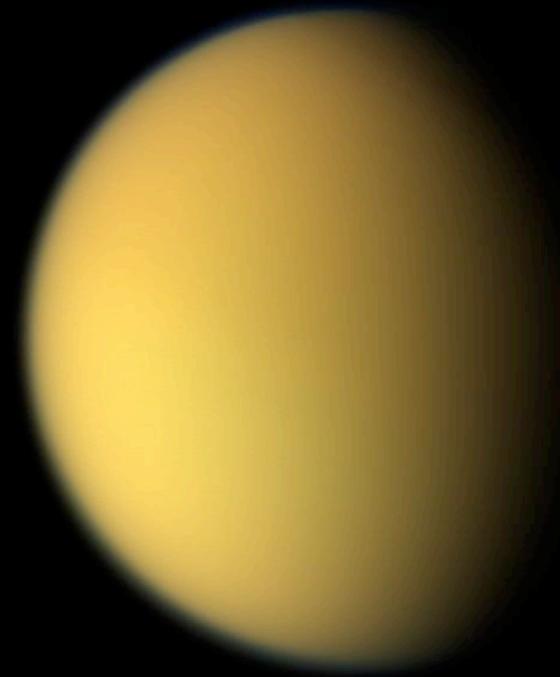


# La mission Cassini/Huygens explore Titan

Bruno Bézard

LESIA, Observatoire de Paris-Meudon

# Titan



- Le plus gros des satellites de Saturne
  - Rayon moyen = 2575 km
  - Masse = 0,02 fois la Terre
- Le seul satellite du système solaire ayant une atmosphère épaisse
  - Pression au sol = 1,47 bar
  - Température au sol = 94 K
  - 95% d'azote (N<sub>2</sub>), 5% de méthane (CH<sub>4</sub>)
- Photochimie complexe
  - Composés organiques (hydrocarbures, nitriles)
  - Brume photochimique orangée obscurcissant la surface
  - Peut-être des analogies avec la chimie prébiotique sur Terre (mais pas d'eau liquide !)

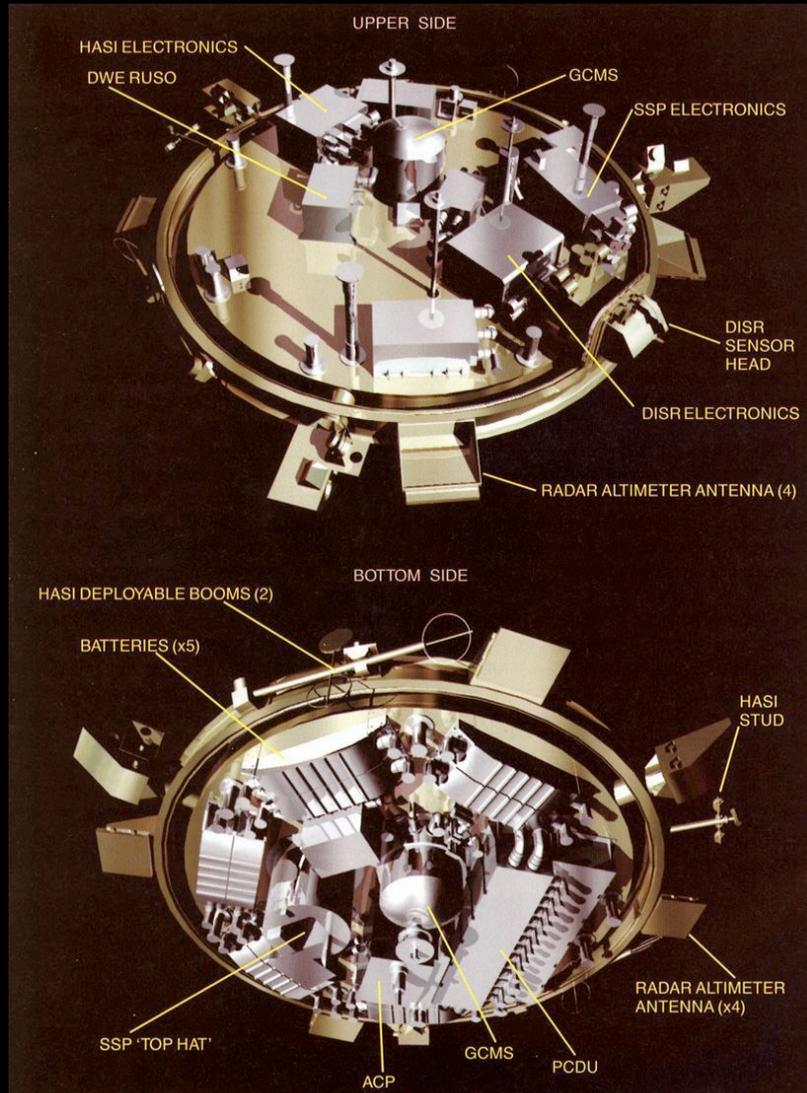
# La mission Cassini/Huygens



- Collaboration ESA/NASA
  - Orbiteur *Cassini* (NASA)
  - Sonde *Huygens* (ESA)
- 19 pays participants
  - 120 scientifiques en Europe\*
  - 134 scientifiques aux Etats-Unis

\* : dont 50 français environ

# La sonde *Huygens*



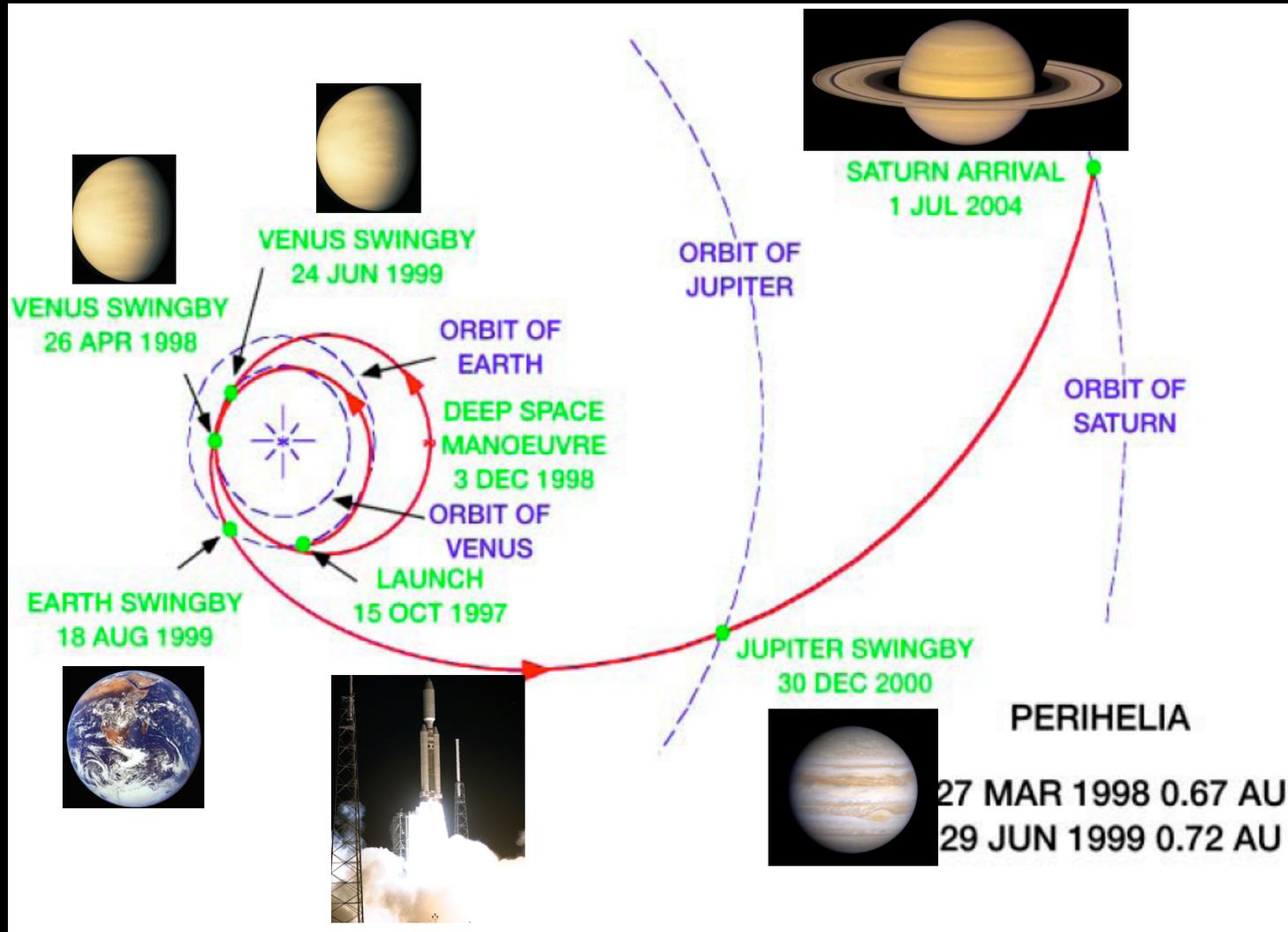
- 6 expériences à bord :

- Atmospheric Structure Instrument (**HASI**)
  - Pression, température, propriétés électriques
- Gas Chromatograph & Mass Spectrometer (**GCMS**)
  - Composition chimique du gaz et des aérosols atmosphériques
- Aerosol Collector and Pyroliser (**ACP**)
  - Collecte et pyrolyse des aérosols
- Descent Imager / Spectral Radiometer (**DISR**)
  - Spectroscopie et imagerie
- Surface Science Package (**SSP**)
  - Structure de la surface
- Doppler Wind Experiment (**DWE**)
  - Masse : 318 kg
  - Diamètre (bouclier) : 2,7 m
  - Vitesse du vent

24/02/06

Séminaire campus parisien

# La trajectoire interplanétaire



# La descente dans Titan

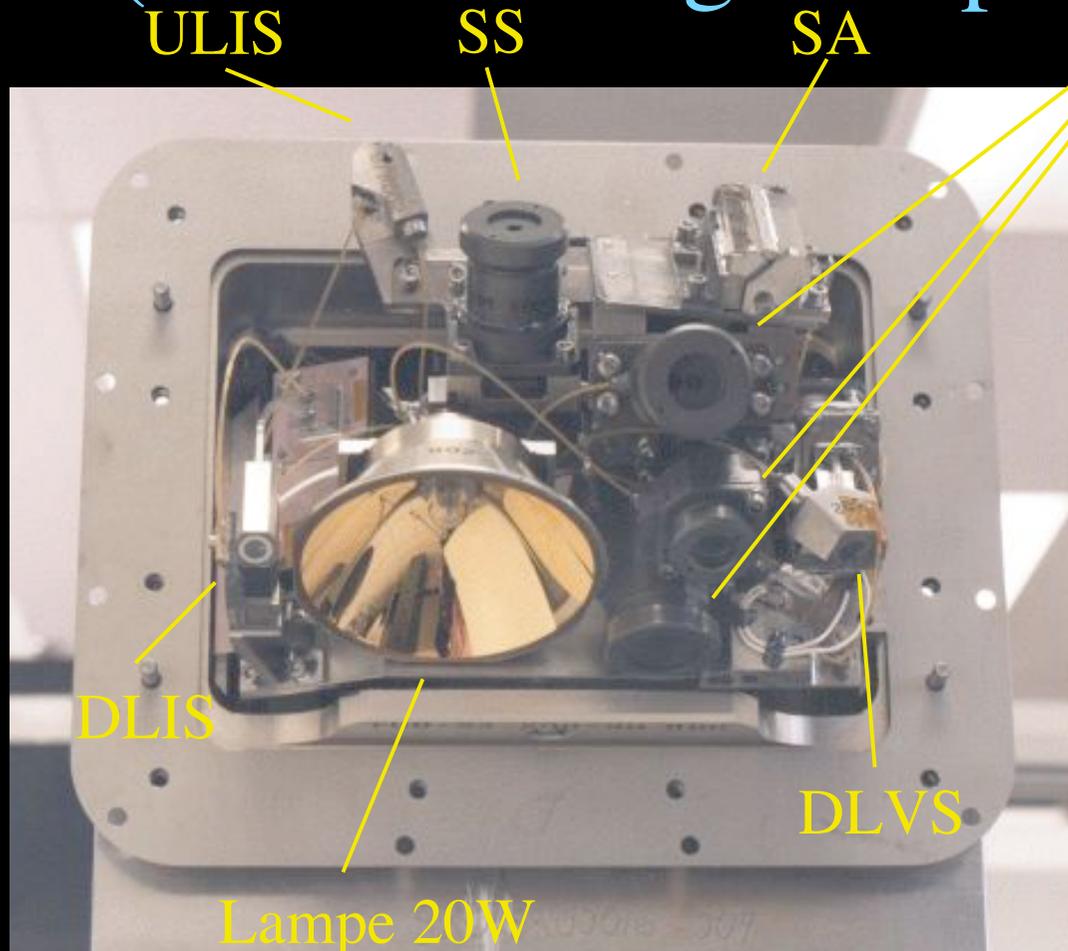


24/02/06

Séminaire campus parisien

# L'instrument DISR

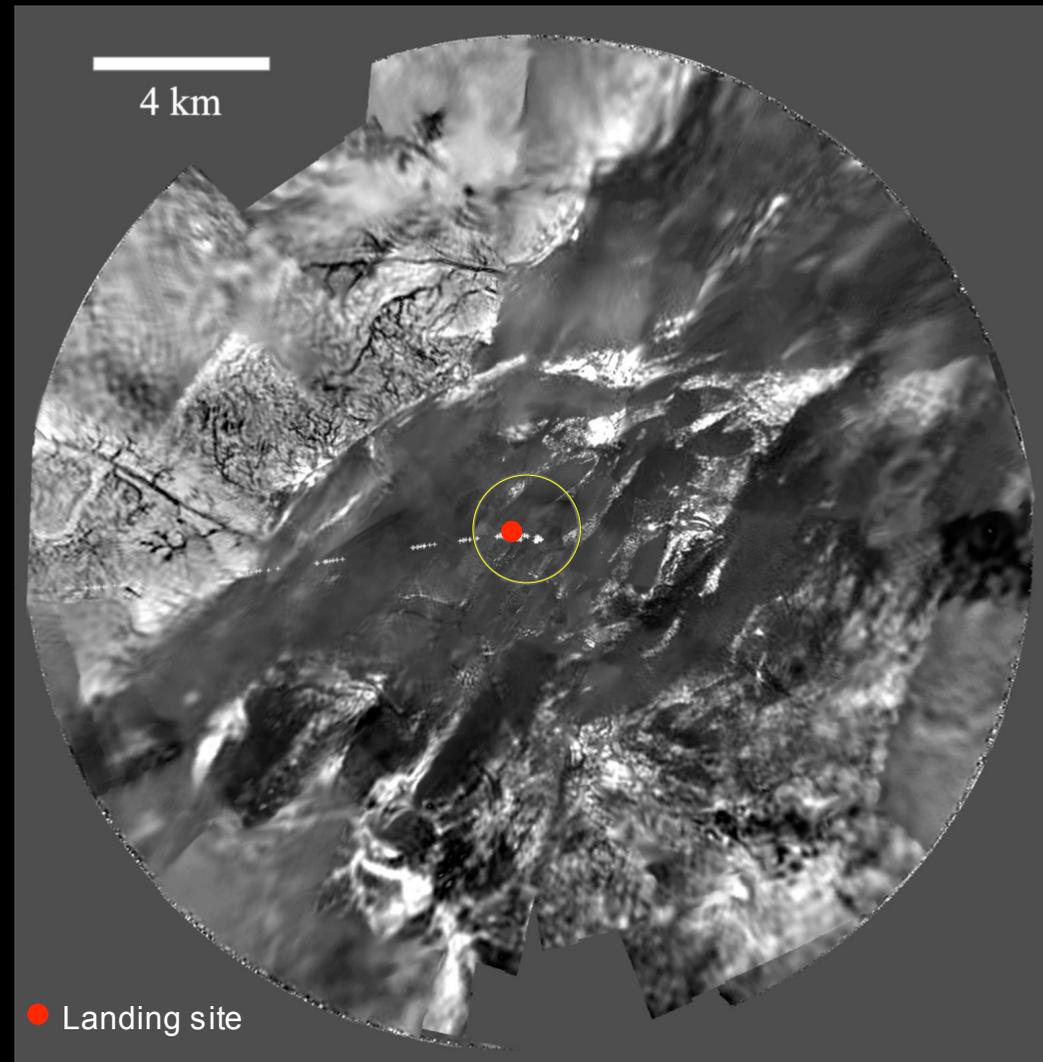
## (Descent Imager / Spectral Radiometer)



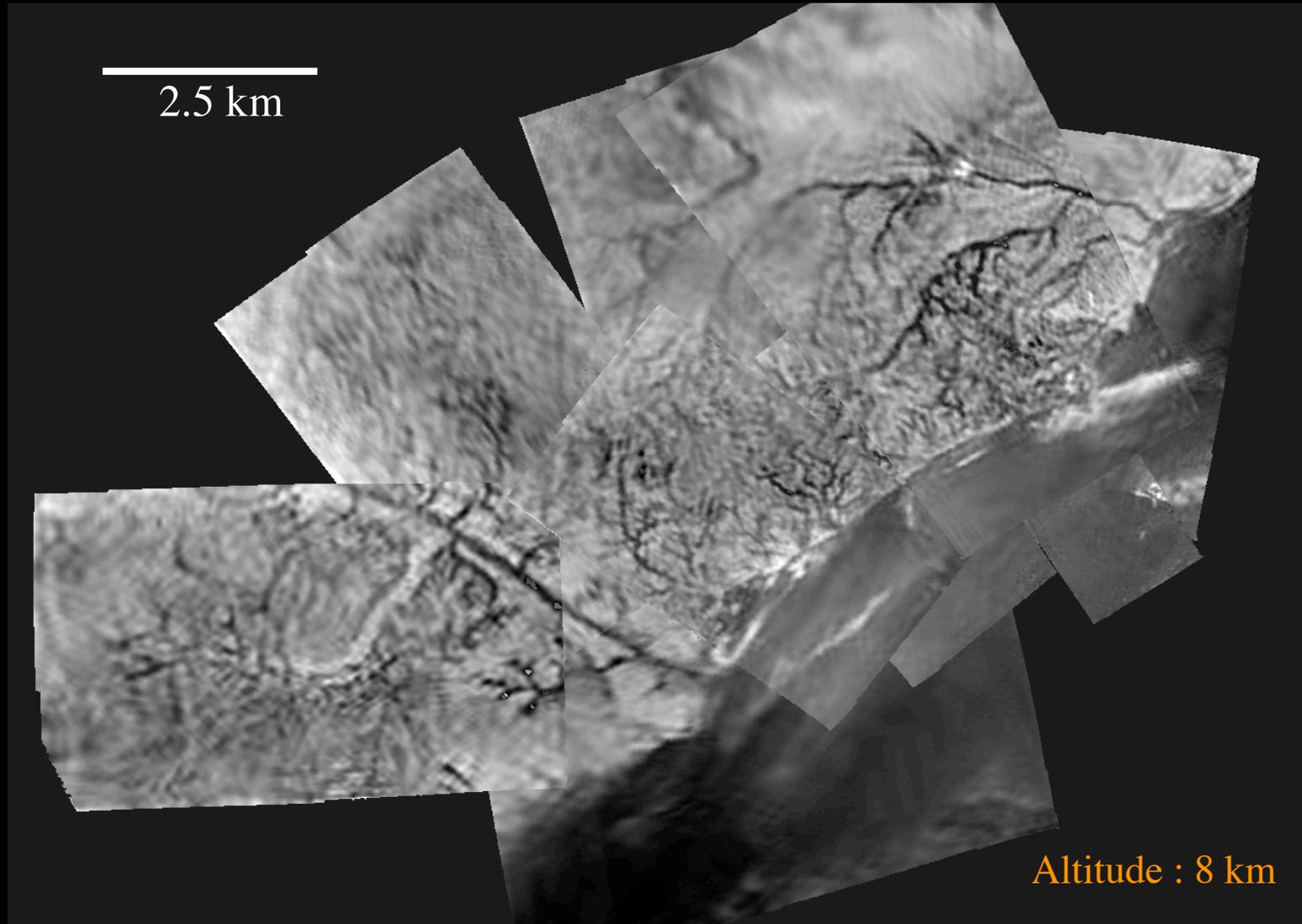
- 3 caméras
  - HRI, MRI, SLI
- 2 spectromètres IR
  - ULIS, DLIS  
(0,85-1,7  $\mu\text{m}$ )
- 2 spectromètres visibles
  - ULVS, DLVS  
(0,48-0,96  $\mu\text{m}$ )
- Photomètres violets
  - ULV, DLV (0,35-0,48  $\mu\text{m}$ )
- 4 auréoles solaires
  - SA 1, 2, 3, 4
- Senseur solaire (SS)

# DISR mosaic: 17-8 km

- Earth-like desert topography with evidence of prior fluid flow
- Brighter high terrain cut by deep channels and lower, flat, darker terrain of dry lakebed
  - Deep, narrow, branched channel system implies precipitation (likely methane rain)
  - Short, stubby channels may imply springs

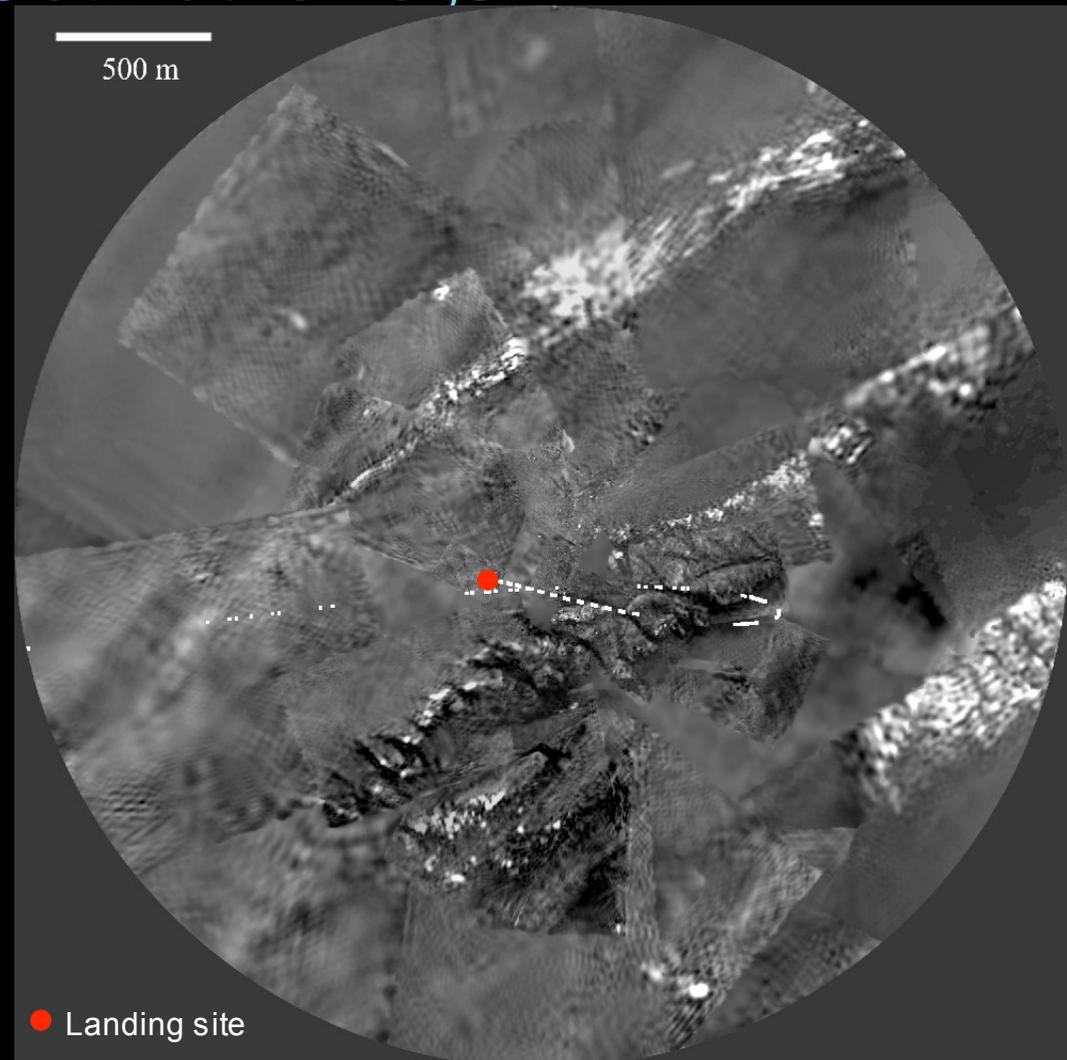


# View of “shoreline” and channels



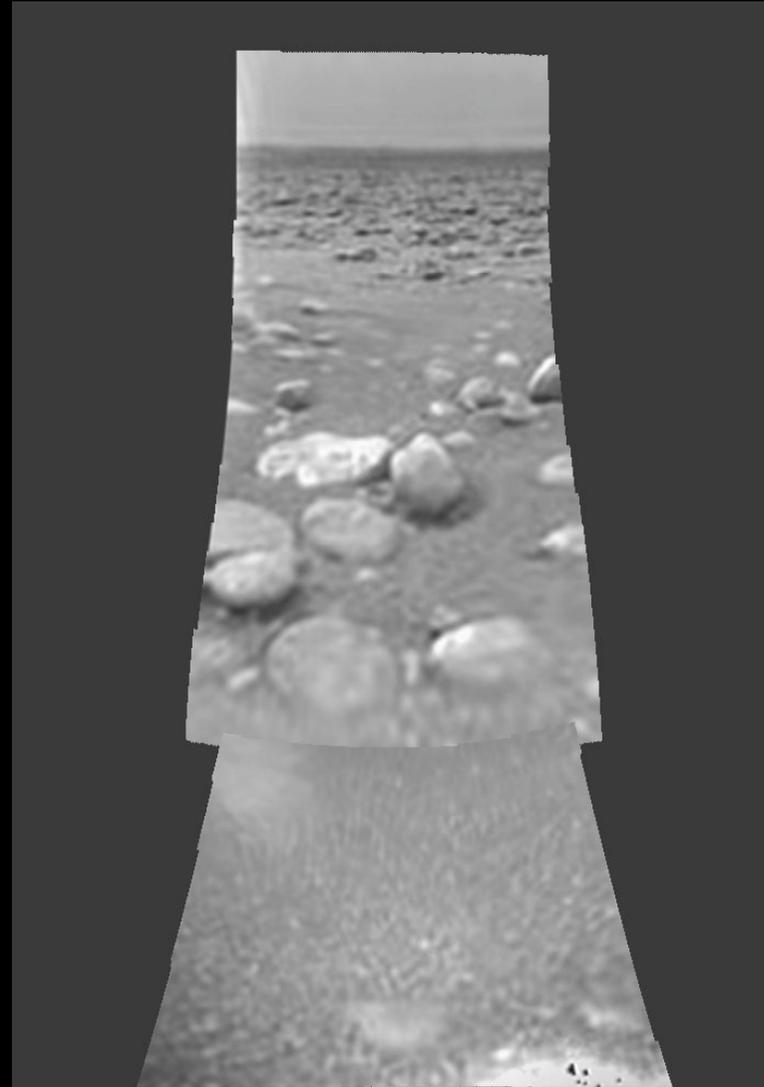
# DISR mosaic: 7-0,5 km

- Highest resolution mosaic of the landing site (seen from 7 to 0.5 km)
- Ridge near landing site cut by a dozen dark channels
- South-easterly flow deposits or exposes brighter material (water ice?) upstream



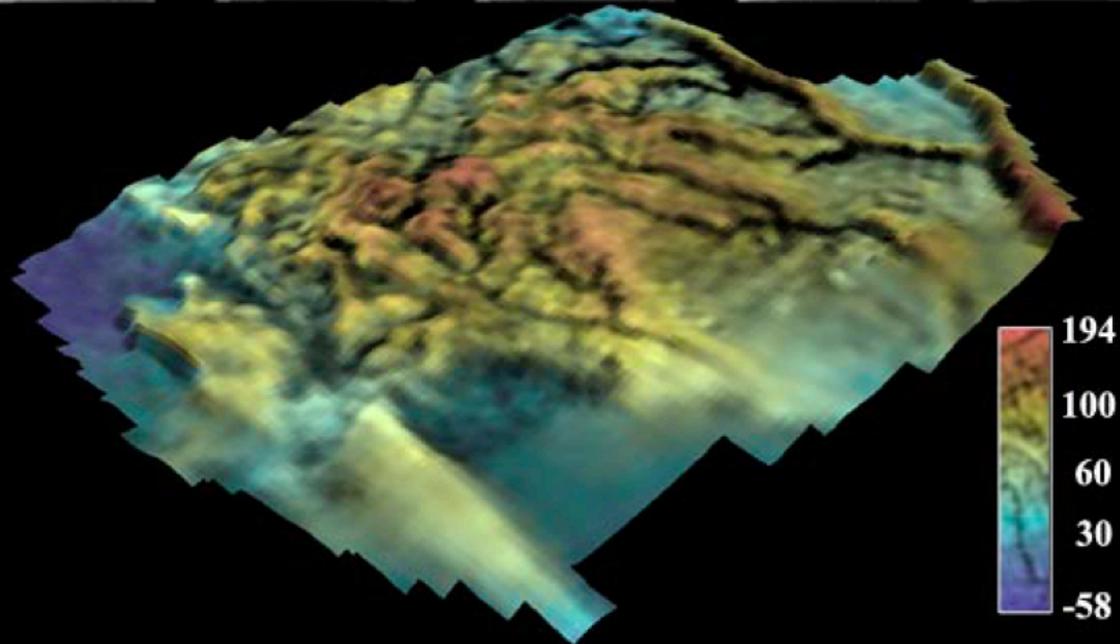
# The view from Titan's surface

- Dry lakebed with rounded cobbles some 15 cm in diameter
- Darker fine-grained substrate (“ice gravel”)
- No movement seen during more than one hour on surface (other than slight probe settling)



# Topographic model of highland region

- Typical river beds are ~200m across, 100m deep with steep sides
- Slopes approaching 30°
- Suggests rapid erosion by flows

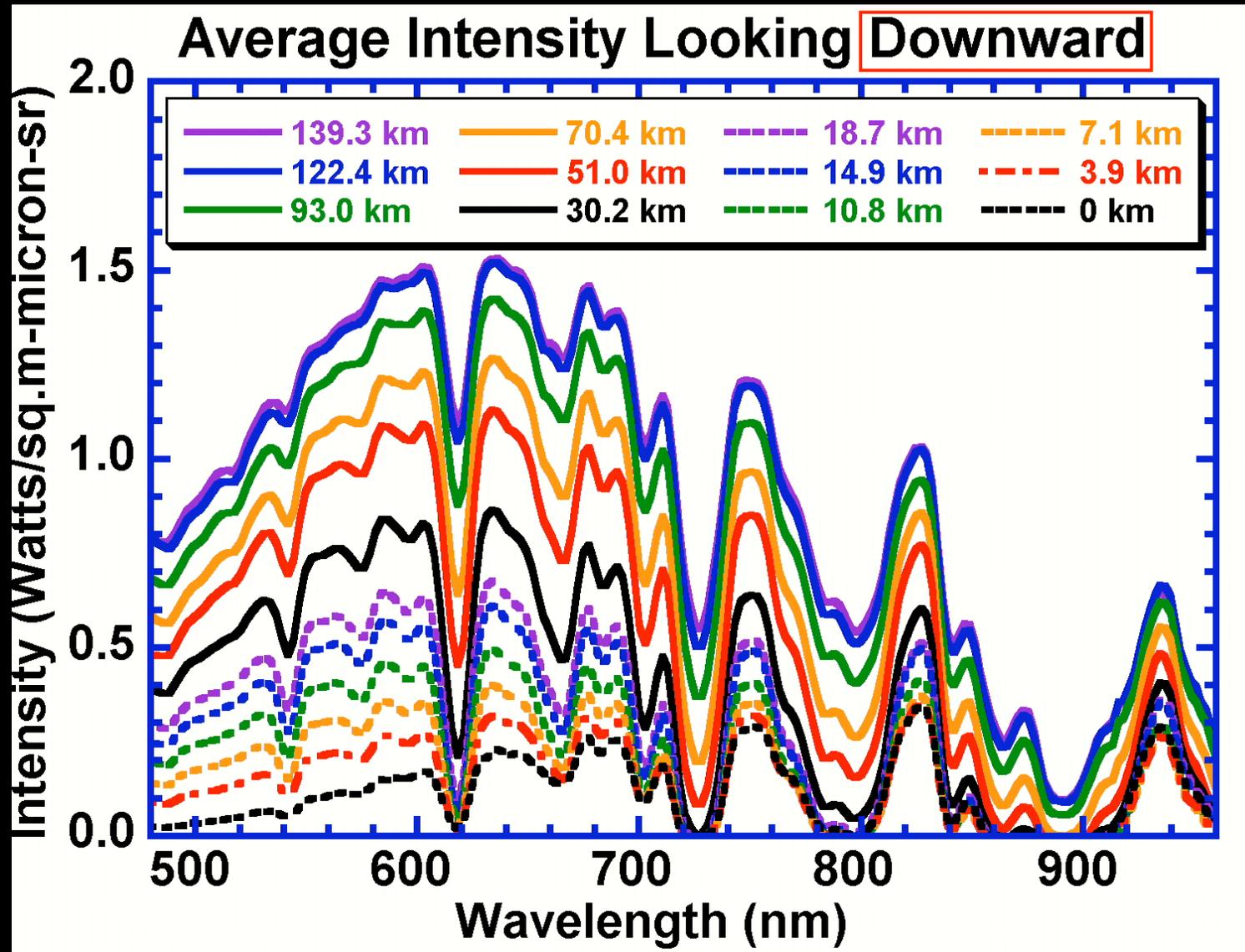


2.5x3.5 km area

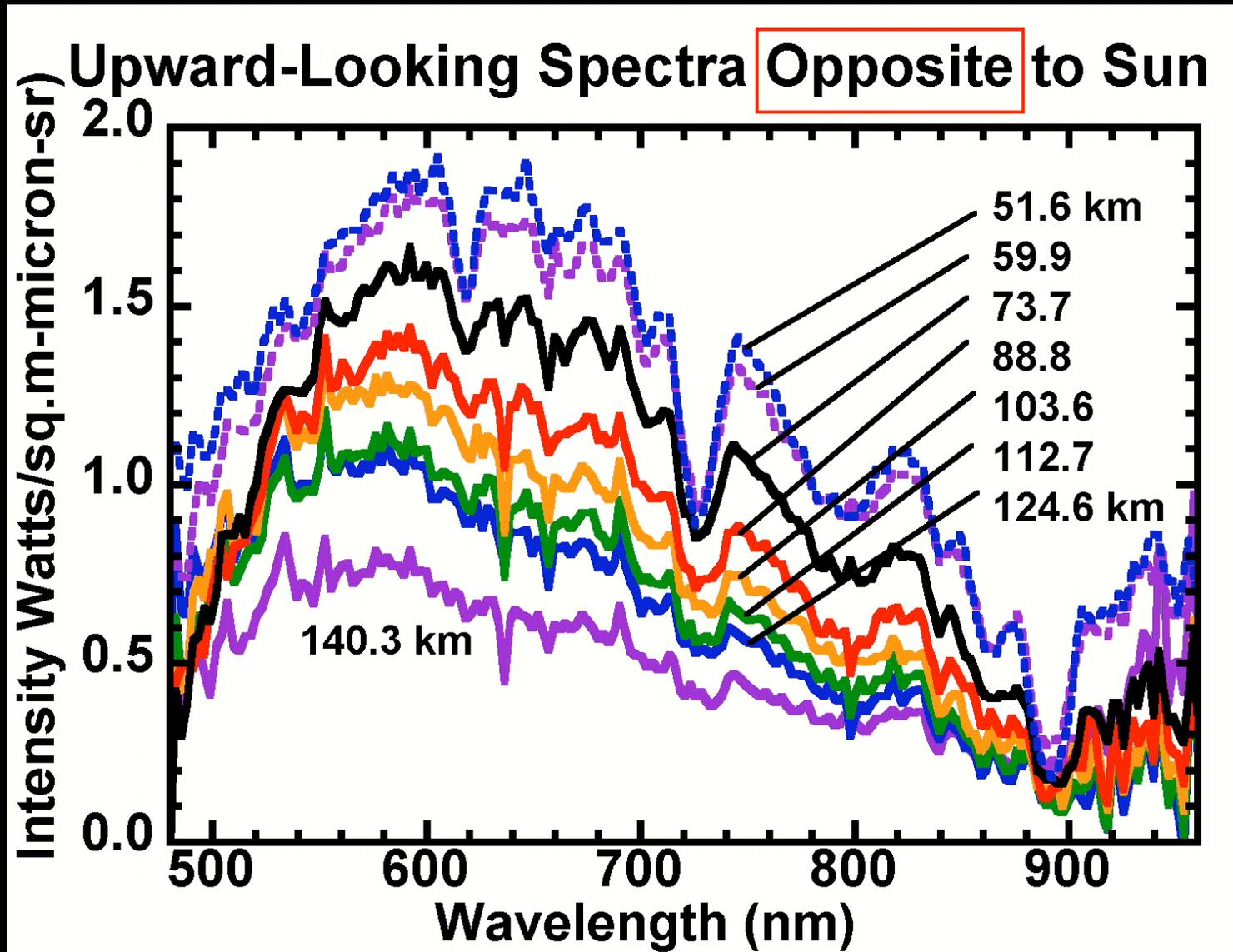
# Titan : processus géophysiques

- Processus géologiques semblables à ceux qui se déroulent sur Terre, mais...
  - Eau → Méthane
  - Roches (silicates) → Glace d'eau
  - Alluvions → dépôts de particules photochimiques
  - *Volcanisme* : lave → glace d'eau et d'ammoniaque

# Spectres visibles DLVS

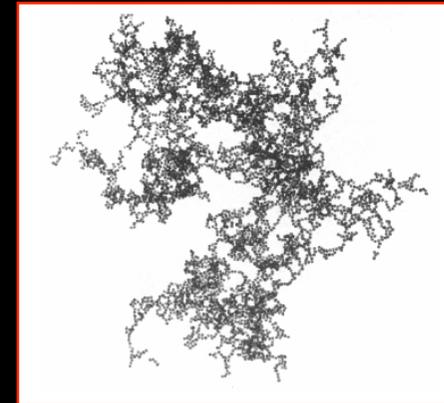


# Spectres visibles ULVS

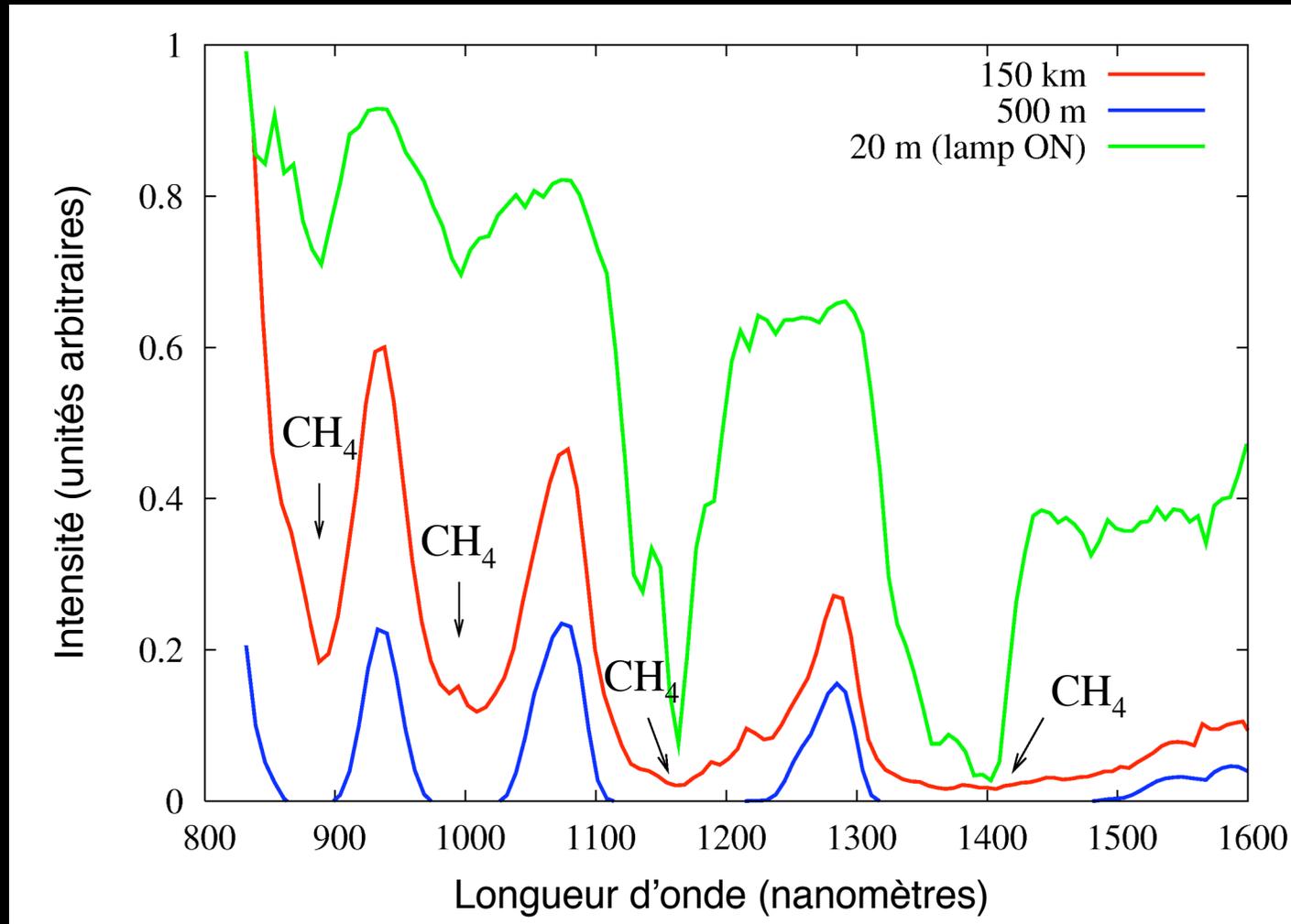


# Titan : aérosols

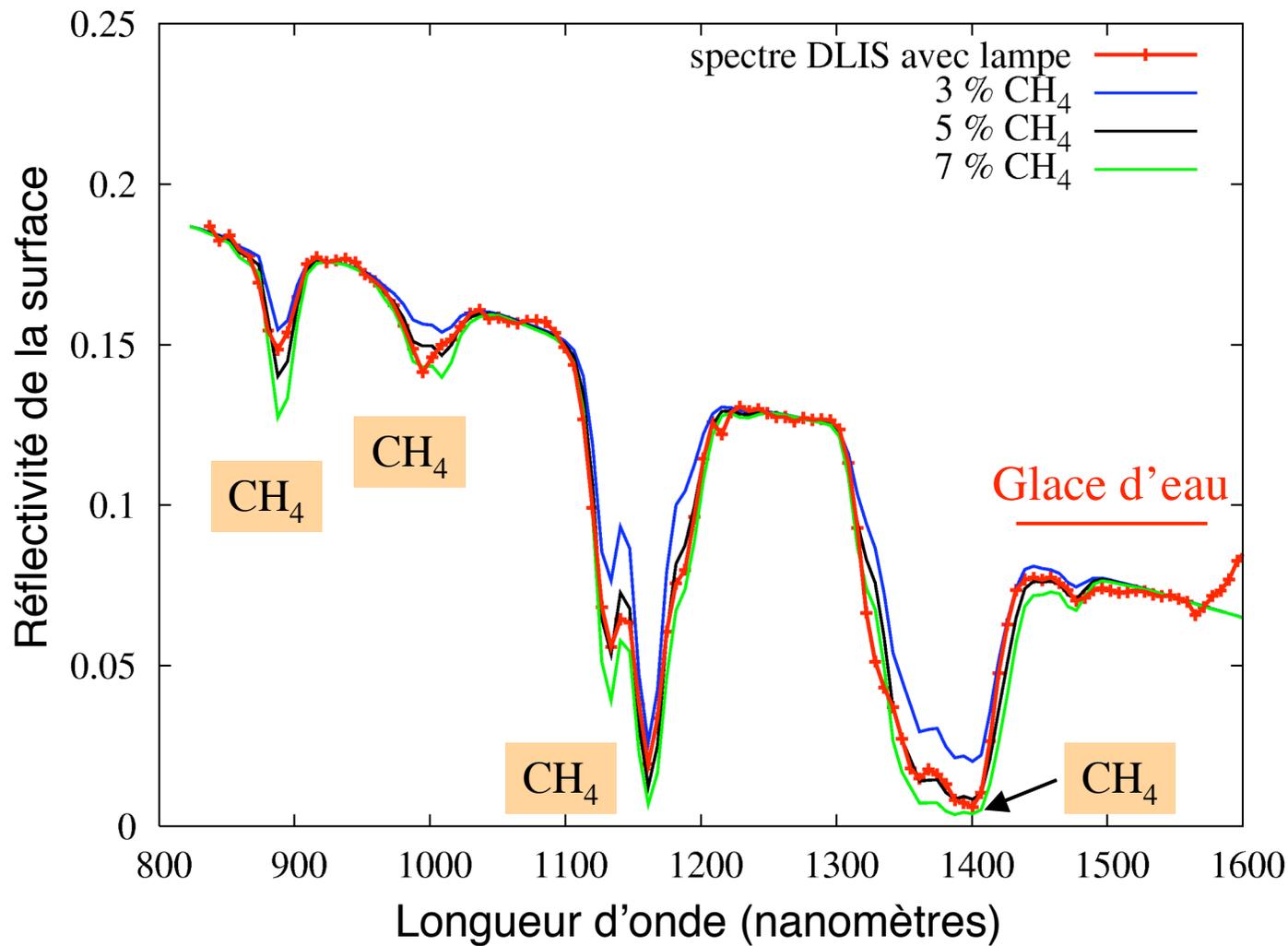
- Aérosols présents du début de la descente jusqu'à la surface
- Opacité de la brume
  - *Epaisseur optique* :
    - Environ 4-5 dans le vert (530 nm), 3 dans le rouge (750 nm)
    - Dans l'infrarouge : environ 2 à 940 nm, 0,5 à 1500 nm
- Taille
  - Particules irrégulières, "fractales"
    - Quelques centaines de monomères par particule
    - Monomère de rayon  $\sim 0,05 \mu\text{m}$
- Concentration
  - Croît légèrement au cours de la descente
  - Quelques dizaines de particules par  $\text{cm}^3$



# Spectres infrarouges DLIS (Downward Looking Infrared Spectrometer)

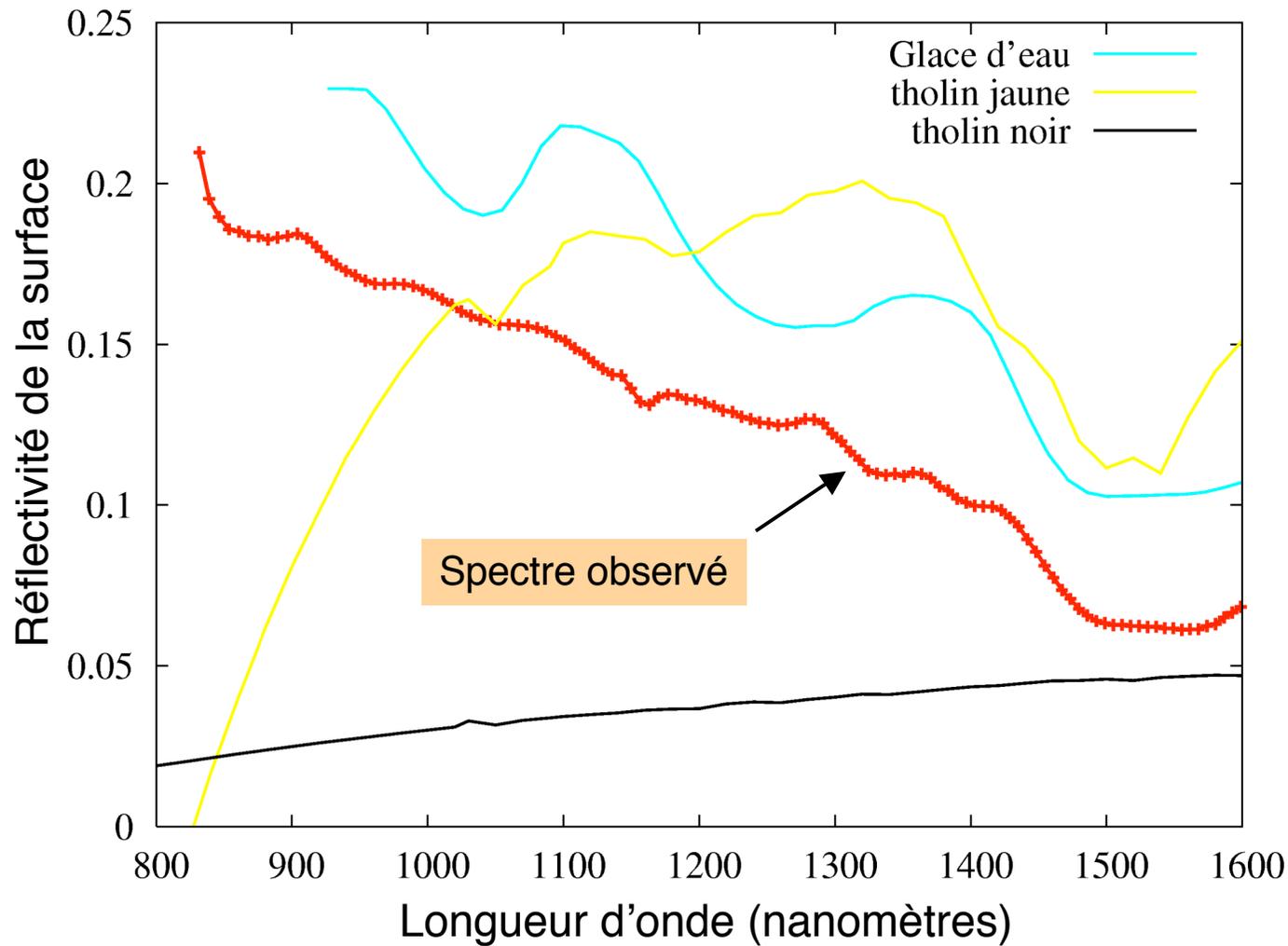


# Spectre DLIS avec lampe (20 m)



- Méthane : environ 5% près de la surface
- Surface :
  - matériau sombre
  - absorption probable par la glace d'eau

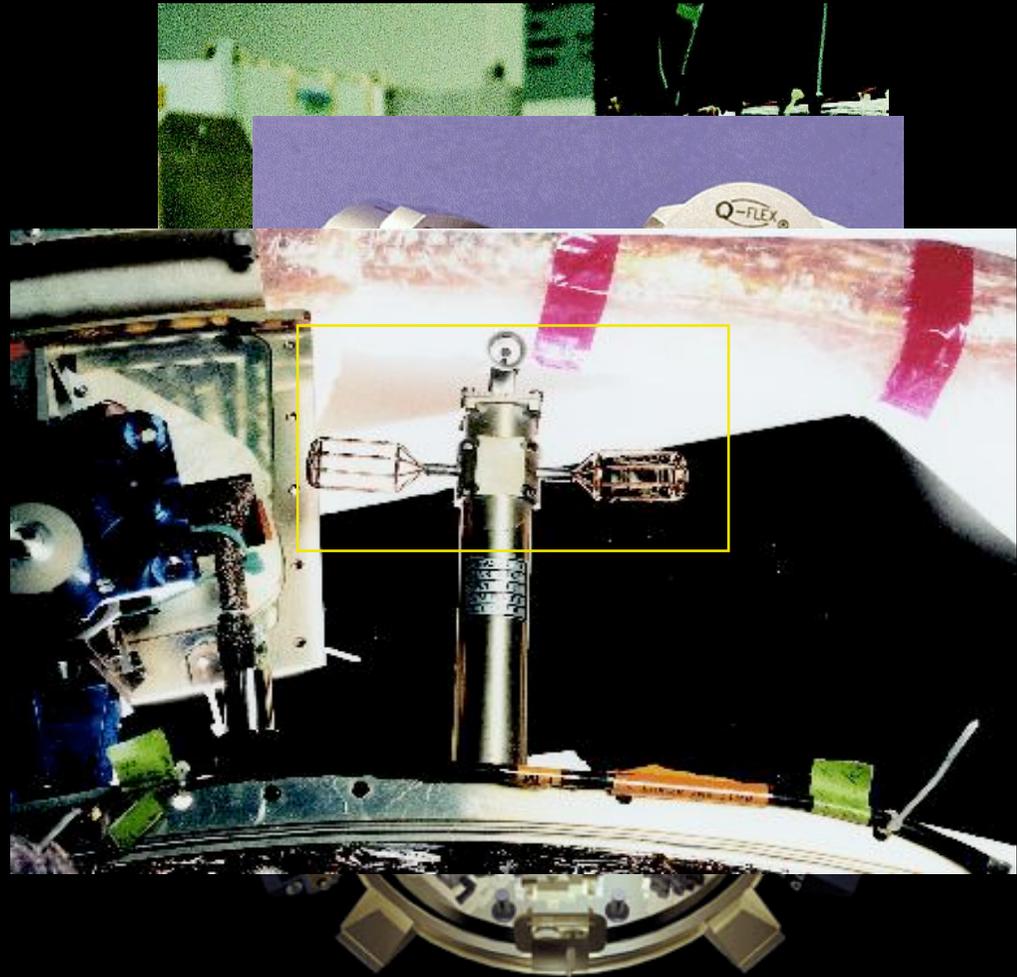
# Spectre DLIS avec lampe (20 cm)



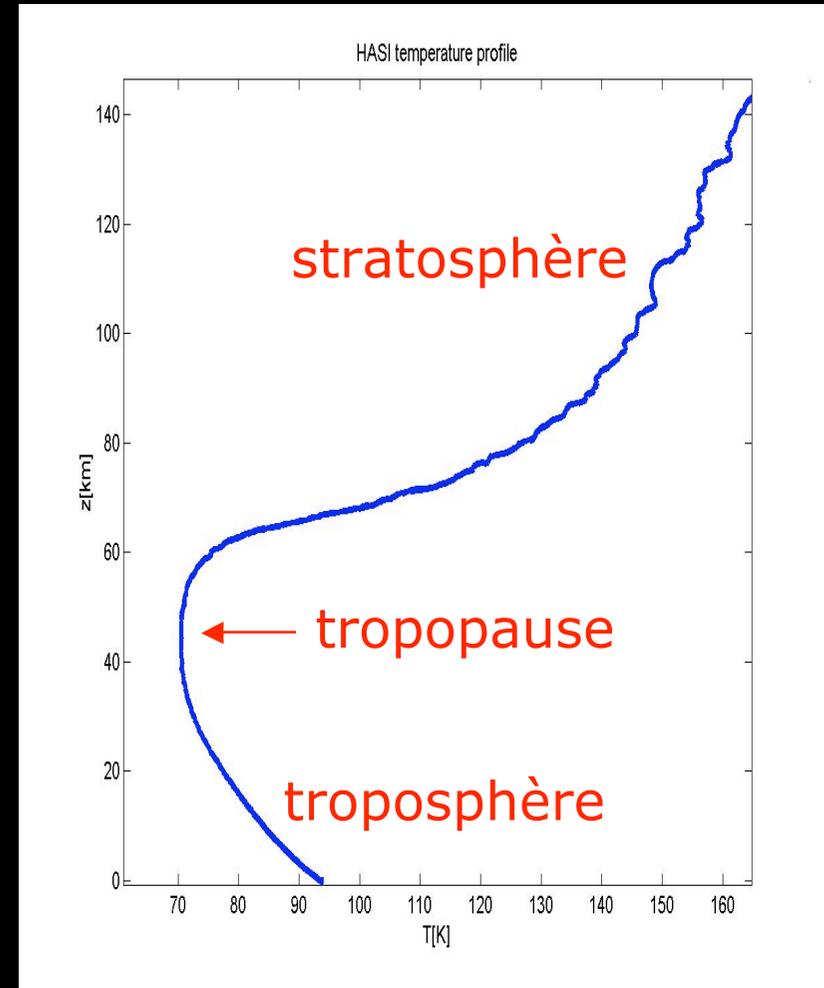
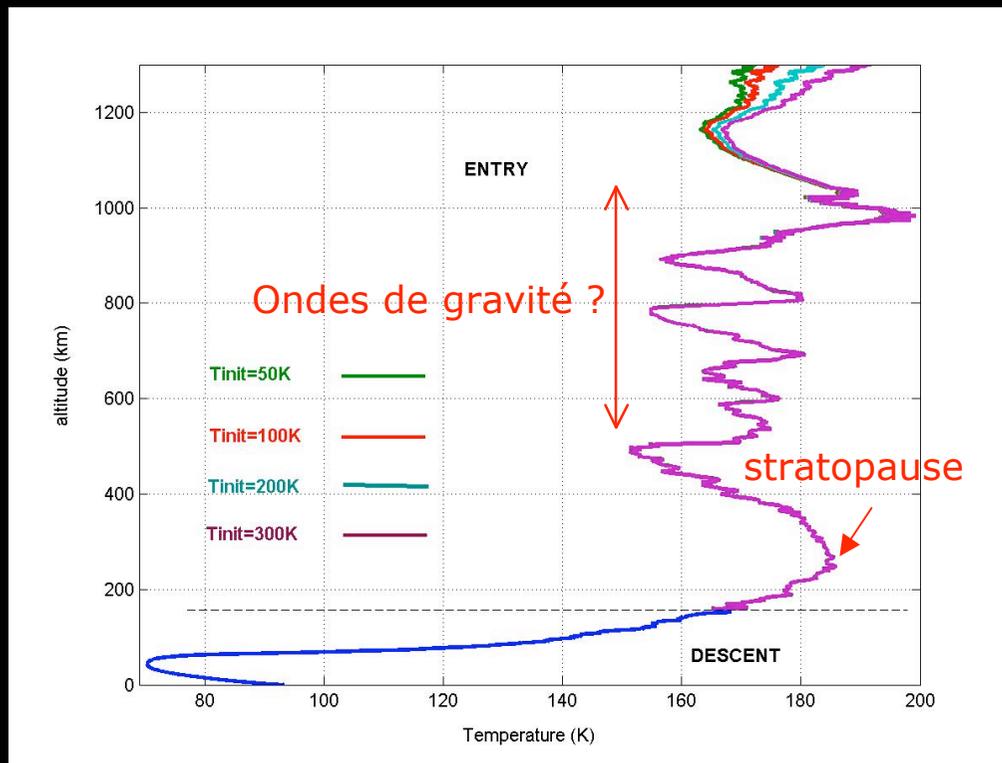
- Glace d'eau “sale” à la surface
- La réflectivité décroît continûment avec la longueur d'onde dans l'infrarouge : quel corps ?

# L'instrument HASI (Atmospheric Structure Instrument)

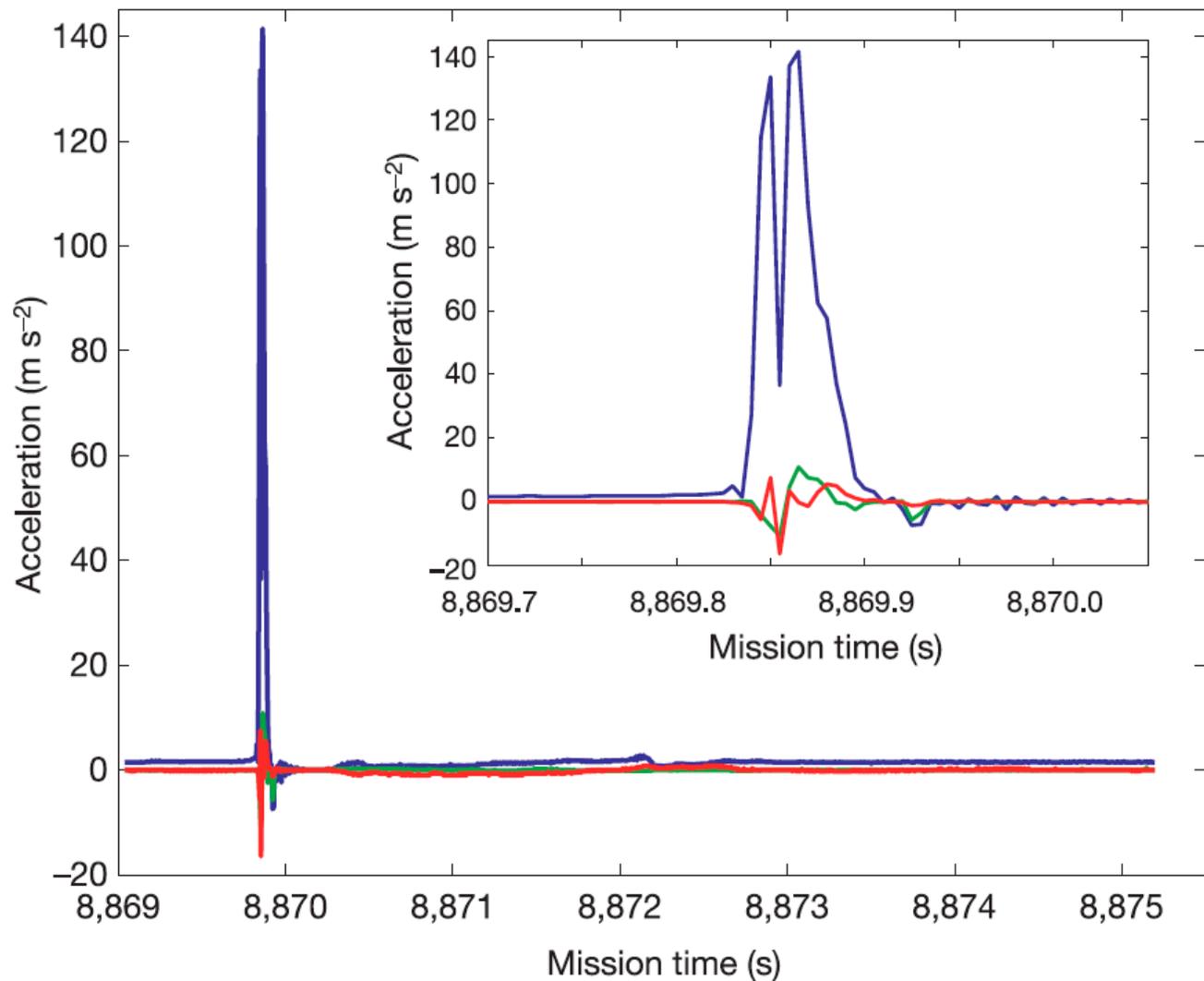
- Responsable (PI) :  
M. Fulchignoni (Obs. Paris)
- Accélération
- Pression
- Température
- Propriétés électriques et acoustiques



# HASI (Atmospheric Structure Instrument)



# HASI : impact

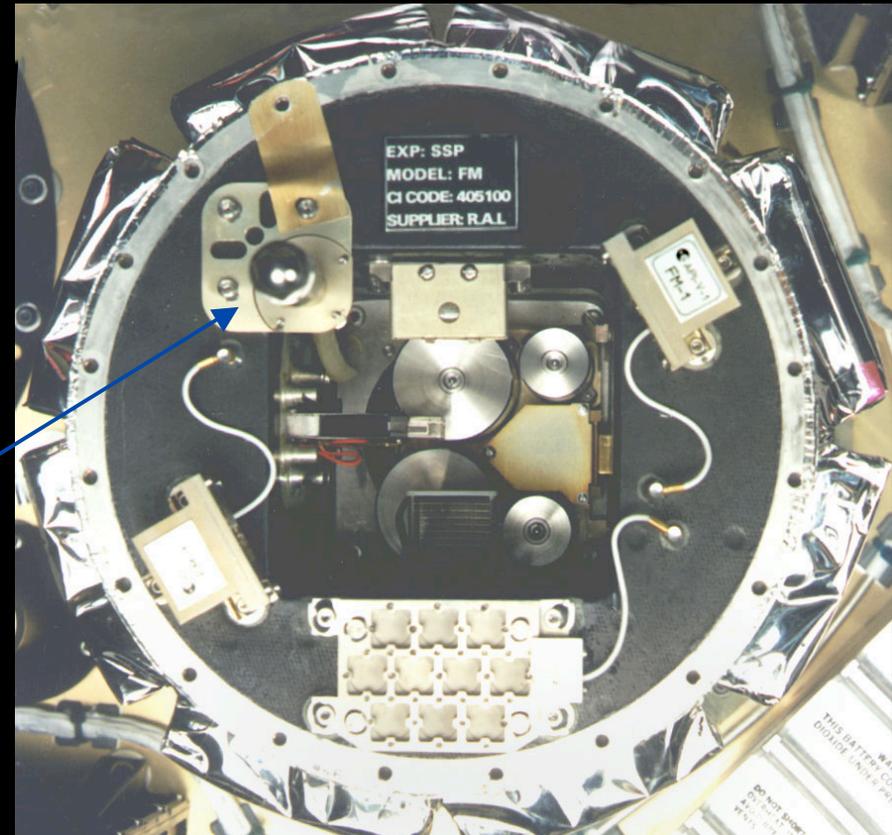


- Vitesse d'impact :  
4,3 m s<sup>-1</sup>  
(16 km/h)
- Choc "mou" :  
15 g

# SSP (Surface Science Package)

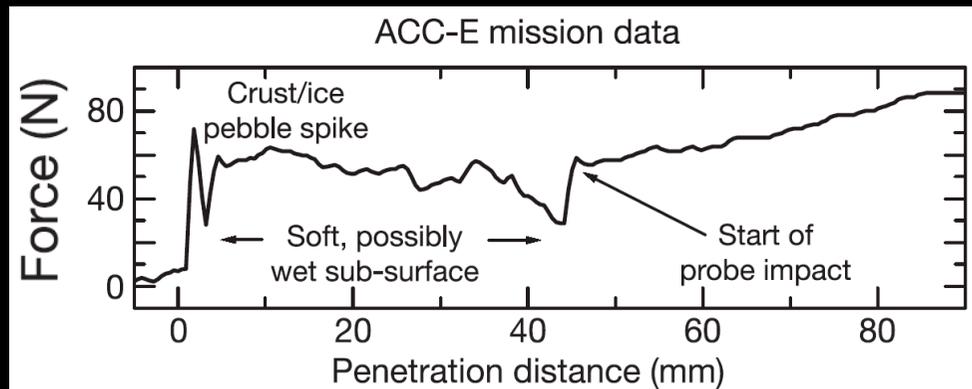
- Responsable (PI) :  
J. Zarnecki (Planetary and Space Sciences Research Institute, Royaume Uni)
- 9 senseurs

Accéléromètre  
externe  
(pénétrateur)

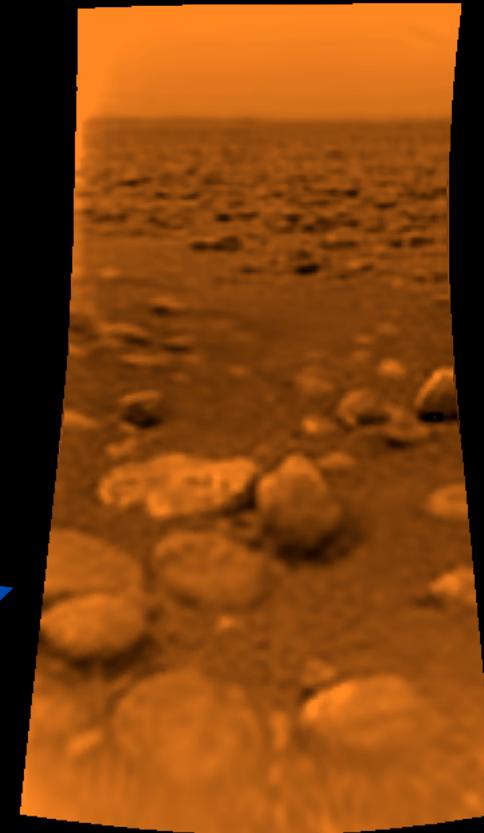


# SSP (Surface Science Package)

- Premier contact dur
- Surface solide non consolidée (consistance du sable mouillé)



- Hypothèse :
  - La sonde a d'abord heurté un des galets de glace
  - Elle s'est posée sur un sol "sableux" (particules de glace) imbibé de méthane liquide

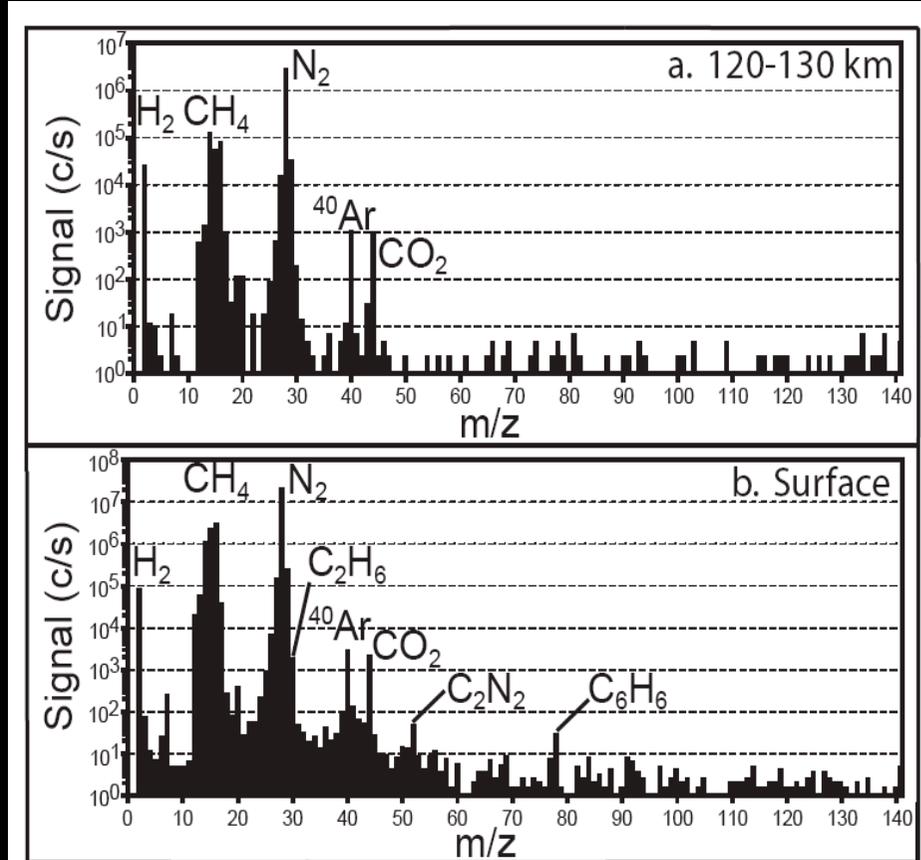


# GCMS : résultats principaux (I)

- Détection de  $^{40}\text{Ar}$  (radiogénique)
  - Produit de désintégration du  $^{40}\text{K}$  (présent dans le cœur de Titan)
  - Existence d'un dégazage passé important (cryo-volcanisme)

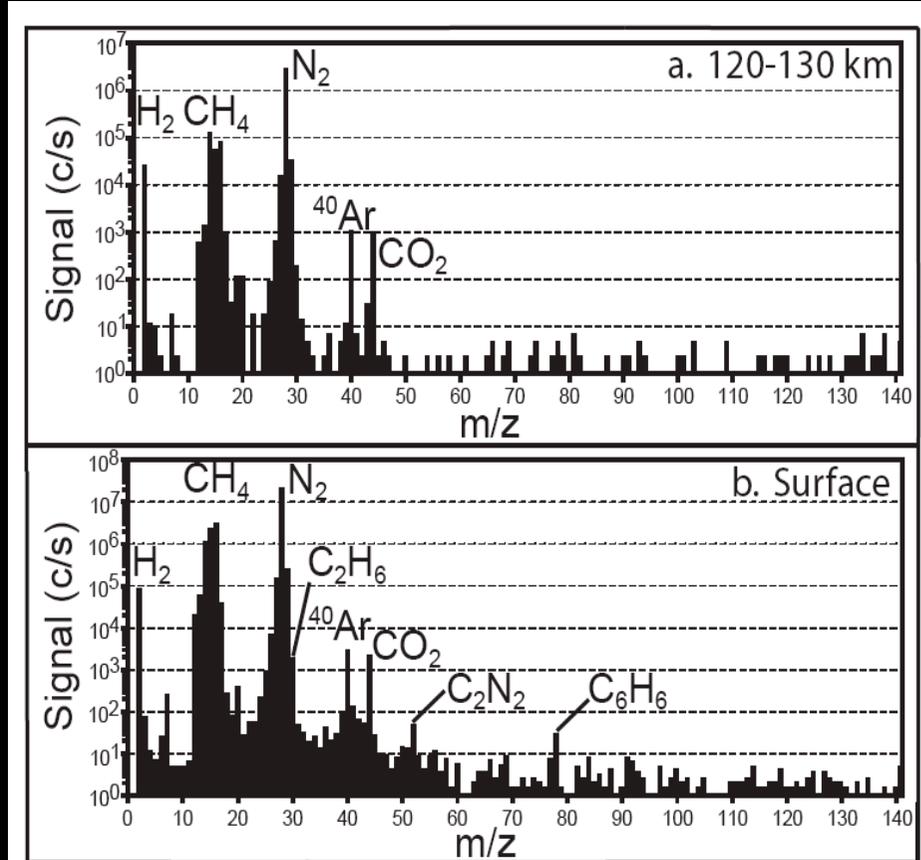
- Gaz évaporés de la surface

- Chauffage du sol par une valve du GCMS
- Augmentation de 40% du méthane gazeux
- Détection de l'éthane et d'autres constituants (benzène, gaz carbonique, cyanogène ?)



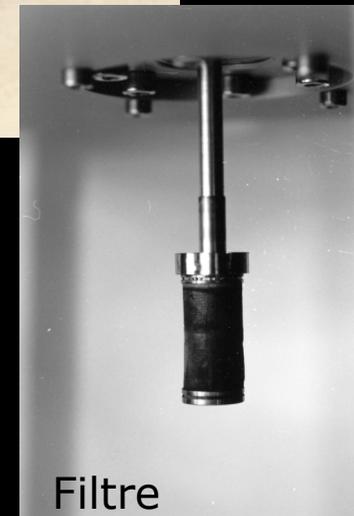
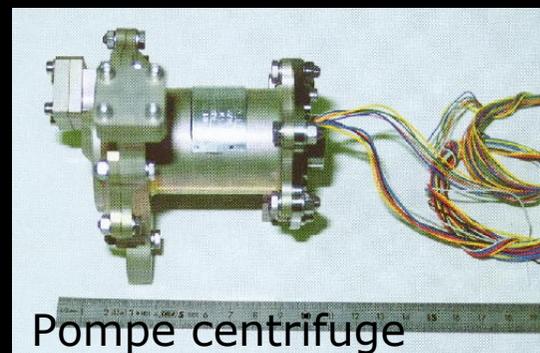
# GCMS : résultats principaux (II)

- Faible abondance des gaz rares primordiaux ( $^{36}\text{Ar}$ , Kr, Xe)
  - $\Rightarrow$  quasiment pas piégés dans les planétésimaux qui ont formé Titan
  - L'azote (N) dans les planétésimaux n'était pas sous forme d'azote moléculaire ( $\text{N}_2$ ) mais plutôt sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )
- Rapport  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} = 0,67 \oplus$ 
  - Plusieurs fois la masse actuelle de l'atmosphère s'est échappé sur une échelle de temps géologique

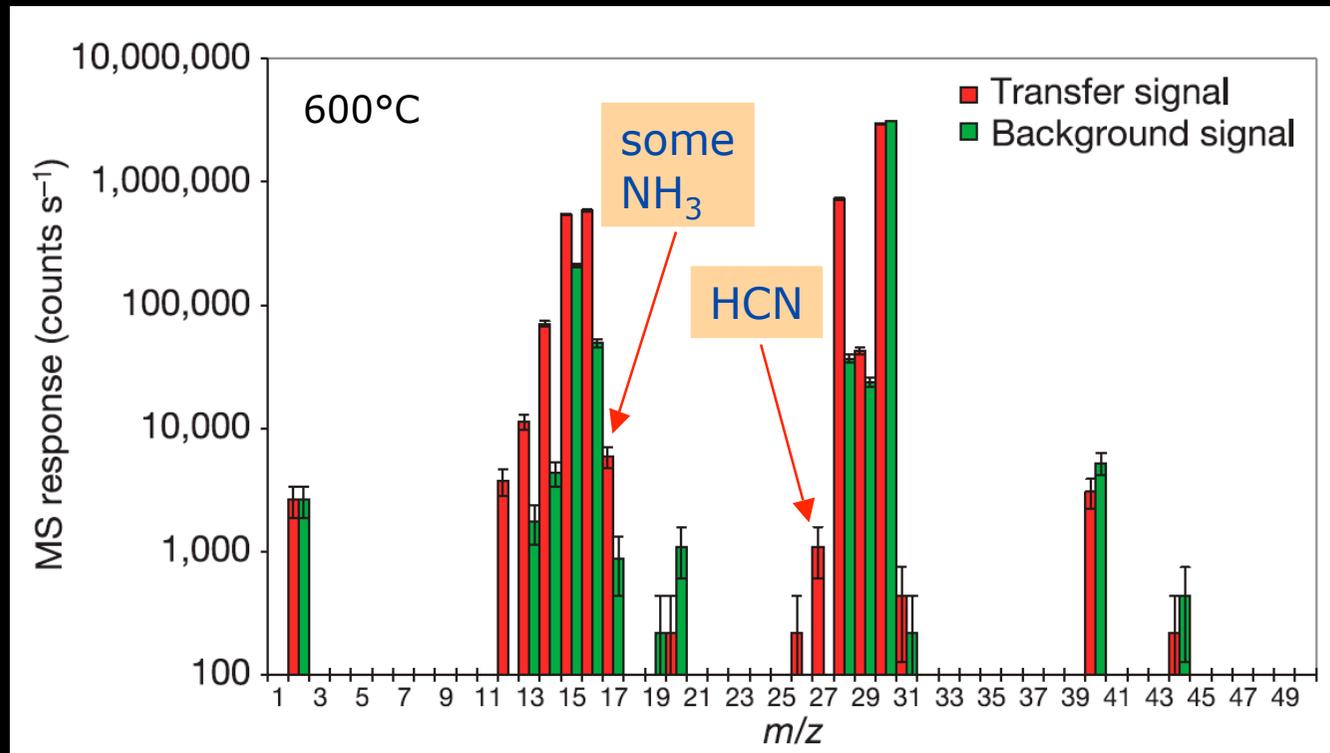


# L'instrument ACP (Aerosol Collector and Pyrolyser)

- Responsable (PI) :  
G. Israël (Service  
d'aéronomie, Verrières)
- Collecte d'aérosols par  
aspiration (35-130 km et  
25-20 km)
- Pyrolyse des aérosols  
(250° et 650°C)
- Transfert des gaz relâchés  
vers le GCMS pour analyse

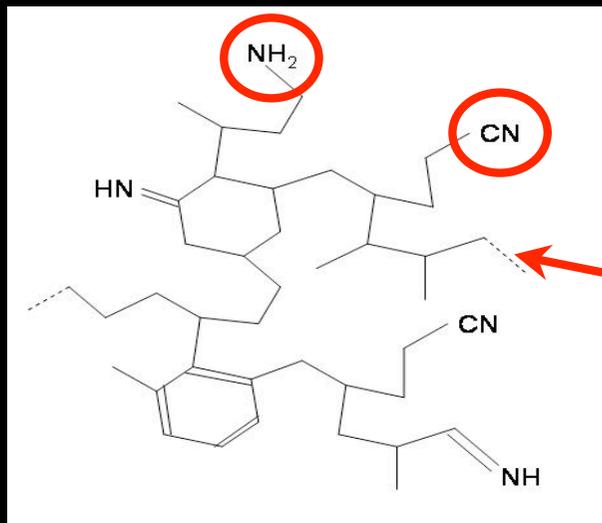


# ACP : Premiers résultats sur le second échantillon (25-20 km)



- HCN et NH<sub>3</sub> sont les produits principaux de la pyrolyse à 600°C
- Proviennent du cœur réfractaire des aérosols

# ACP : Chimie des aérosols



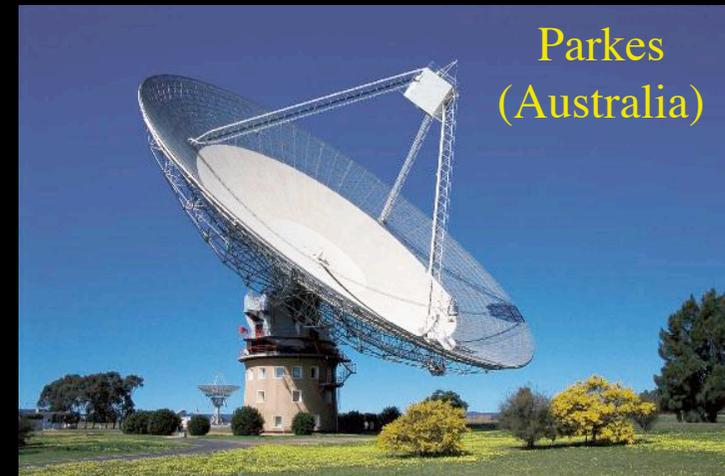
Refractory  
organics

Small  
fraction of  
condensates

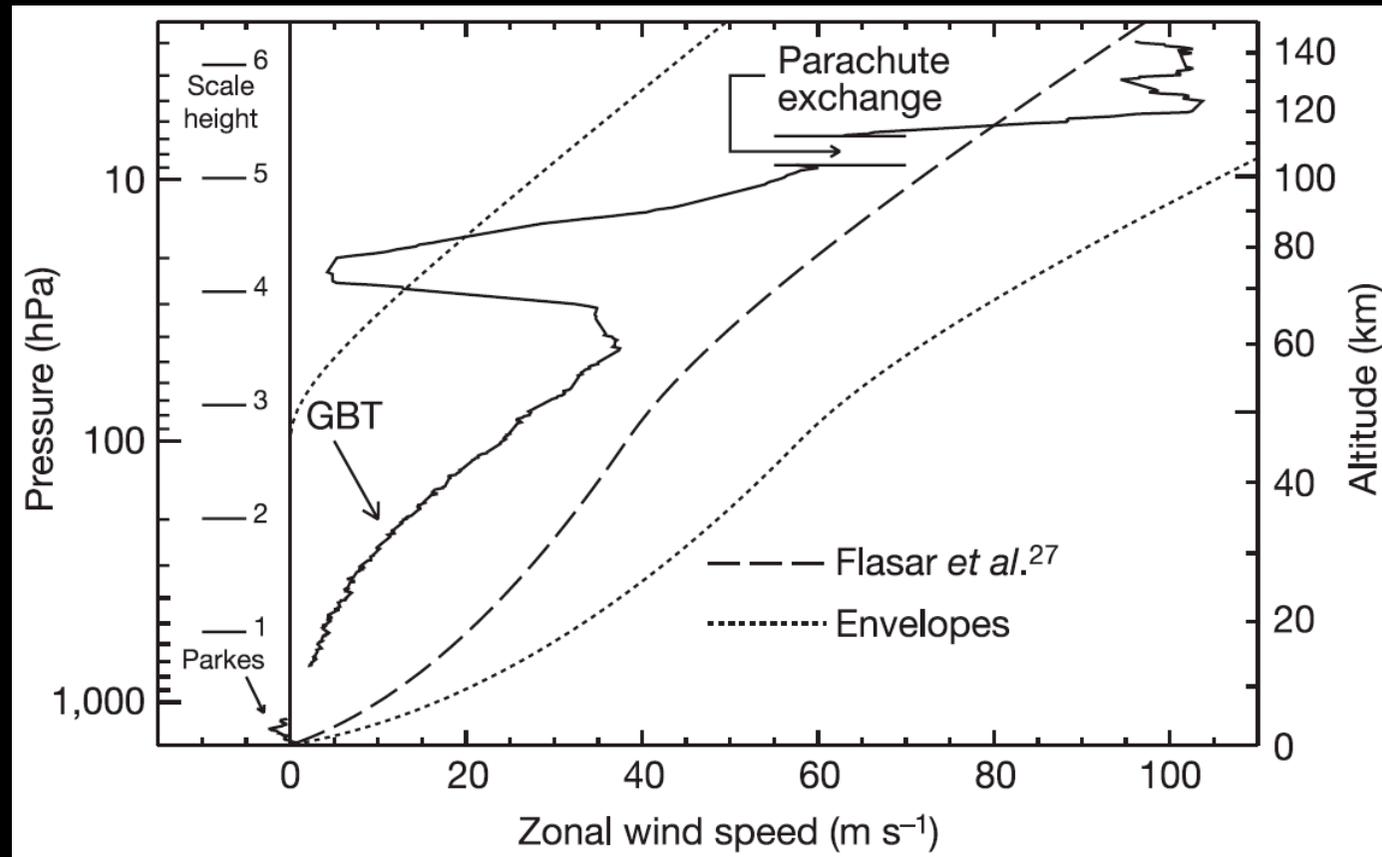
- Présence potentielle de groupes amine (-NH<sub>2</sub>), nitrile (-CN) et/ou imine (-C=N-)
- L'azote peut être incorporé sous plusieurs formes dans les aérosols
- La formation d'aérosols est un puits photochimique important pour l'azote atmosphérique

# L'expérience DWE (Doppler Wind Experiment)

- Responsable (PI) :  
M. Bird (Univ. Bonn, Allemagne)
- Monitorage du décalage Doppler de la porteuse (2 GHz) émise par la sonde
- Mesures à bord de *Cassini* perdues (perte du canal A)  
*mais...*
- Mesures possibles à partir des radiotélescopes sur Terre !



# DWE : premiers résultats

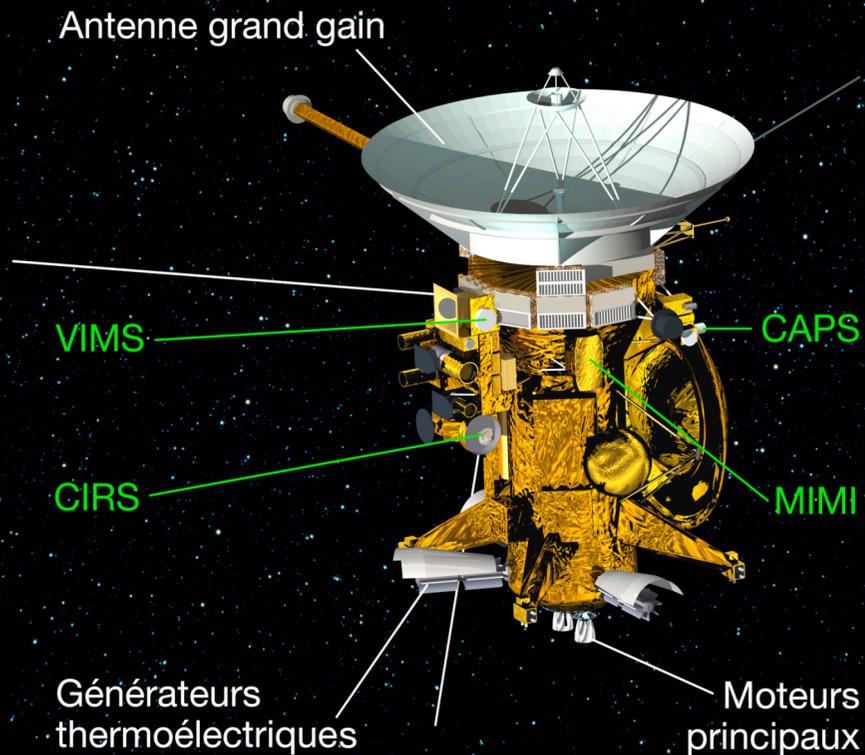


- Vents soufflant vers l'est (360 km/h vers 125 km)
  - Confirmation *in situ* de la **super-rotation**
- Couche vers 70-90 km où la vitesse devient très faible
- Vents faibles, soufflant vers l'ouest, dans les derniers 5 km (couche limite ?)

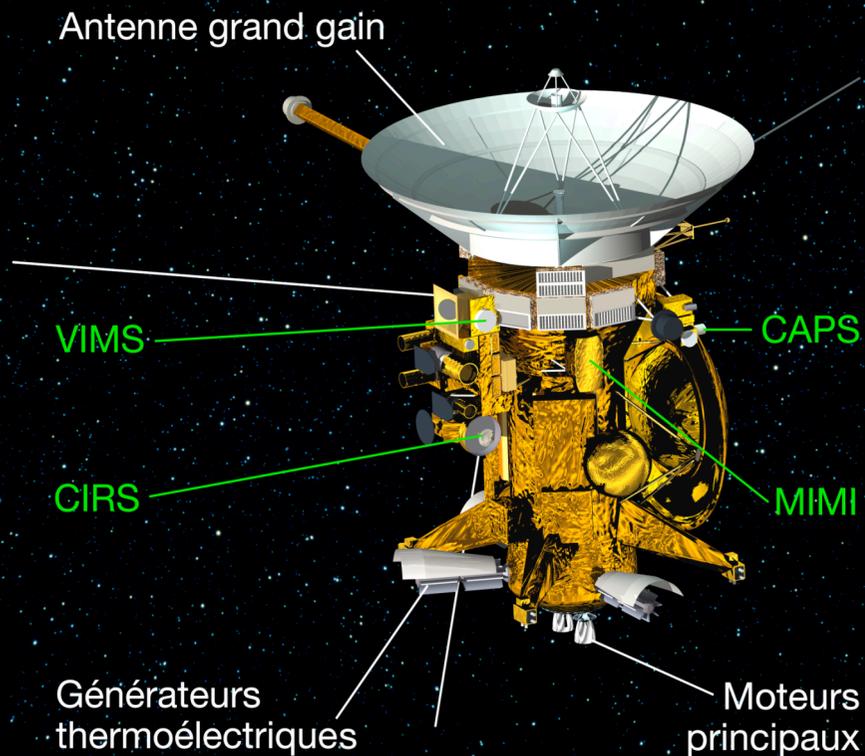
# L'orbiteur *Cassini*

- 12 expériences à bord :

- Imaging Science Subsystem (**ISS**)
  - Imagerie (filtres 200-1100 nm)
- Visible and Infrared Mapping Spectrometer (**VIMS**)
  - Cartographie surface et atmosphère (0,35 - 5  $\mu\text{m}$ )
- Composite Infrared Spectrometer (**CIRS**)
  - Spectroscopie infrarouge thermique (7 - 1000  $\mu\text{m}$ ) : structure thermique et composition
- Ultraviolet Imaging Spectrograph (**UVIS**)
  - Spectroscopie et imagerie dans l'ultraviolet (55 - 190 nm) : composition, aérosols, température
- Cassini Radar (**RADAR**)
  - Structure de la surface de Titan
- Radio Science Subsystem (**RSS**)
  - Profil thermique (par méthode d'occultation)
- Ion and Neutral Mass Spectrometer (**INMS**)
  - Mesure *in situ* des ions et espèces neutres (composition et structure)

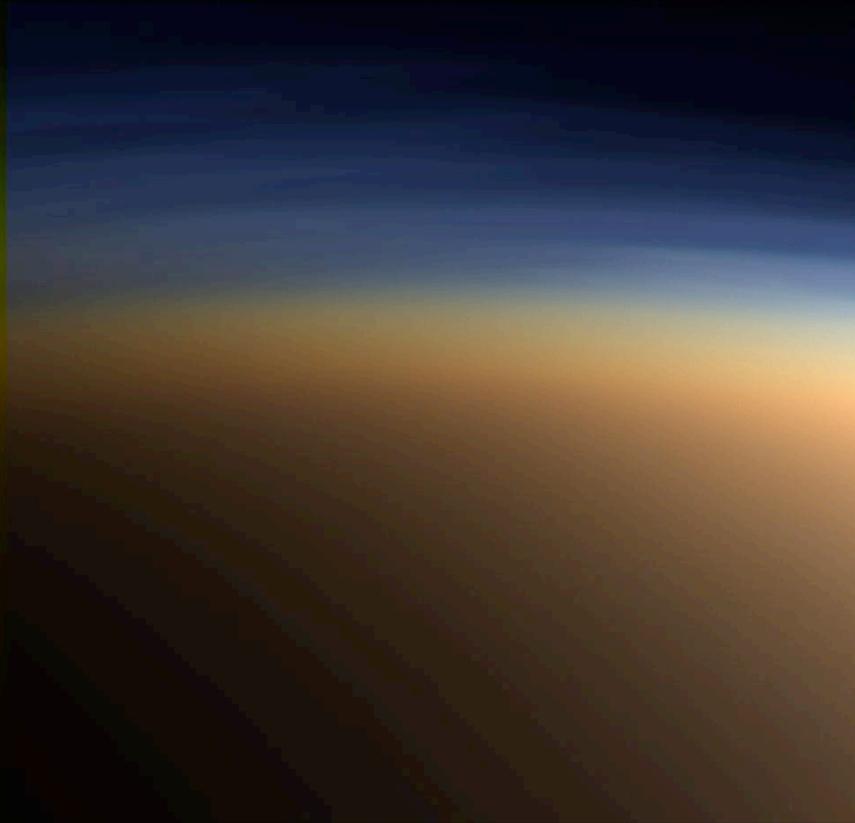


# L'orbiteur *Cassini*

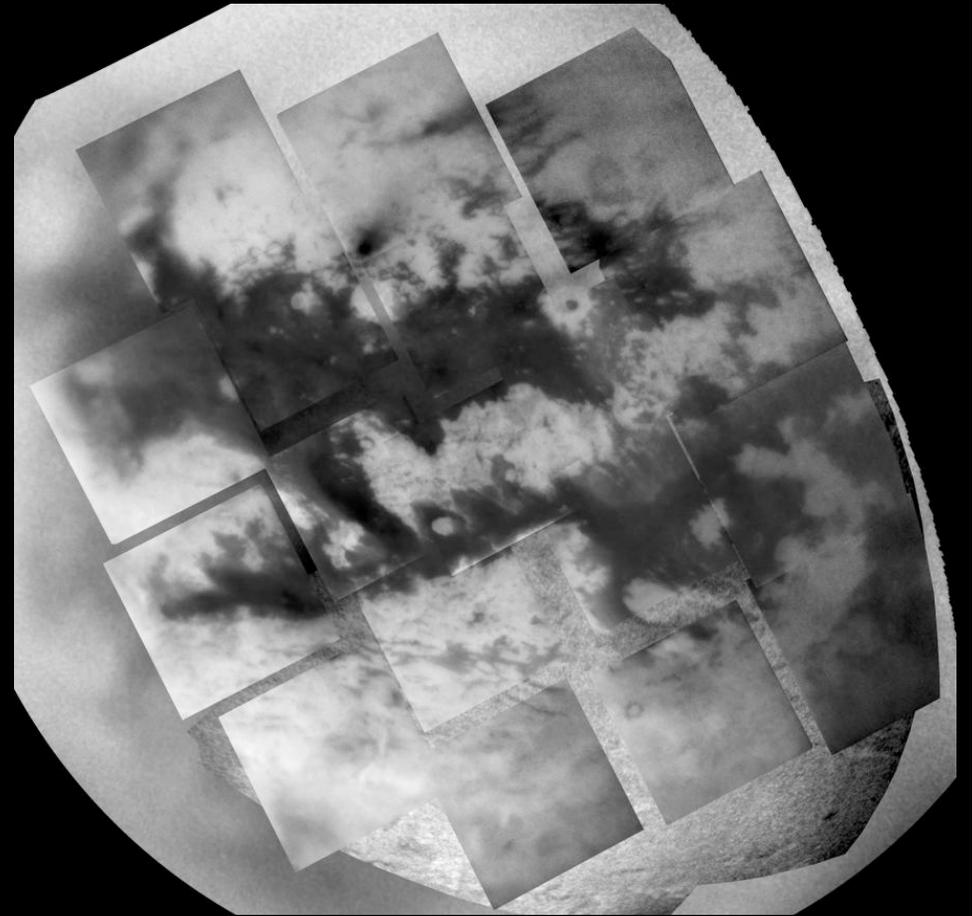


- Cassini Plasma Spectrometer (**CAPS**)
  - Mesure *in situ* des ions et des électrons (flux)
- Cosmic Dust Analyzer (**CDA**)
  - Analyse *in situ* des particules
- Dual Technique Magnetometer (**MAG**)
  - Champ magnétique
- Magnetospheric Imaging Instrument (**MIMI**)
  - Configuration et dynamique de la magnétosphère
- Radio and Plasma Wave Science (**RPWS**)
  - Ondes plasma, densité électronique

# Imagerie



Les brumes de la haute atmosphère

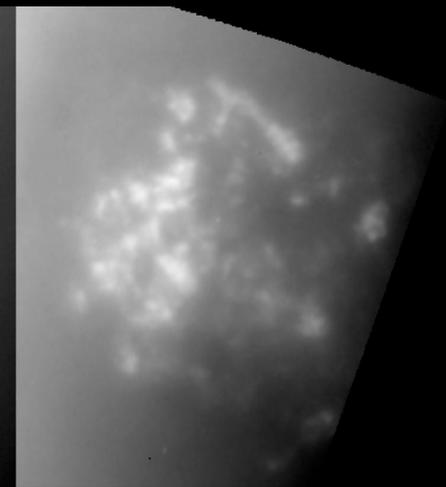
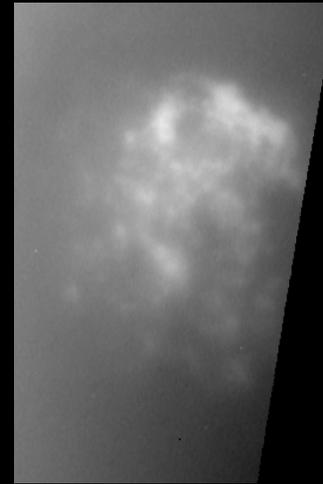
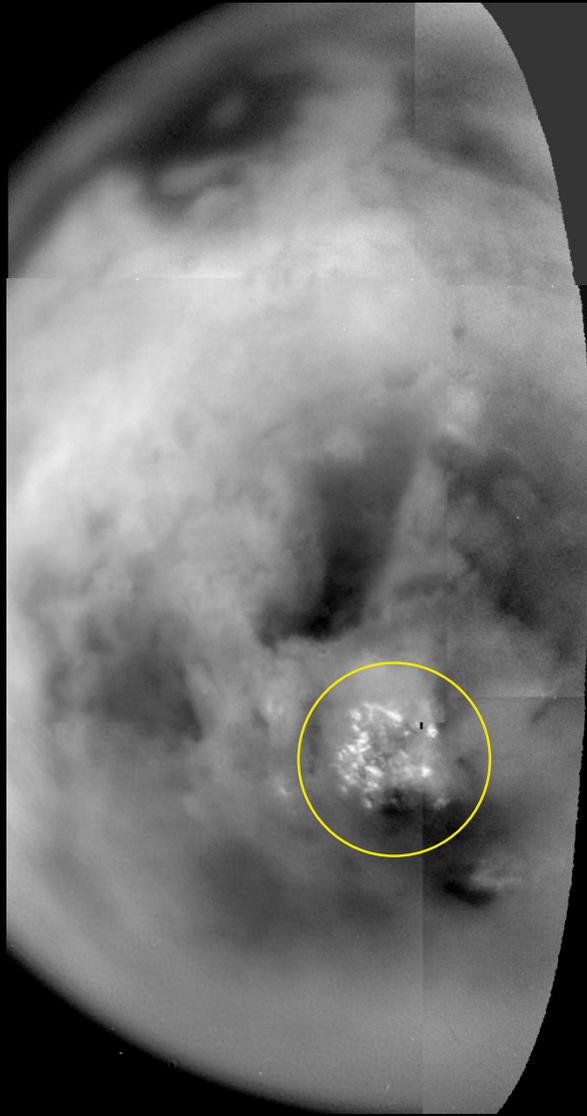


La surface (filtre à 940 nm)

24/02/06

Séminaire campus parisien

# Les nuages de méthane



Durée = 5 heures

24/02/06

Séminaire campus parisien

# Nuages de méthane (+ lac ?)



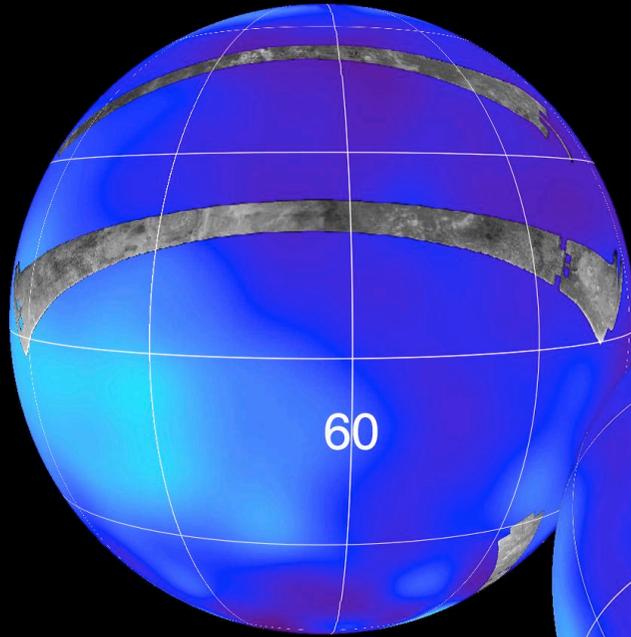
Images ISS (940 nm)  
*6 juin 2005*  
Durée : 2 heures

24/02/06

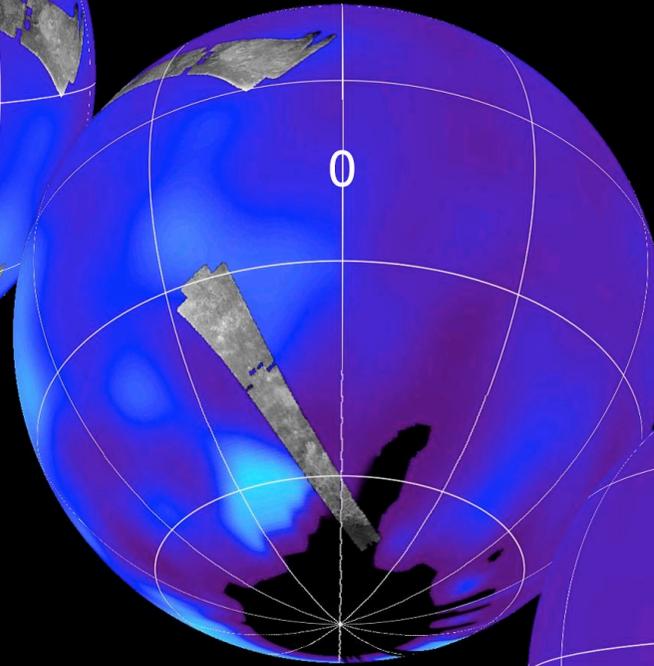
Séminaire campus parisien

# Radar

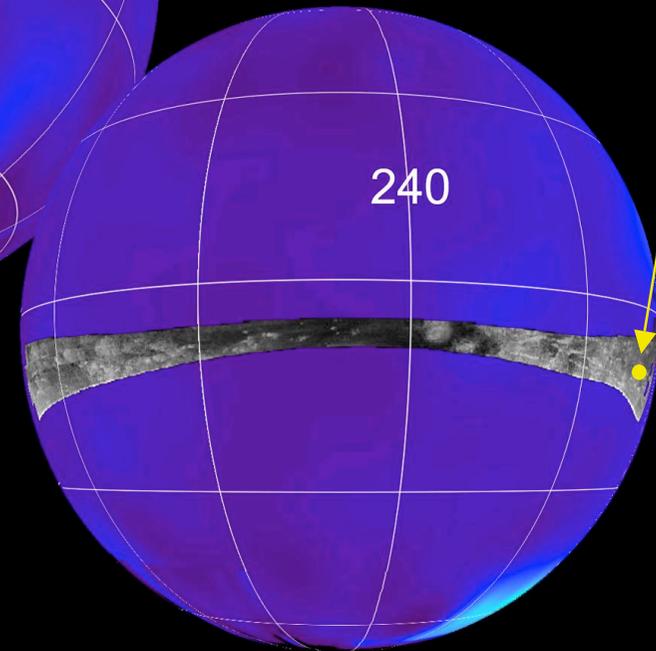
(résolution variant de  $\sim 300$  m  
à  $\sim 1,5$  km)



26 octobre 2004  
et  
15 février 2005



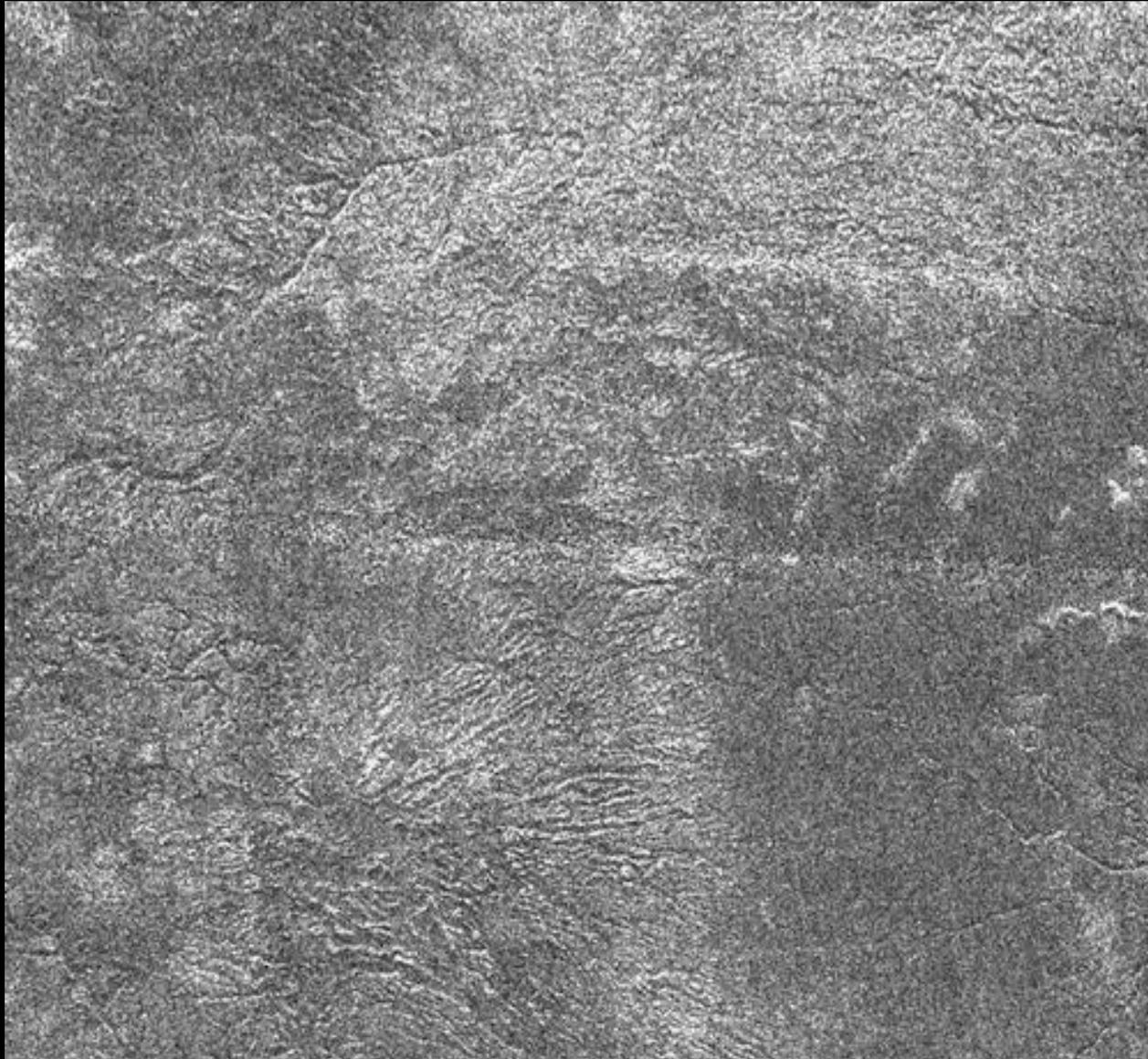
7 septembre 2005



site  
d'atterrissage

28 octobre 2005

# Radar



7 septembre 2005

30 km

chenaux

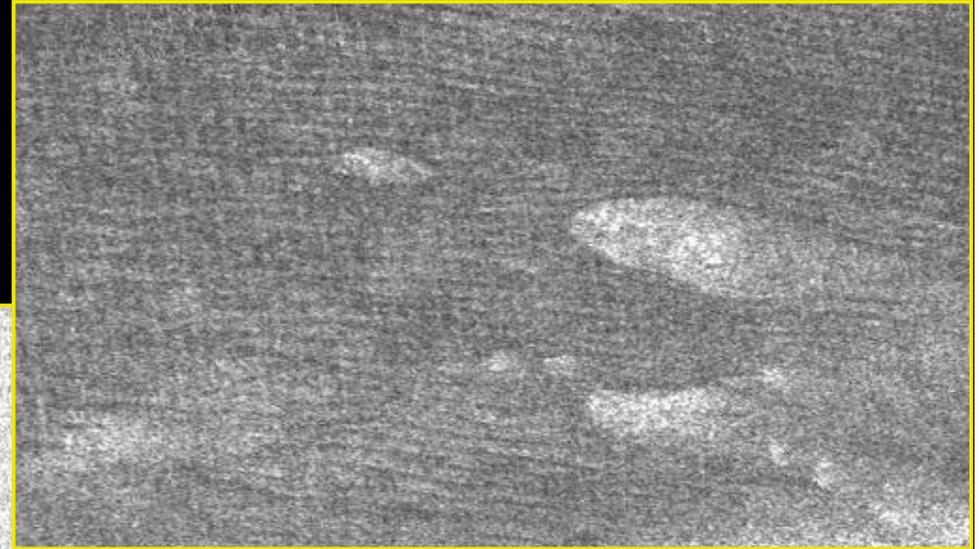
24/02/06

Séminaire campus parisien

# Radar

28 octobre 2005

15 février 2005



dunes



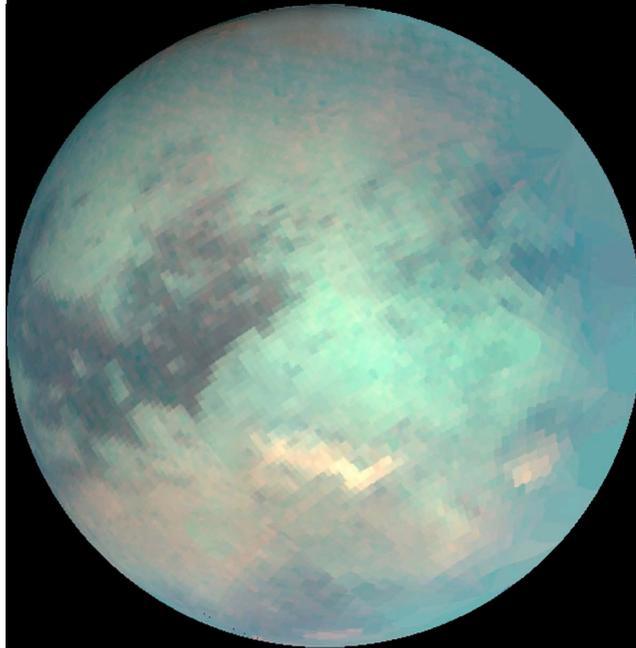
30 km

cratère d'impact

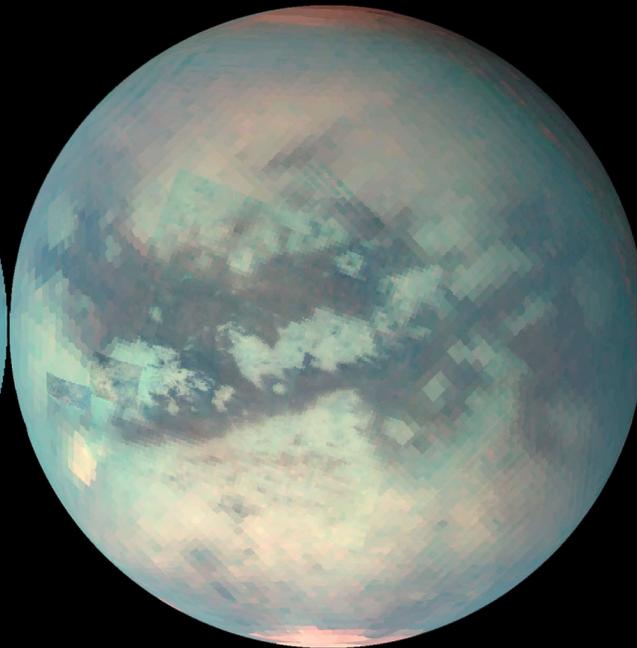
24/02/06

Séminaire campus parisien

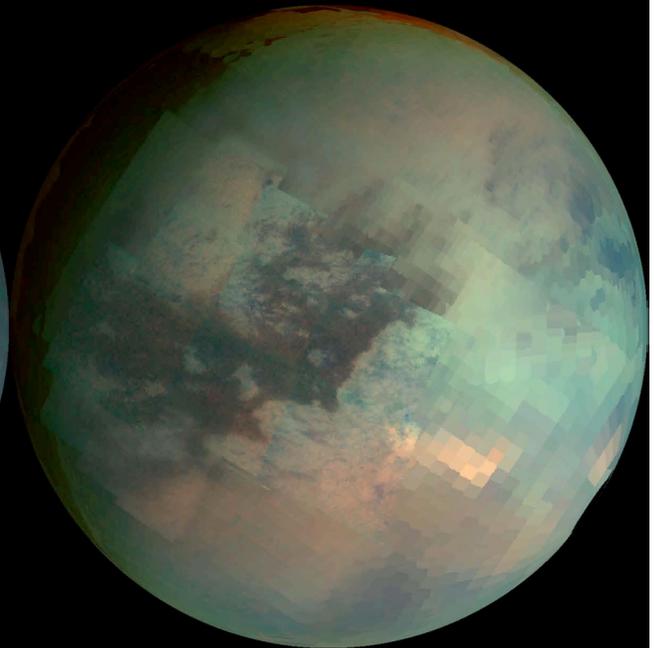
# VIMS : spectro-imagerie IR proche



28 octobre 2005



26 décembre 2005



15 janvier 2006

Images VIMS en fausses couleurs

Codage :

- 1,6  $\mu\text{m}$  : bleu
- 2,0  $\mu\text{m}$  : vert
- 5  $\mu\text{m}$  : rouge

# VIMS : spectro-imagerie IR proche

Un cryo-volcan ? (Sotin *et al.* 2005)

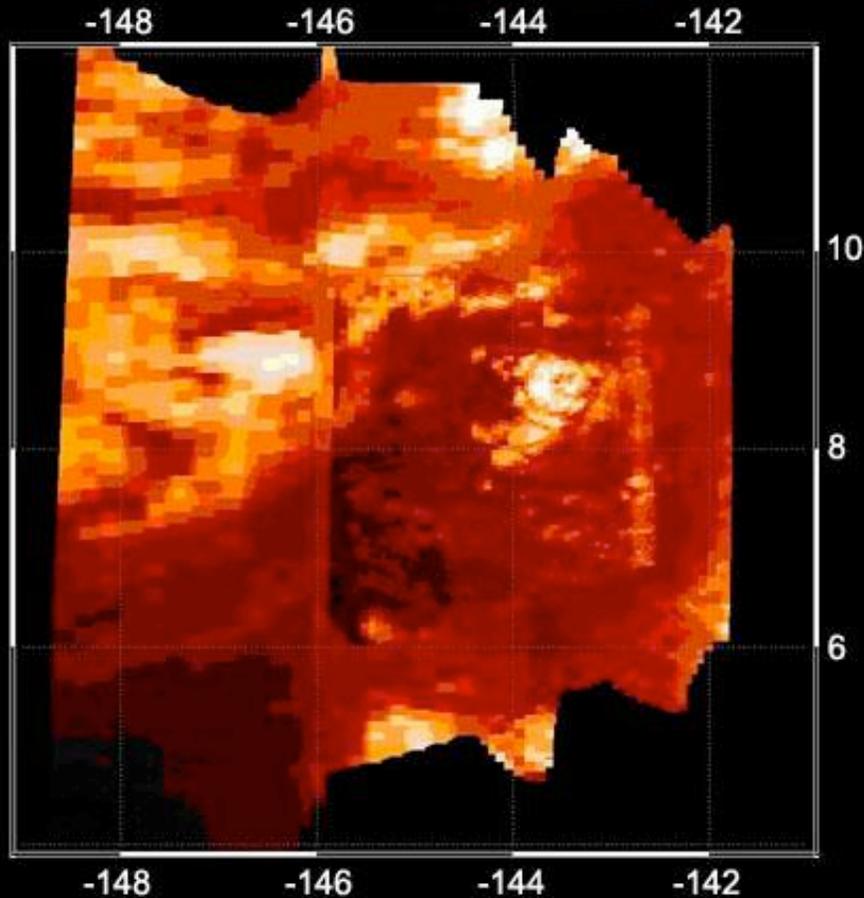


Image VIMS (2,0 µm)  
26 octobre 2004

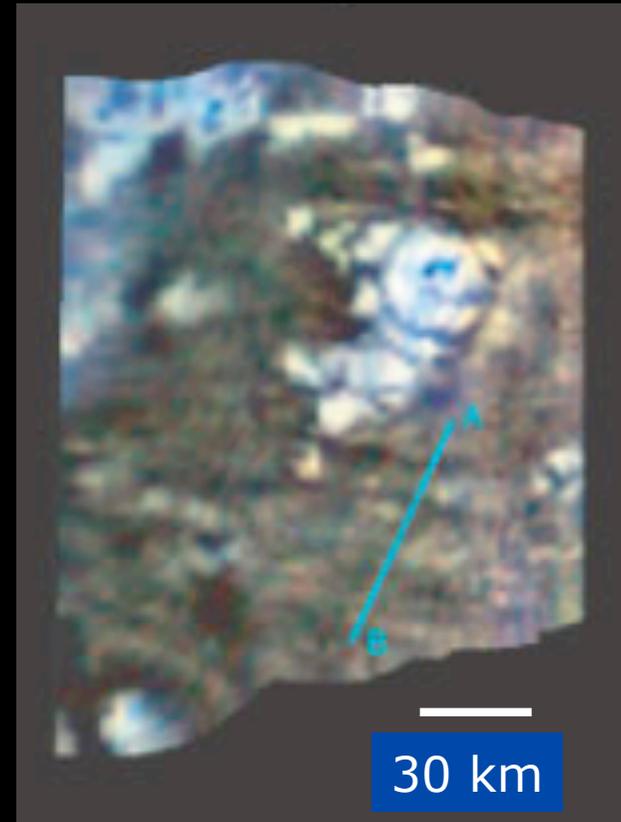


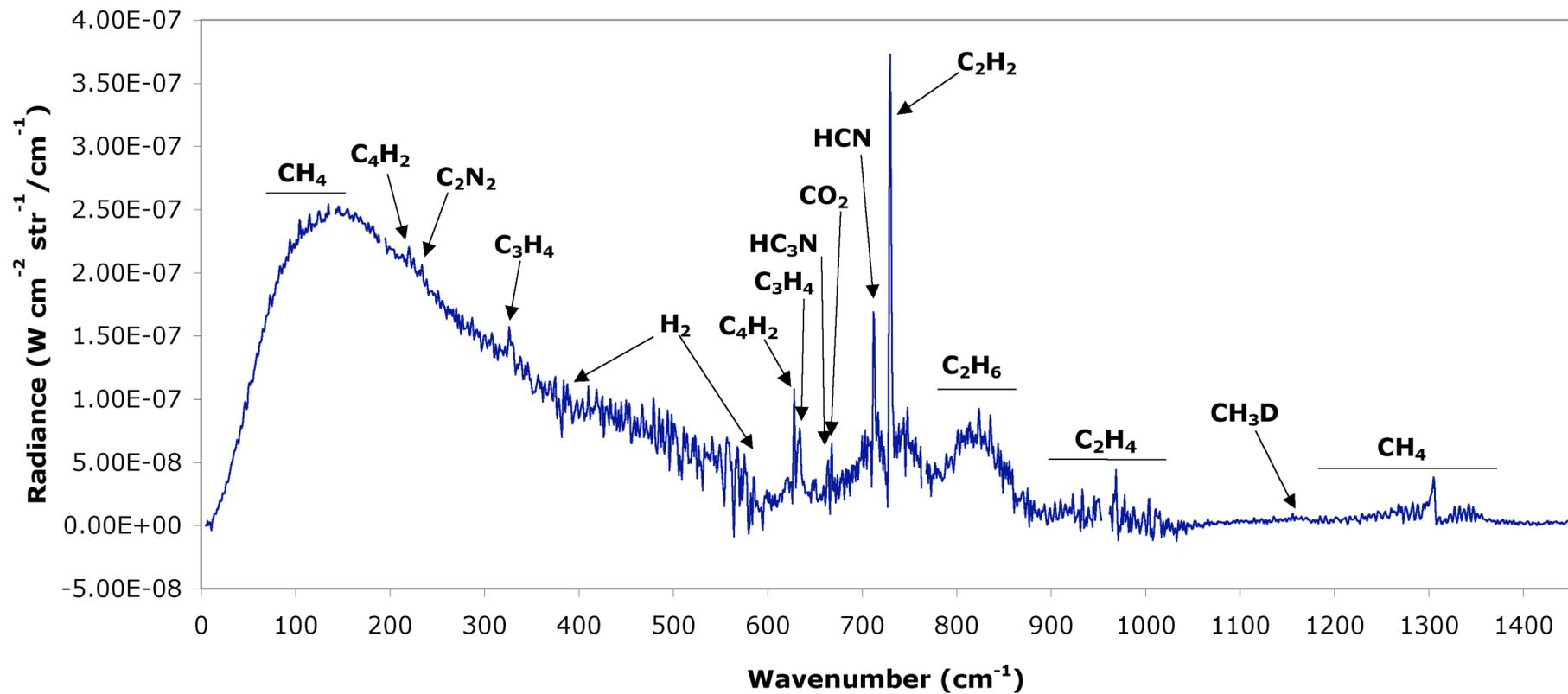
Image VIMS en fausses couleurs

Codage :

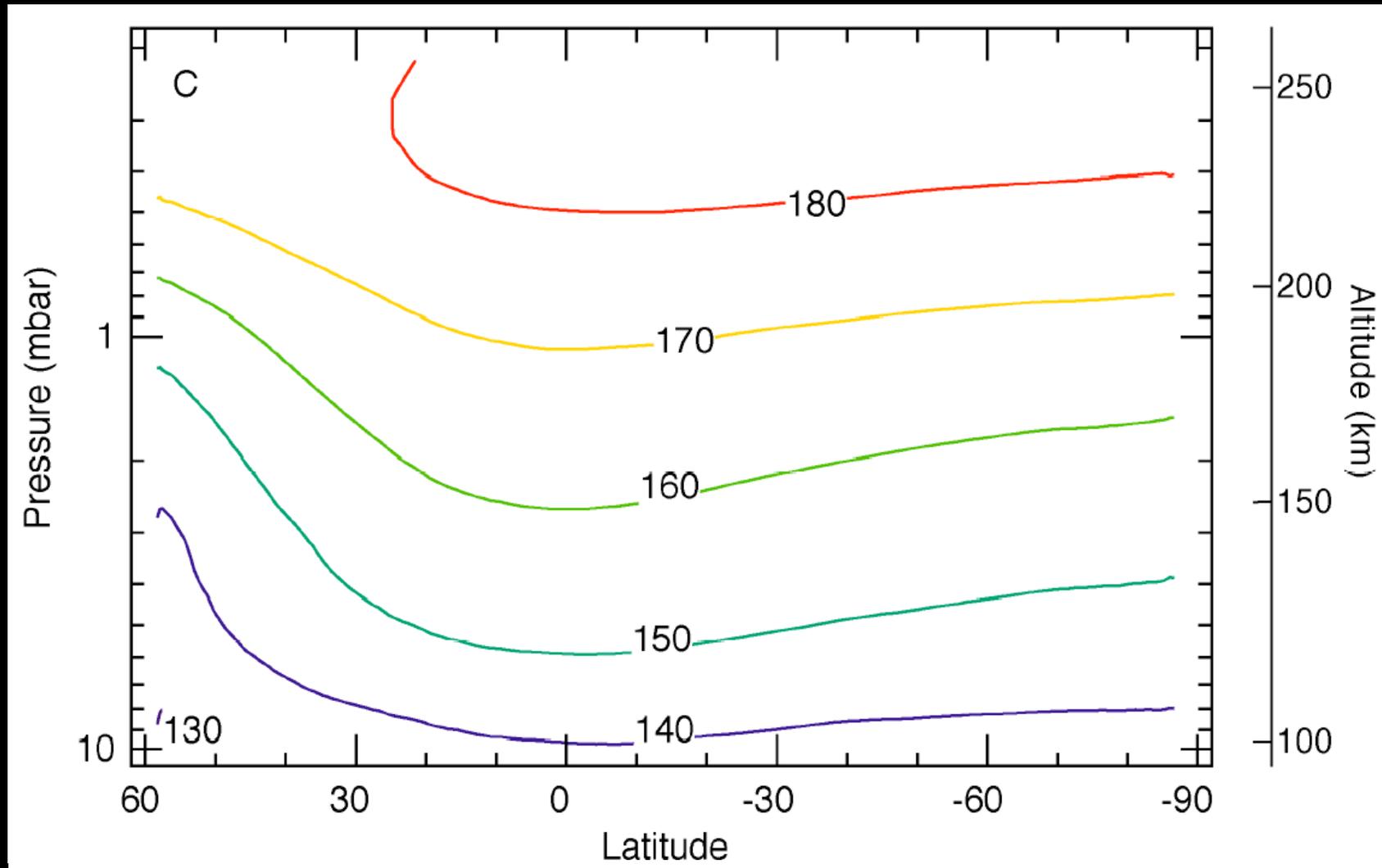
- 1,6 µm : bleu
- 2,0 µm : vert
- 2,75 µm : rouge

# CIRS : spectroscopie infrarouge thermique

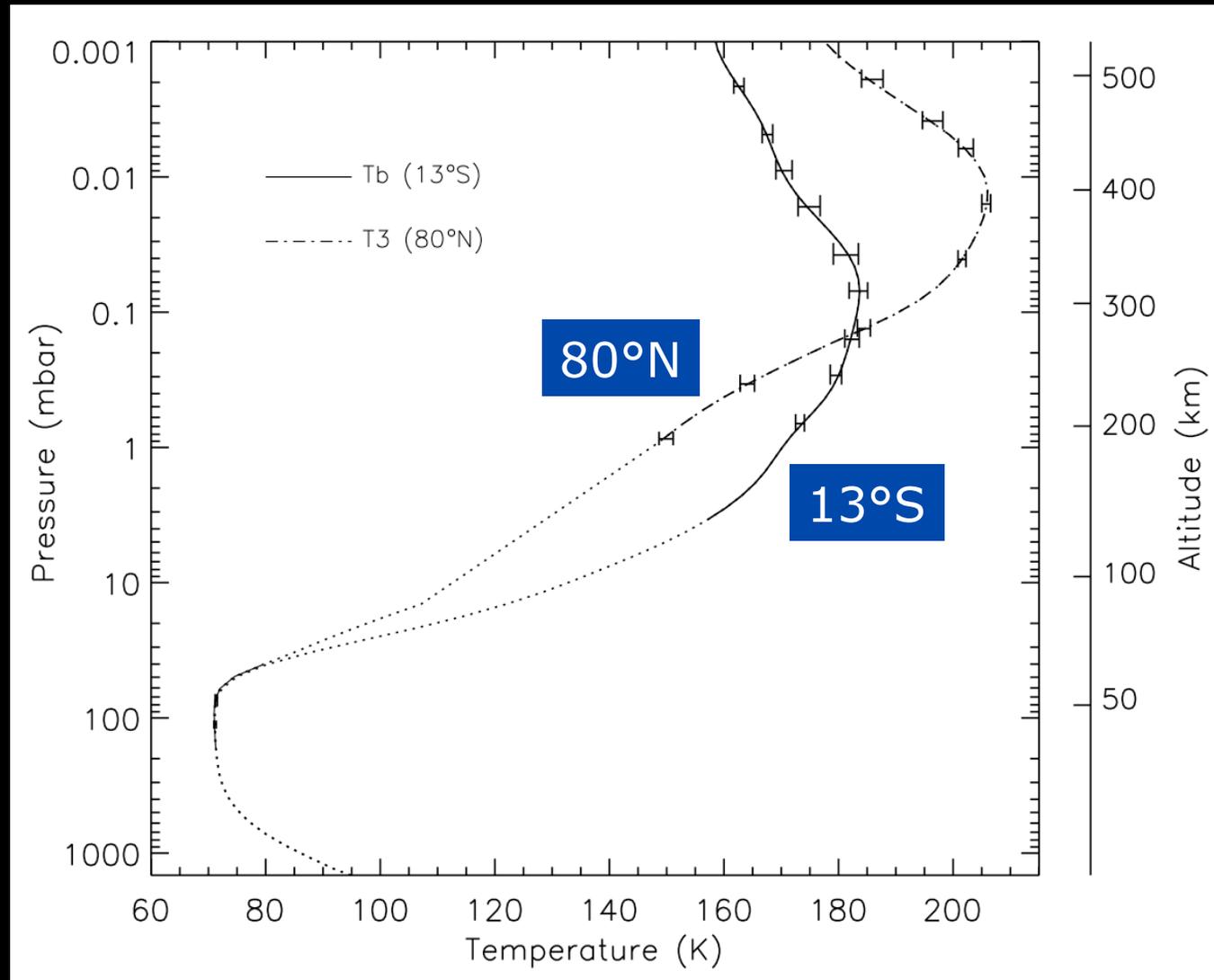
⇒ composition chimique, structure thermique



# CIRS structure thermique

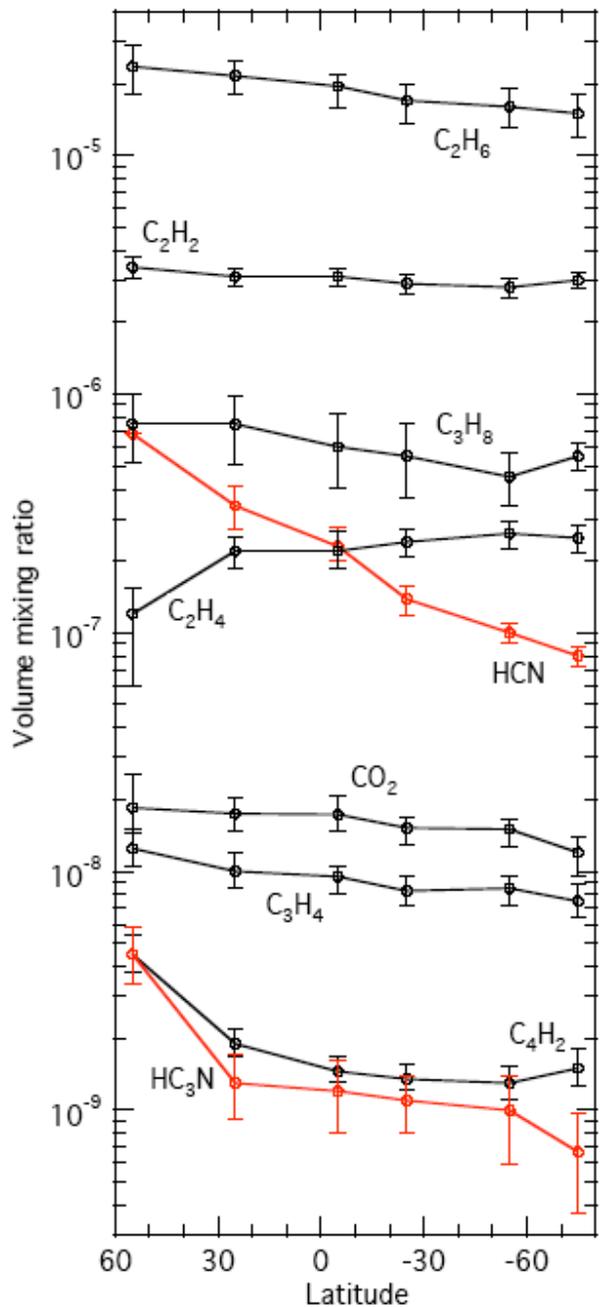


# CIRS structure thermique

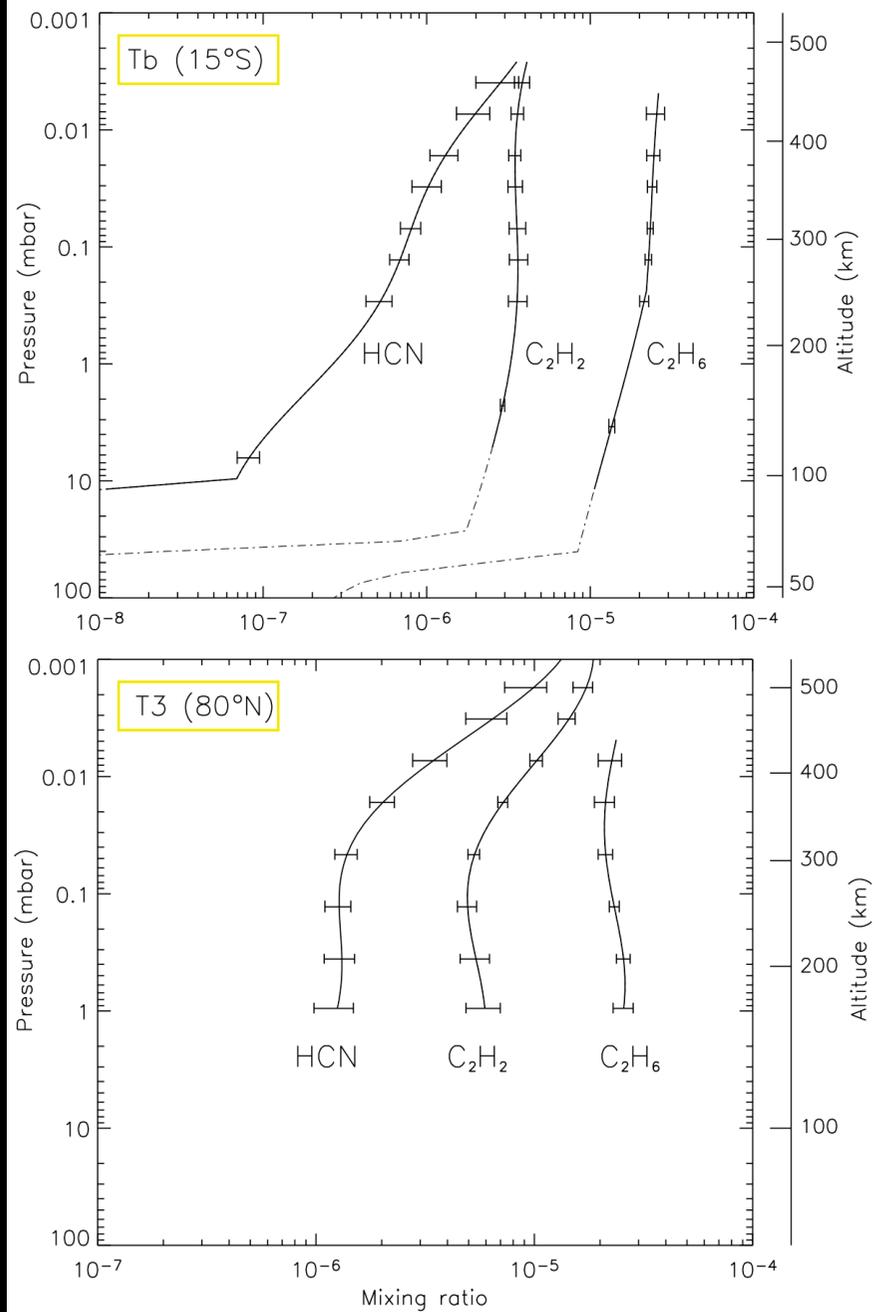


# CIRS

Flasar *et al.* 2005

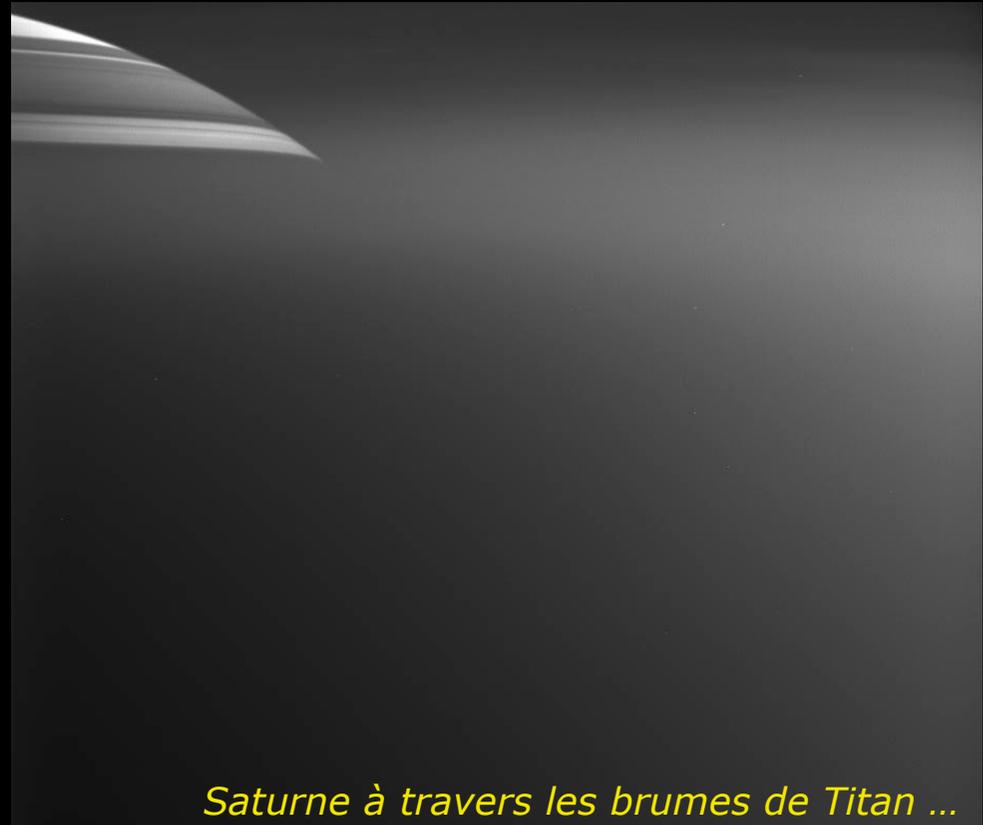


Vinatier *et al.* 2006



# La mission *Cassini* continue...

- 45 survols rapprochés de Titan d'ici 2008
  - T0 : 2 juillet 2004
  - Ta : 26 octobre 2004
  - Tb : 13 décembre 2004
  - T3 : 15 février 2005
  - T4 : 31 mars 2005
  - T5 : 16 avril 2005
  - T6 : 22 août 2005
  - T7 : 7 septembre 2005
  - T8 : 28 octobre 2005
  - T9 : 26 décembre 2005
  - T10 : 15 janvier 2006
  - T11 : 27 février 2006
  - ...



*Saturne à travers les brumes de Titan ...*