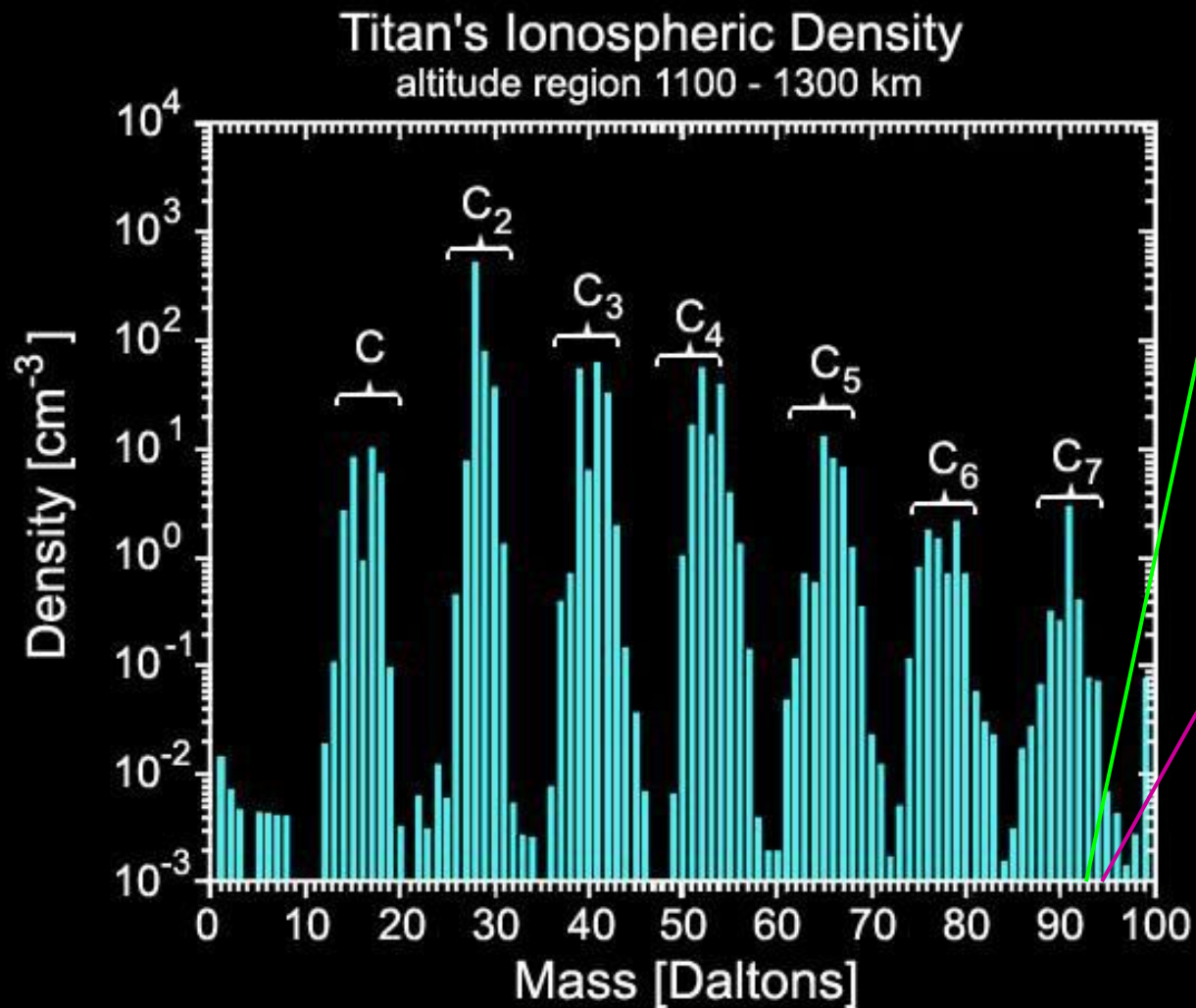
Des nouvelles 2004 de l'atmosphère



**Découverte (en
UV) d'une
circulation
atmosphérique
zonale**



La haute atmosphère est « stratifiée »



92 pourrait-être
C6H5-CH3
(le toluène)

93 pourrait être
C6H5-NH2
(l'aniline)

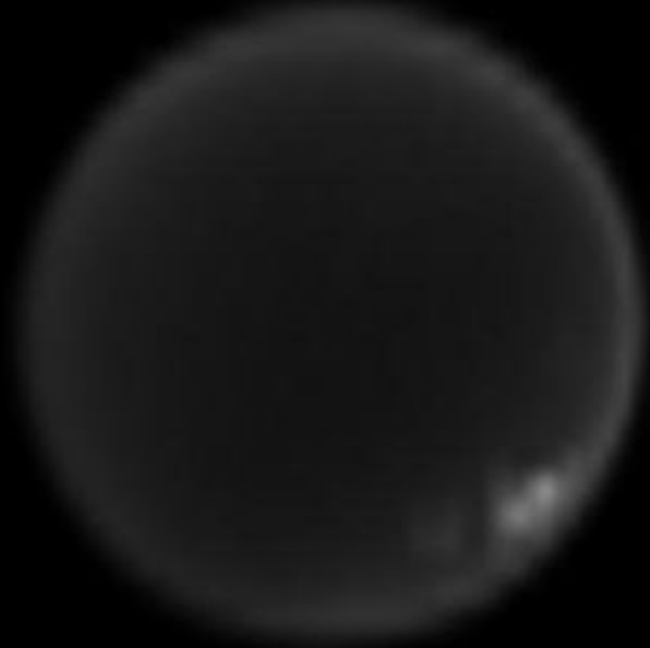
**Dans la très haute atmosphère (1200 km), Cassini
trouve des macro-molécules organiques**



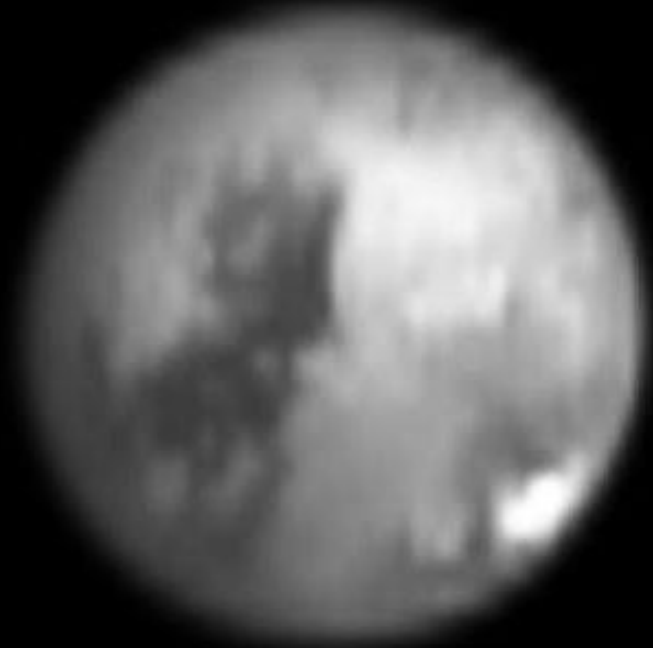
**Mais comment voir la
Surface de Titan sous
ce couvert nuageux
permanent ?**

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 μ) .

On ne voit rien de la surface.

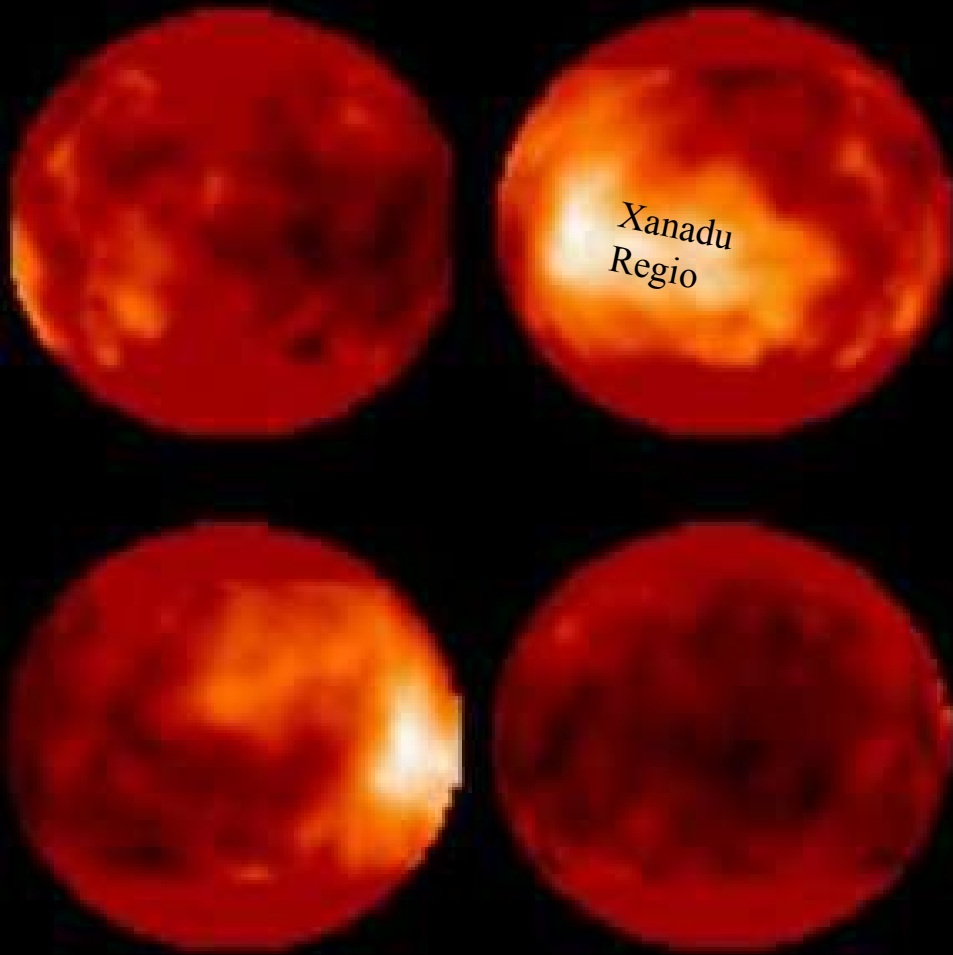
Il y en a d'autres qui traversent l'atmosphère (ex : 1,997 μ) ; on découvre la surface, ou plus exactement le peu d'IR reçus du soleil, réfléchis et renvoyés par la surface (ou des nuages bas).

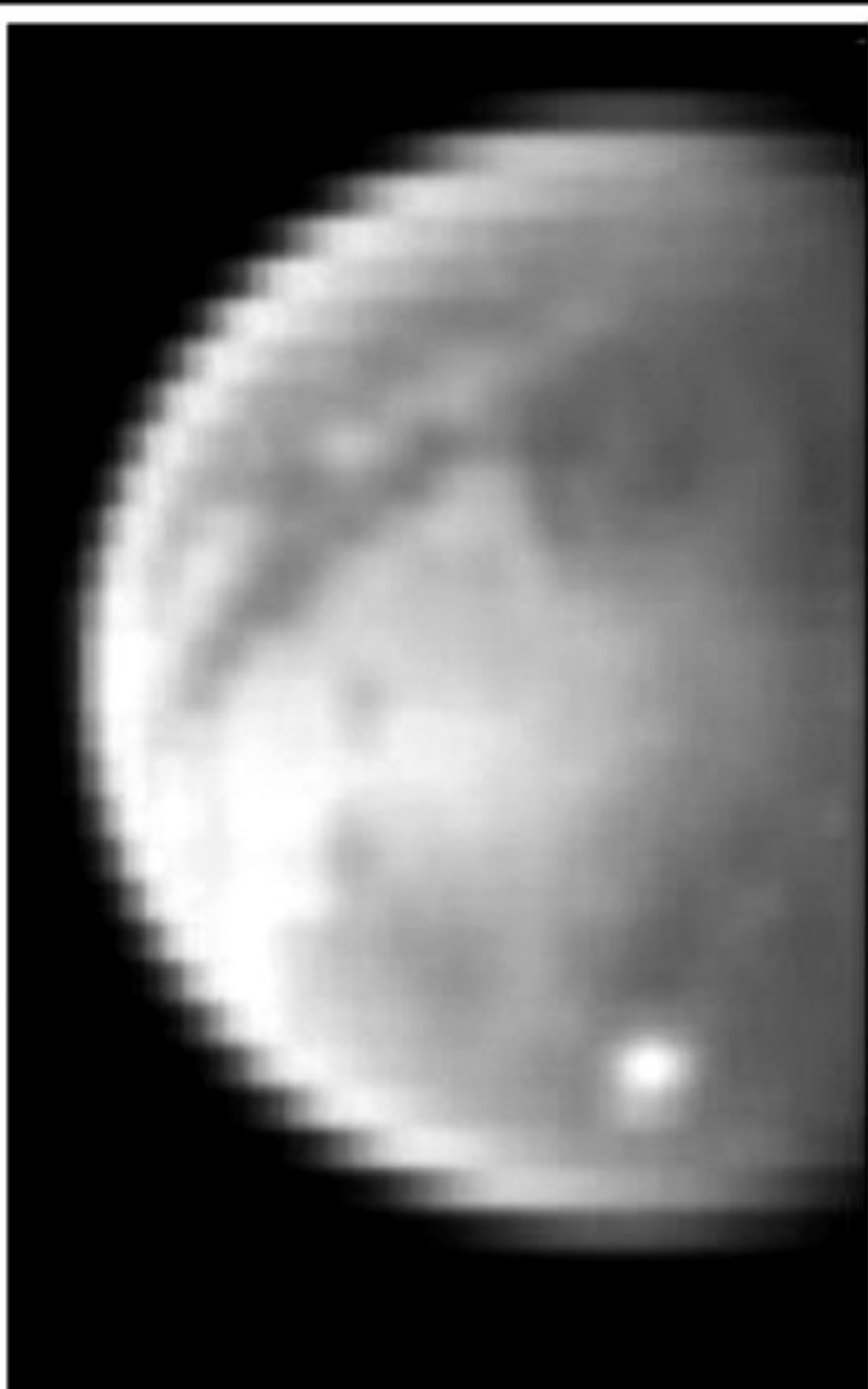
On va utiliser ces longueurs d'ondes là .

Depuis la Terre

Quatre images prises du HST tous les 1/4 de jour « titanesque » dans une longueur d'onde (IR) traversant l'atmosphère. La réflectivité de la surface n'est pas homogène. Que sont ces zones \pm réfléchissantes ?

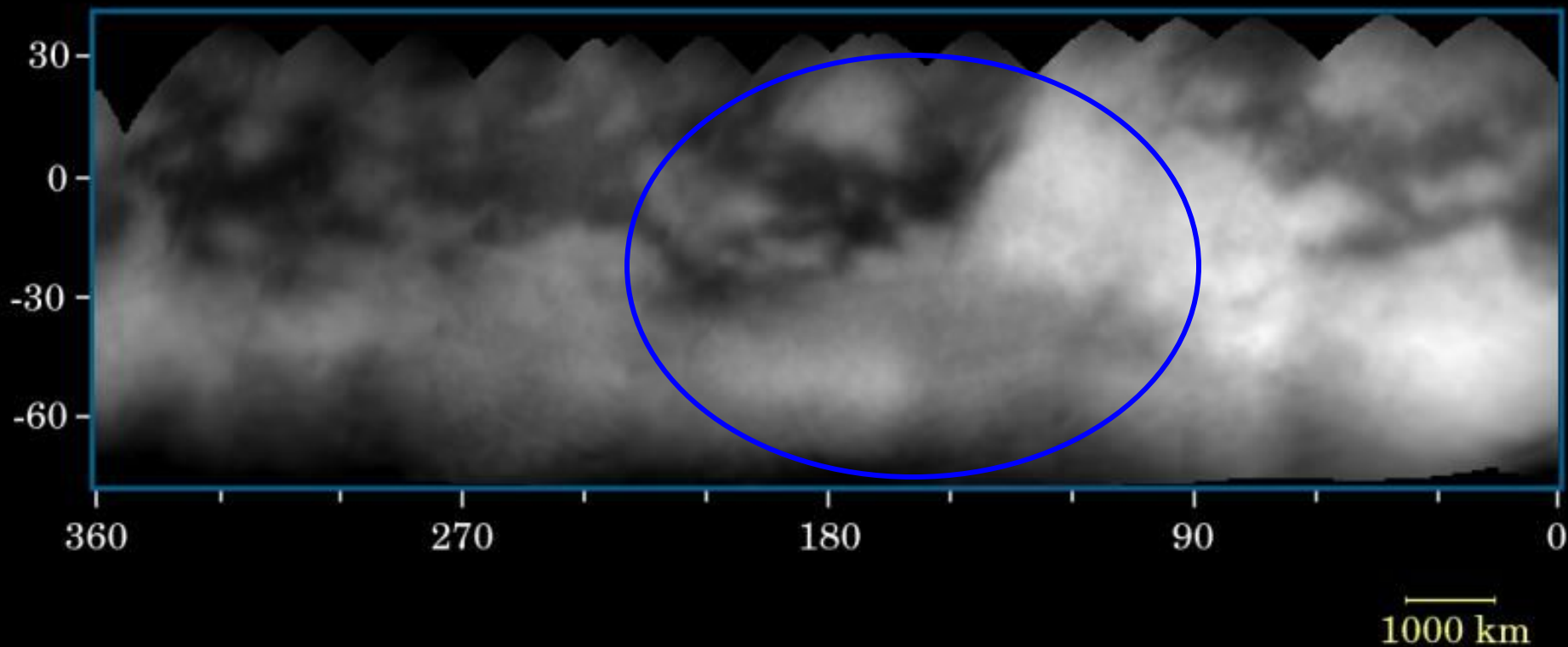
Des continents de \pm riches en hydrocarbures et des mers et lacs de méthane+éthane+autres hydrocarbures ? ?



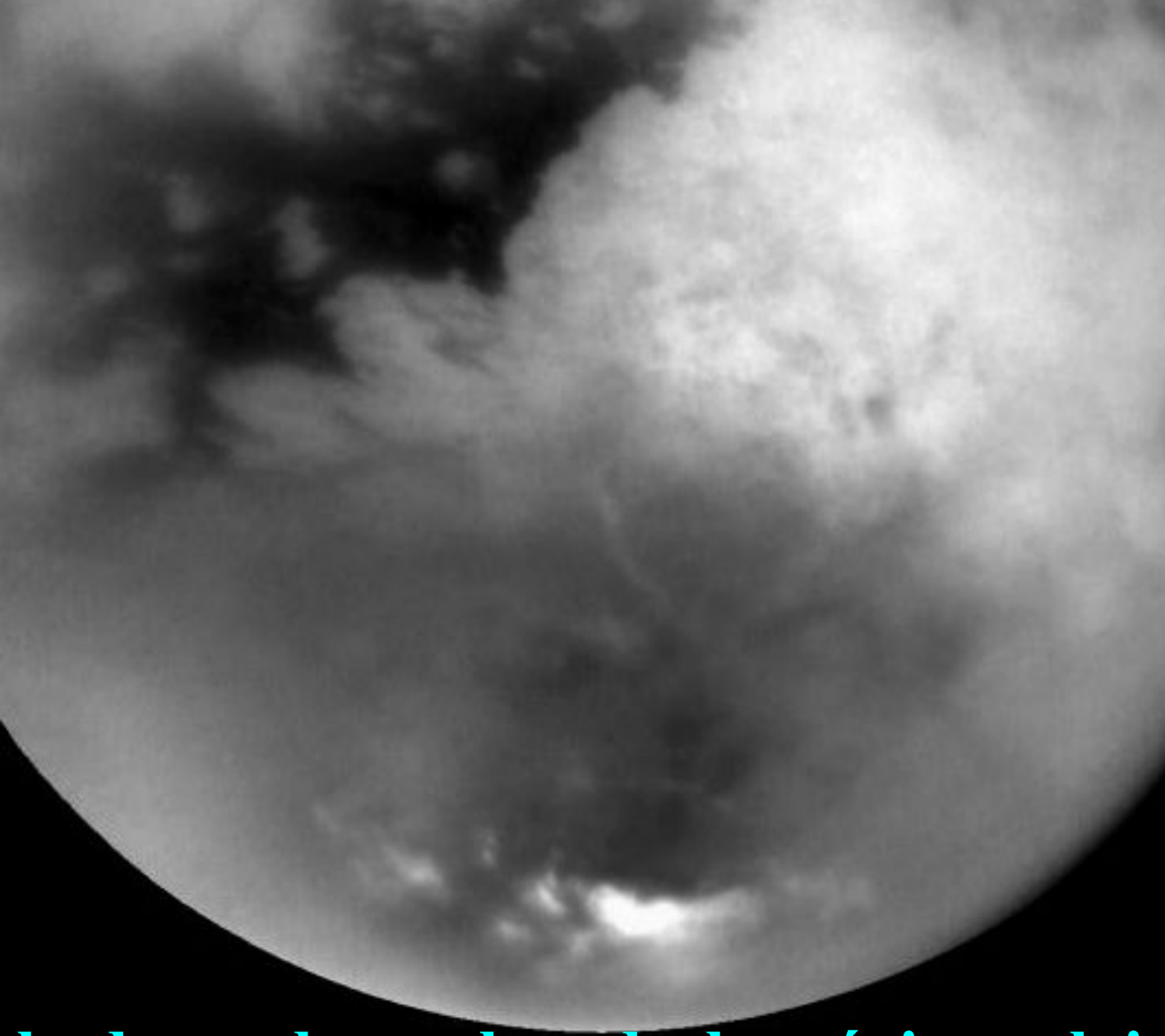


**Premier passage,
lointain le 3 juillet
2004, depuis 4 000 000
km d'altitude.**

**En clair, les régions
qui réfléchissent les
IR, sans doutes les
régions en glaces et/ou
hydrocarbures légers.
En sombre, les régions
qui absorbent les IR,
sans doutes riches en
hydrocarbures lourds
(genre goudrons)**



1er survol rapproché d'octobre 2004, localisé au dessus de l'ellipse bleue, positionnée sur une première « carte » de Titan, combinant les premières images Cassini et des images HST (état fin juillet 2004)

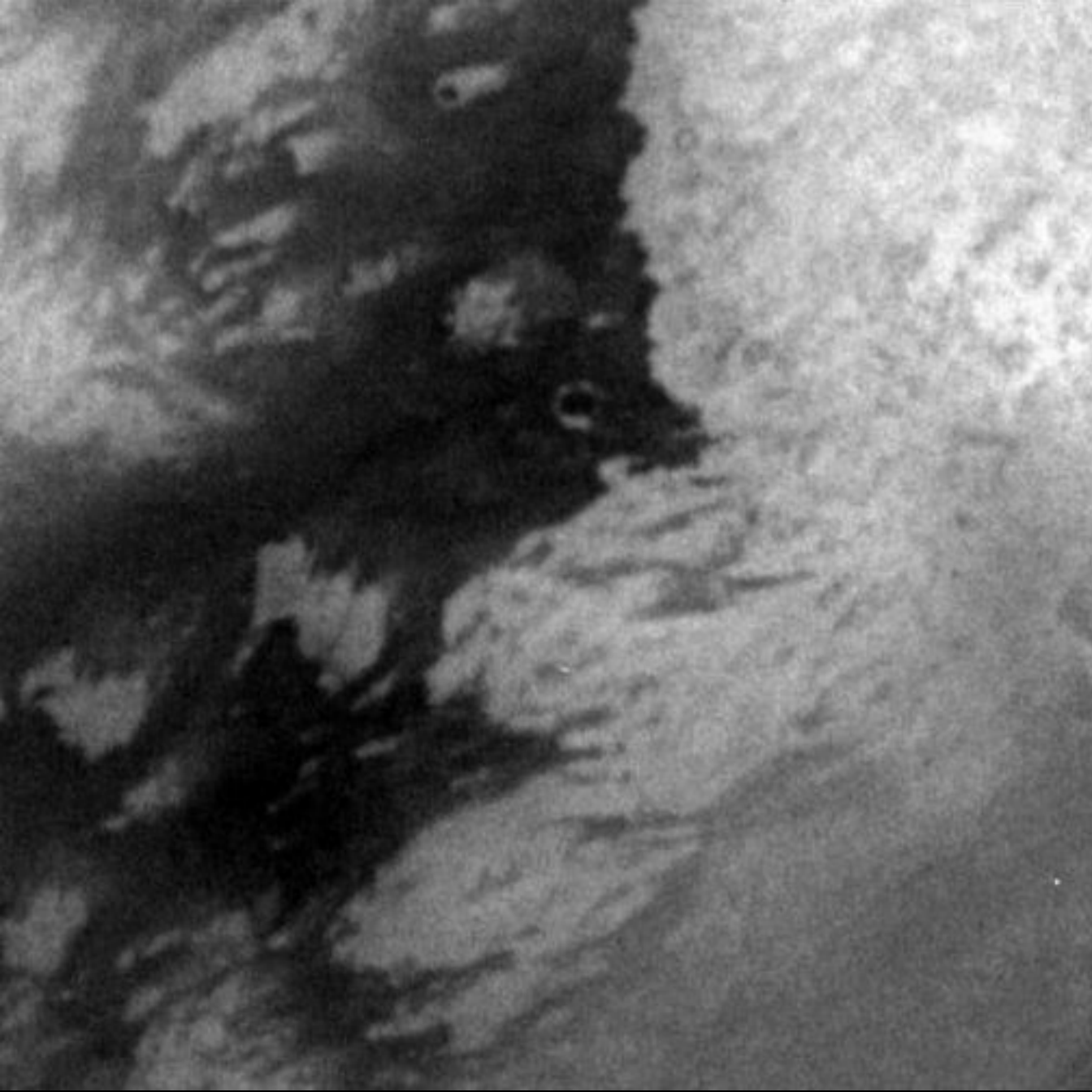


**Le passage
du 26
octobre**

**Depuis
700 000 km**

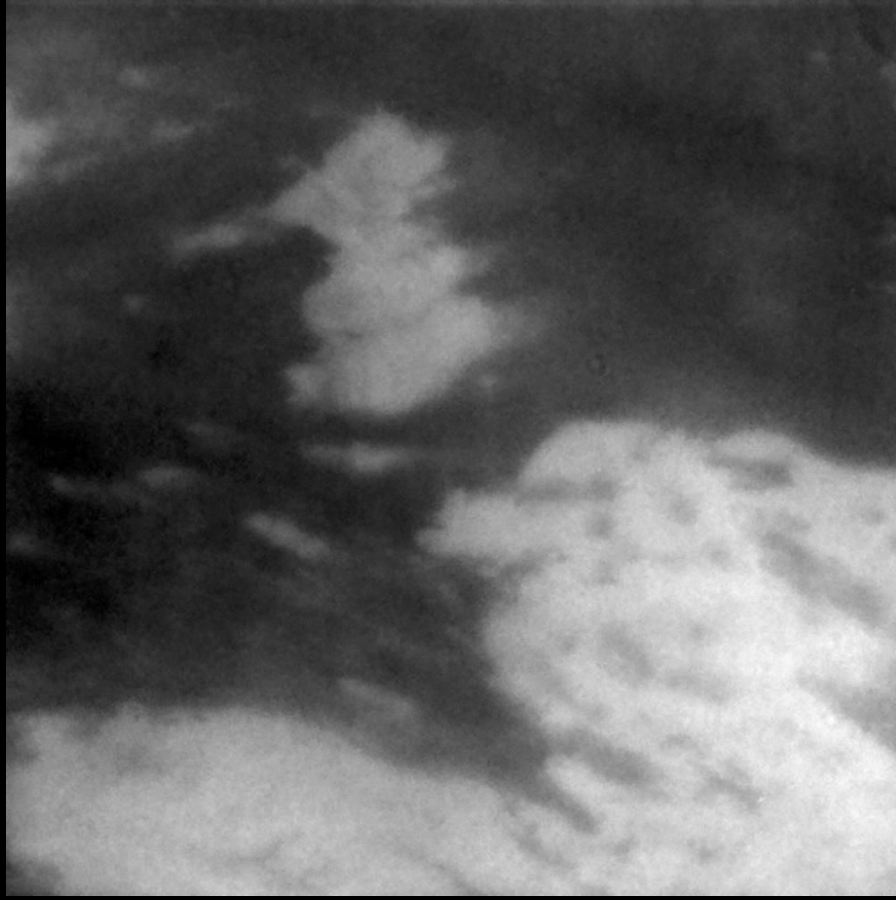
**Les régions
sombres
seraient
riches en**

**hydrocarbures lourds, les régions claires seraient
riches en glaces et/ou hydrocarbures légers**



**Depuis
300 000 km.**

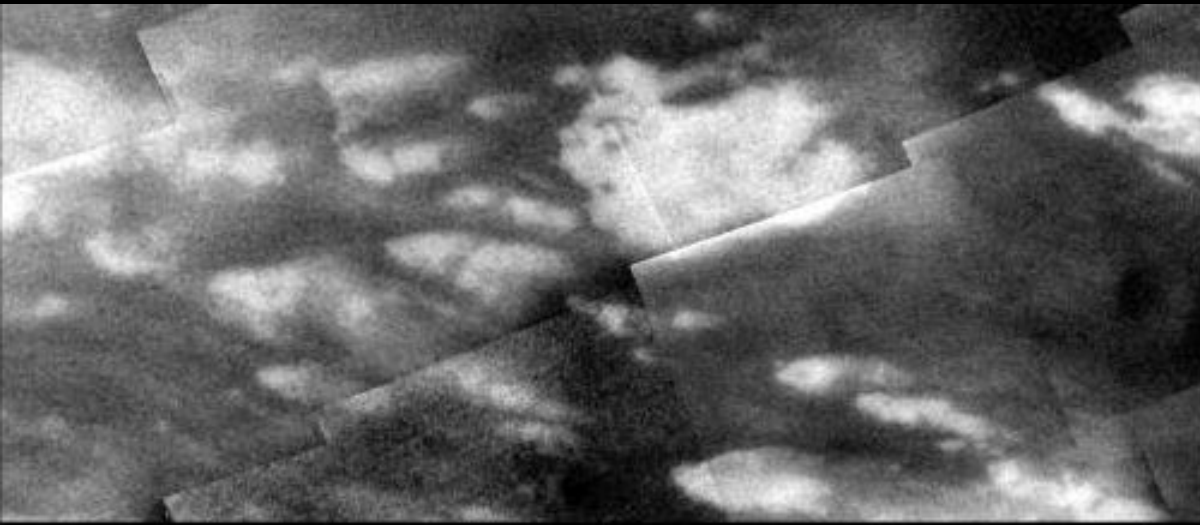
**Une « côte »,
des « îles » ?**



Encore plus près !

**On dirait qu'il y a
eu un flux Est-
Ouest de ...**

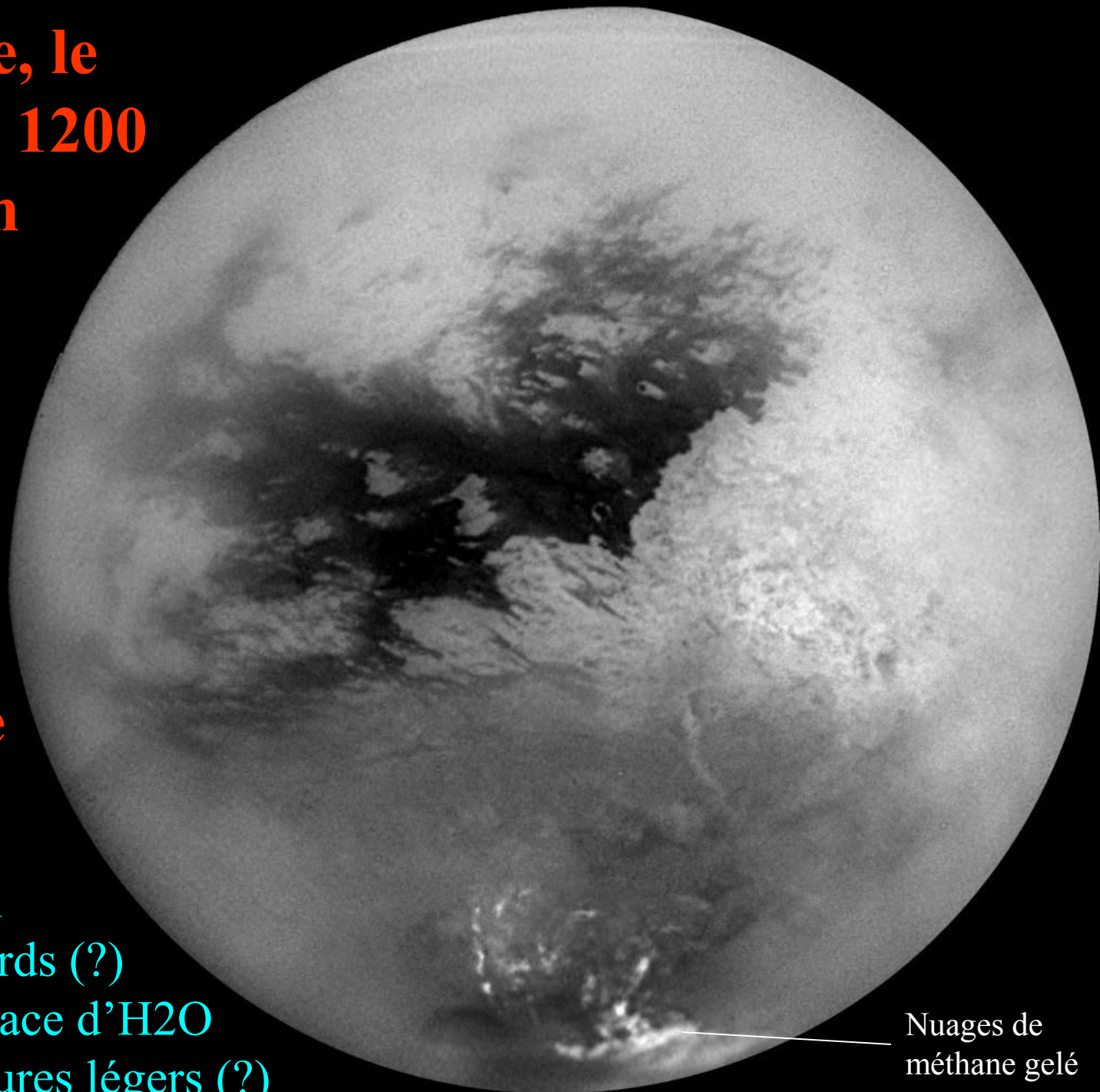
**liquide, glacier,
plus probable-
ment vent ?**



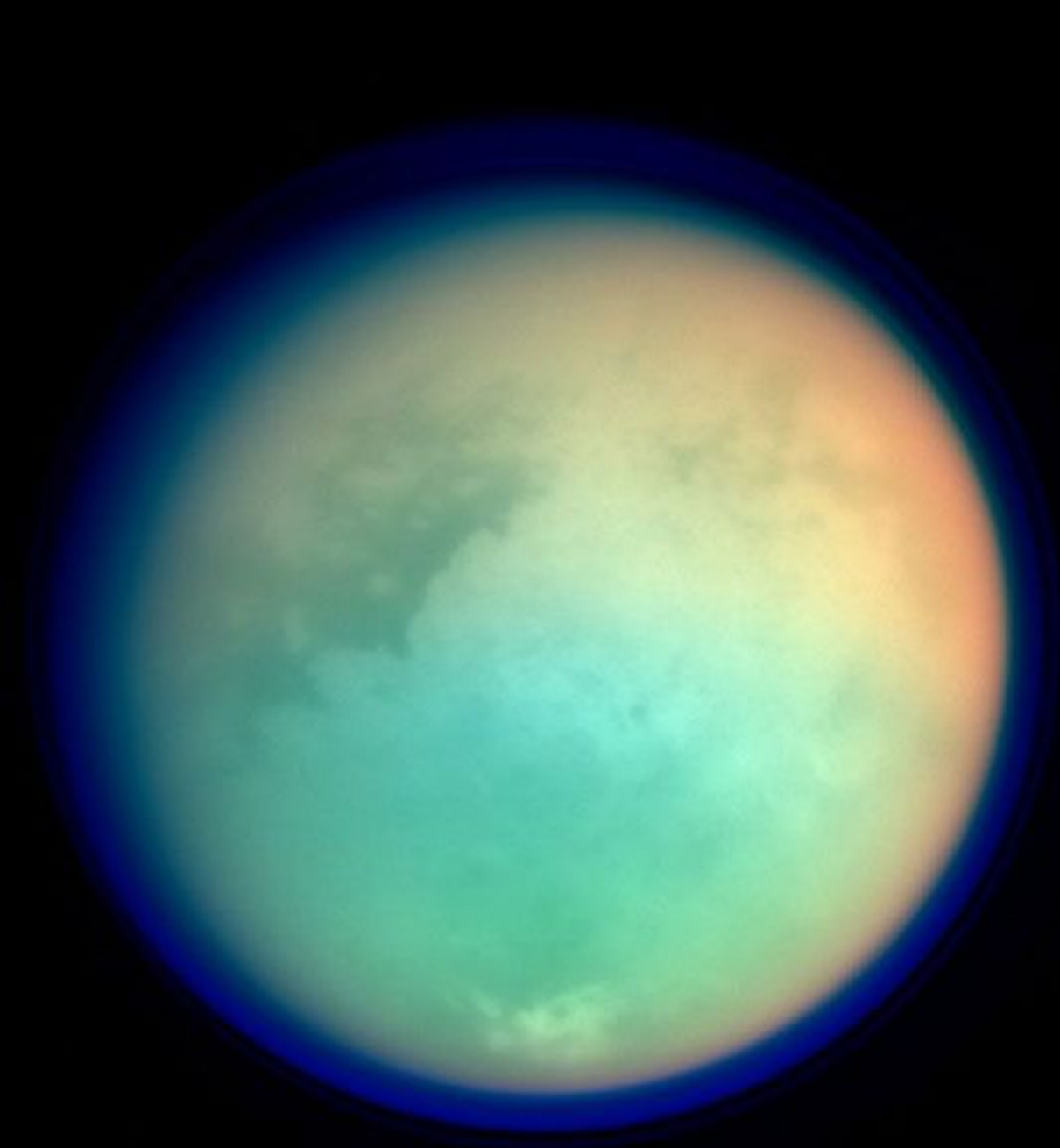
**2eme passage, le
26 octobre, à 1200
km minimum**

**Combinaison de
toutes les
images au
maximum de
leur résolution**

Sombre = riche en
hydrocarbures lourds (?)
Clair = riche en glace d'H₂O
et/ou d'hydrocarbures légers (?)



Nuages de
méthane gelé

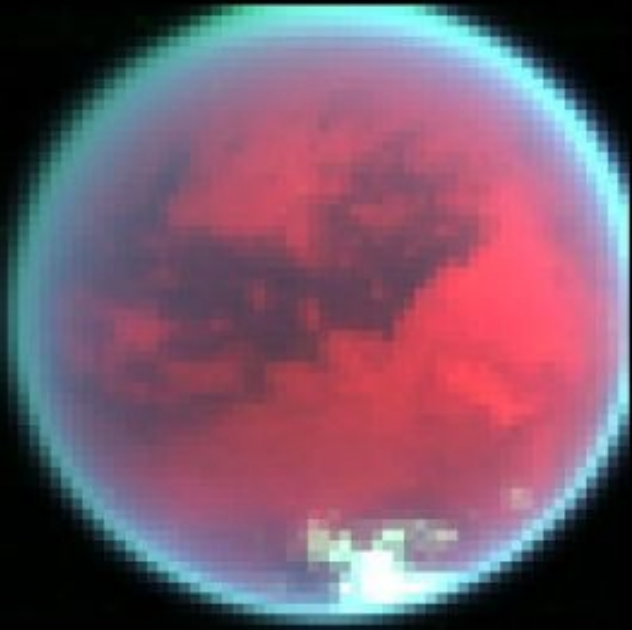


**Ce que jamais un
œil humain ne
verra : à la fois
l'atmosphère et la
surface de Titan
(combinaisons
« faussement
colorées » de
toutes les
longueurs d'ondes
IR réfléchies par
ou traversant
l'atmosphère)**

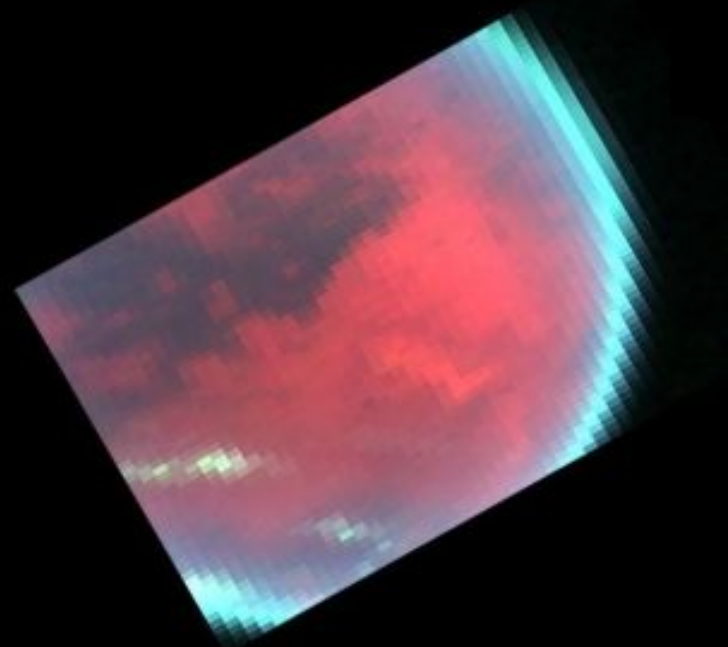
Qu'en dit la NASA :

« Scientists are actively debating what processes may have created the bizarre surface brightness patterns seen here. The images hint at a young surface with no obvious craters. However, the exact nature of that activity, whether tectonic, wind-blown, fluvial, marine, or volcanic is still to be determined »

Attendons la suite, et précipitez vous sur le site de la NASA ! (<http://www.jpl.nasa.gov/>)

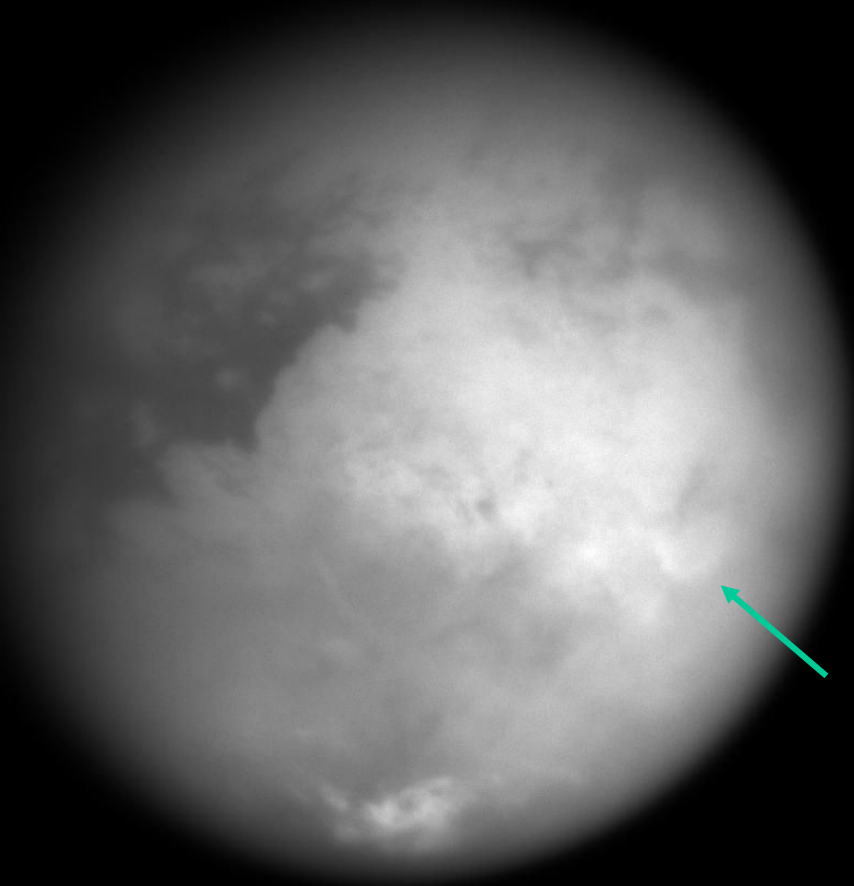


26 octobre

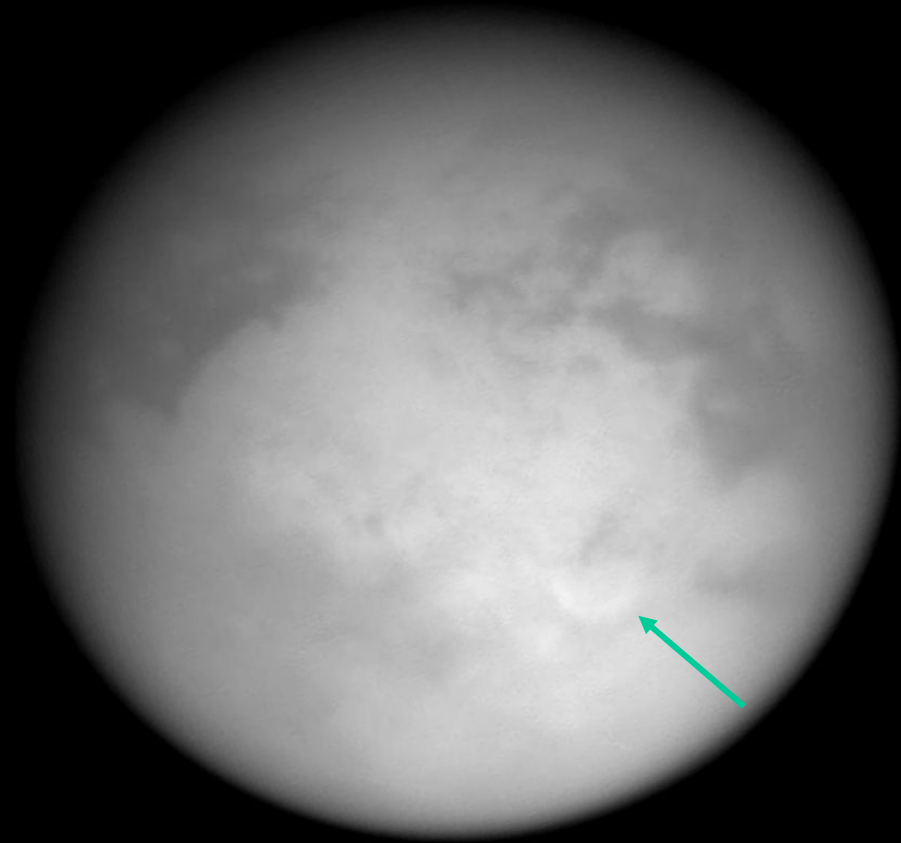


13 décembre

Entre le 2eme et le 3eme passages (26 octobre et 13 décembre), les nuages polaires de glace de CH₄ changent

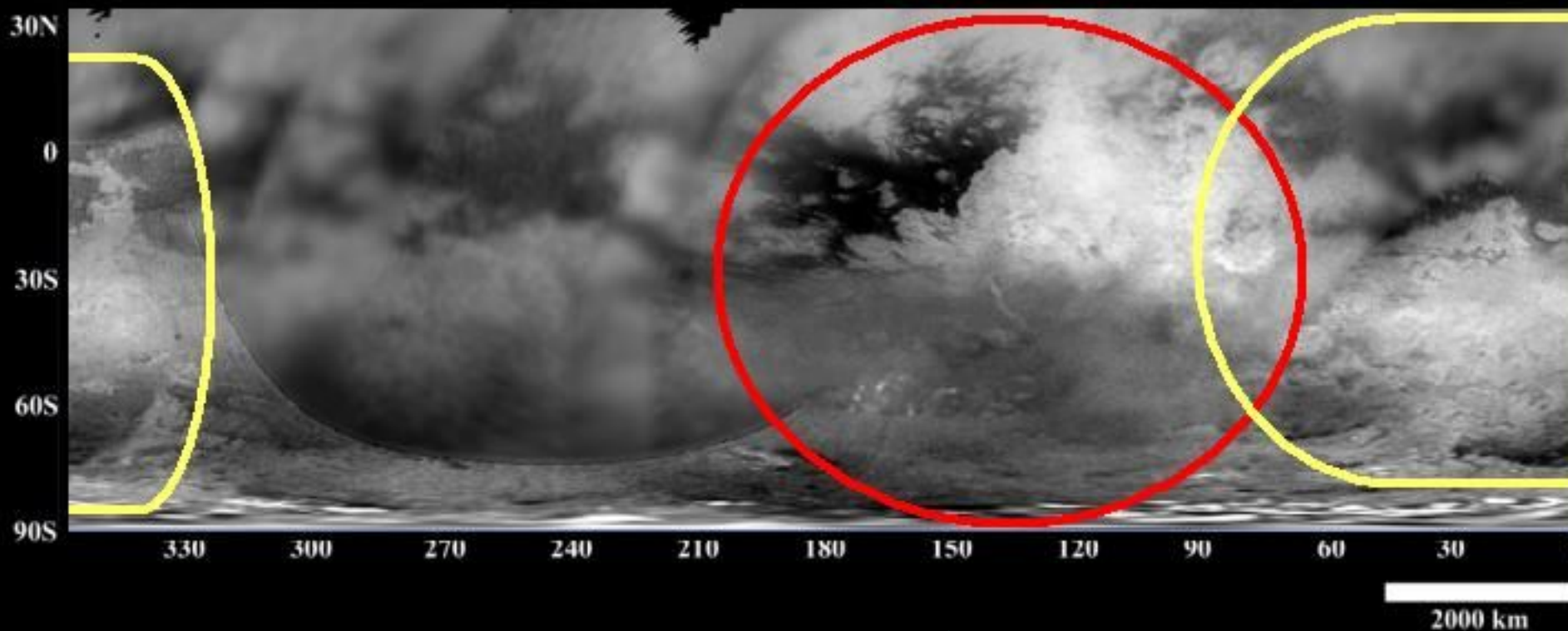


Octobre 2004



Février 2005

**Comparaison des survols d'octobre 2004 et février 2005.
Presque la même région !
Noter en passant l'espèce de tache blanche en forme de
« sourire »**



Du nouveau en avril 2005

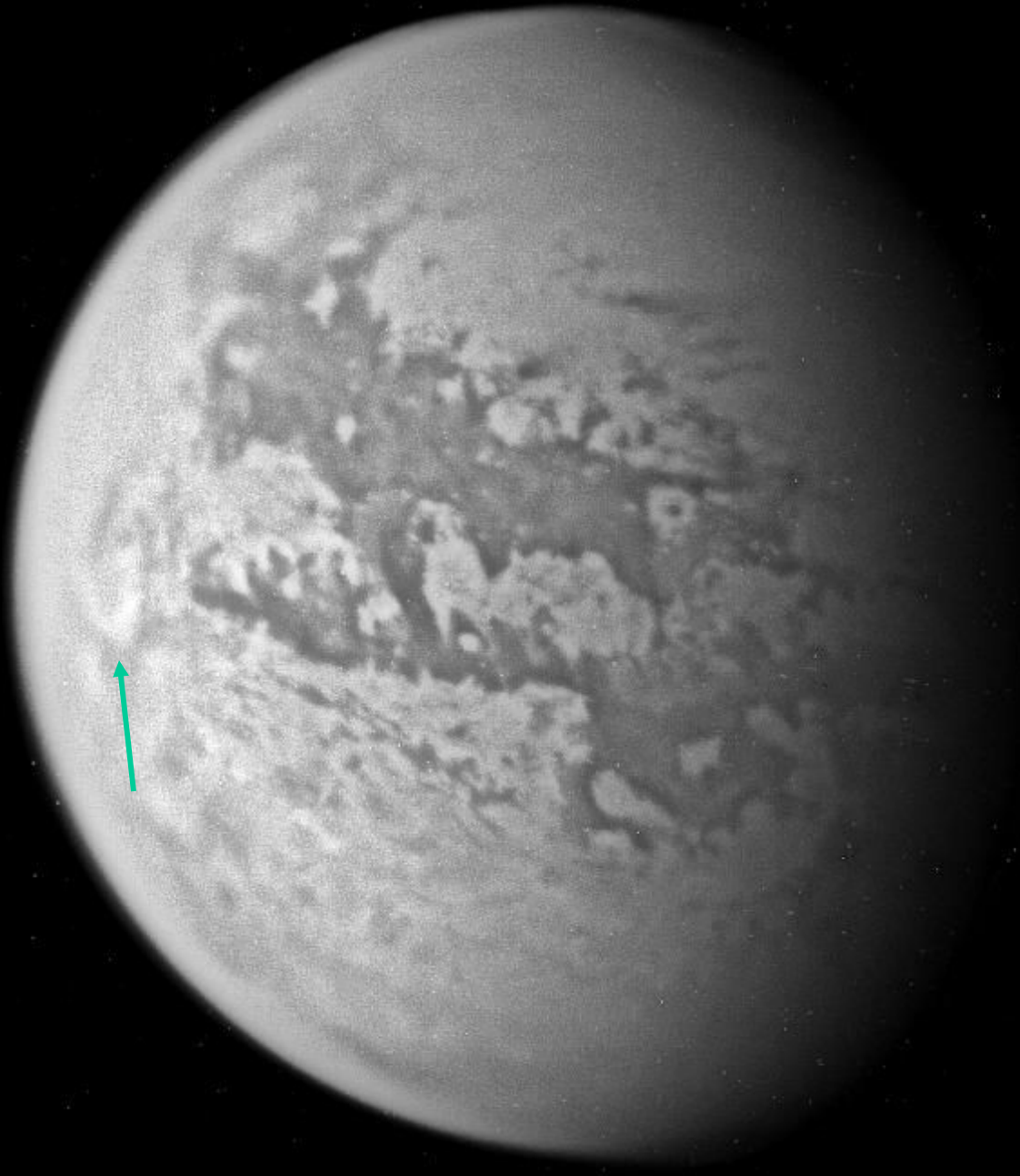


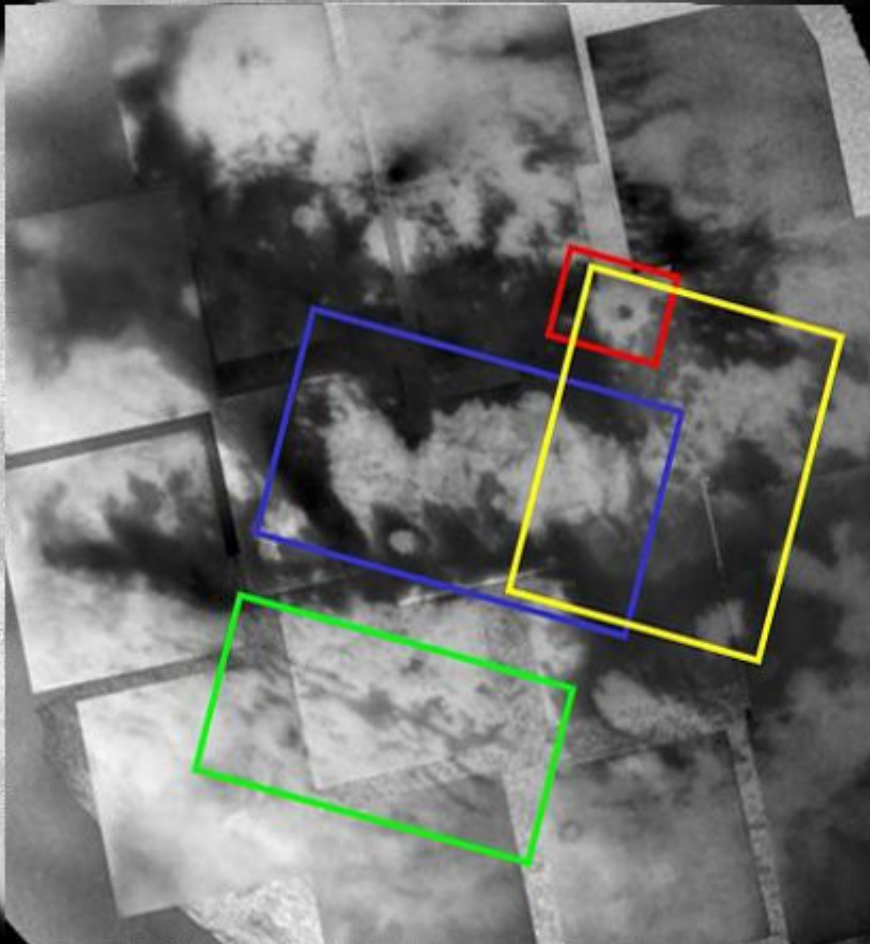
**Emplacement approximatif des couvertures Infra-Rouges
d'octobre + décembre 2004, et février + octobre 2005**



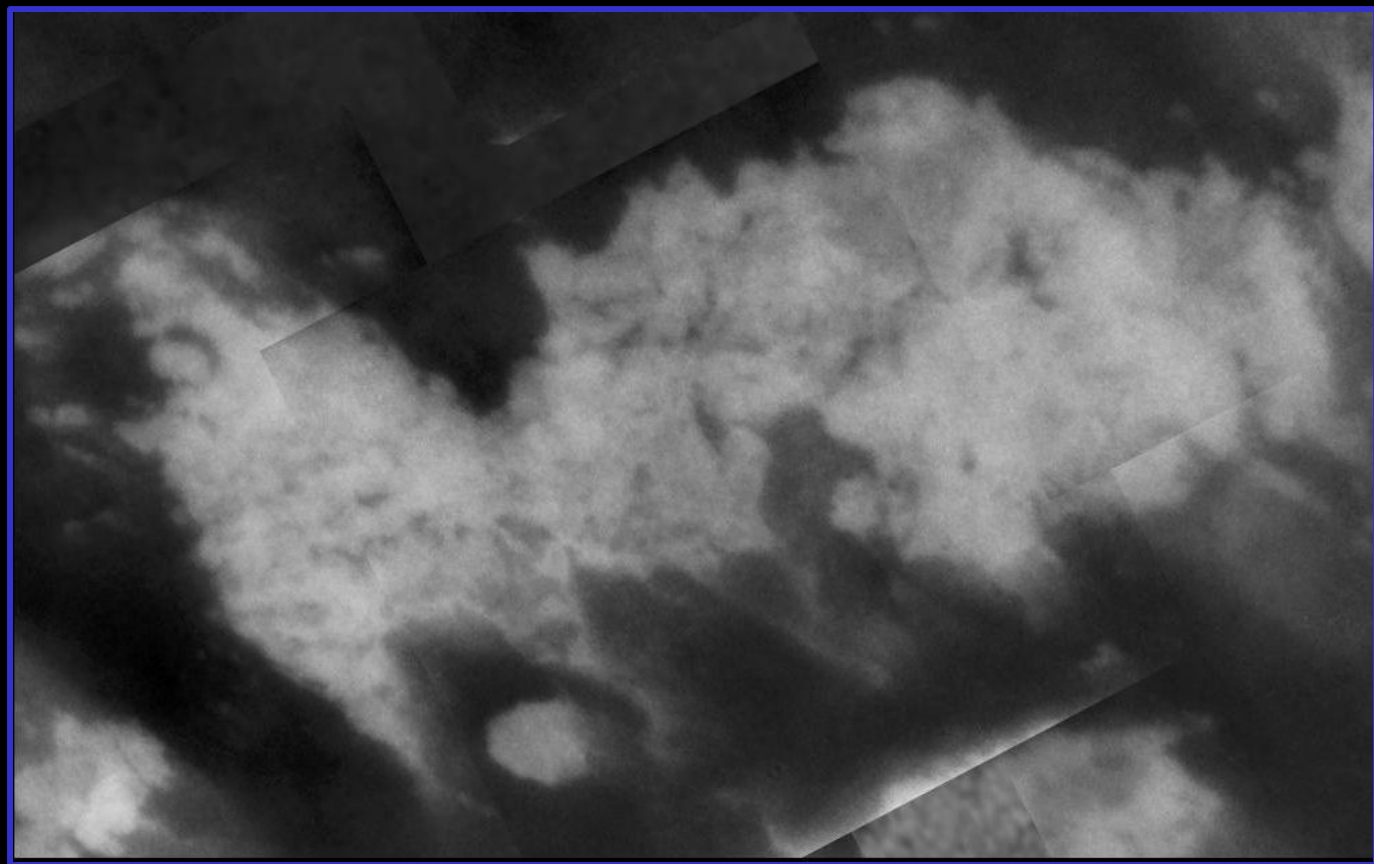
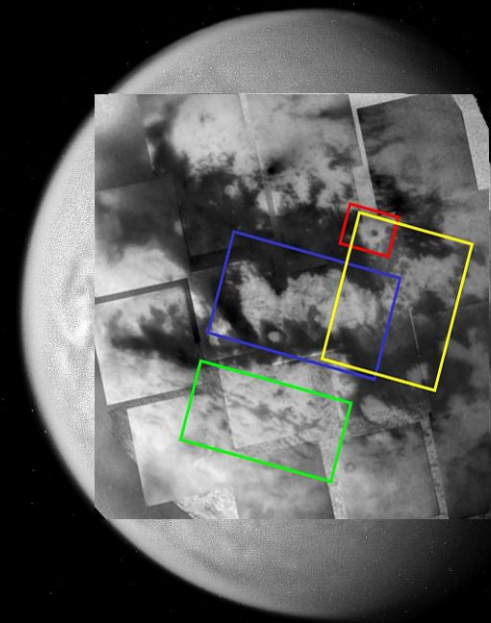
**Emplacement approximatif des couvertures Infra-Rouges
de mars, avril, août et septembre 2005**

**Vue générale
éloignée
d'avril 2005**

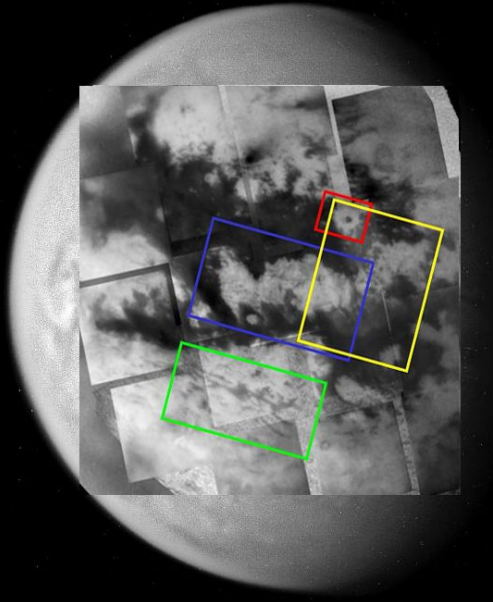




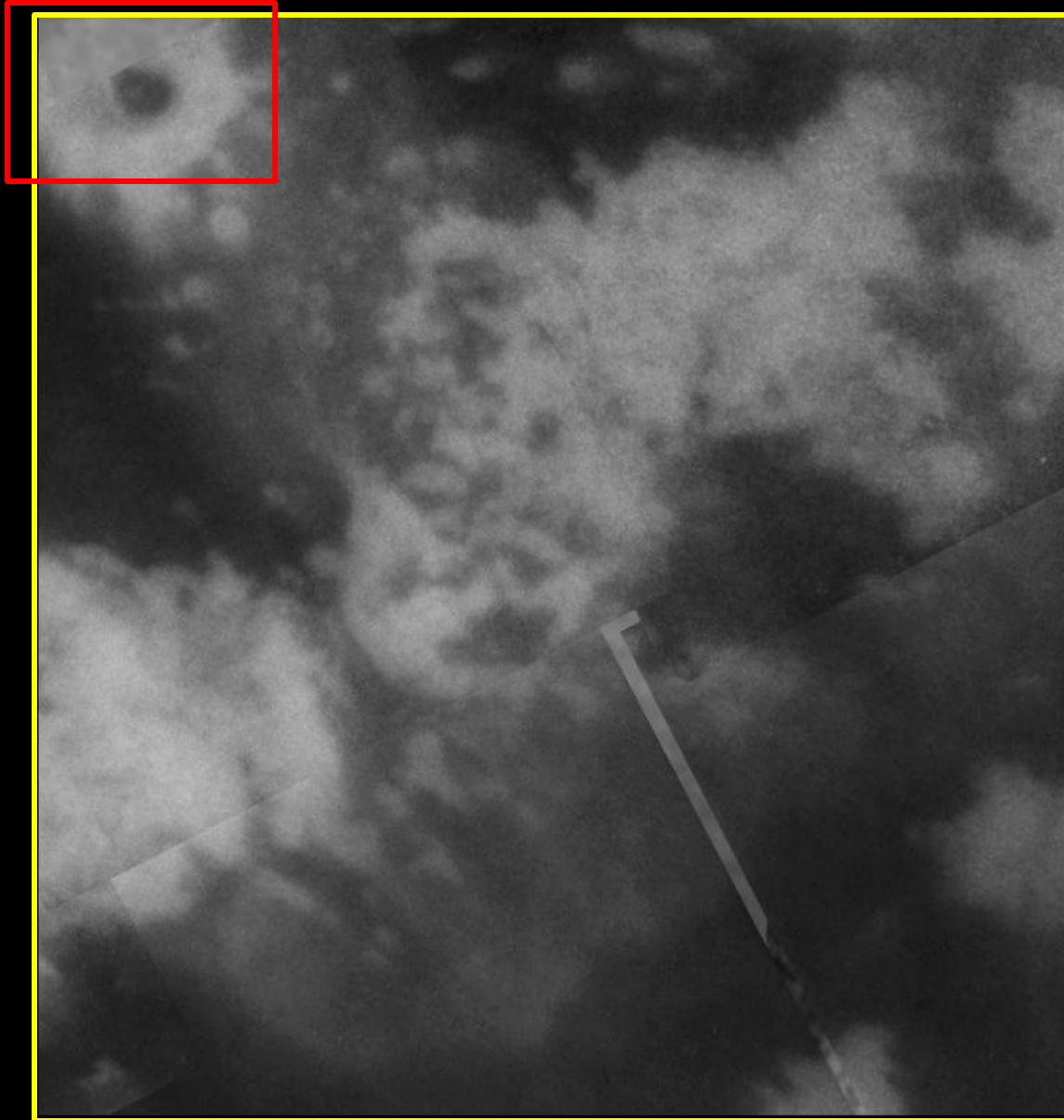
**Mosaïque
de vues
détaillées**

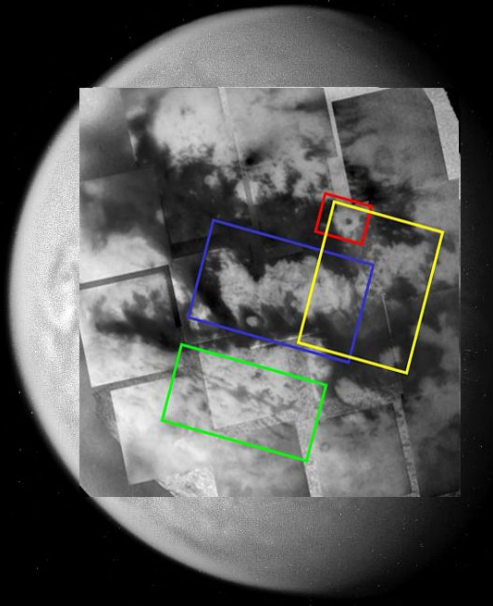


Encore des « côtes » !

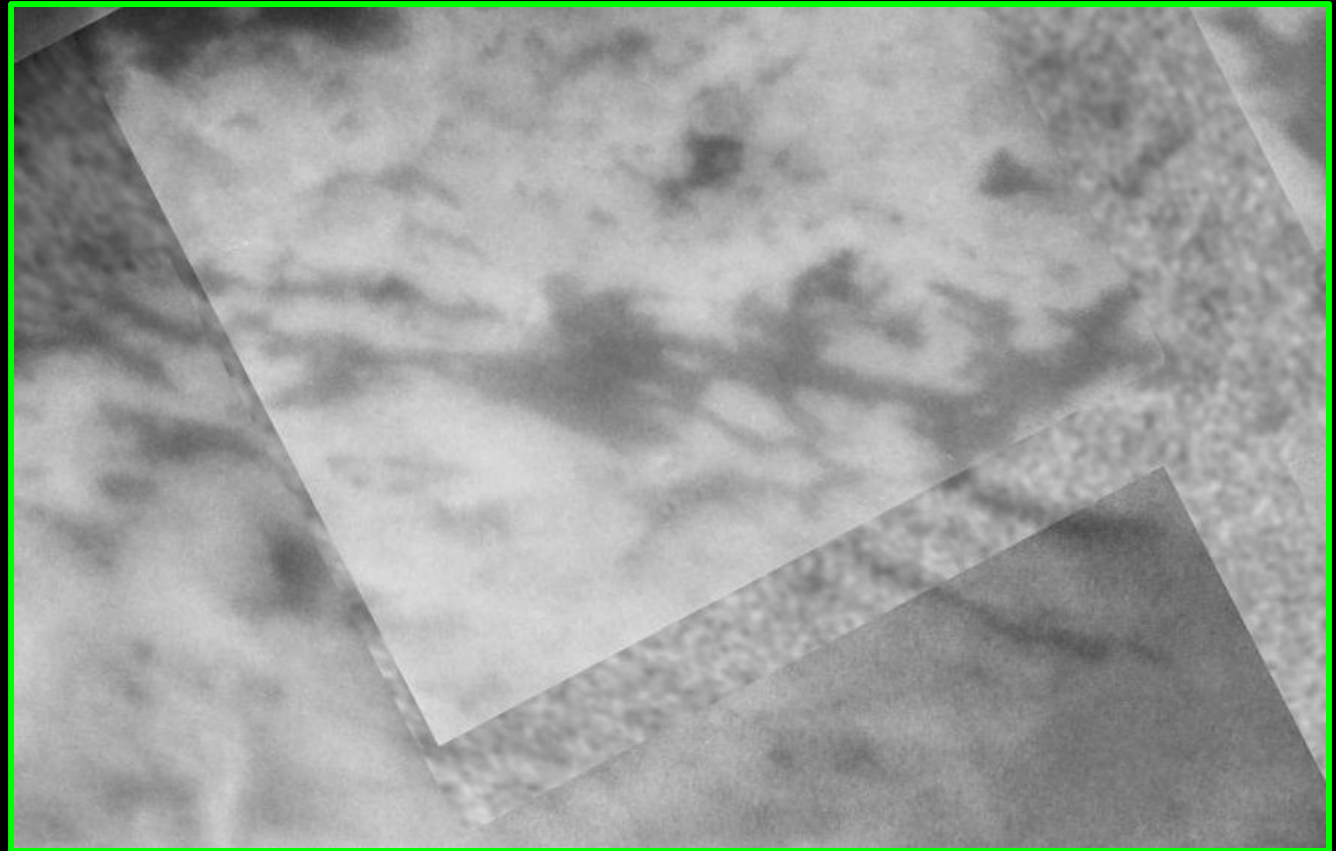


**Des « marécages »,
un cratère (?)**





**Un système
de vallées
rectilignes
(failles ?)**

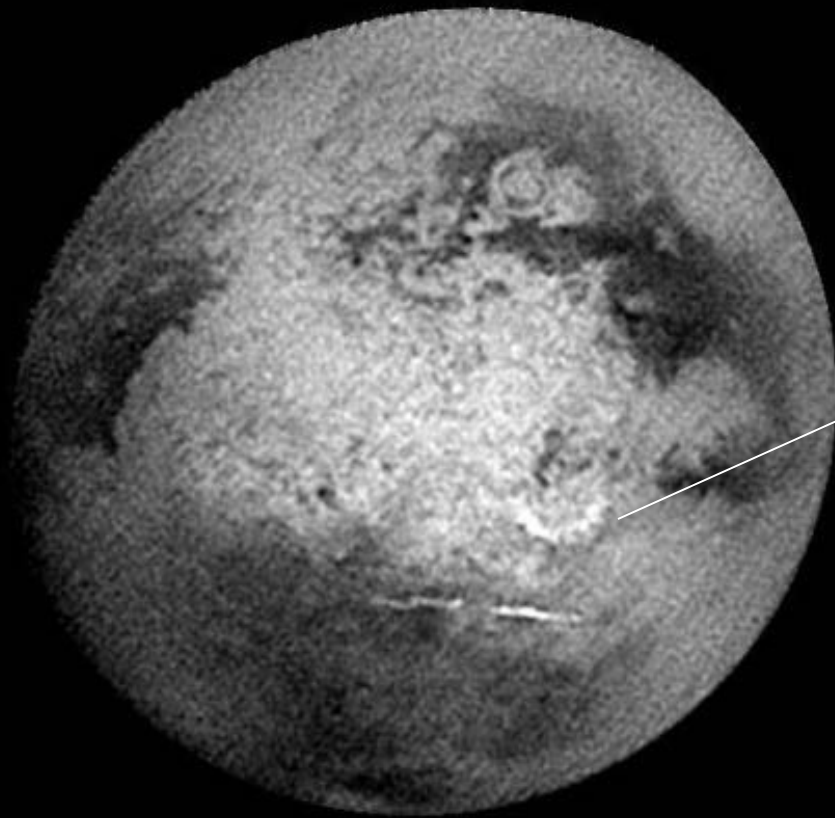


**Et re-voilà le « sourire », une bien étrange « tache infra-rouge »
(traitements d'images d'avril 2005)**

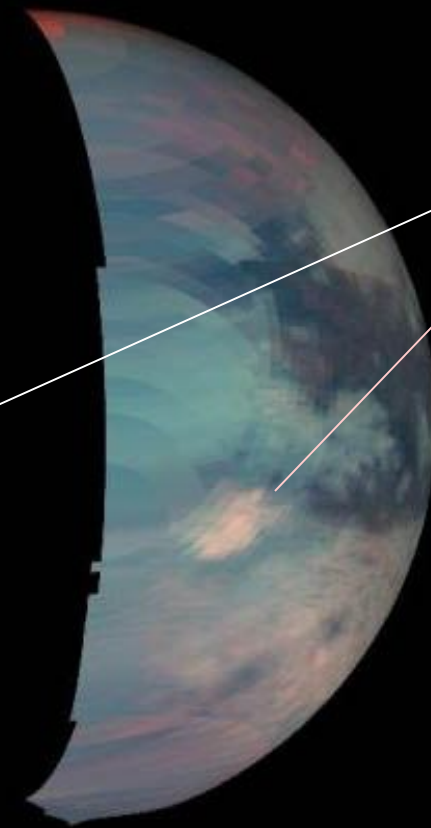
Image à $0,938\ \mu$

Tache qui
« rayonne »
à $5\ \mu$: notre
« sourire »

Image à $2 - 5\ \mu$



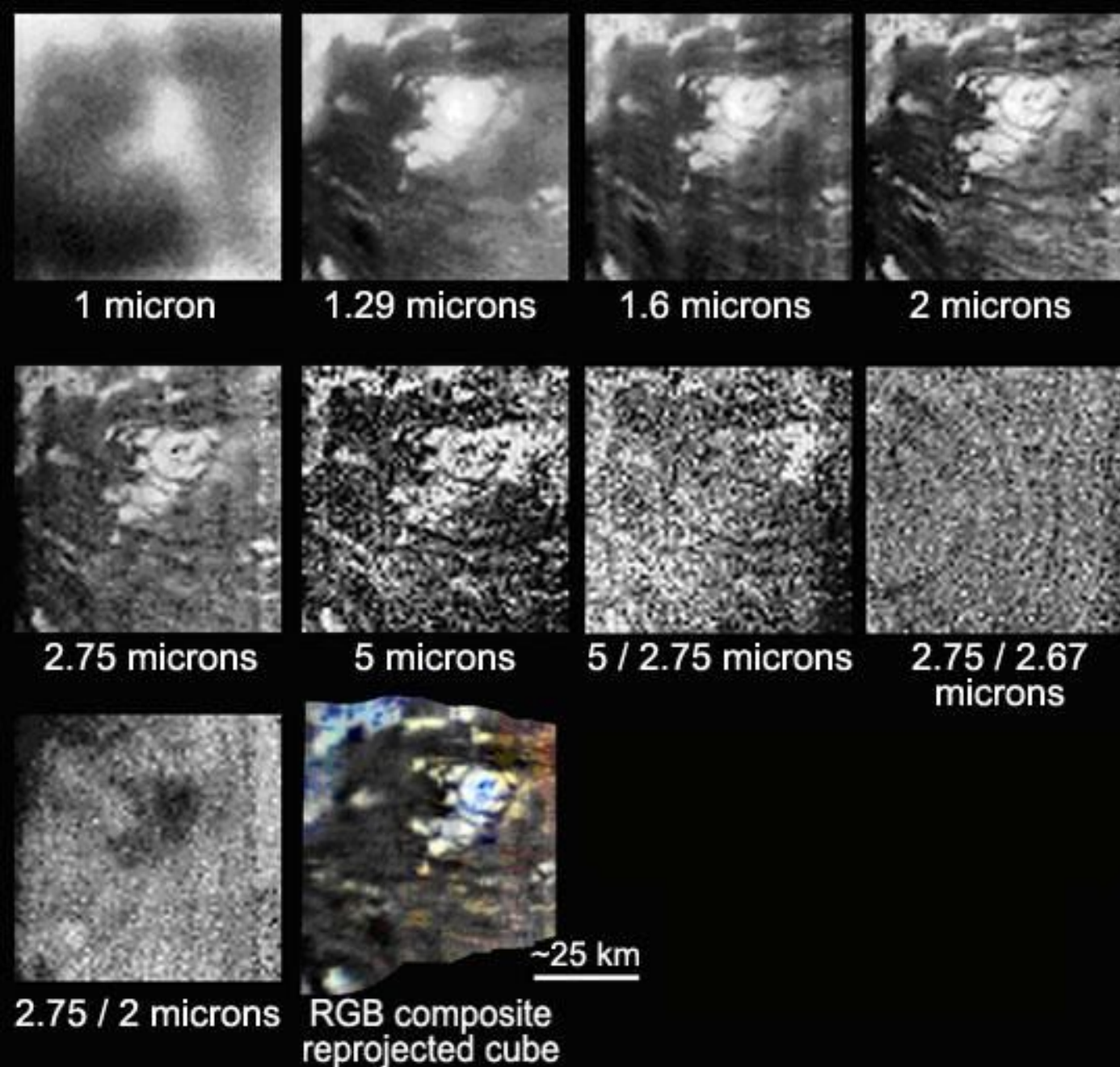
Décembre 2004, IR à $0,938 \mu$



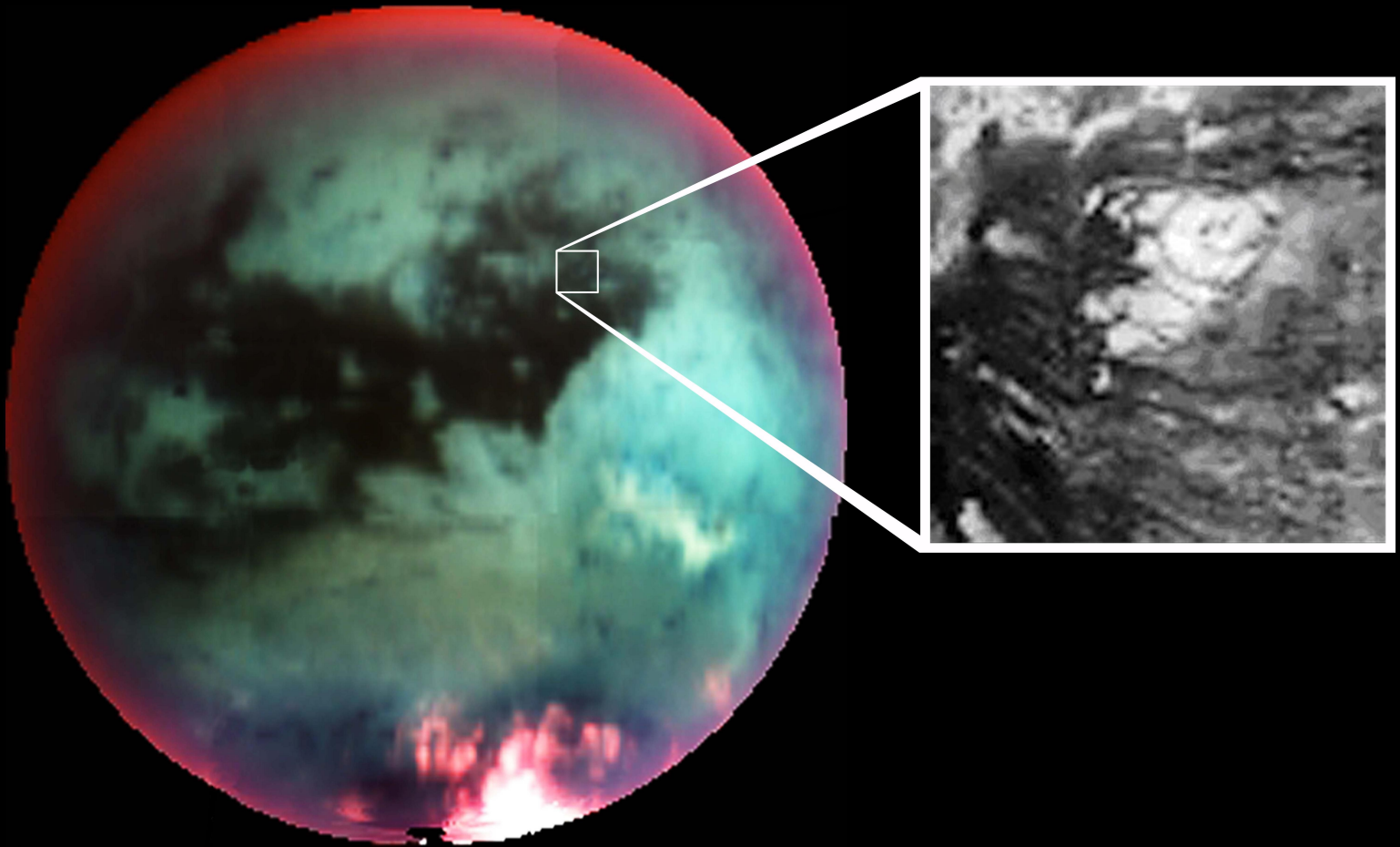
Tache « rouge »

Avril 2005, IR entre 2 et 5μ

Qu'est ce qui peut rayonner comme ça vers 2-5 μ ? Une substance réfléchissant particulièrement bien les IR solaires à ces longueurs d'onde là ? Une zone plus chaude (2-5 μ , cela correspond à 200 à 300°C) ? Réponse le 2 juillet 2006, où cette zone sera survolée de nuit.



**En plus des
nouveaux
passages,
voici le
résultat de
traitements
détailés
d'images du
26 octobre
2004, qui
révèlent une
« structure
circulaire ».**



**Peut-être un volcan, d'H₂O bien sur
(ou d'hydrocarbures).**

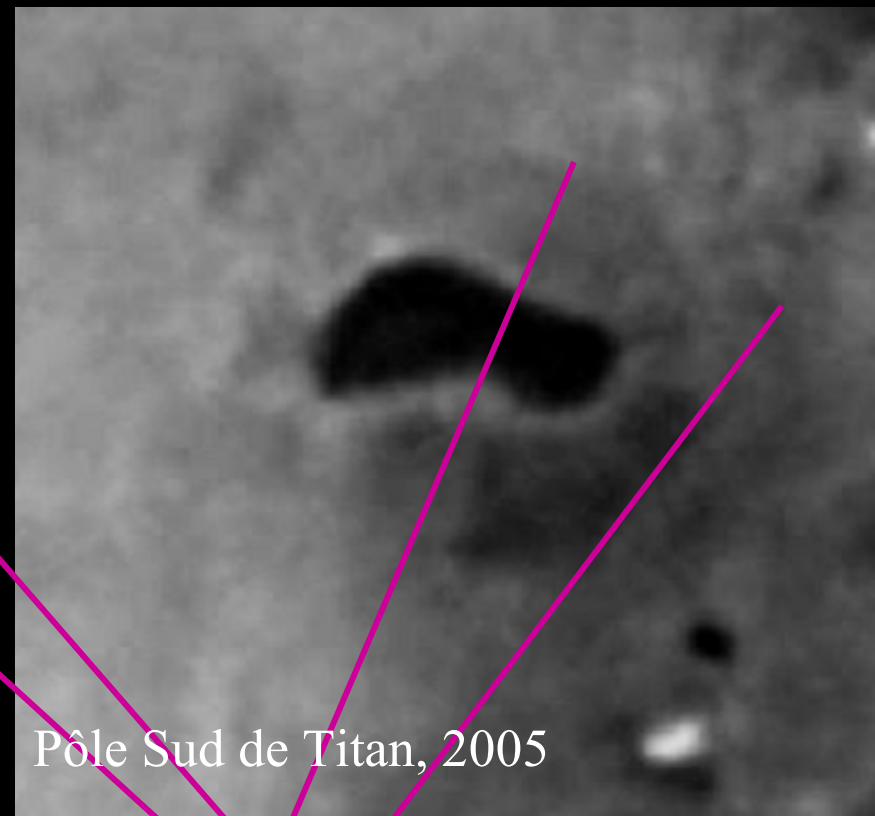
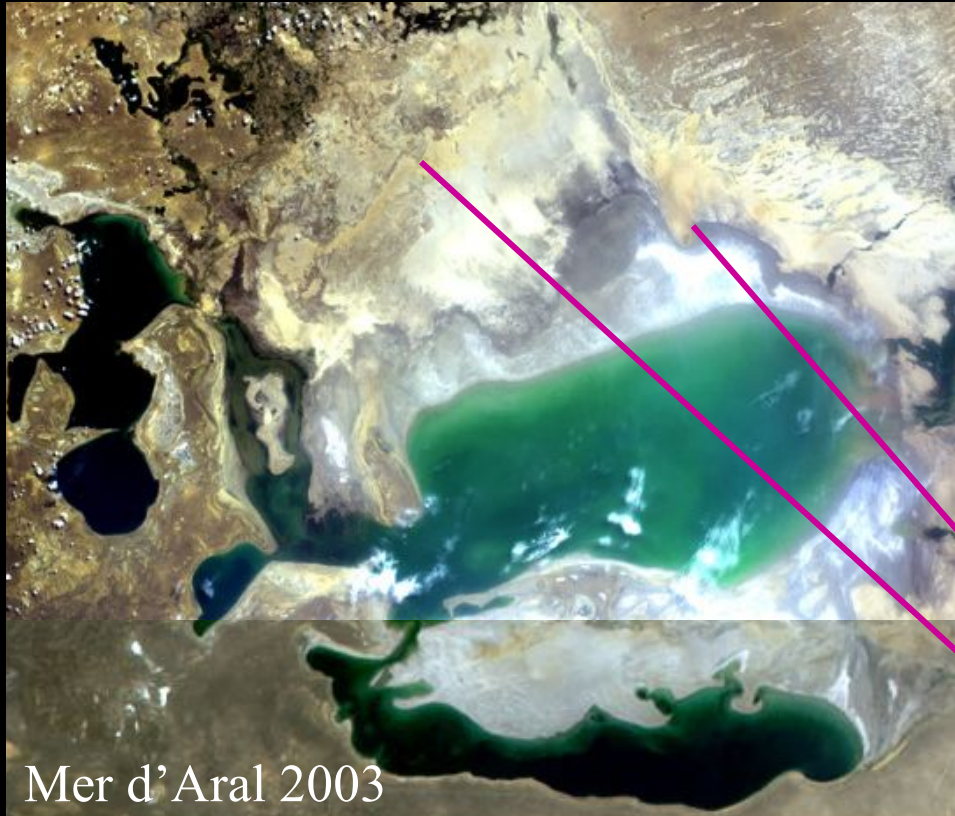
**Et voici ce qui
ressemble pour
la première fois
vraiment à un
vrai lac (de
méthane
liquide) sous les
nuages du Pôle
Sud, là où il fait
le plus froid sur
la zone imagée.
En est-ce un ???**

(n images IR
traitées en juin 2005,
prises depuis 450 000
km)

+ Pôle Sud

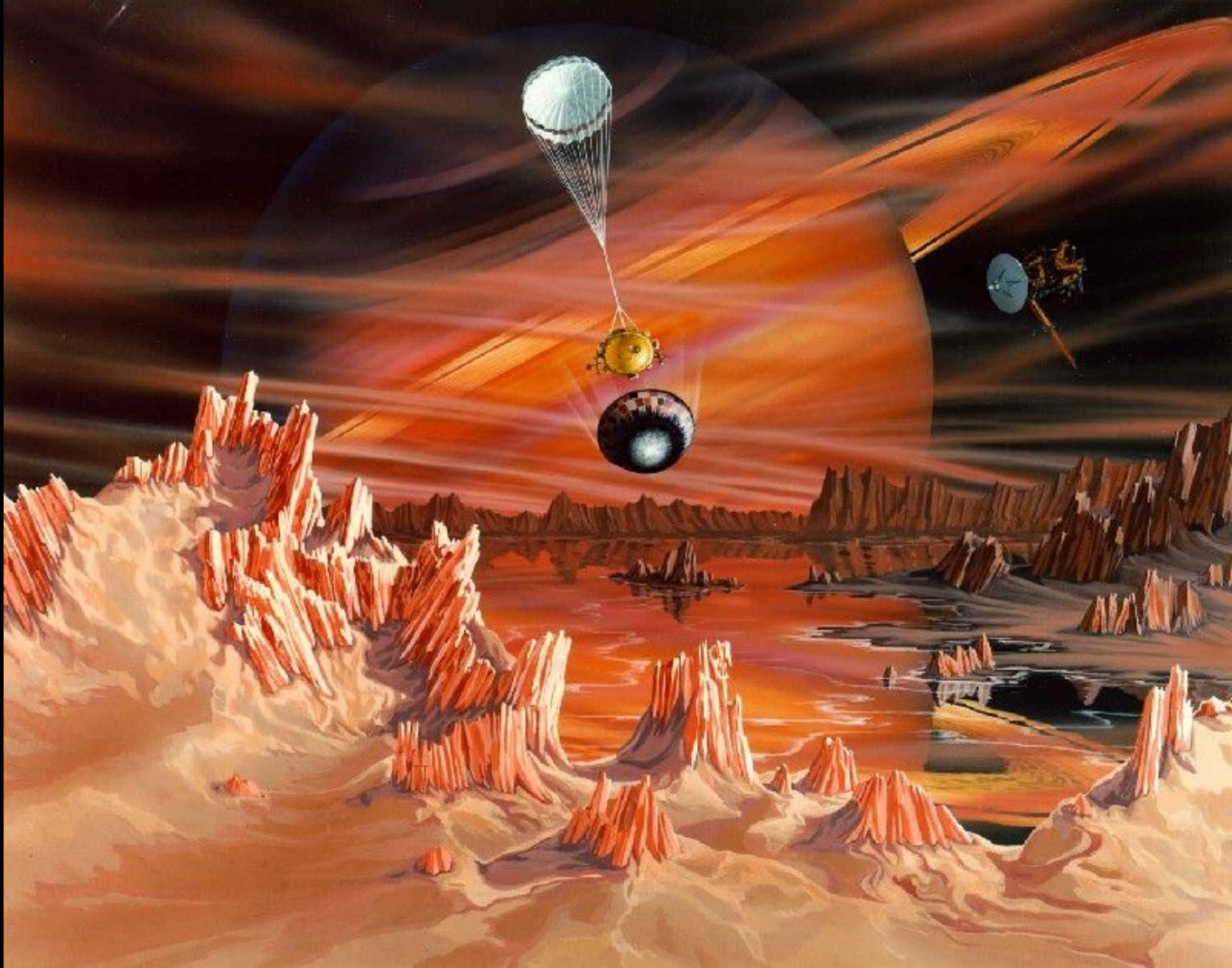
Cirrus de
méthane

↔
234 km



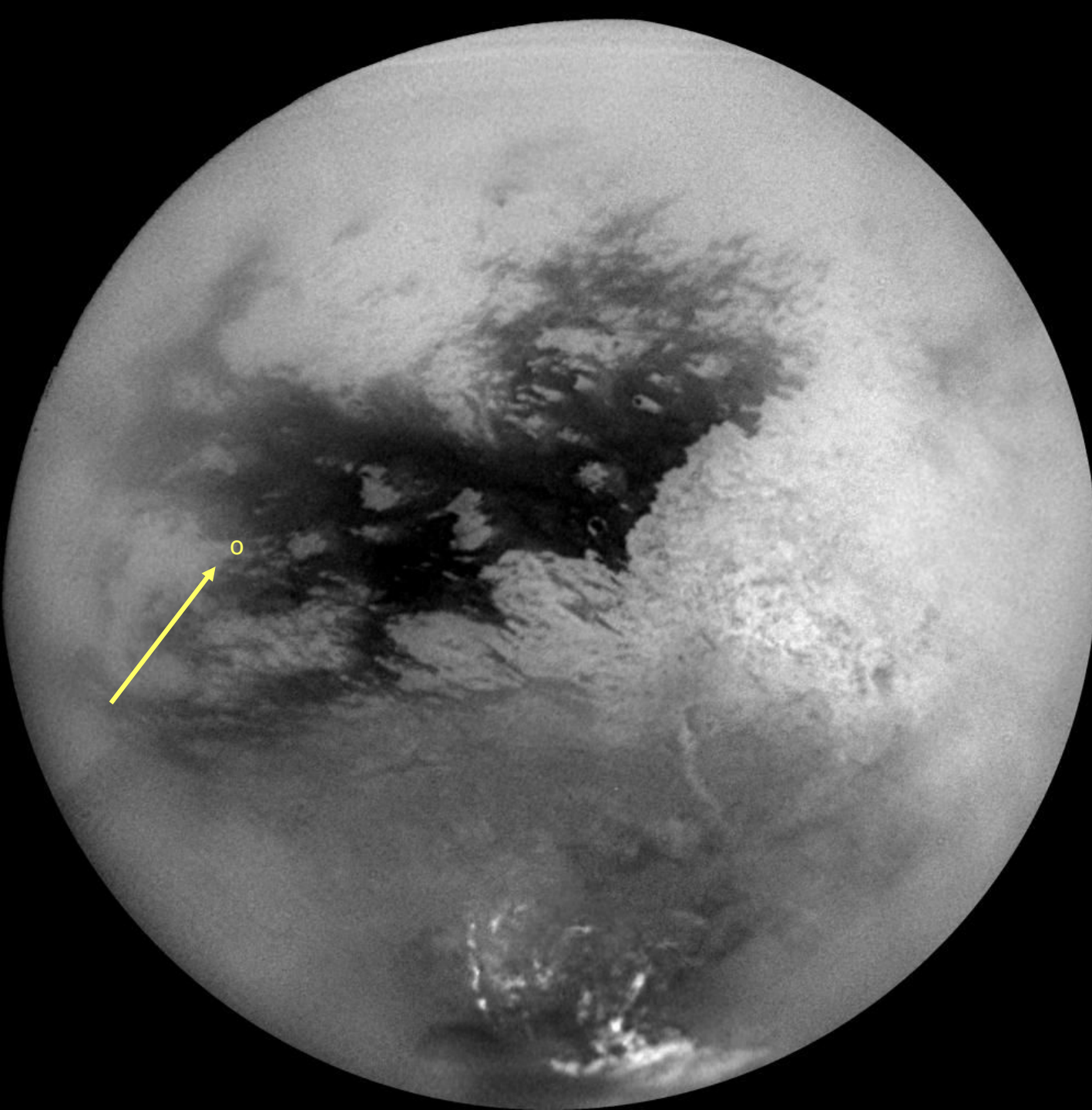
Anciennes lignes de rivages ??

**Et si c'étaient
vraiment ...**



Deuxième méthode : aller « voir » sur place.

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



**La descente
du 14 janvier
2005 :**

**Un grand
Moment !**

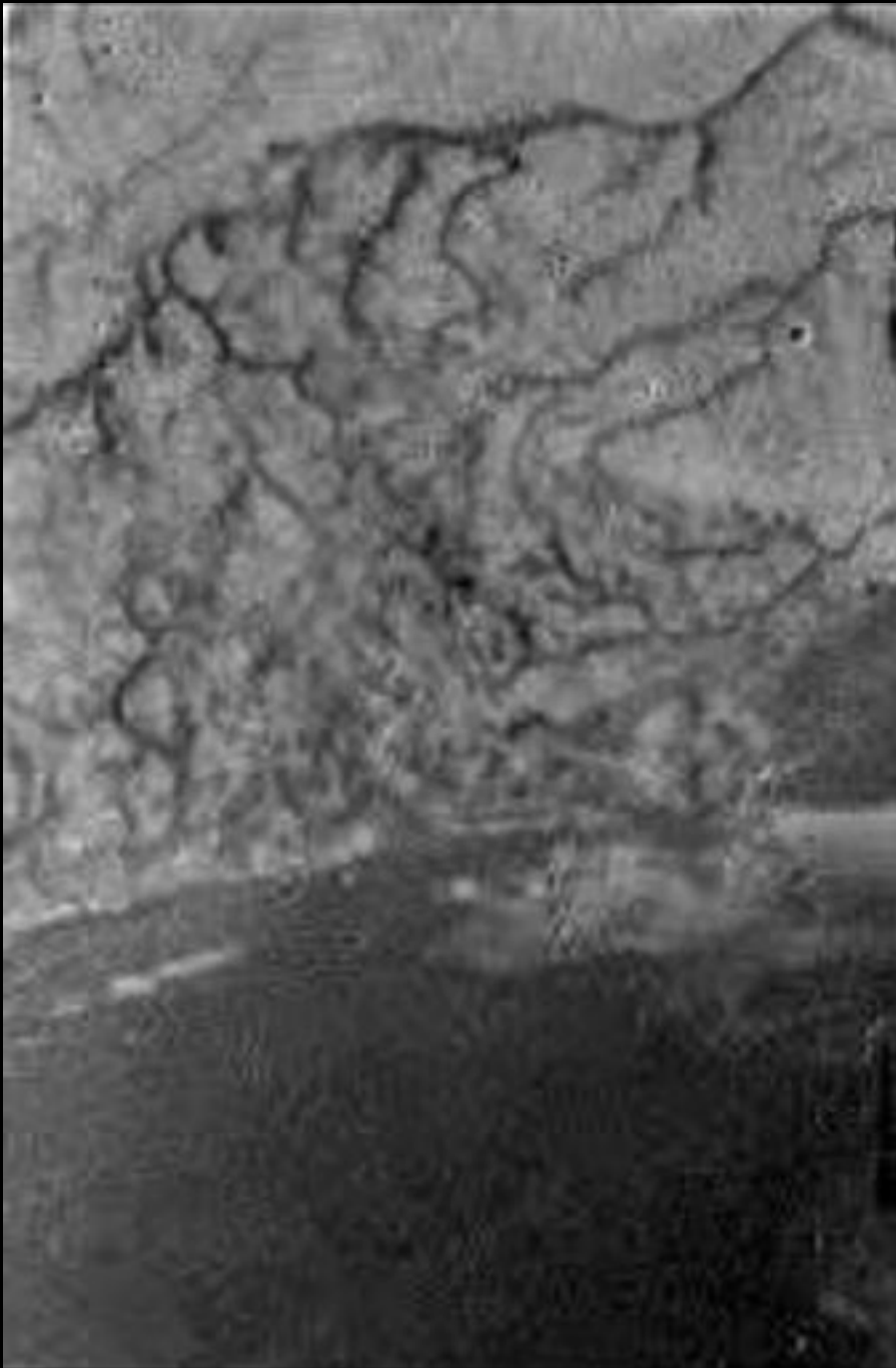
**Le cercle jaune,
de 40 km
de diamètre,
indique la
totalité de la
zone que
Huygens a
photographié
quand il est
« sorti » sous la
couche de
nuages, à 20 km.**

Image prises de 16 km d'altitude

**La 1ere des 2 images
communiquées par
l'ESA (14 janvier au
soir)**

**Avec « mer » en bas,
« terre » et
« rivières » en haut
(Echelle : 7 x 10 km)**

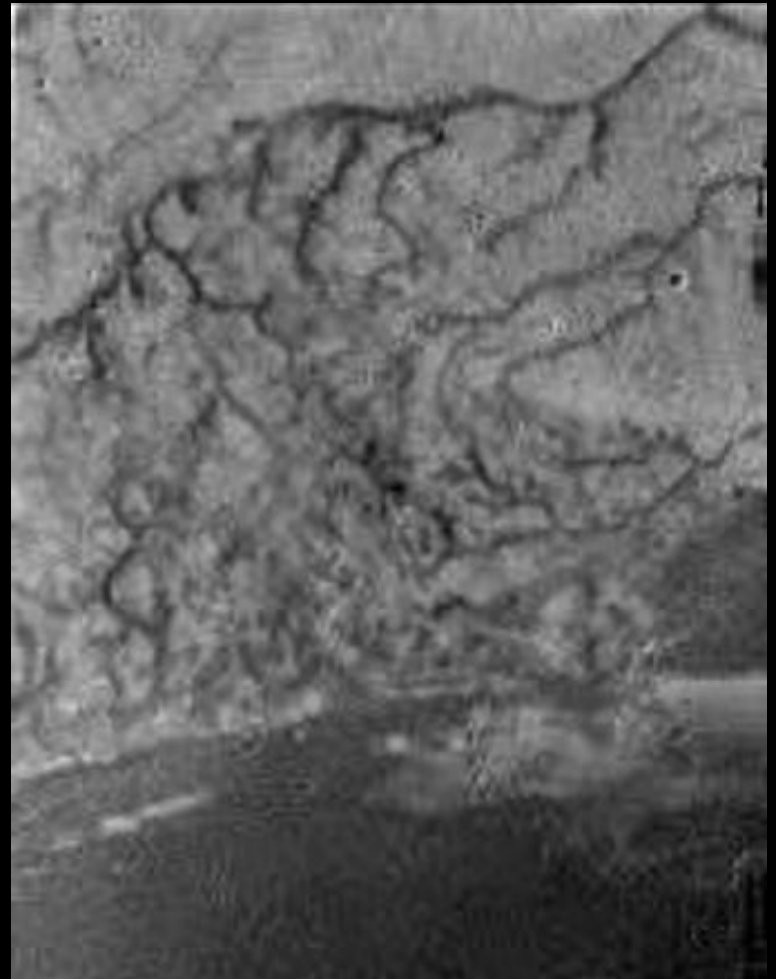
Les 8 images « titaniennes » suivantes
ont été fournies le 15 janvier par des
« amateurs » utilisant un site
américain retransmettant « par
erreur » des images. Devant le « fait
accompli », l'ESA a transmis ces
images le 18 janvier

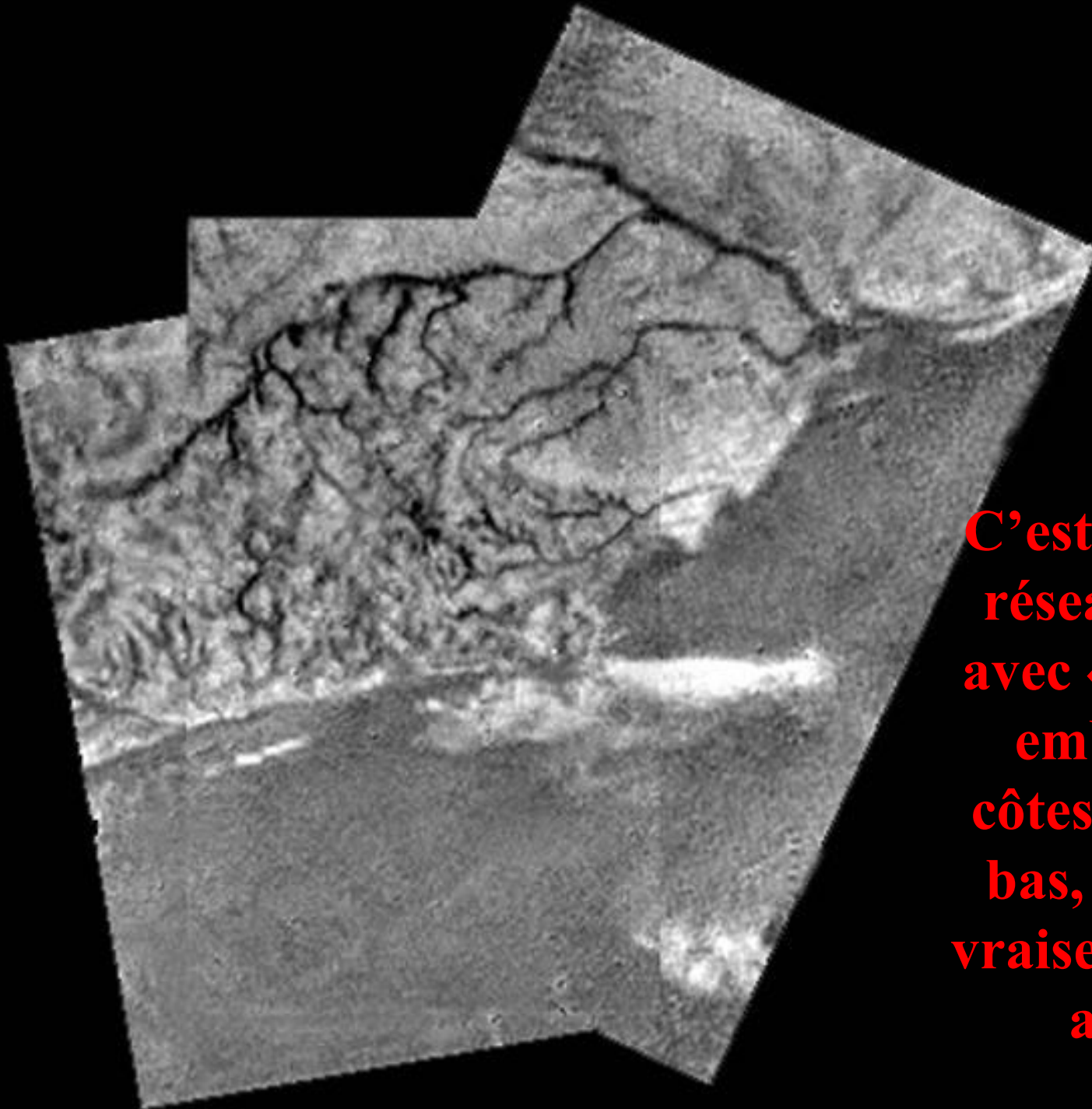


La Terre, des
continents de
roches, des rivières
et mers d'eau



Titan, des
« continents » de glace
d'eau, des « rivières et
mers » (asséchée ?) de
méthane





**C'est vraiment un
réseau fluvial,
avec « confluents,
embouchures,
côtes, îles » ... En
bas, une « mer »
vraisemblablement
asséchée.**

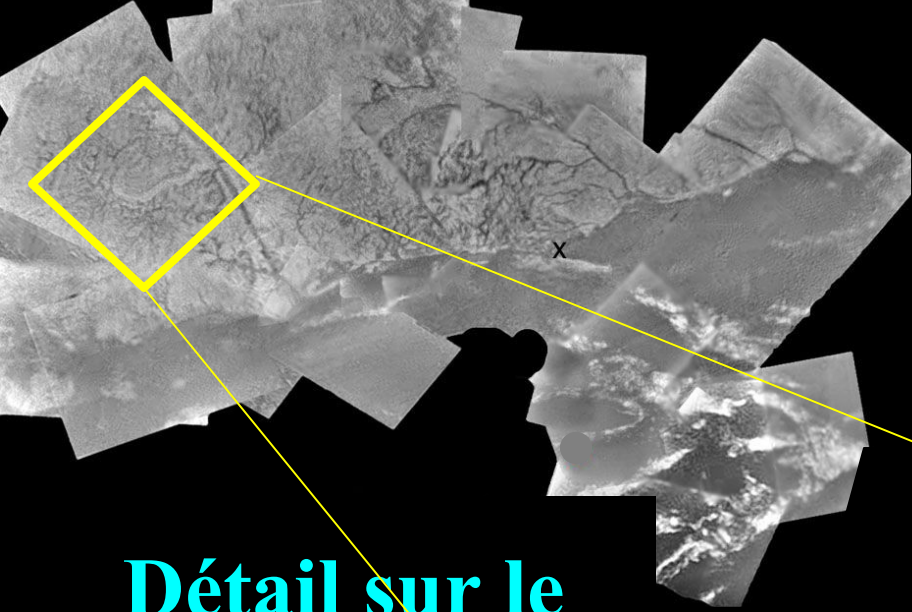
Images prises de 16 km d'altitude
Surface couverte : 30 x 40 km



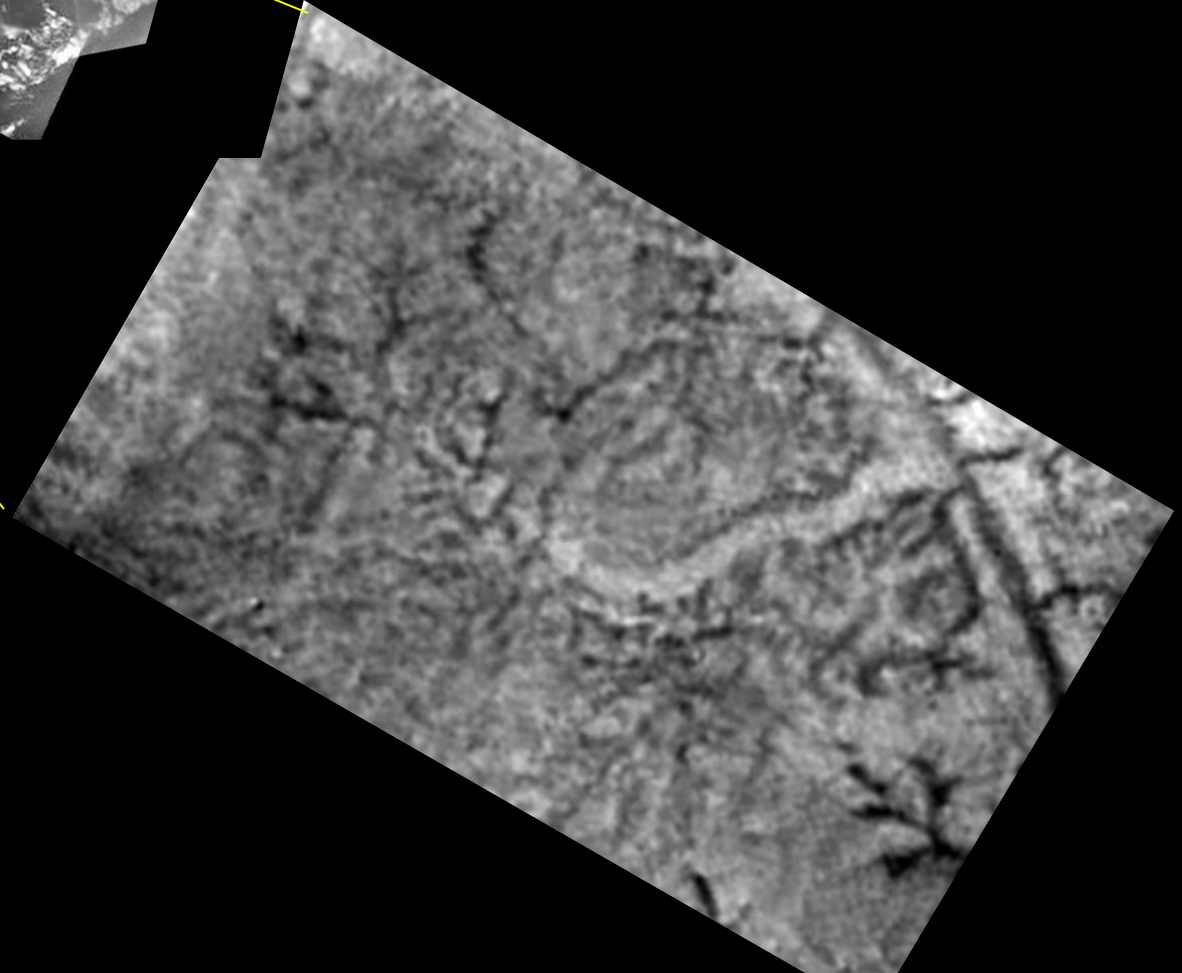
La zone d'atterrissage

Une mosaïque d'une quinzaine
d'images. Ca ressemble de plus en
plus à une « cote », avec estuaires,
deltas ...

Les taches blanches en bas : des « îles », avec des nuages bas ?



**Détail sur le
« continent » :
Une « peut-être »
coulée de lave,
coulée de lave,
d'eau bien sur
(maintenant
gelée) !**

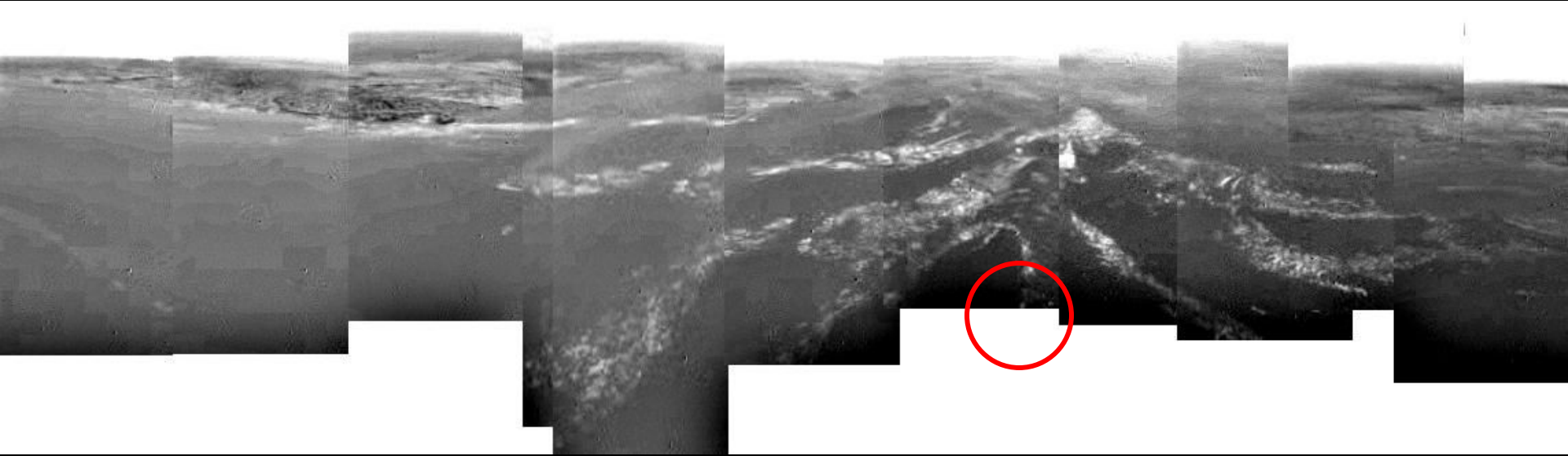




**Une vue « oblique » prise de 8 km d'altitude,
avec « terre », « mer », « côtes » ...**

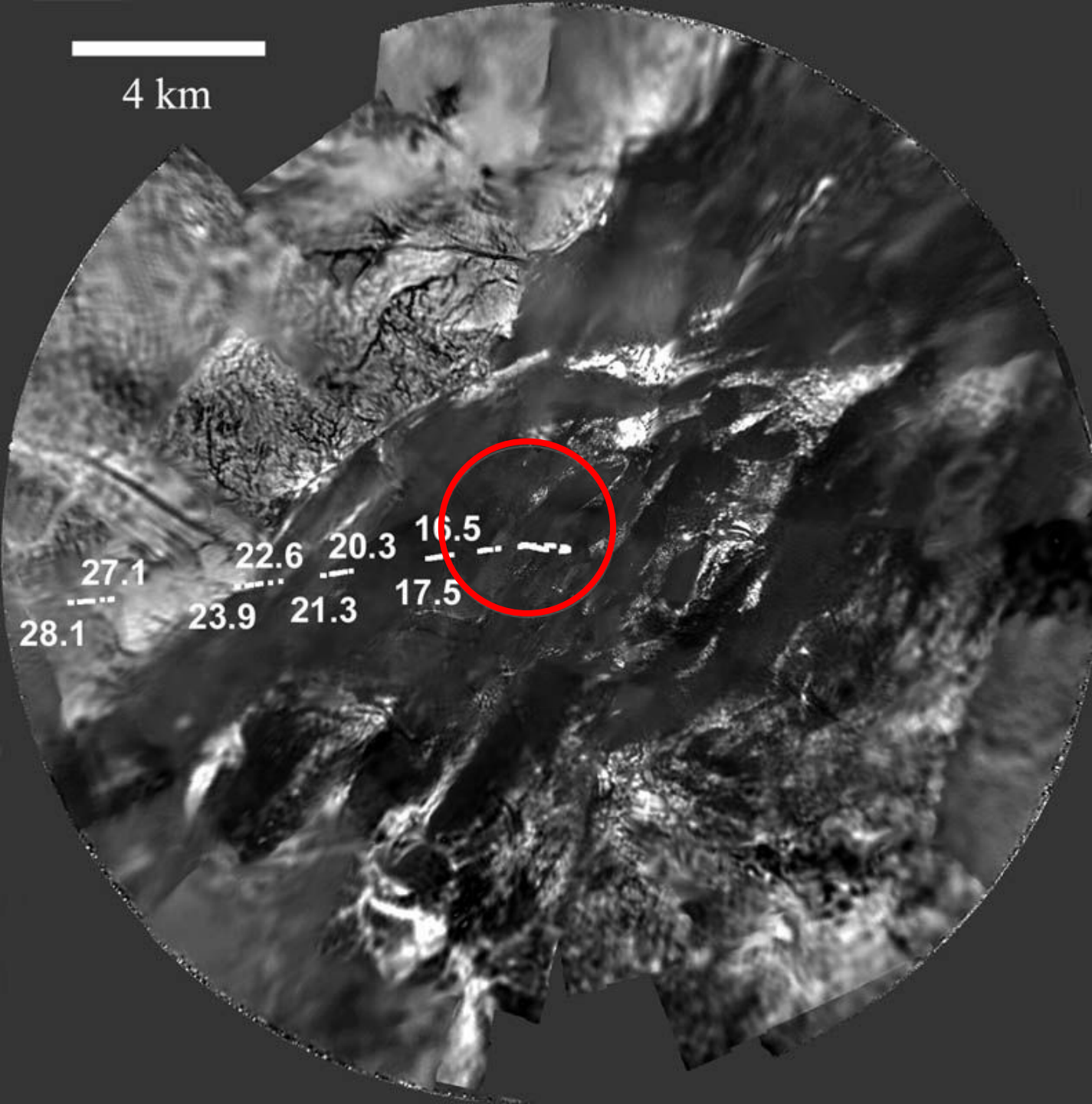
Longueur de la cote : environ 3 km

Images prises de 8 km d'altitude



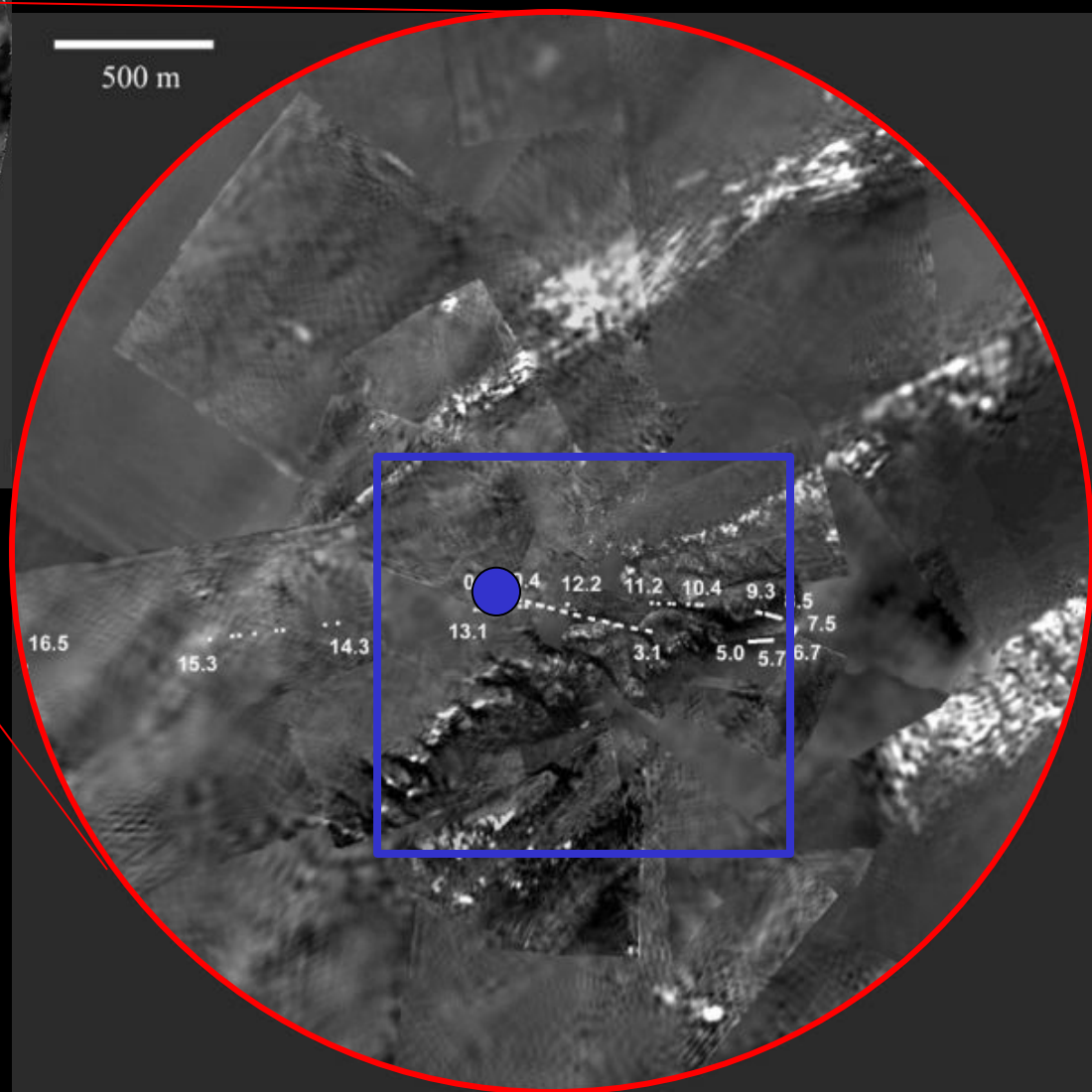
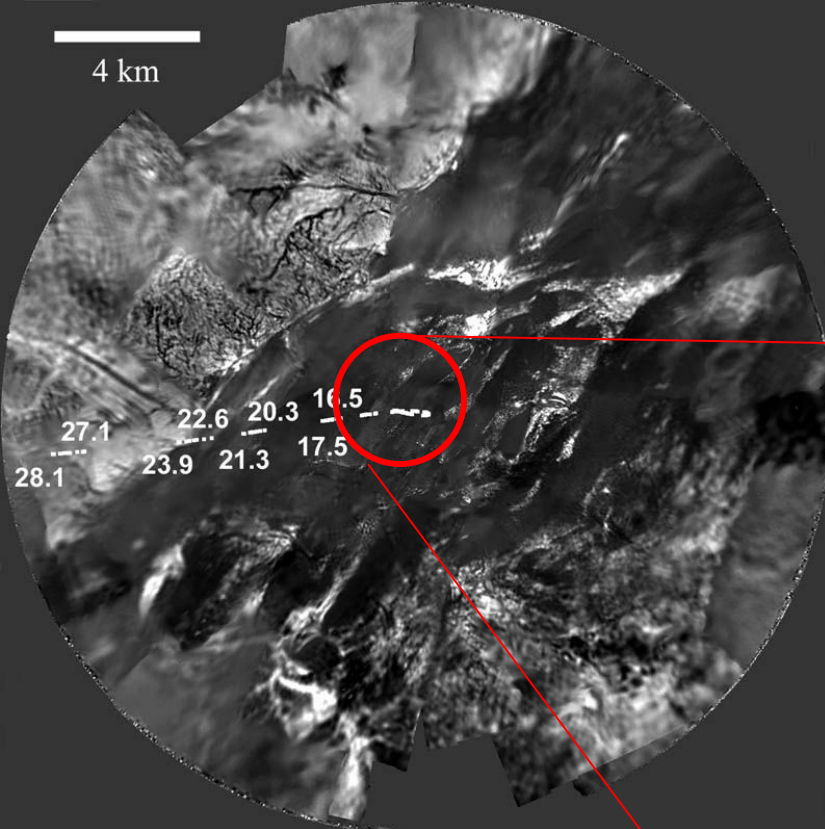
○ zone d'atterrissage

**Vue oblique sur 360°, avec « terre », « mer » (à fond plat, sans doute sèche en janvier 2005)
« côtes » et « îles »**



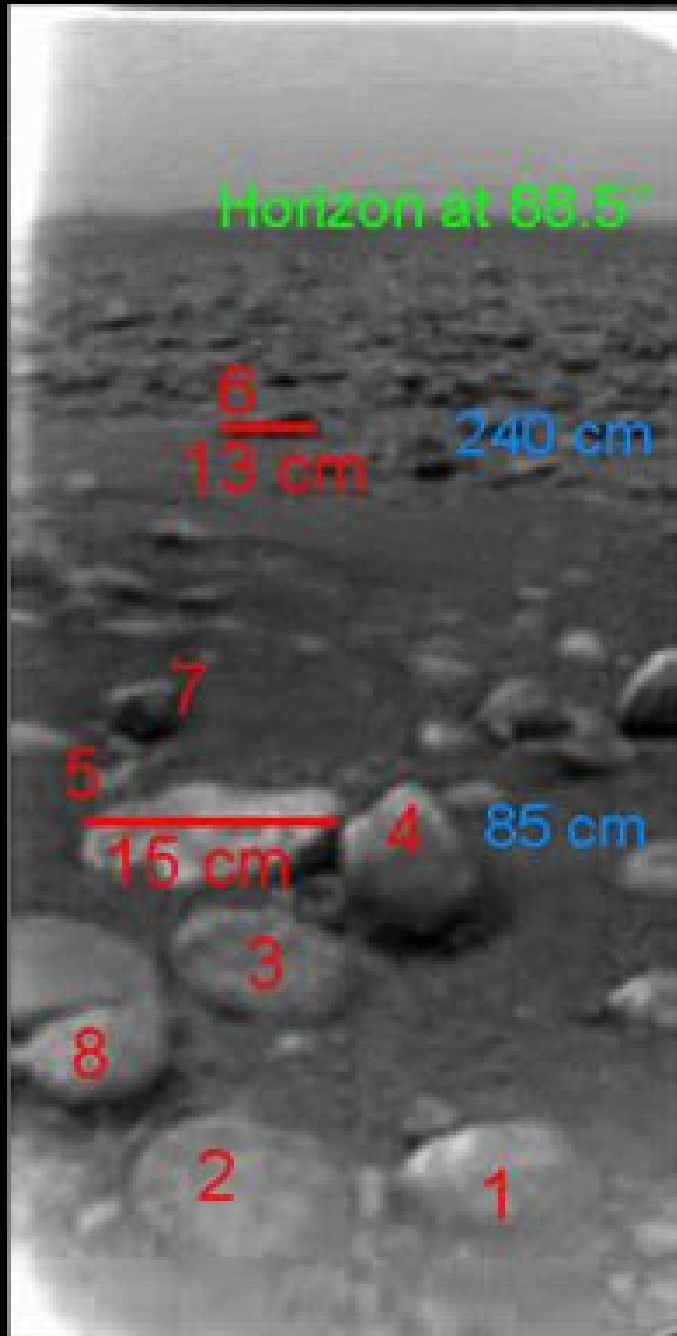
**La descente,
sur des vues
correctement
redressées et
« mosaïquées »
par l'ESA-
NASA.**

**En blanc, la
position de
Huygens au
cours de sa
descente (les
chiffres
indiquent
l'altitude)**





Les vues les plus détaillées présentent de 800 m d'altitude. Huygens s'est vraisemblablement posé quelque part dans le point bleu, dans la « mer » à 300 m d'un chapelet d'« îles »



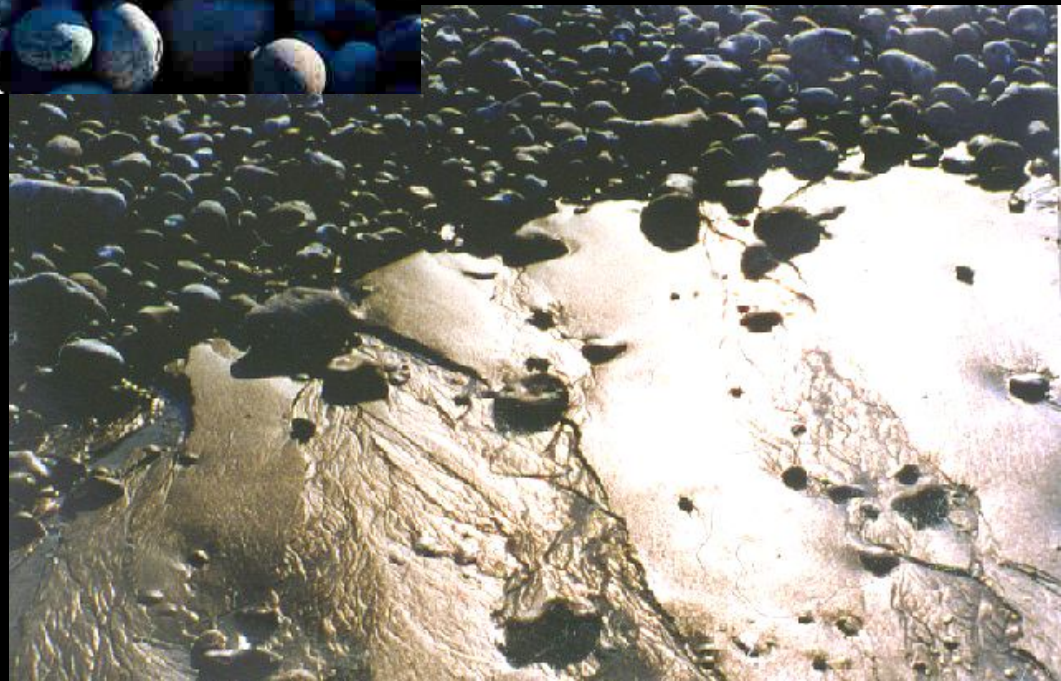
Voici la « vue du sol », du sable et des « galets » (de glace d'H₂O probablement). Les galets sont arrondis, comme ceux d'une plage ou d'un torrent. Autour du galet n°4, sillon en creux, comme ce qui est dégagé par un courant.

Huygens, en se posant, a « rompu » une espèce de « croûte » durcie, et s'est un peu enfoncé, comme dans du « sable mouillé », sable de glace mouillé par du méthane liquide.

La croûte durcie probablement une croûte séchée



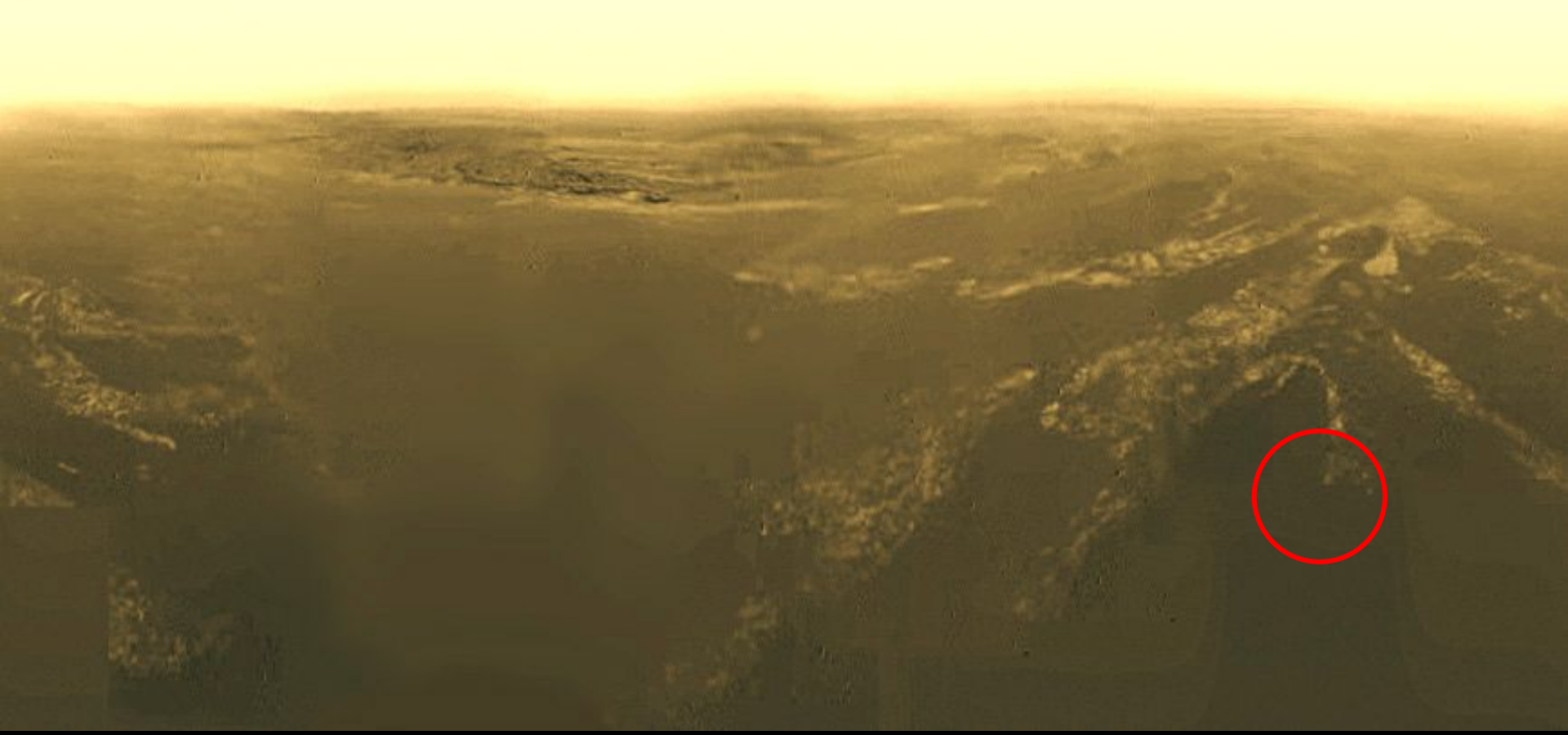
**Pour comparaison,
d'autres galets,
bien terrestres**





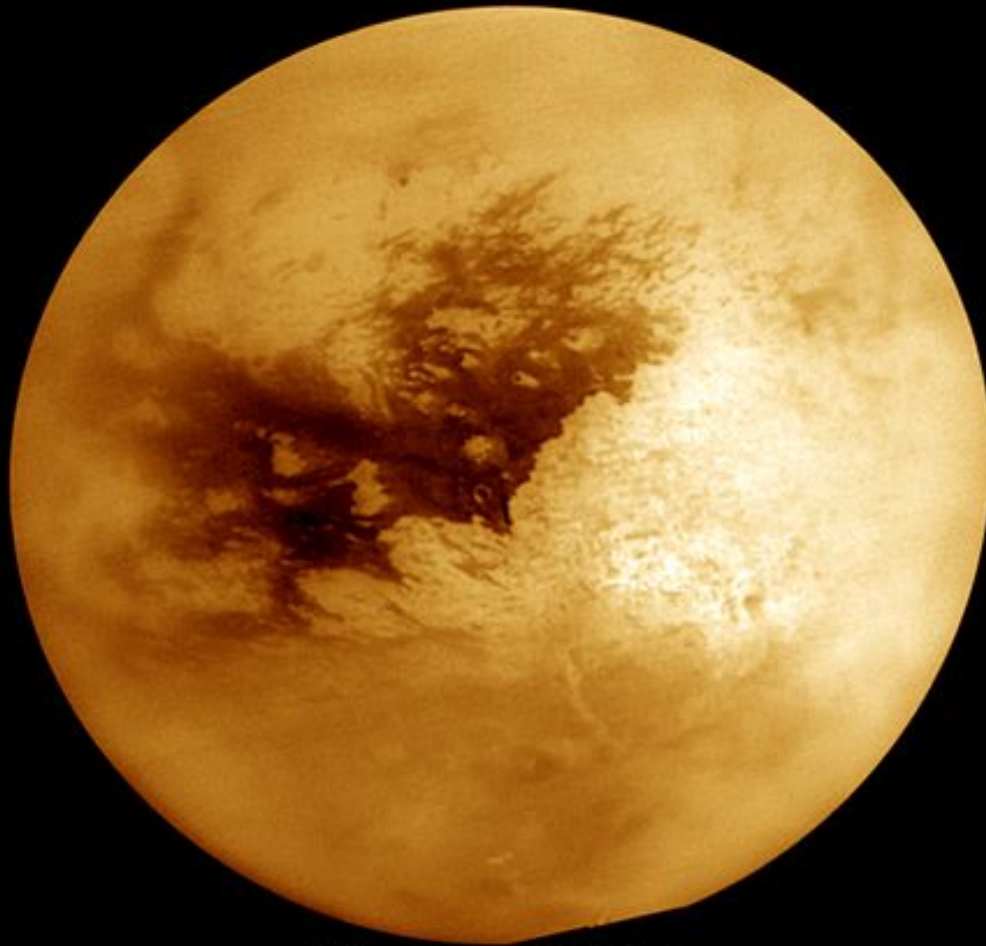
**La vue du sol, en couleur
quasi-naturelle, « brun
goudron ».**

**Huygens semble s'être déposé sur
ces terrains plats et sombres. La
« mer » aurait été sèche ce 14
janvier 2005 ! Ce qu'on pense,
c'est qu'il pleut parfois, que le
méthane liquide coule en
« nettoyant » les continents de
glace, et en emmenant avec lui
galets de glace et « saletés » (des
hydrocarbures lourds et brun
sombre qui tapissent le fond des
« mers »), qui serait plus des
« marécages » peu profonds et
provisoirement (?) à secs que de
véritables mers.**

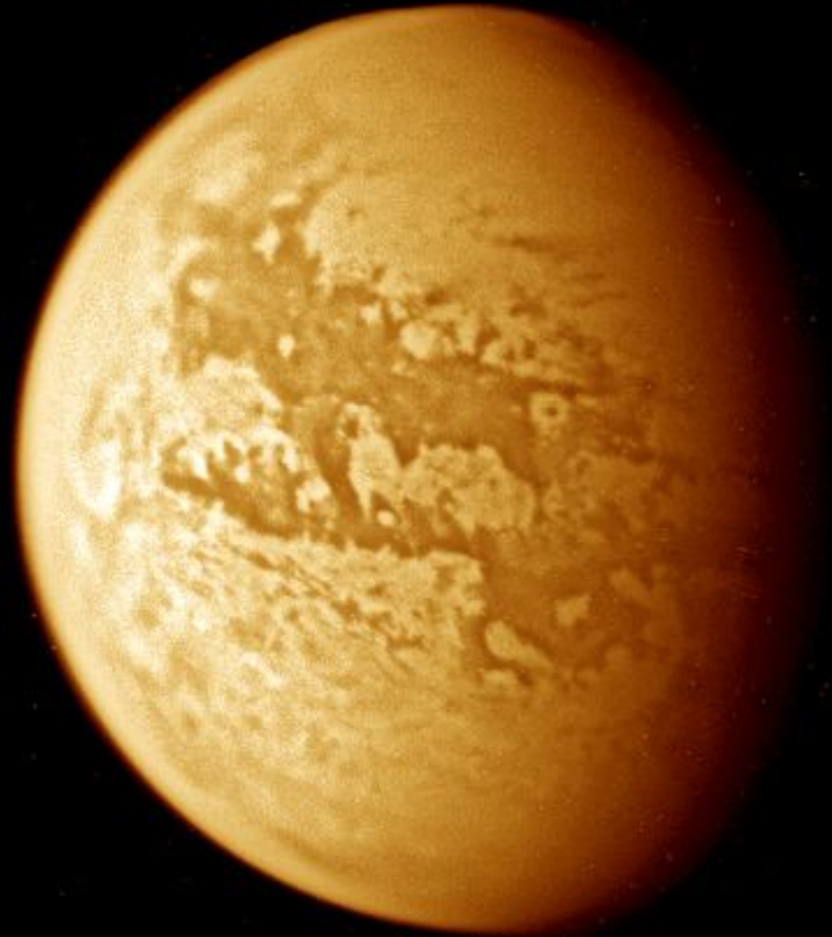


○ zone d'atterrissage

Et maintenant qu'on sait que Titan est brun (au moins localement), voilà peut-être ce qu'on verrait à l'œil depuis 8 km, juste sous les nuages



février 2005

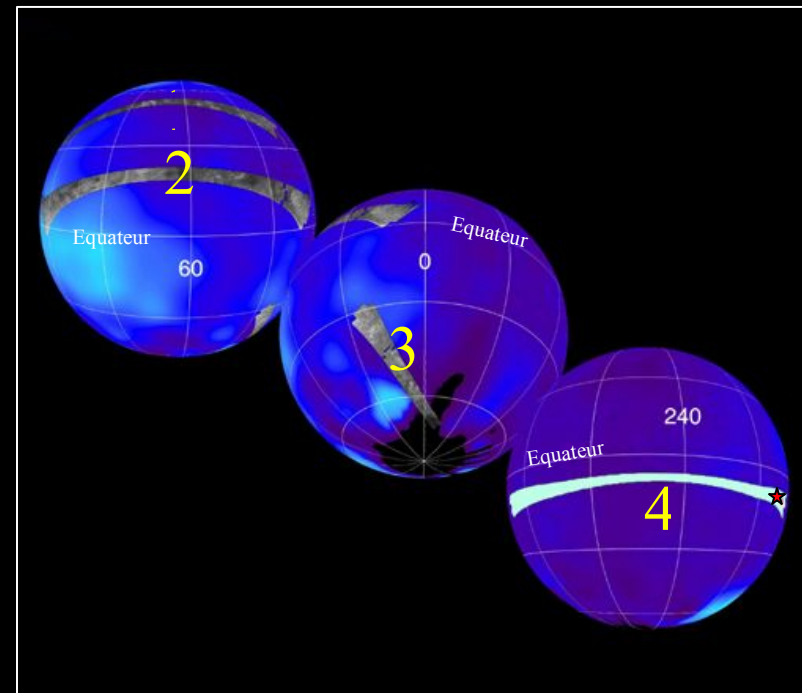
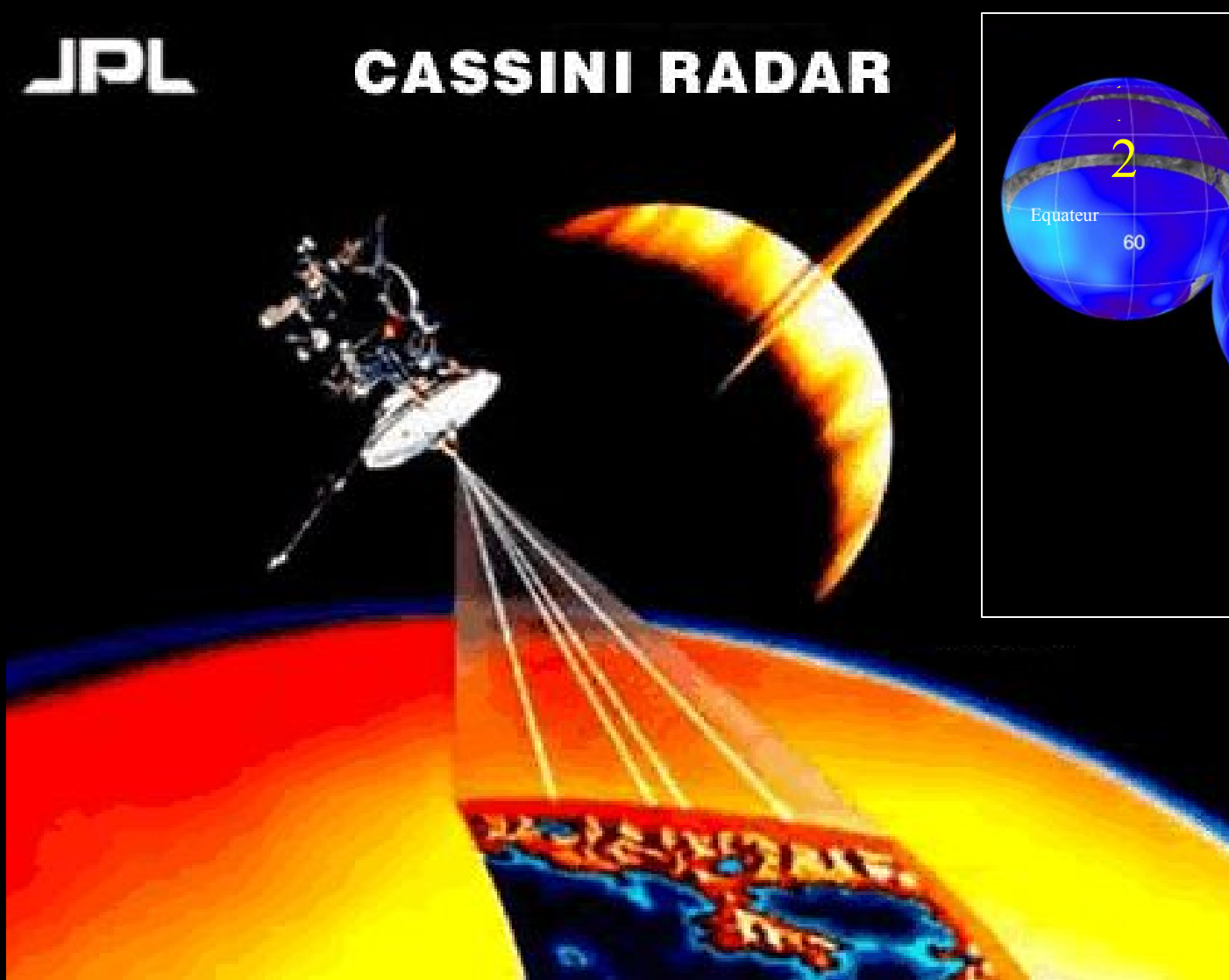


avril 2005

Et maintenant qu'on sait que Titan est brun (au moins localement), voilà peut-être ce qu'on verrait à l'œil nu depuis l'espace, si il n'y avait pas de nuages.

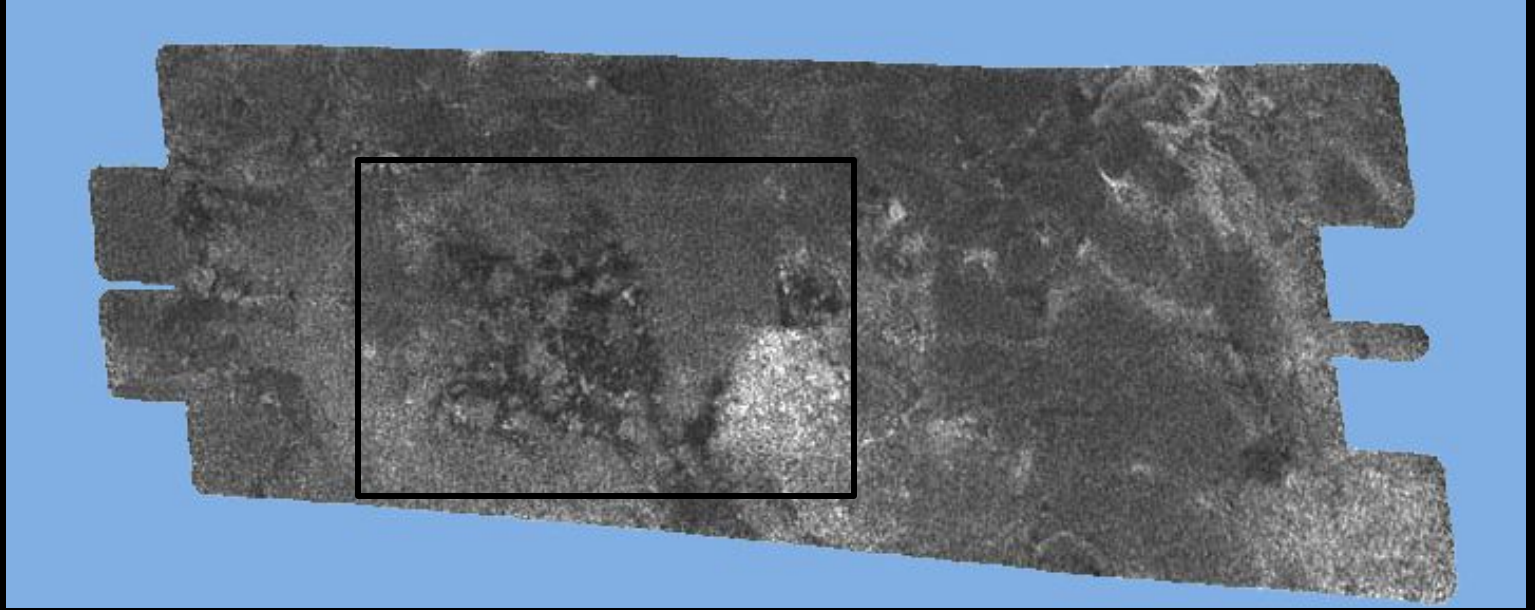
JPL

CASSINI RADAR



Troisième méthode : le radar

**Quatre passages jusqu'à présent, octobre 2004,
février, septembre et octobre 2005**



Première « image » publiée, prise à une altitude de 1600 km. Elle couvre une surface de 500 x 200 km . Le rectangle va montrer un détail.

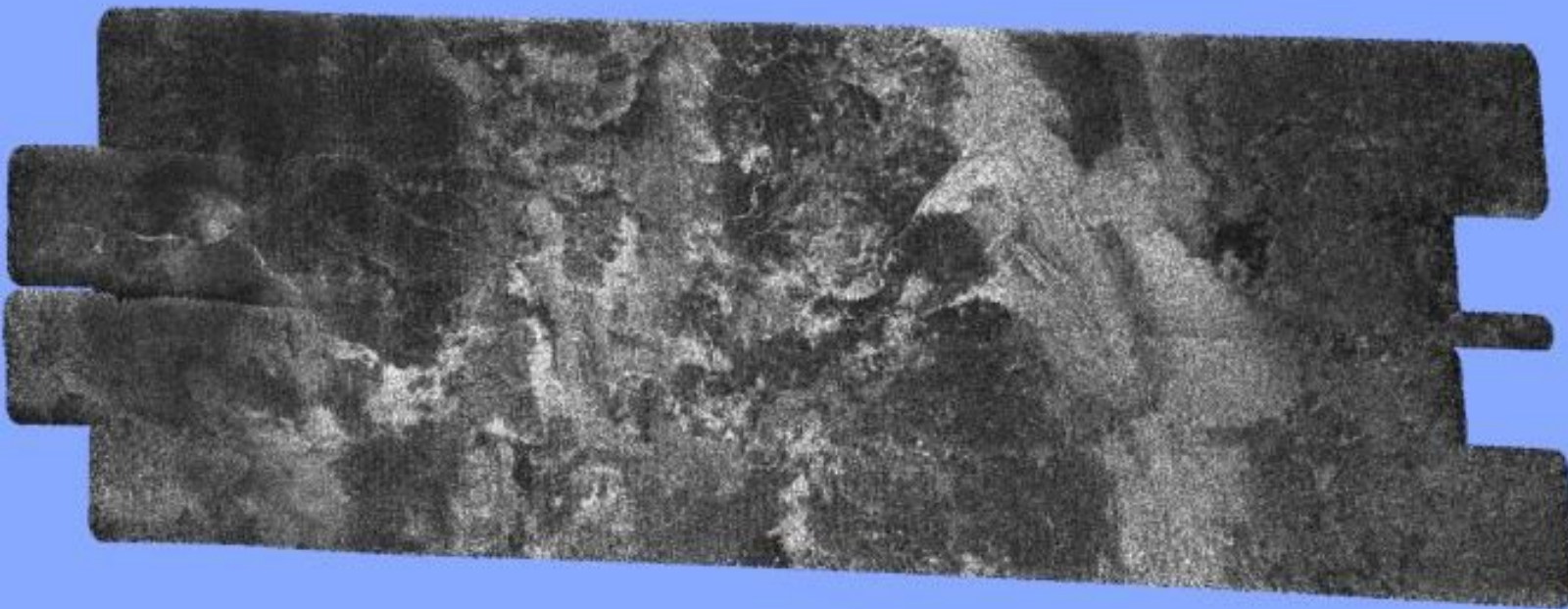
Attention, au radar, sombre signifie « absorbant pour les ondes radar » (= lisse), ou pente dirigée vers l'opposé de Cassini.

Clair signifie « réfléchissant pour les ondes radar » (= rugueux), ou pente dirigée vers Cassini.



Un détail. A son propos, la NASA dit : « *The interconnected dark spots are consistent with a very smooth or highly absorbing solid, or could conceivably be liquid* ».

North ↑



Deuxième « image radar » publiée, prise à 1200 km d'altitude, et couvrant 250 x 150 km.

Commentaires NASA : A wide variety of geologic terrain types can be seen on the image. Very few features resembling fresh impact craters are seen. Enigmatic sinuous bright linear features are visible, mainly cutting across dark areas.



Que sont ces structures ??

De l'érosion fluviatile (rivières d'hydrocarbures érodant le socle de glace) ?

Des coulées de lave (d'H₂O liquide ?) obtenues par fonte du substratum glacé ?

Les réponses et suites sont venues le 14 janvier (descente de Huygens), puis le 15 février (2eme utilisation du radar), puis ...

Le deuxième survol radar (15 février 2005).



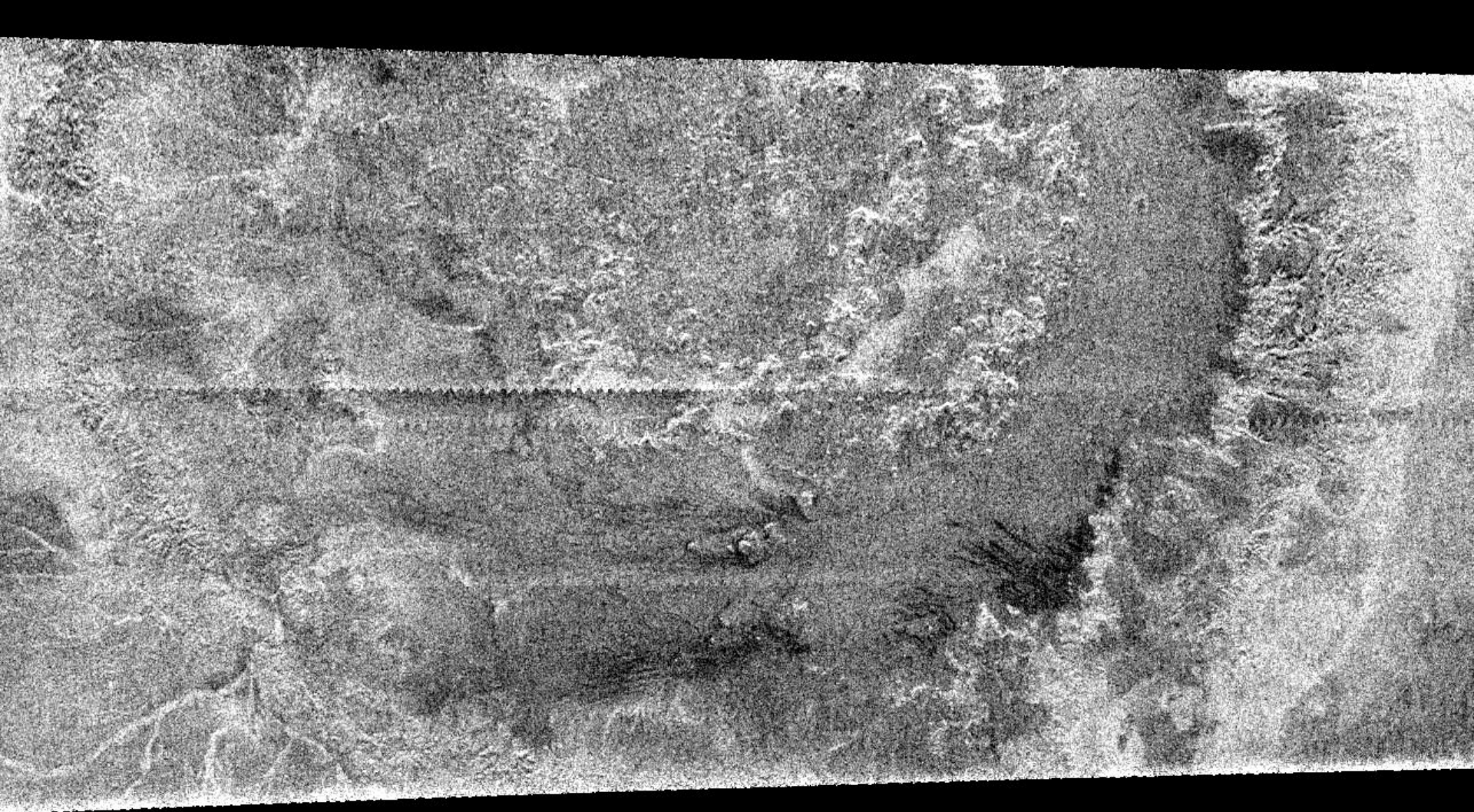
Un cratère, petit ($D = 60$ km), le premier que l'on voit

Faisceau
radar
venant de

Cassini

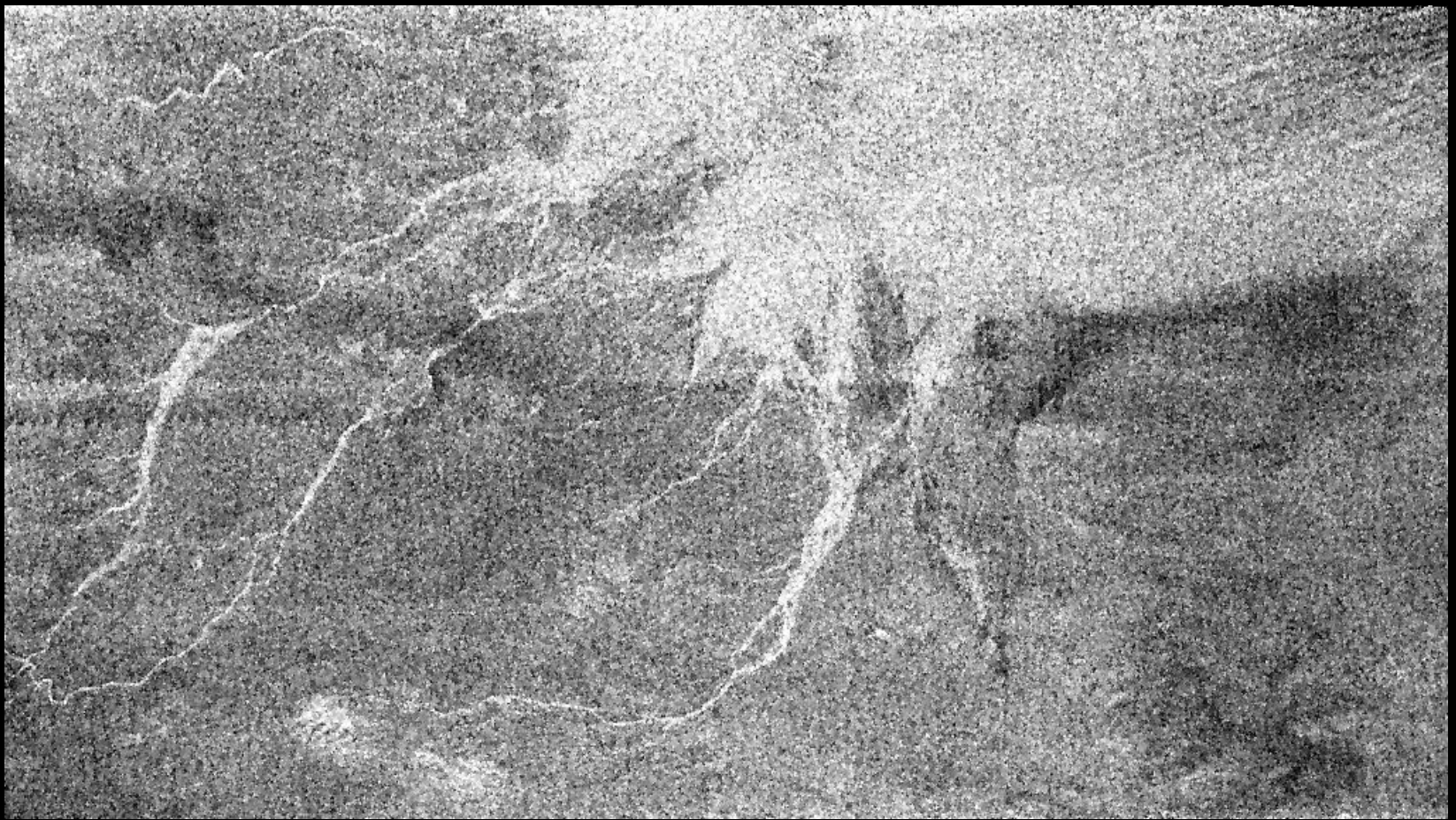


**Ce qui permet des comparaison image IR
(à gauche) et « image » radar (à droite)**



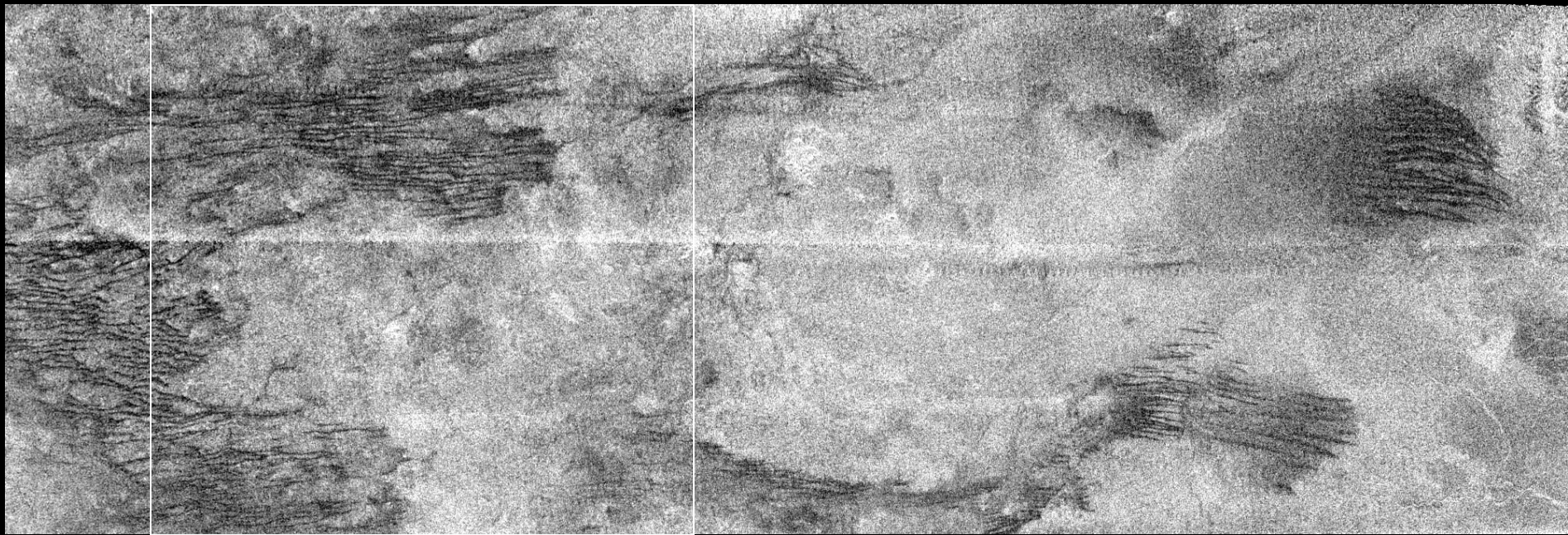
440 km

Un énorme cratère d'impact, Circus Maximus

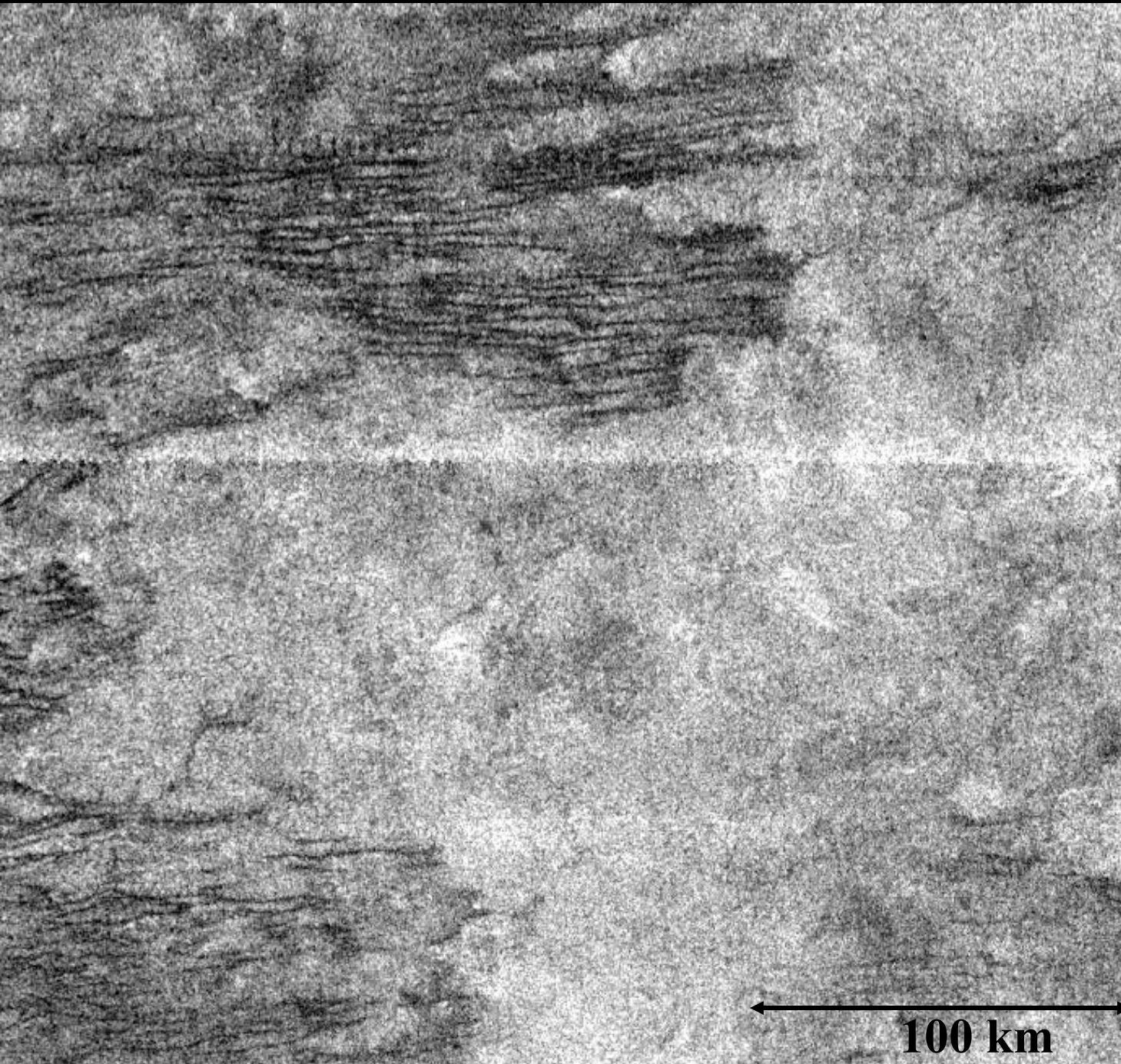


200 km

**Un réseau hydrographique ou plutôt
« méthanographique ». Le site d'atterrissage
d'Huygens n'était pas une exception ! Et les
réseaux peuvent faire jusqu 'à 200 km de long !**



Voici ce que la NASA a appelé des « Cat Scratches » (griffures de chat), recouvert ou en contrebas de ??



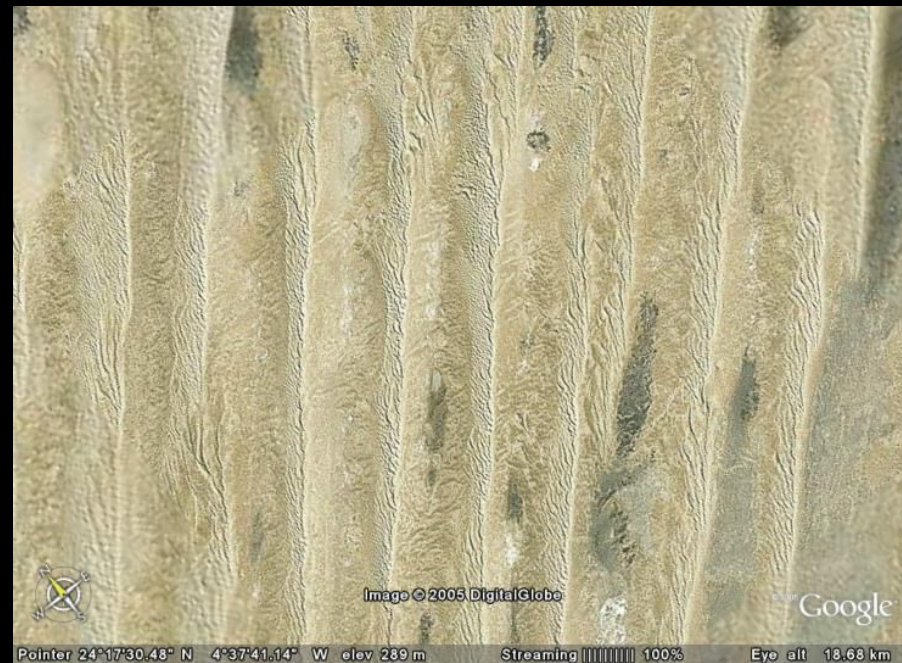
**Qu'est ce que
c'est ?**

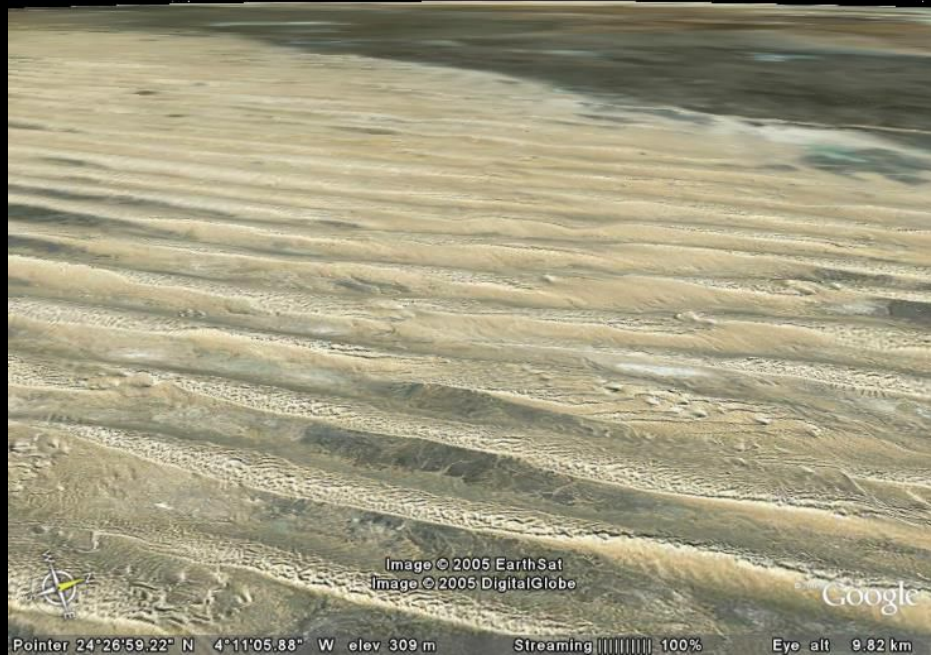
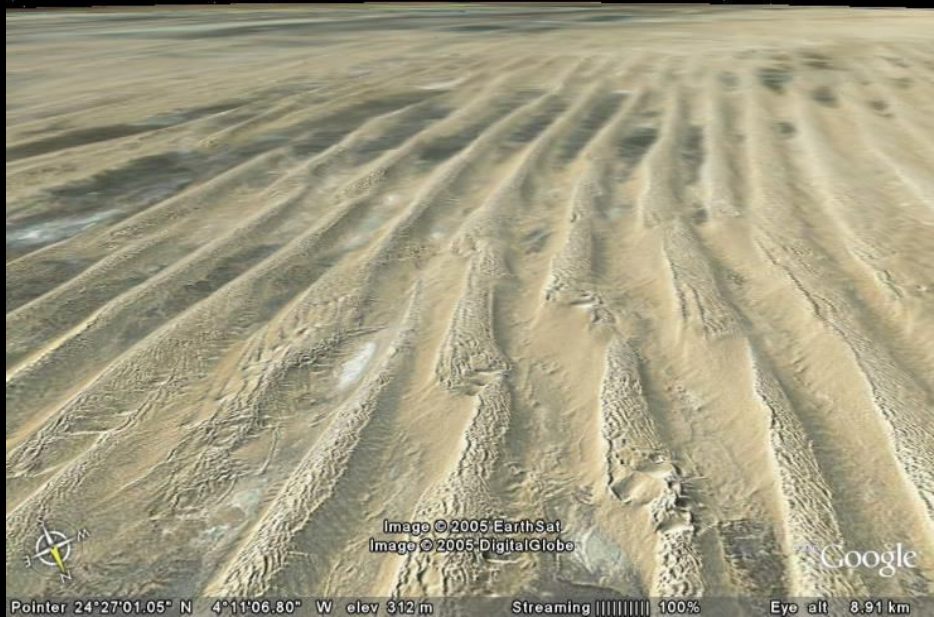
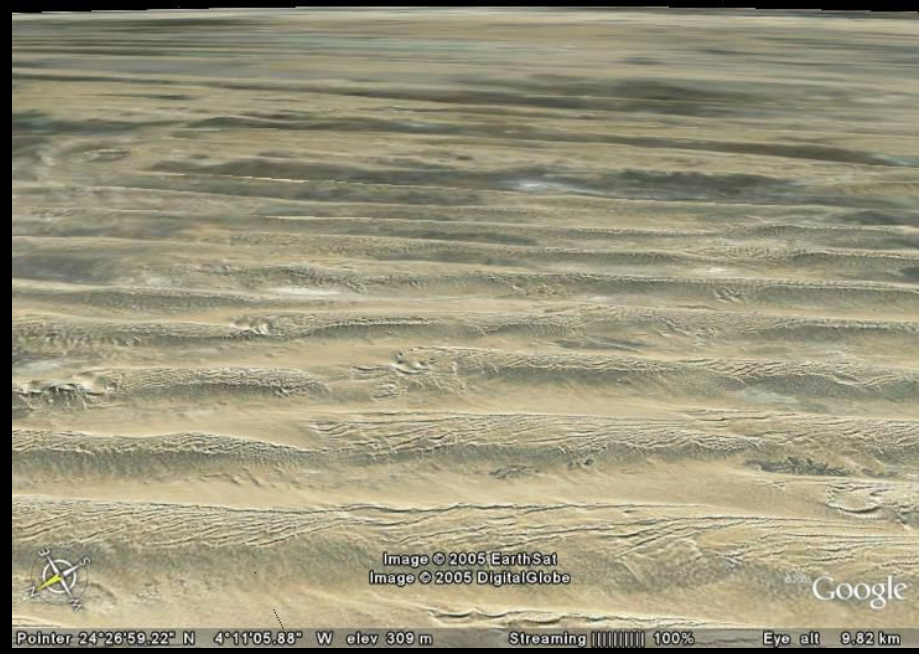
**Des graben,
des dunes de
sables (sables
de glaces ou
d'hydrocar-
bures
solides),
recouverts
par (ou en
contrebas de)
coulées de
lave (d'H₂O),
par autre
chose ??**

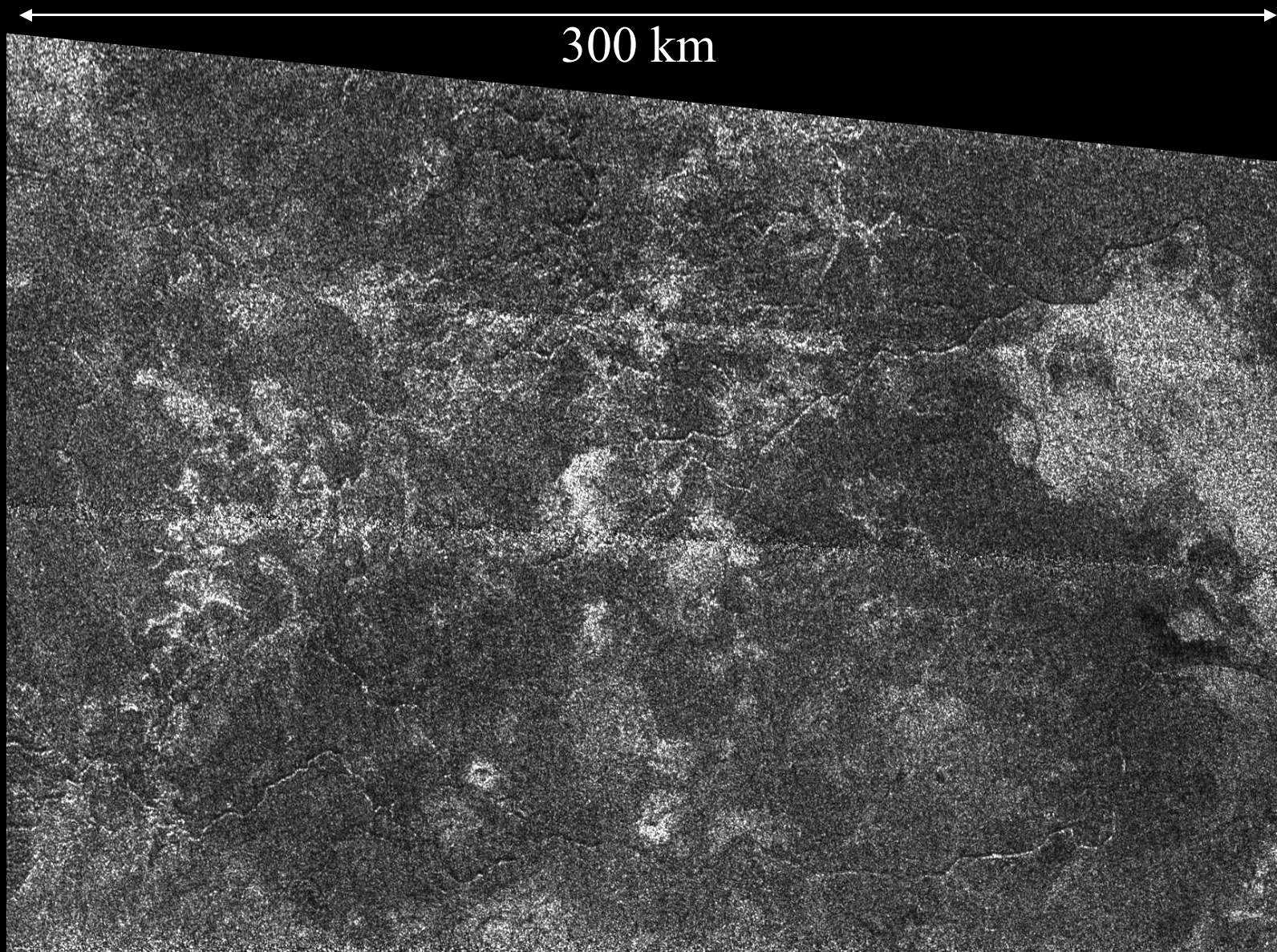


**Une analogie possible : les champs de failles
des Afars (Djibouti)**

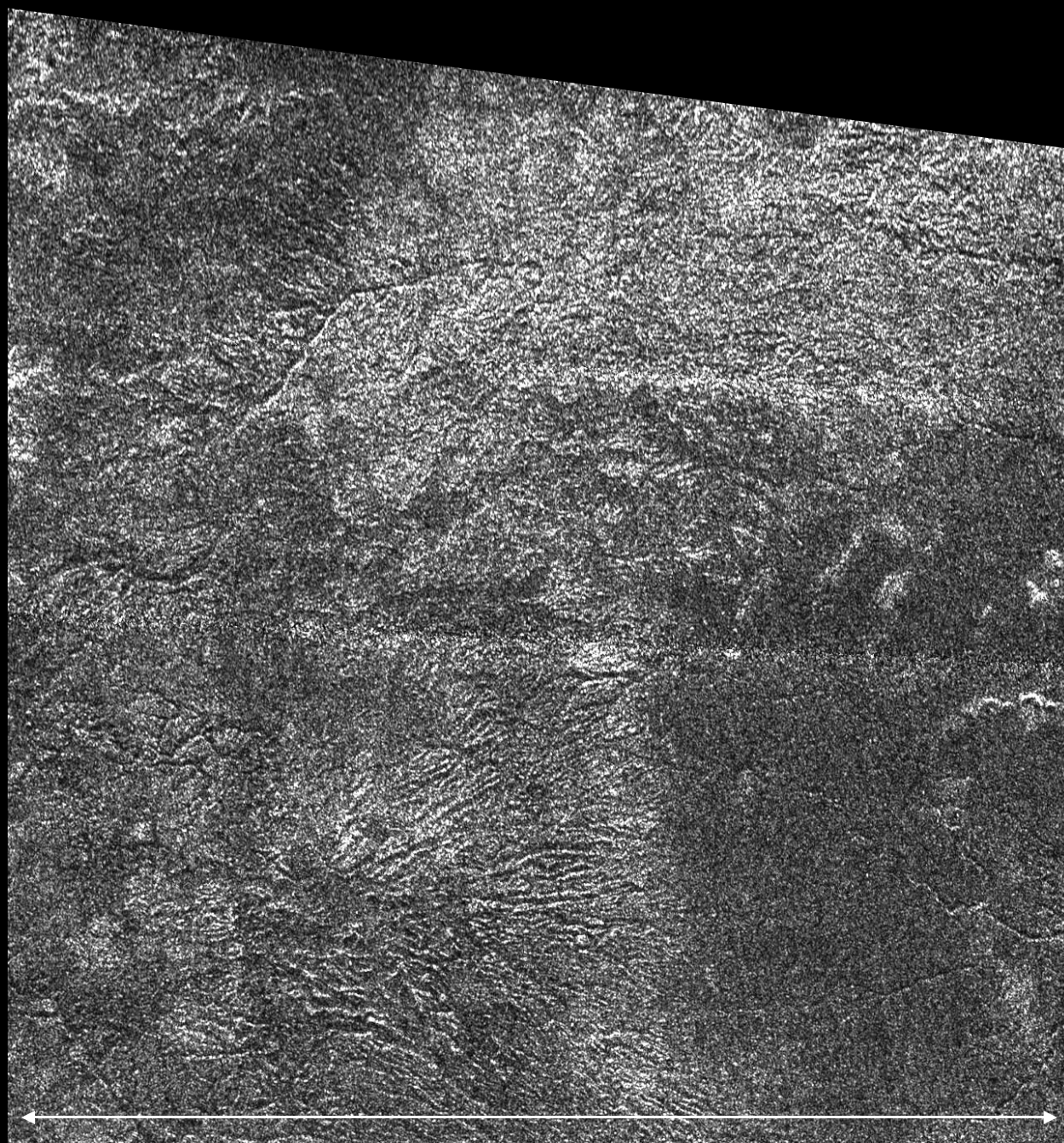
Une autre analogie possible : des dunes !







Du nouveau au 3eme survol radar (7 septembre 2005) : des canyons d'érosion ...



**... tout un
réseau de
drainage**

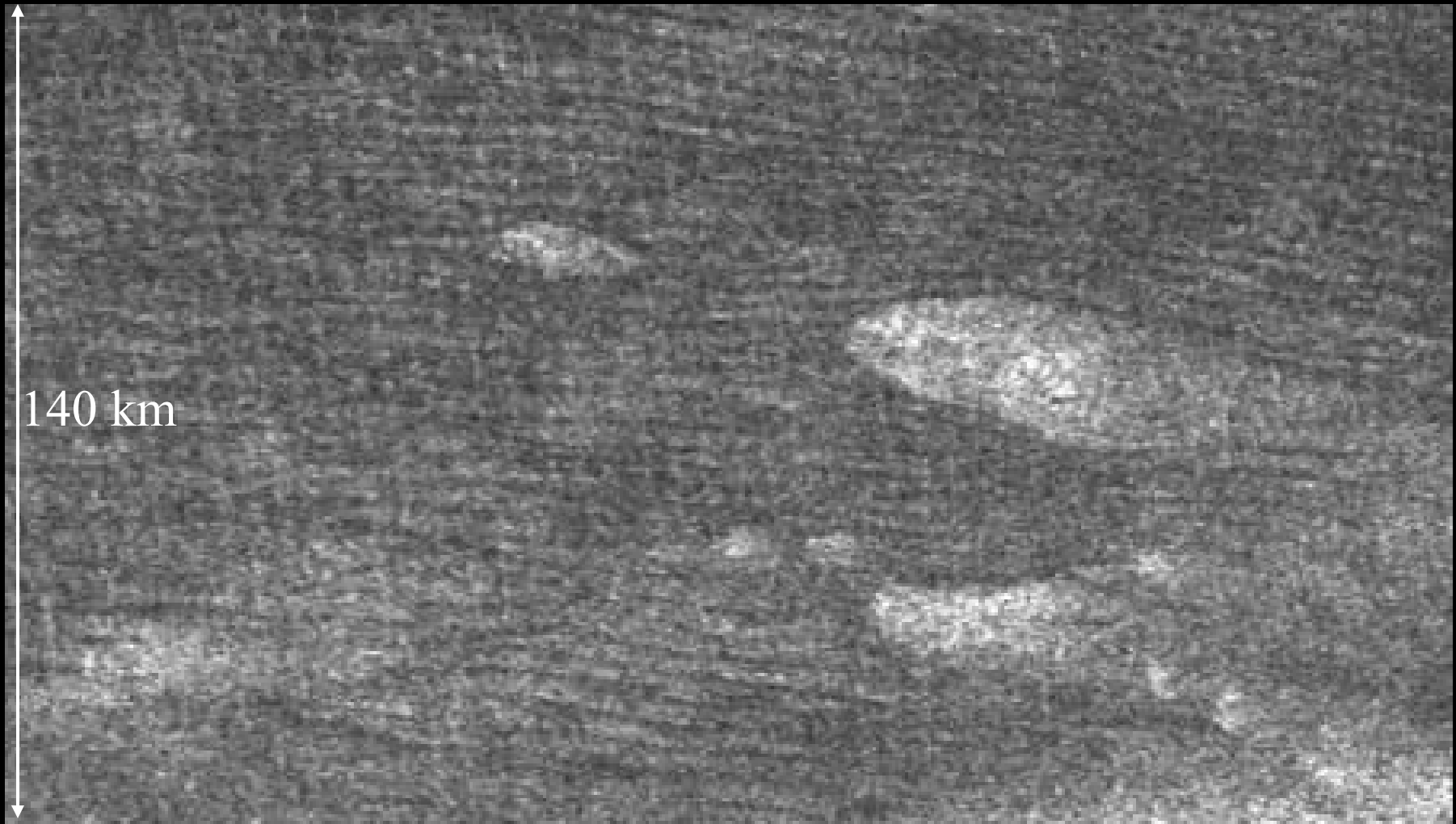
240 km

Image IR, juin 2005

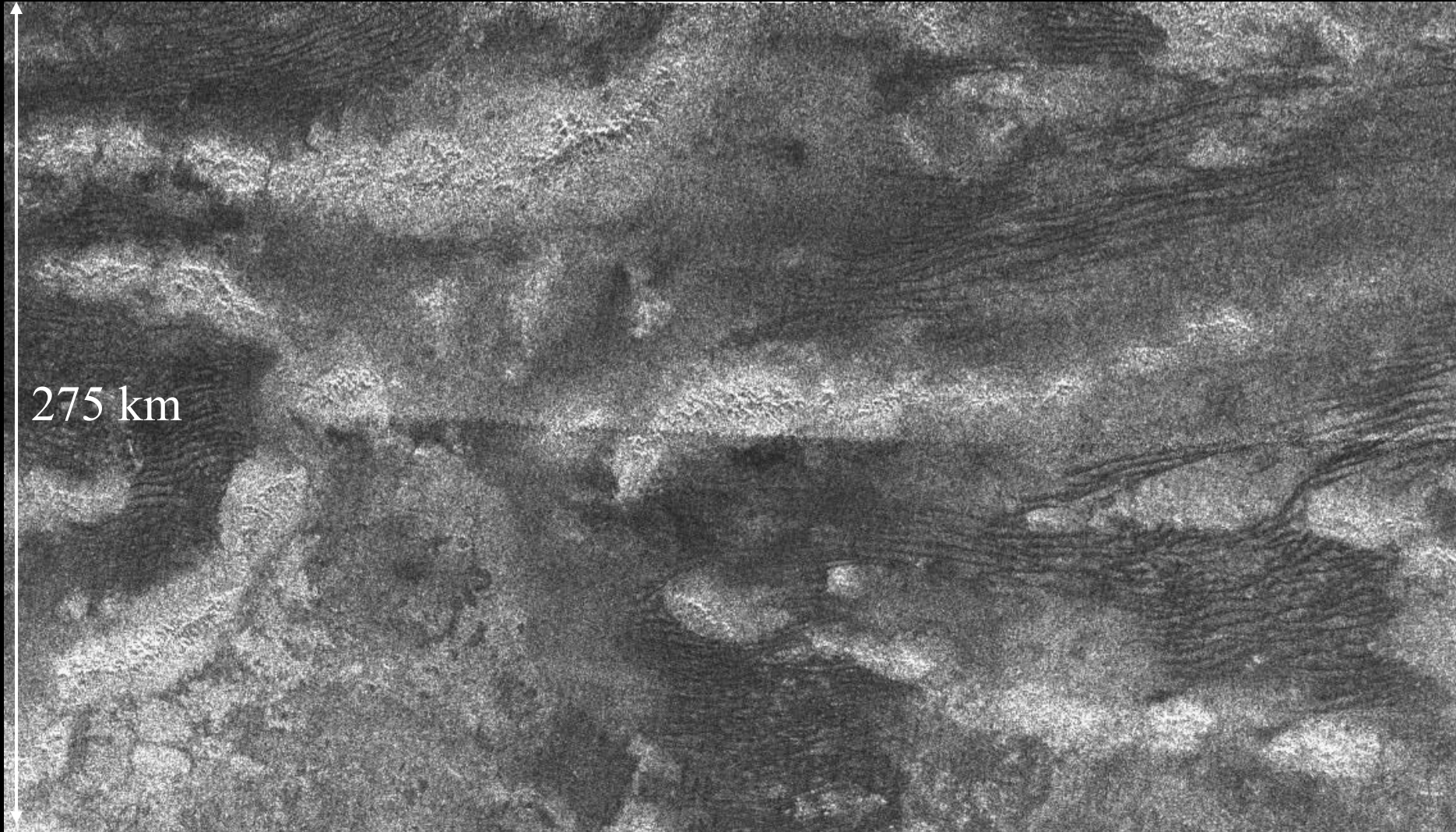


175 km

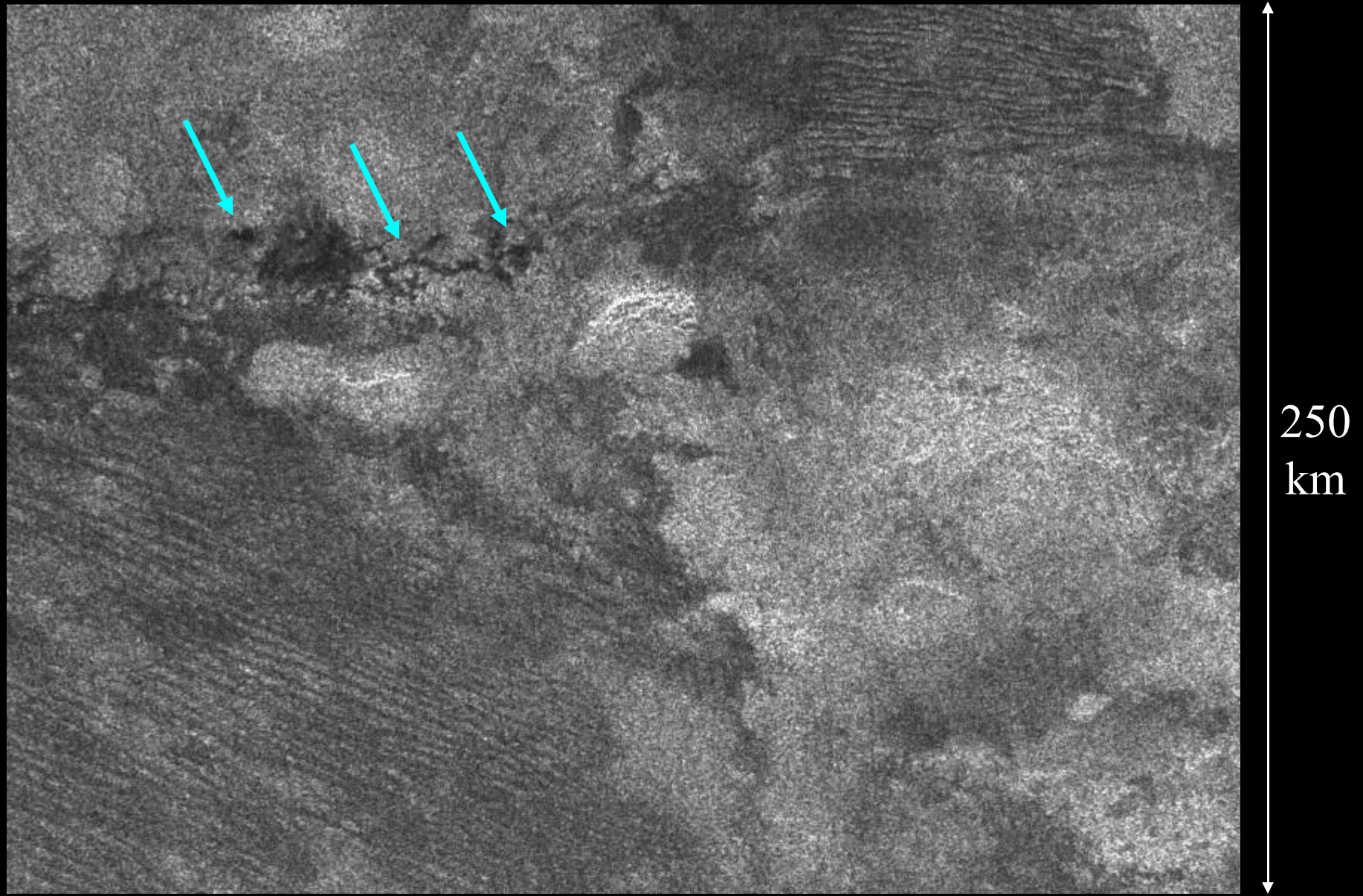
**Et ce 3eme survol, près du Pôle Sud, (mais pas au dessus de « notre lac ») confirme la présence de lignes de rivage.
Les lacs sont ils secs ou remplis de méthane liquide ?**



Quatrième survol (27 octobre 2005). Les griffures de chat semblent bien être des structures éoliennes (dunes, yardangs)

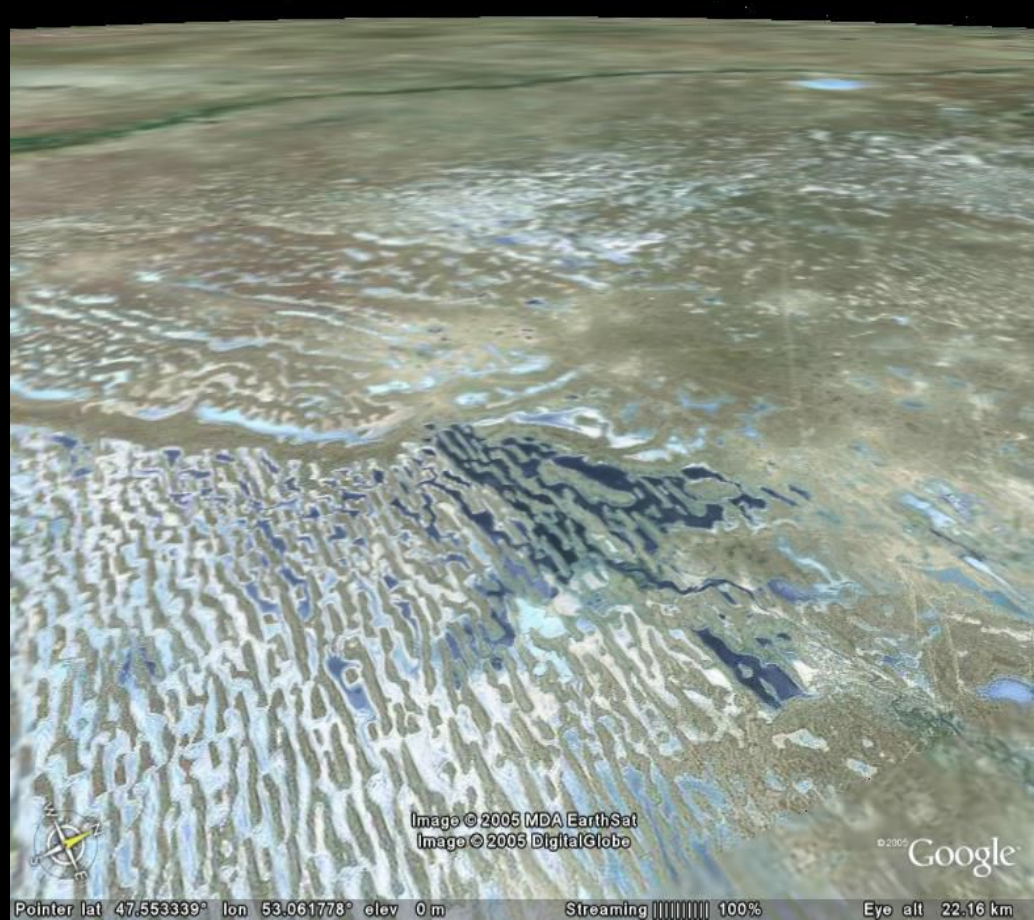


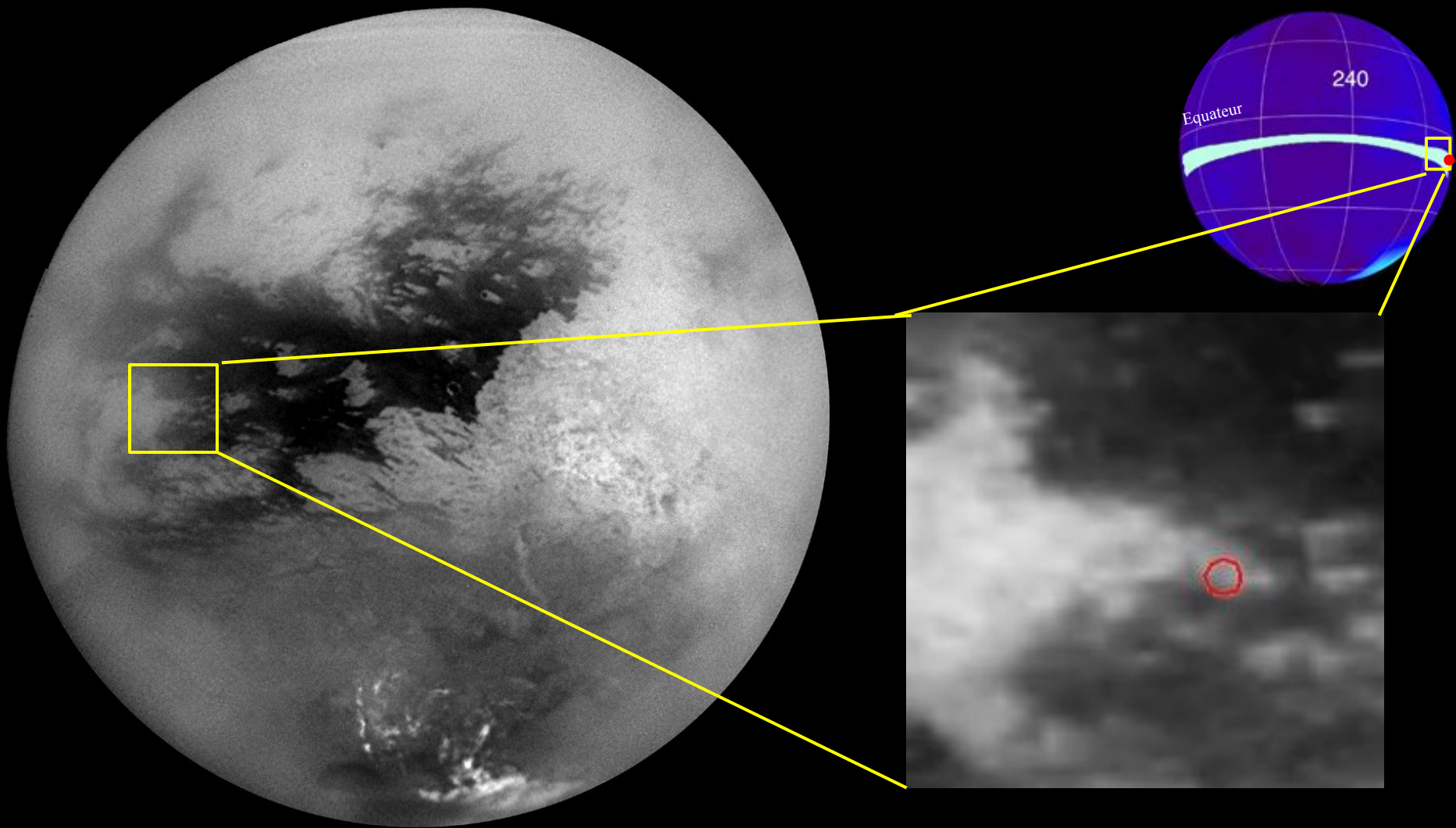
Entre les champs de dunes, des montagnes



**Et aux points les plus bas, du « noir » ,
« possibly still containing liquids » dit la NASA**

**Une analogie possible : des dunes ennoyées,
avec seulement de l'eau dans les points les plus
bas en saison sèche**



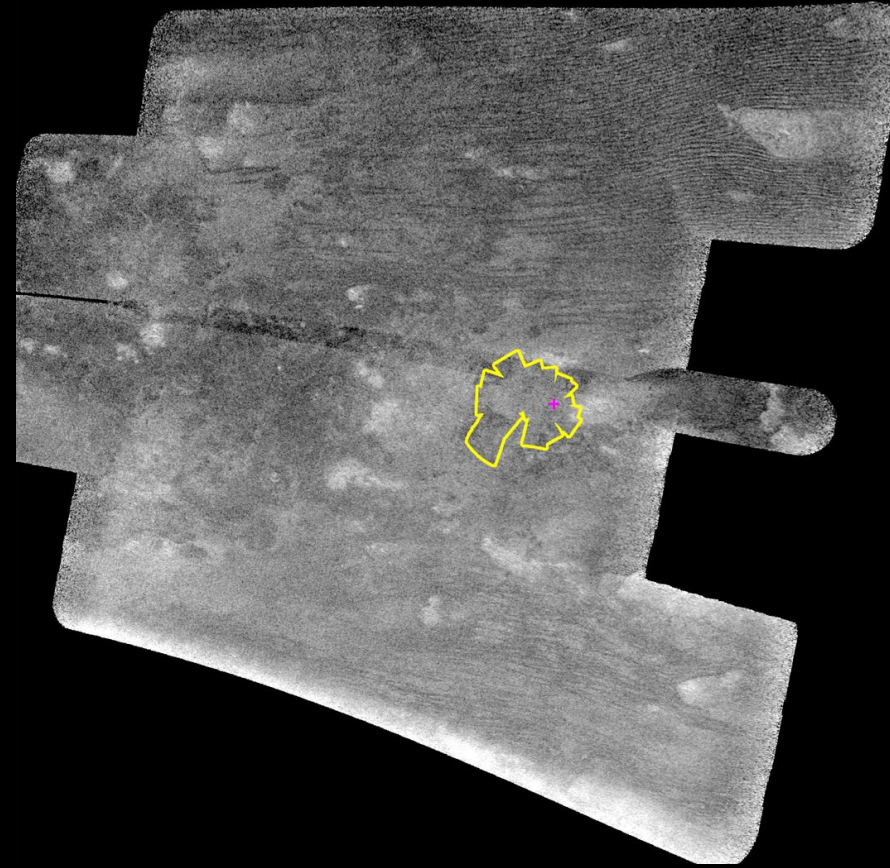


Et ce 4eme survol radar va permettre pour la 1ère fois de voir (assez mal) le site d'atterrissage de Huygens. Rappelons ce qu'on voyait en I.R.



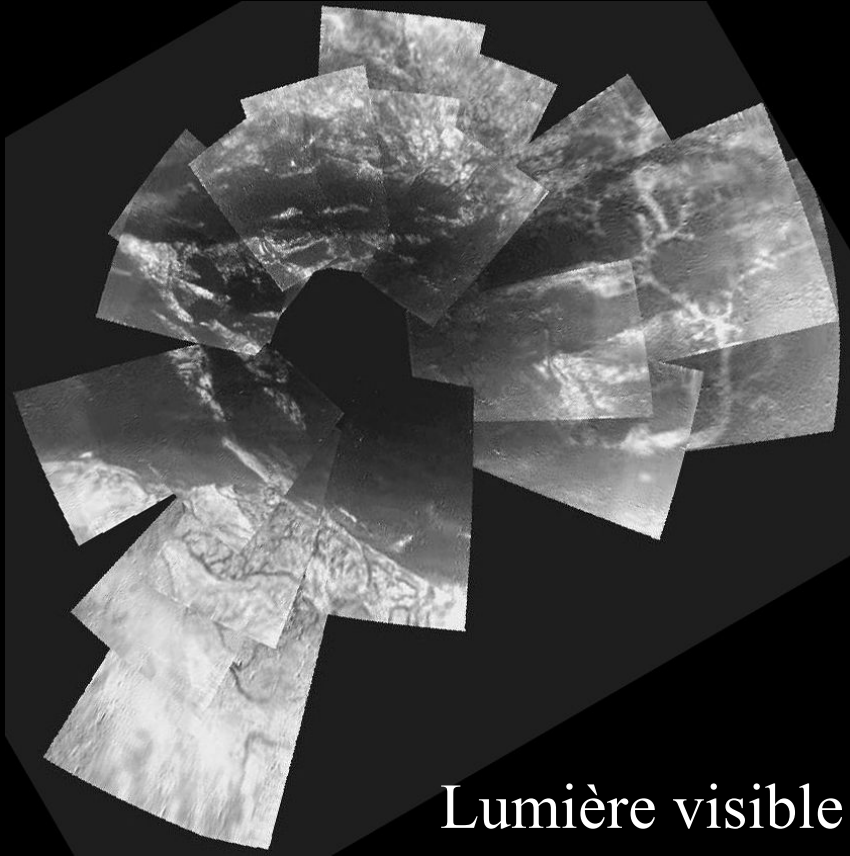
I.R. (octobre 2004)

200 km

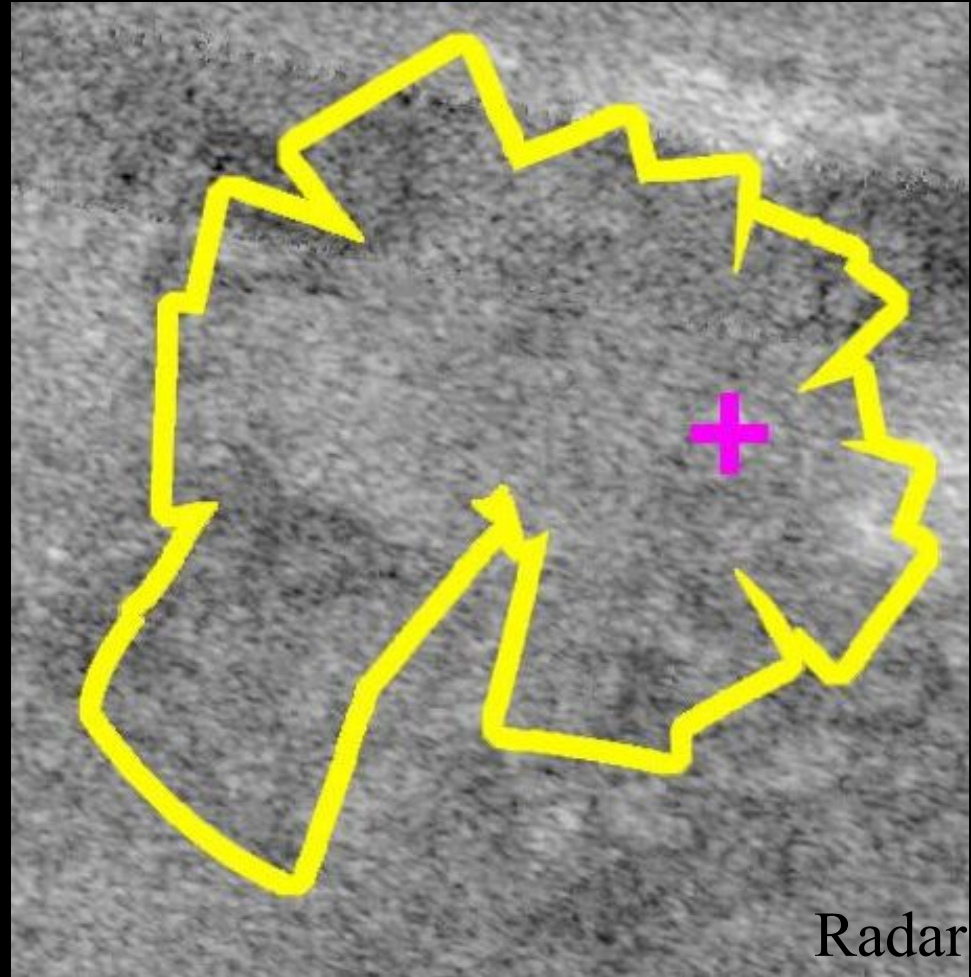


radar (octobre 2005)

Le moins qu'on puisse dire, c'est que la comparaison ne saute pas aux yeux ! Mais n'oubliez pas : en I.R. noir ou blanc veut dire « absorbe ou renvoie les IR » ; en radar, noir ou blanc veut dire « lisse ou rugueux »



Lumière visible



Radar

**Comparaison « image en lumière visible »
(sombre = sombre et clair = clair) et
« radar » (sombre = lisse et clair = rugueux).**

et Titan est loin

**Il reste du travail à faire,
d'avoir livré tous ses**

La suite pour Titan :

- Attendons les résultats des analyses de l'ESA, atmosphériques en particulier.
- Attendons les prochains survols rapprochés, avec vues IR sur les parties non encore couvertes, avec « images » radar...
- Ce sera les 26 décembre, 15 janvier ... et ainsi de suite, avec au total une quarantaine de passages jusqu'en 2008 !

On vit une époque formidable !

Le programme des 3 années à venir

Cassini Encounters with Saturn's Moons

Orbit	Moon	Encounter Date	Altitude
0	<u>Phoebe</u>	June 11, 2004	1,997 km (1,241 mi)
A	Titan	October 26, 2004	1,200 km (746 mi)
B	Titan	December 13, 2004	2,358 km (1,465 mi)
B	Probe Release	December 24, 2004	n/a km (n/a mi)
C	<u>Iapetus</u>	January 1, 2005	65,000 km (40,398 mi)
C	Titan	January 14, 2005	60,000 km (37,290 mi)
3	Titan	February 15, 2005	950 km (590 mi)
3	<u>Enceladus</u>	February 17, 2005	1,179 km (733 mi)
4	<u>Enceladus</u>	March 9, 2005	500 km (311 mi)
5	Titan	March 31, 2005	2,523 km (1,568 mi)
6	Titan	April 16, 2005	950 km (590 mi)
11	<u>Enceladus</u>	July 14, 2005	1,000 km (622 mi)
12	<u>Mimas</u>	August 2, 2005	45,100 km (28,030 mi)
13	Titan	August 22, 2005	4,015 km (2,495 mi)
14	Titan	September 7, 2005	950 km (590 mi)
15	<u>Tethys</u>	September 24, 2005	33,000 km (20,510 mi)
15	<u>Hyperion</u>	September 26, 2005	990 km (615 mi)
16	<u>Dione</u>	October 11, 2005	500 km (311 mi)
17	Titan	October 28, 2005	1,446 km (899 mi)
18	<u>Rhea</u>	November 26, 2005	500 km (311 mi)
19	Titan	December 26, 2005	10,429 km (6,482 mi)
20	Titan	January 15, 2006	2,042 km (1,269 mi)
21	Titan	February 27, 2006	1,812 km (1,126 mi)
22	Titan	March 18, 2006	1,947 km (1,210 mi)
23	Titan	April 30, 2006	1,853 km (1,152 mi)
24	Titan	May 20, 2006	1,879 km (1,168 mi)
25	Titan	July 2, 2006	1,911 km (1,188 mi)
26	Titan	July 22, 2006	950 km (590 mi)
28	Titan	September 7, 2006	950 km (590 mi)
29	Titan	September 23, 2006	950 km (590 mi)
30	Titan	October 9, 2006	950 km (590 mi)
31	Titan	October 25, 2006	950 km (590 mi)
35	Titan	December 12, 2006	950 km (590 mi)
36	Titan	December 28, 2006	1,500 km (932 mi)
37	Titan	January 13, 2007	950 km (590 mi)
38	Titan	January 29, 2007	2,776 km (1,725 mi)
39	Titan	February 22, 2007	953 km (592 mi)
40	Titan	March 10, 2007	956 km (594 mi)
41	Titan	March 26, 2007	953 km (592 mi)
42	Titan	April 10, 2007	951 km (591 mi)
43	Titan	April 26, 2007	951 km (591 mi)
44	Titan	May 12, 2007	950 km (590 mi)
45	Titan	May 28, 2007	2,425 km (1,507 mi)
46	Titan	June 13, 2007	950 km (590 mi)
47	<u>Tethys</u>	June 27, 2007	16,200 km (10,068 mi)
47	Titan	June 29, 2007	1,942 km (1,207 mi)
48	Titan	July 19, 2007	1,302 km (809 mi)
49	<u>Rhea</u>	August 30, 2007	5,100 km (3,170 mi)
49	Titan	August 31, 2007	3,227 km (2,006 mi)
49	<u>Iapetus</u>	September 10, 2007	1,000 km (622 mi)
50	Titan	October 2, 2007	950 km (590 mi)
52	Titan	November 19, 2007	950 km (590 mi)
53	Titan	December 5, 2007	1,300 km (808 mi)
54	Titan	December 20, 2007	953 km (592 mi)
55	Titan	January 5, 2008	949 km (590 mi)
59	Titan	February 22, 2008	959 km (596 mi)
61	<u>Enceladus</u>	March 12, 2008	995 km (618 mi)
62	Titan	March 25, 2008	950 km (590 mi)
67	Titan	May 12, 2008	950 km (590 mi)
69	Titan	May 28, 2008	1,316 km (818 mi)

Combien ça coûte ?

2,5 milliards d'€, dont 500 millions pour l'Europe.
Cela fait en gros 100 millions pour la France.

Rappel : Canal Plus paye/an 600 millions pour les droits du football à la télé.

Cela correspond à 2 € par Français, étalés sur 10 ans, soit approximativement 20 centimes par Français et par an.

La moindre pub que vous recevez par la poste dans votre boîte aux lettres coûte au moins 2 fois plus cher, rien qu'en frais de timbre.

Vaut-il mieux une pub de plus dans votre boîte, ou faire une autre mission spatiale ?

C'est fini pour aujourd'hui .

Merci beaucoup !

