

SPIRou : chimie et vents dans les atmosphères planétaires

Thomas Widemann

Alain Doressoundiram, Emmanuel Lellouch,
Bruno Bézard, Thérèse Encrenaz, Thierry Fouchet
Observatoire de Paris – LESIA

- Héritage ESPaDOnS
- Objectifs SPIRou
 - Avantages de la haute résolution spectrale IR
 - Quelques cas :
 - Vénus : chimie et dynamique
 - Planètes géantes
 - Système solaire lointain

Mercure

Distribution spatiale du rapport Na/K dans l'exosphère (Doressoundiram et al 2010, Icarus 207, 1)

Table 4
Na/K abundances from CFHT data. Na/K is calculated using the column density of Na/cm²/s deduced from D₁ emission line (the most optically thin line between D₂ and D₁) and the column density of K/cm²/s calculated using K D₁ emission line. The error bars take into account the uncertainty on the integration of the exospheric line as well as the uncertainty on the calibration of the emission line (except for the Na/K ratio).

No.	UT date	Na (kR)		K (kR) D ₁	Na/cm ² /s		K/cm ² /s D ₁	Na/K
		D ₂	D ₁		D ₂	D ₁		
1	17/06/2006	734 ± 68	497 ± 61	20 ± 6	4.6 ± 0.4 × 10 ¹¹	5.0 ± 0.6 × 10 ¹¹	5.7 ± 1.8 × 10 ⁹	89 ± 39
2		440 ± 10	361 ± 11	4 ± 0.8	2.8 ± 0.1 × 10 ¹¹	3.6 ± 0.1 × 10 ¹¹	1.0 ± 0.2 × 10 ⁹	358 ± 88
3		7 ± 0.4	5 ± 0.4	Not detected	4.5 ± 0.2 × 10 ⁹	5.1 ± 0.4 × 10 ⁹	–	–
4		294 ± 8	232 ± 9	2.1 ± 0.7	1.9 ± 0.05 × 10 ¹¹	2.3 ± 0.1 × 10 ¹¹	6.0 ± 2.0 × 10 ⁸	388 ± 142
5		4.5 ± 0.3	3.2 ± 0.3	Not detected	2.8 ± 0.2 × 10 ⁹	3.3 ± 0.3 × 10 ⁹	–	–

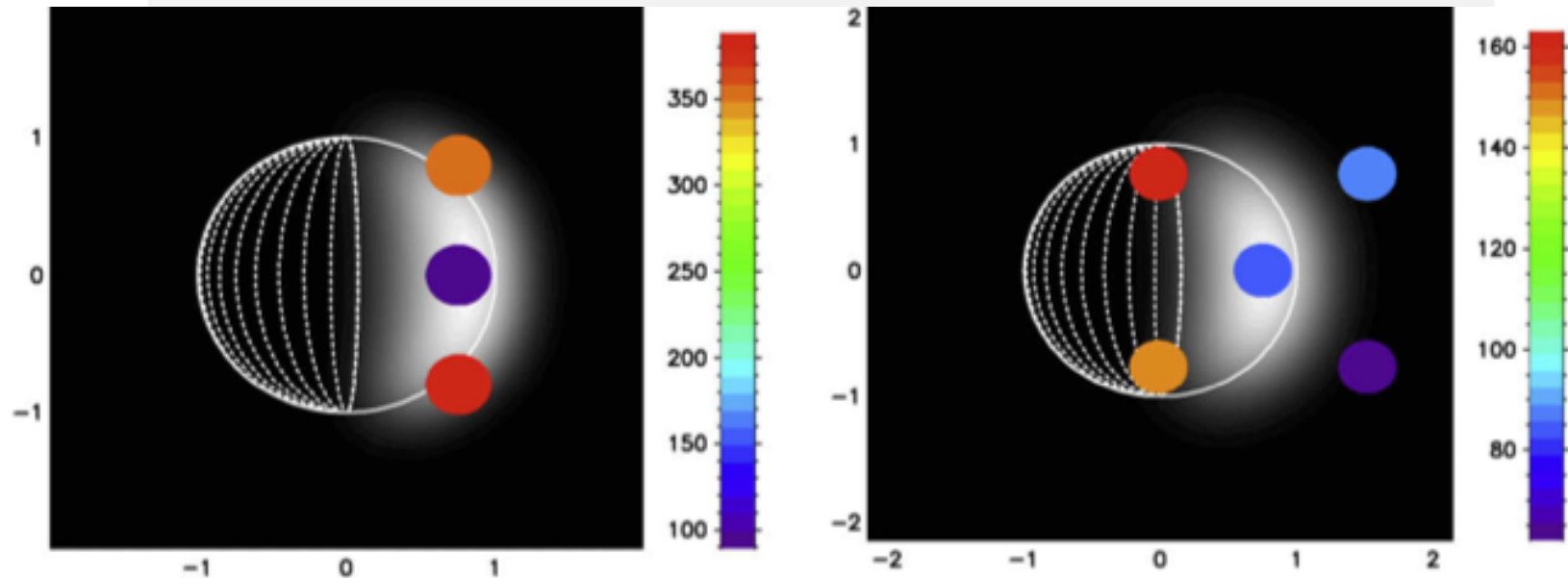


Fig. 3. Na/K ratio measured by ESPADON/CFHT (last column of Table 4). The different positions are deduced from the approximate position of the hole on a screen control during the observations (estimated uncertainty on the exact position, few tens of a Mercury radius). Mercury's disk is represented by the solid white line whereas the nightside corresponds to the part of the disk with dashed lines. We have also plotted Hapke reflectivity map calculated for the nominal seeing value as well as for the phase angle of our observation. Left panel: 17/06/2006. Right panel: 19/06/2006.

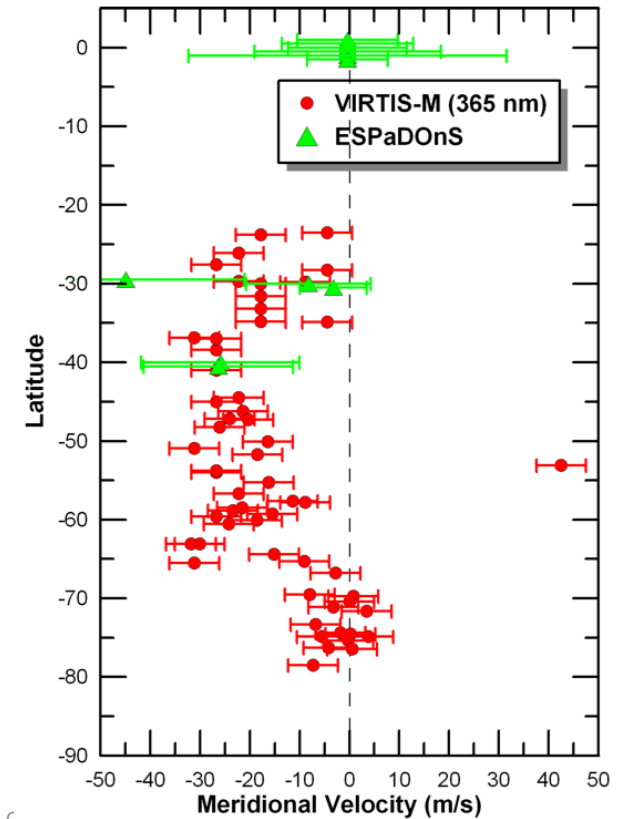
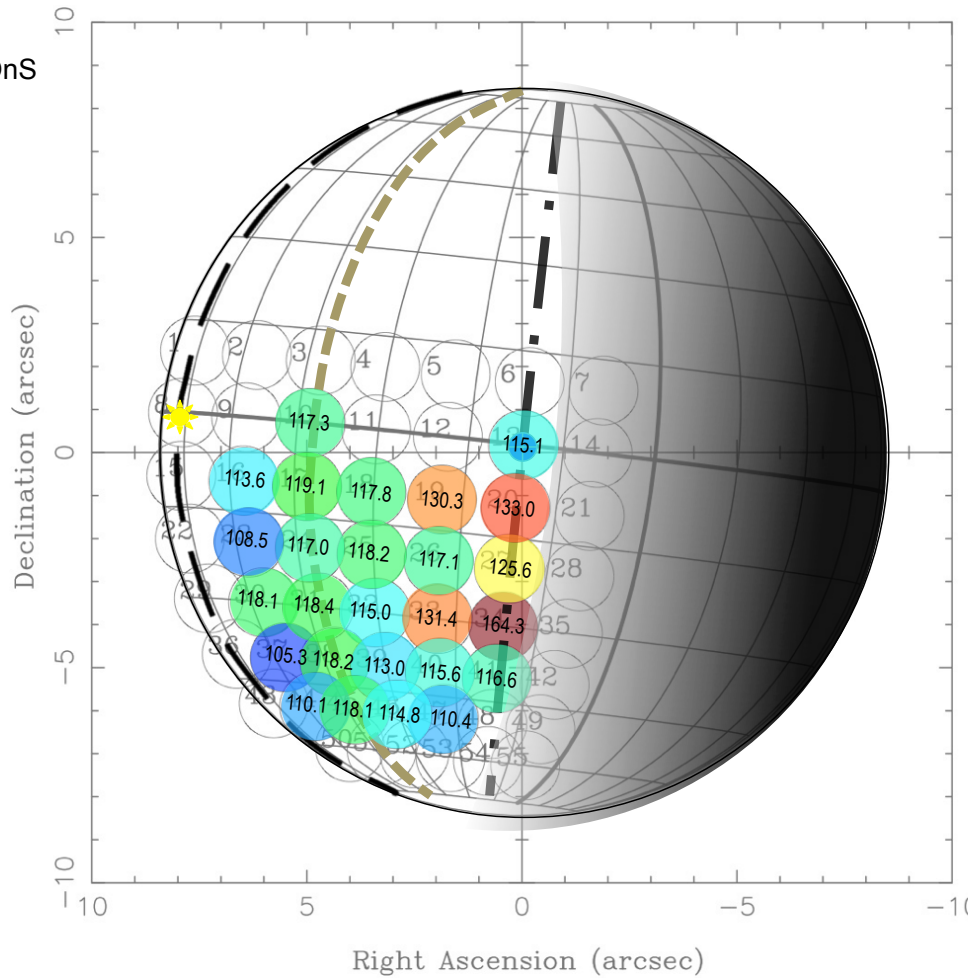
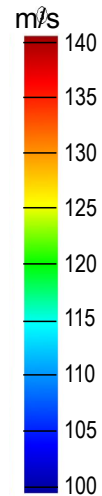
T. Widemann

SPIRou : un SpectroPolarimètre InfraRouge
pour le CFHT - Salle Danjon, 18 déc. 2013

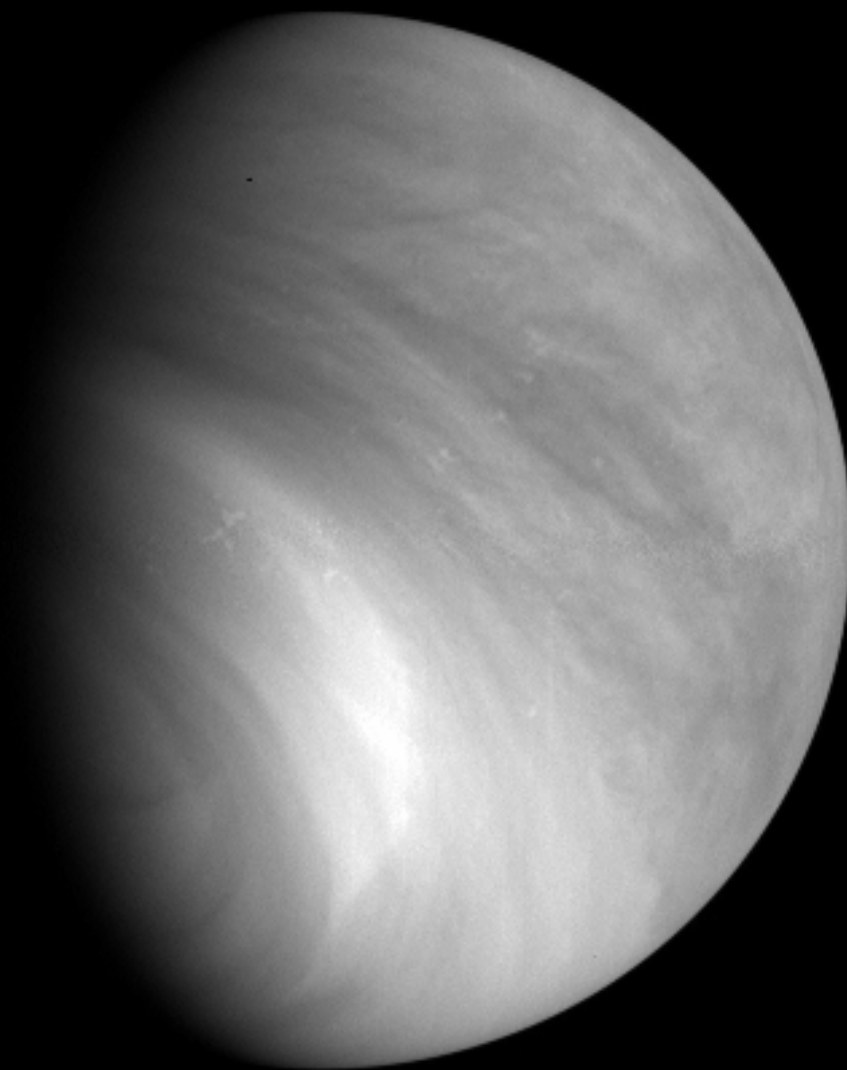
Vénus

Variabilité spatiale et temporelle des vents mésosphériques (cloud top, $z \sim 70\text{km}$) – comparaison avec Venus Express/VIRTIS (Machado et al., Icarus, en révision)

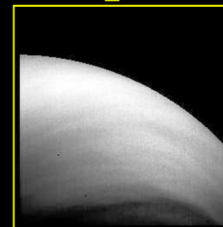
CFHT/ESPaDOoS
21 Feb 2011
Horizontal wind
Pure zonal



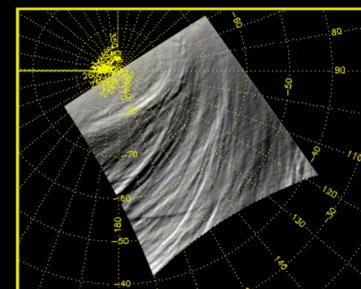
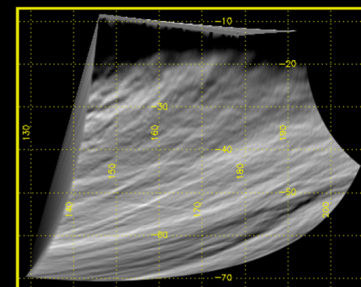
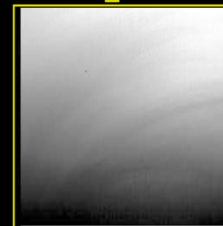
SPIrou : un SpectroPolarimètre InfraRouge
pour le CFHT - Salle Danjon, 18 déc. 2013



VV1768_00



VV1768_03



SPIRou : un SpectroPolarimètre InfraRouge
pour le CFHT - Salle Danjon, 18 déc. 2013

- La **relative proximité des planètes** autorise des études spectroscopiques **spatialement résolues**, notamment la composition chimique des atmosphères (à basse et haute altitude), la dynamique des vents, les émissions aurorales
- Coordination missions planétaires : NASA/Messenger, ESA/BepiColombo, ESA/Venus Express
- Ces études permettent notamment de mieux cerner les interactions complexes entre espèces chimiques volatiles, la vitesse des vents en différents points de l'atmosphère (et à plusieurs altitudes), ainsi que leur **variabilité temporelle et spatiale**.

- Héritage ESPaDOnS
- Objectifs SPIRou
 - Avantages de la haute résolution spectrale IR
 - Quelques cas :
 - Vénus : chimie et dynamique
 - Planètes géantes
 - Système solaire lointain

Haute résolution spectrale

- Avantages de la haute résolution spectrale IR pour la chimie et les vents dans les atmosphères planétaires :
 - (1) La proximité voire l'imbrication de transitions de différents composants peut être élevée dans un domaine spectral donné. La haute résolution permet de **séparer les différentes contributions en émission / absorption** pour la restitution des profils de densité.
 - Également requise pour éliminer proprement la contribution des **raies telluriques et solaires**.

Haute résolution spectrale

- (2) permet l'observation de raies individuelles de vibration-rotation, ce qui permet la détermination de la température rotationnelle du constituant.

Les constituants minoritaires possèdent pour la plupart des raies étroites dans l'IR (formées à des pressions typiquement inférieures à 1 bar), ce qui permet dans la plupart de cas de résoudre le profil de raie et contraindre la distribution verticale de densité.

Haute résolution spectrale

- (3) permet la **mesure des vents par vélocimétrie Doppler** à différentes altitudes (des vents zonaux de quelques 100 ms^{-1} sont typiques des géantes ; des vents jusqu'à $\sim 1 \text{ km/s}$ sont observés dans la thermosphère au-dessus de la région aurorale de Jupiter).

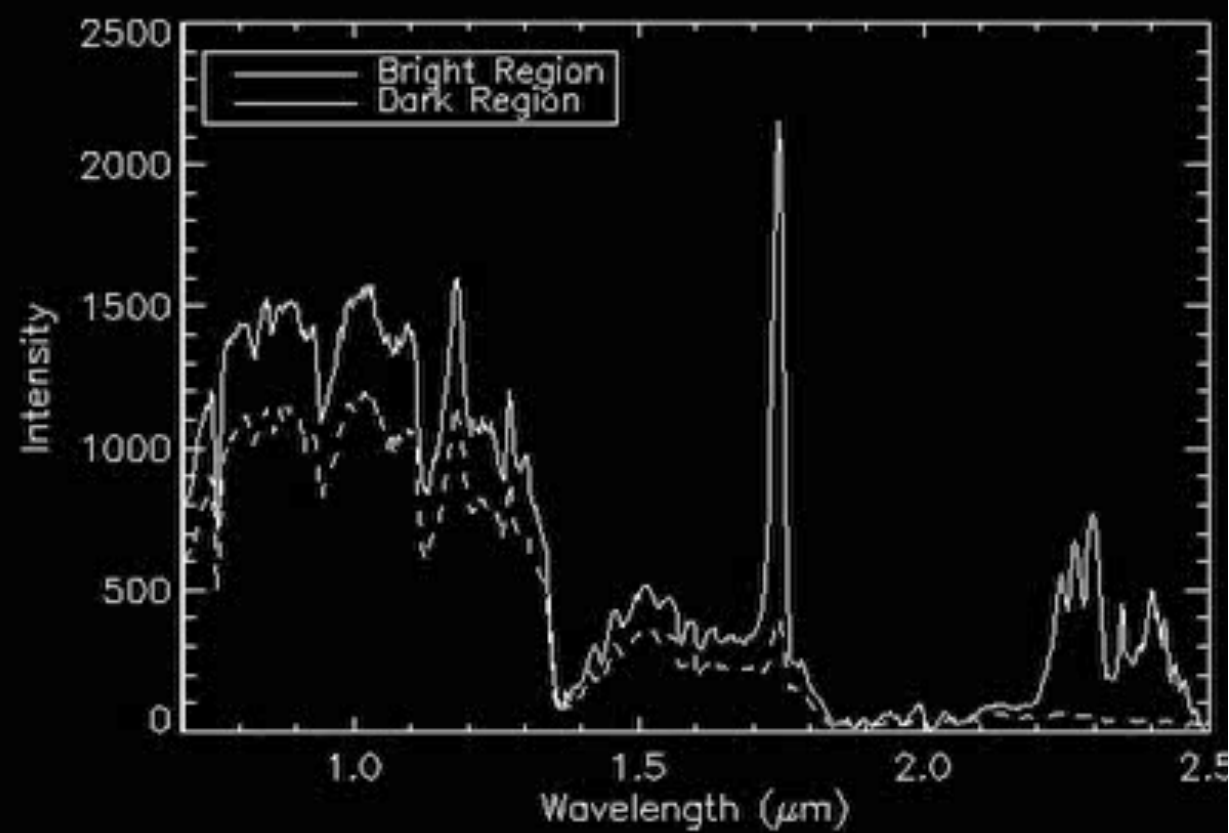
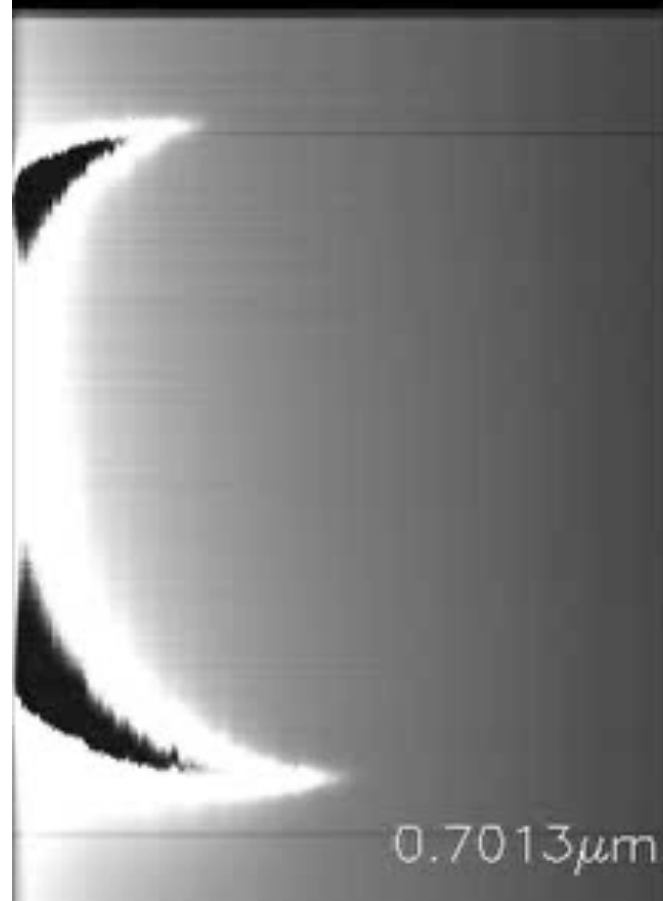
- Ces études permettent de mieux cerner les interactions complexes entre **espèces chimiques volatiles, surface et intérieurs planétaires, et climat.**

L'étude des atmosphères du Système solaire bénéficiera de l'instrument SPIRou au travers du grand nombre de bandes moléculaires dans le domaine proche IR 0.98-2.4 μm .

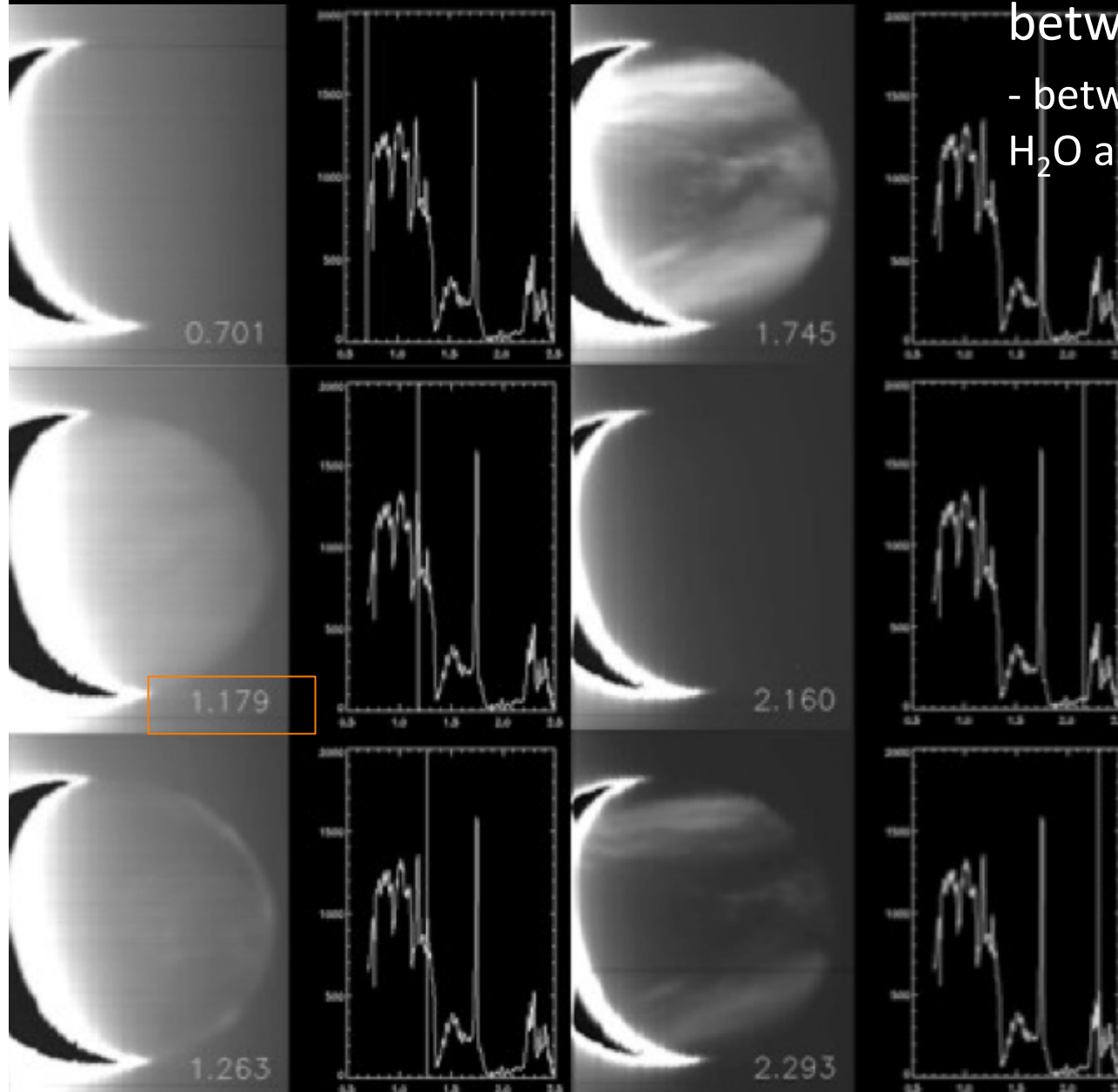
- Héritage ESPaDOnS
- Objectifs SPIRou
 - Avantages de la haute résolution spectrale IR
 - Quelques cas :
 - Vénus : chimie et dynamique
 - Planètes géantes
 - Système solaire lointain

Chimie ETL de l'atmosphère profonde de Vénus

- L'observation de la troposphère en proche IR s'effectue côté nuit dans les fenêtres du rayonnement thermique en provenance de l'atmosphère profonde
- Les fenêtres sont centrées en bande **J** (1.00, 1.18, 1.27 μm), **H** (1.74 μm), **K** (2.3 μm) et fournissent l'opportunité de sondage à distance de la troposphère sous les nuages (ex. CO, OCS, H₂O, HDO, SO₂, HF à 2.3 μm)
- La résolution spectrale de SPIRou permettra d'utiliser ces constituants comme traceurs dynamiques (vents Doppler).

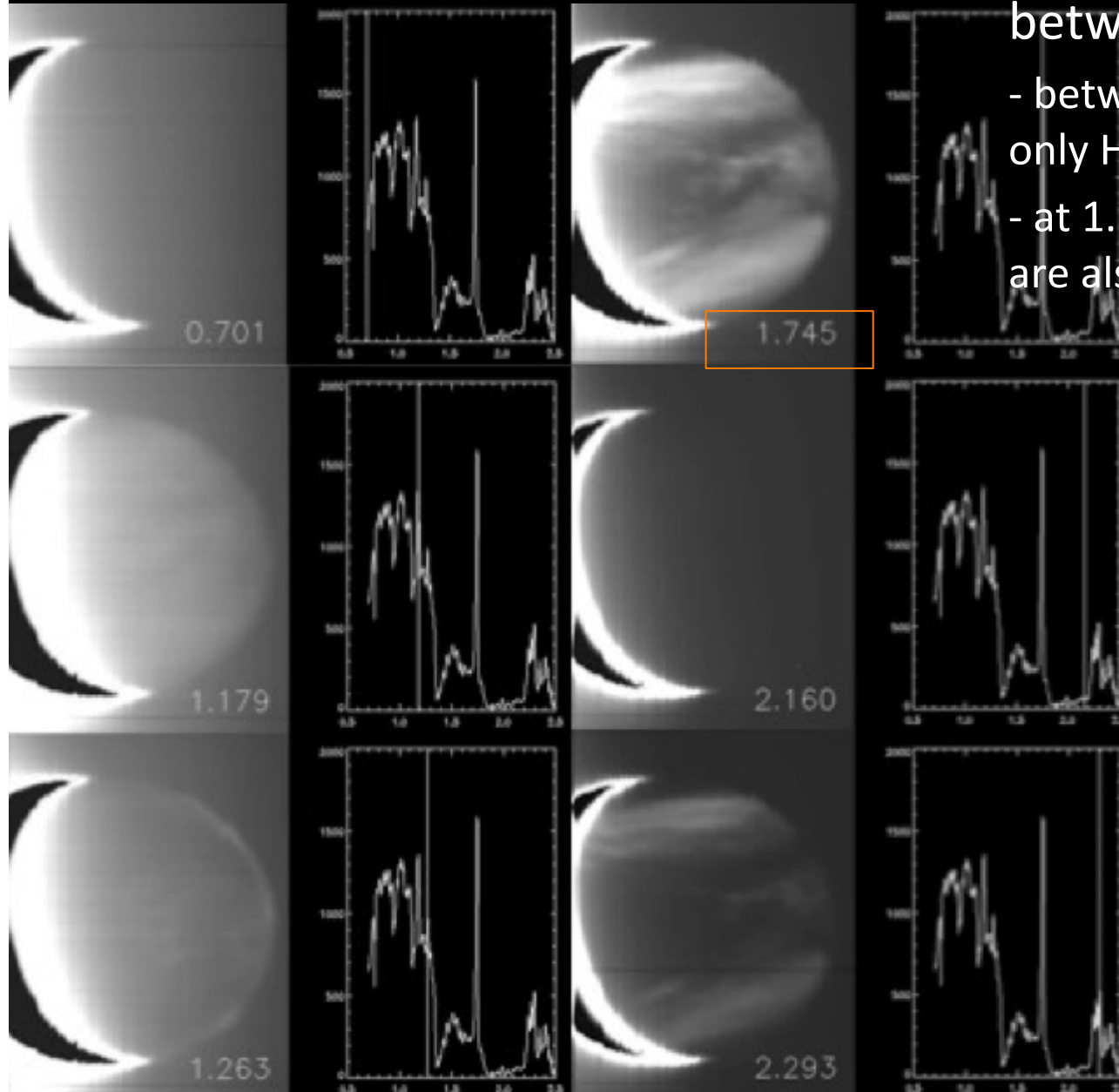


Most significant windows
between CO₂ bands are
- between 1-1.2 μm , where only
H₂O absorbs,



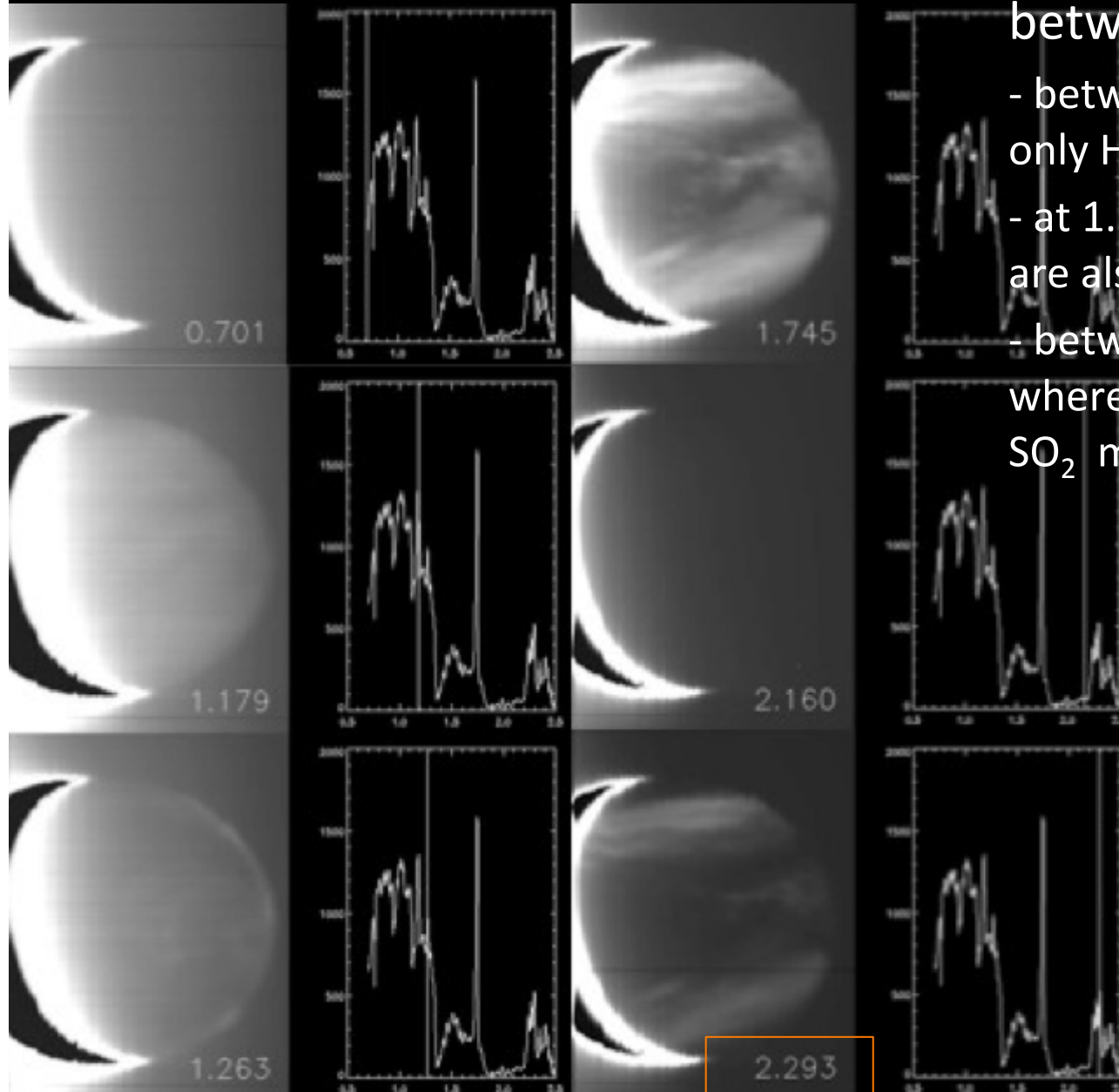
Most significant windows
between CO₂ bands are

- between 1-1.2 μm , where only H₂O absorbs,
- at 1.74 μm where HCl and CO are also detectable,



Most significant windows
between CO₂ bands are

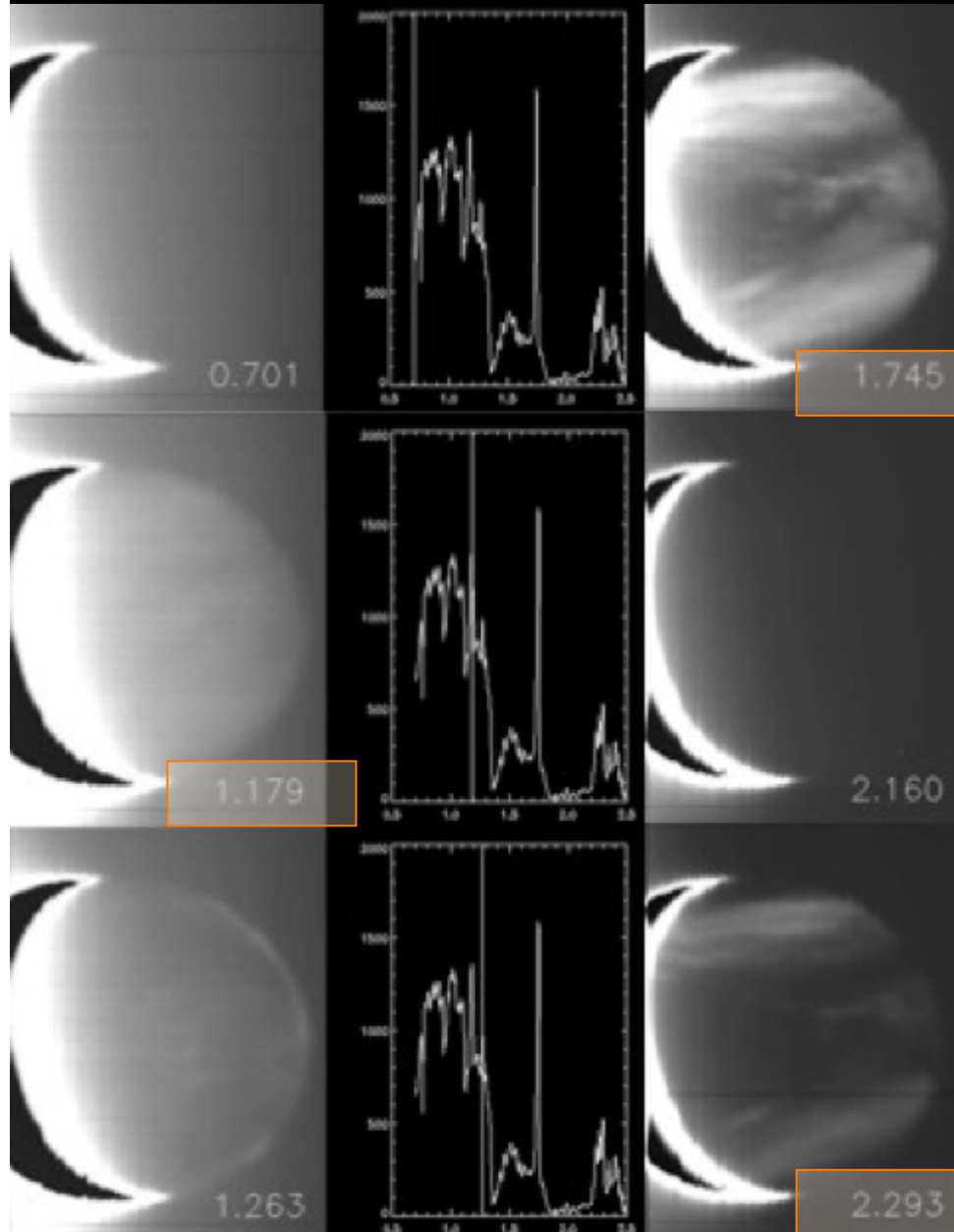
- between 1-1.2 μm , where only H₂O absorbs,
- at 1.74 μm where HCl and CO are also detectable,
- between 2.2 and 2.5 μm , where absorption by CO and SO₂ may be seen



Most significant windows between CO₂ bands are

- between 1-1.2 μm, where only H₂O absorbs,
- at 1.74 μm where HCl and CO are also detectable,
- between 2.2 and 2.5 μm, where absorption by CO and SO₂ may be seen

Because absorption by these tropospheric trace species occurs between bands of the major absorber CO₂, even minor changes in their abundance have large, disproportionate influence on the Venus greenhouse effect.



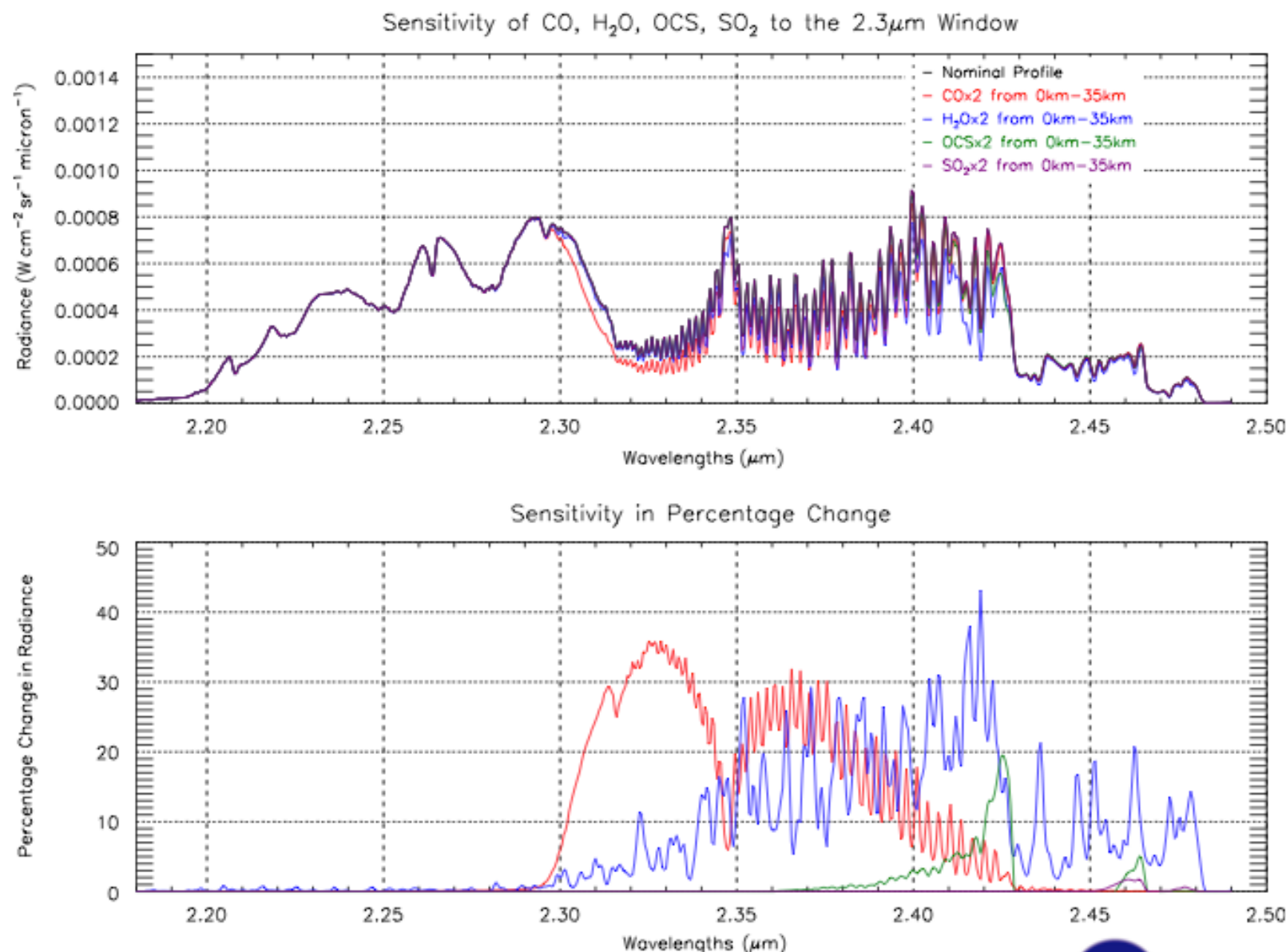
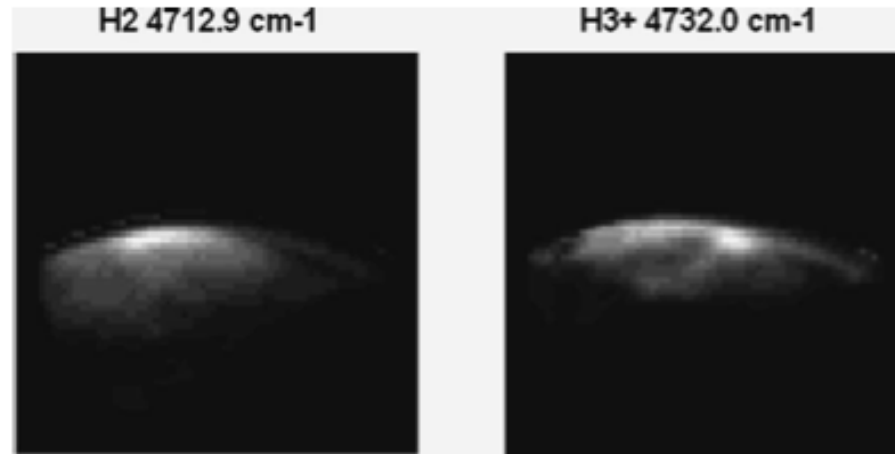


Fig. 9. Plot of sensitivity of the 2.3 μ m window to different concentrations of trace gases. (Top) Effect of doubling from 20 ppm (nominal Seiff profile) to 40 ppm and H₂O concentrations from 100 ppm (nominal Seiff profile) on emission. The artificial enhancement is uniform from the surface to a height of 35 km.

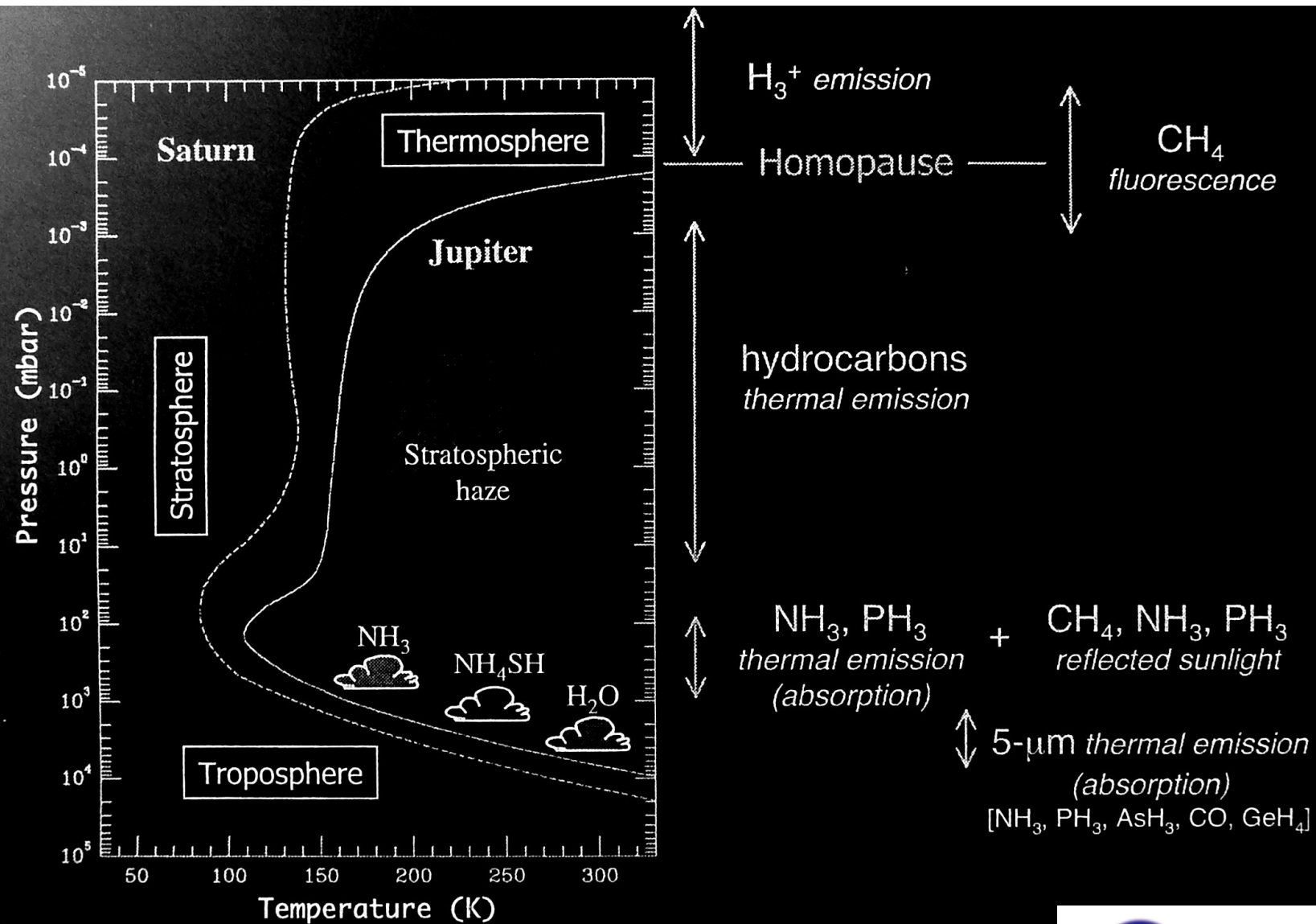
- What does the Venus greenhouse tell us about Climate Change ?
- When and where did the water go ?
- How active is Venus' interior ?
- What is the cloud composition ?
- What maintains the super-rotation ?

Jupiter et Saturne



- L'émission H_3^+ @ $2.09 \mu\text{m}$ & l'émission H_2 @ $2.12 \mu\text{m}$ (et leur corrélation) sondent le bilan énergétique et les propriétés dynamiques de la haute atmosphère, et leur couplage avec la magnétosphère. H_3^+ est massivement formé dans les régions aurorales de Jupiter, Saturne, Uranus & Neptune par l'ionisation de H_2 par des électrons énergétiques qui précipitent le long des lignes de champ magnétique.
- L'intensité de l'émission, la température et la densité colonne peuvent ainsi être mesurées simultanément à haute résolution. L'émission H_3^+ peut également servir de traceur des vents Doppler.

Jupiter et Saturne



Uranus, Neptune

- Les *icy giants* sont faiblement contraintes en l'absence de données spatiales *in-situ*.
- La mesure de composés chimiques profonds tels CO, CH₄, CH₃D est possible mais demeure incertaine du fait de la difficulté à définir un niveau de continu dans un spectre très chargé.
- Les mesures d'abondances seront améliorées grâce à l'acquisition de poses uniques sur un **large domaine spectral avec SPIRou**, apportant des contraintes nouvelles sur la structure, la convection des couches profondes et la météorologie.
- .

Pluton, Triton

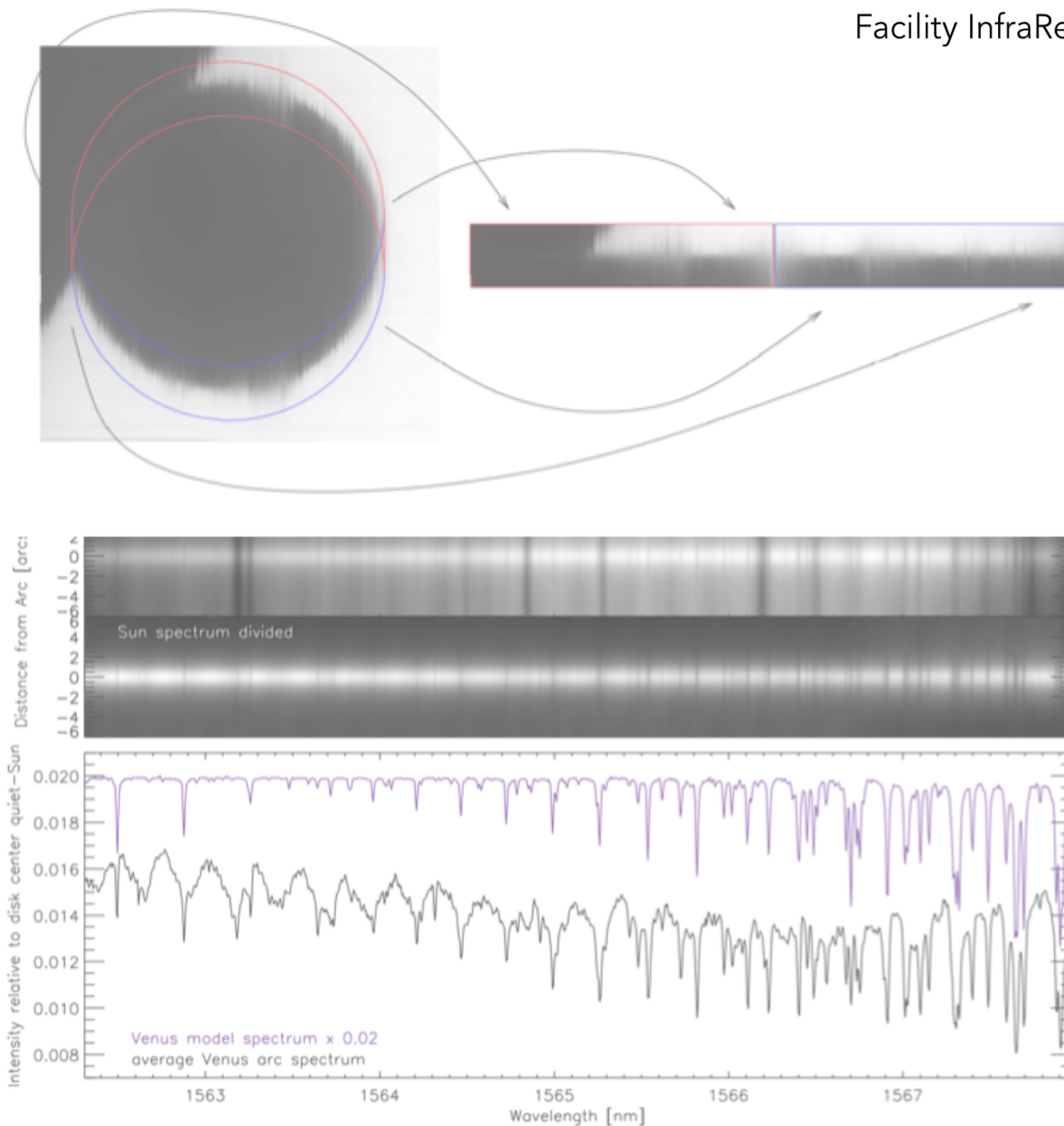


Le monitoring de l'abondance du CH_4 et CO , ainsi que d'autres constituants des atmosphères ténues de Triton, Pluton (et des gros TNOs) apporteront des contraintes sur la nature des interactions surface-atmosphère et des **mécanismes saisonniers**.

Résumé et perspectives

- Études fines, **spatialement résolues et à toutes échelles de temps**, des couplages chimie-dynamique et leur variabilité temporelle sur une grande variété de corps planétaires
- Meilleure séparation des contributions des raies moléculaires (**résolution spectrale élevée**) et mesures simultanées de nombreuses espèces et paramètres atmosphériques (**domaine spectral étendu**)
- Important pour Mercure et Vénus : observation en horaires décalés (jour, twilight)

Facility InfraRed Spectropolarimeter (FIRS) observations



Black : Sun-subtracted Venus limb observations show intensity distribution of vibrational CO_2 band $221\ 2\nu + 2\nu_2 + \nu_3$ band at $1.571\ \mu\text{m}$ observed with NSO/FIRS (black). Aureole is averaged over Venus' limb. The rest wavelength has been determined from the disk center quiet sun. The reduced spectra have been resampled to $0.055\ \text{\AA}$ per pixel and with a measured spectral profile of 0.066 angstroms (gaussian $1-\sigma$). Data independently allow to constrain temperature as well as cross-terminator winds at altitude $\Delta r = r_o - r_{1/2}$. *Purple* : transmission model using Pätzold et al. (2007) $T(z)$ profile assuming an upper boundary temperature of $200\ \text{K}$ at $100\ \text{km}$, with CO_2 cross-sections from HITRAN 2004 (Rothman et al. 2005).