



**La phosphine sur Vénus:
Une brève histoire
qui en dit long**

Thérèse Encrenaz

LERMA, 27 novembre 2020

Un bref résumé des divers épisodes (1)

- **14/09/2020** : Annonce de la **découverte de la phosphine PH_3 sur Vénus**, avec implication possible d'une vie au niveau des nuages (J. Greaves et al., U. Cardiff, UK) (*Nature Astronomy*, G2020a)
 - Une raie millimétrique observée avec le JCMT (Maunakea Observatory) et ALMA (Chili)
 - Abondance de **PH_3 : 20 ppbv** au-dessus des nuages ($\text{PH}_3/\text{CO}_2 = 2 \cdot 10^{-8}$)
 - -> [Emballement médiatique immédiat](#)
 - Mais.....
 - -> [Fort scepticisme de la communauté des radioastronomes!](#)
- **1-3/10/2020: Appels publics à la prudence** de 2 exobiologistes (Hervé Cottin et Louis d'Hendecourt)
 - La détection de PH_3 n'est pas prouvée (une seule raie spectrale observée)
 - Quand bien même ce serait PH_3 , rien ne prouve que l'origine est biogénique
- **14/10/2020** : Publication dans A&A d'une **limite supérieure de PH_3 dans l'infrarouge**, 4 fois inférieure à la valeur millimétrique (E2020)
 - Mesure faite à 10 microns à Maunakea Observatory (TEXES/IRTF)
 - -> **$\text{PH}_3 < 5$ ppbv**
 - J. Greaves et 2 co-auteurs (qui ont initié la recherche) font partie des auteurs...!

Un bref résumé des divers épisodes (2)

- **21-30/10/2020**: 3 articles publiés sur ArXiv **contestent la détection** de G2020

I. Snellen et al. (Leiden)

G. Villanueva et al. (NASA-GSC)

M. Thompson (U. Hertordshire, UK)

- **17/11/2020**: **Nouvel article de J. Greaves** (G2020b, ArXiv)

Nouveau traitement des données ALMA suite à une recalibration: -> $\text{PH}_3 = 1$ ppbv (jusqu'à 5 ppbv localement sur le disque)

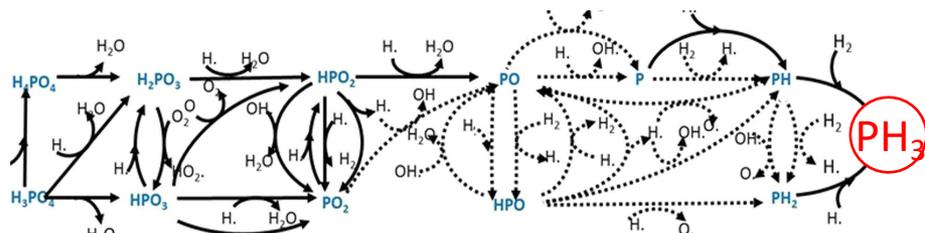
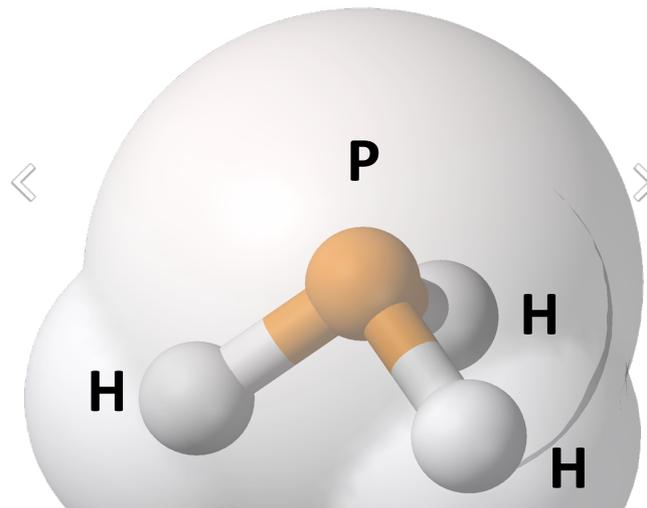
Du coup, les résultats JCMT et ALMA sont incohérents -> les auteurs suggèrent une variation temporelle....

- **En cours** : Une analyse des données de l'instrument infrarouge de Venu Express ne détecte **pas de trace de phosphine** entre 2006 et 2010.

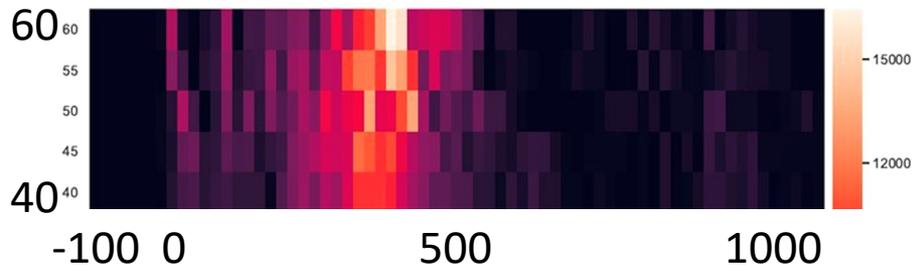
Prochaine étape : session spéciale de l'Assemblée Générale de l'American Geophysical Union le 11 décembre 2020

Pourquoi une telle agitation autour de la phosphine?

- La phosphine PH_3 (gaz hautement toxique) est absente de l'atmosphère terrestre
- Sa présence n'est pas attendue dans l'atmosphère oxydante des planètes telluriques Terre: O_2 ; Mars et Vénus: CO_2)
- En revanche PH_3 a été détecté sur Jupiter et Saturne (atmosphères riches en hydrogène)
- On ne connaît aucun modèle photochimique capable d'expliquer la présence de phosphine (même au niveau du ppbv) dans les atmosphères oxydantes
- D'où la conclusion (hâtive) de G2020a: cela pourrait être des micro-organismes vivants au niveau des nuages?
- Cependant, aucun scénario n'existe à ce jour pour appuyer cette hypothèse



Altitude (km)



L'idée d'une vie possible au niveau des nuages de Vénus n'est pas nouvelle

- L'atmosphère de Vénus: des conditions infernales ($T = 730$ K, $P = 97$ bars)
- Des nuages d'acide sulfurique entre 40 et 60 km
- L'hypothèse d'une vie au niveau des nuages de Vénus ($-20^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C}$), sous forme de micro-organismes est ancienne (Sagan, 1970)
- Cependant, elle reste sans justification scientifique à ce jour

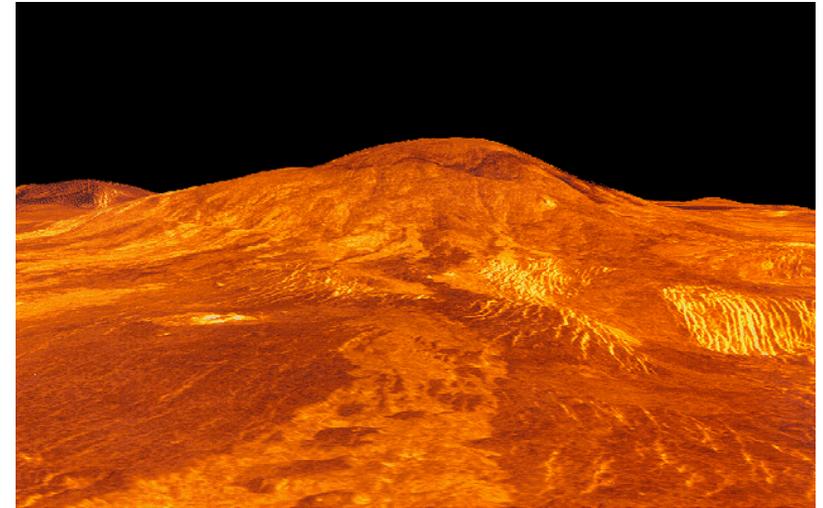
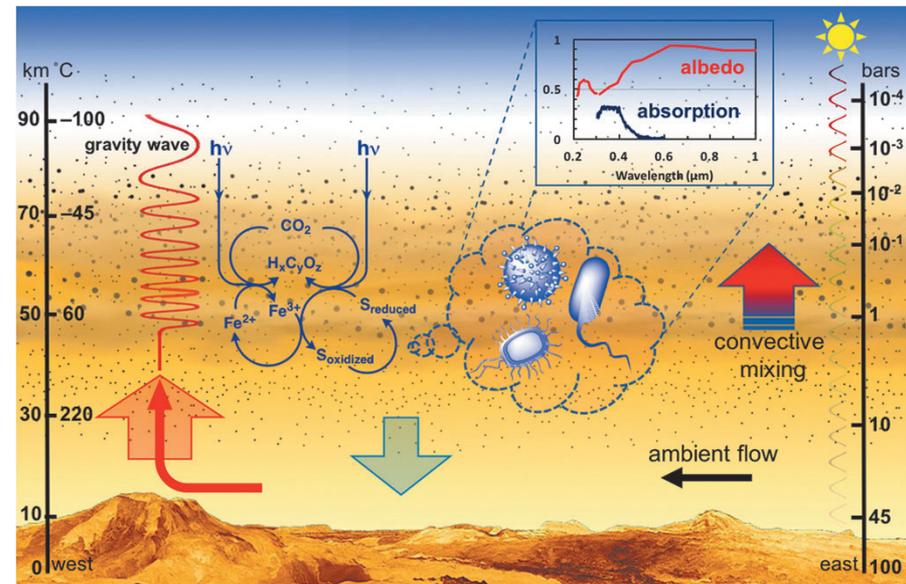


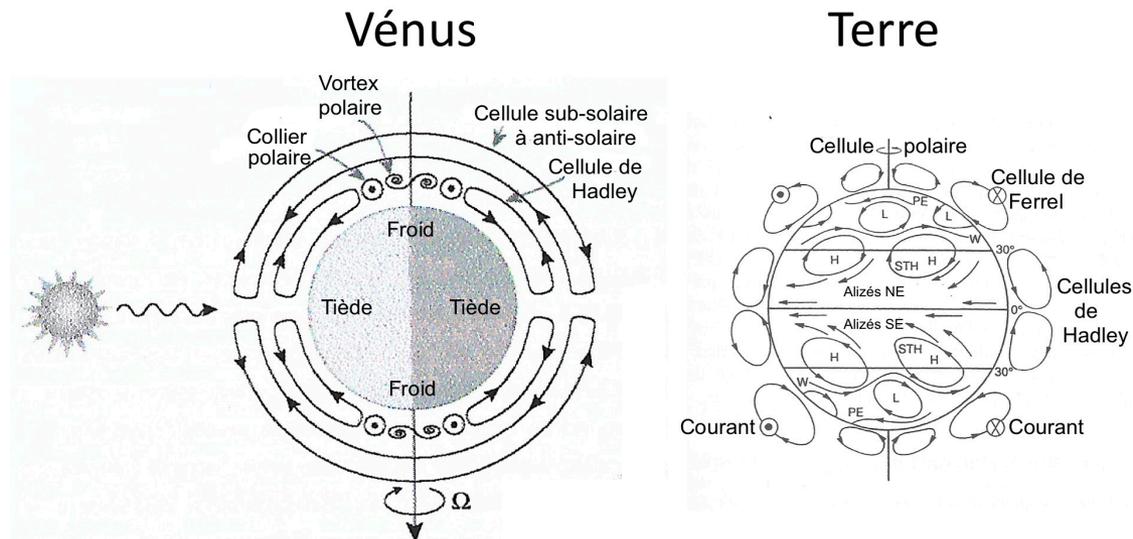
Image radar (Magellan, 1992)



Une vision d'artiste
(Limaye et al. 2018)

Les mystères de Vénus (1)

- Une planète qui tourne (très lentement) à l'envers
 - Collision initiale? Evolution chaotique de l'obliquité? (Laskar)
- Une super-rotation longtemps mal comprise
 - Au sol: 1 jour(V) = 243 jours(T): Au sommet des nuages: 1 jour(V) = 4 jours(T)
 - Origine: Marées thermiques (transport de l'énergie des pôles vers l'équateur)
- Deux régimes de circulation très différents
 - Sous les nuages: circulation convective de Hadley (comme la Terre, mais 1 seule cellule/hémisphère)
 - Au-dessus des nuages: circulation sub-solaire -> anti-solaire



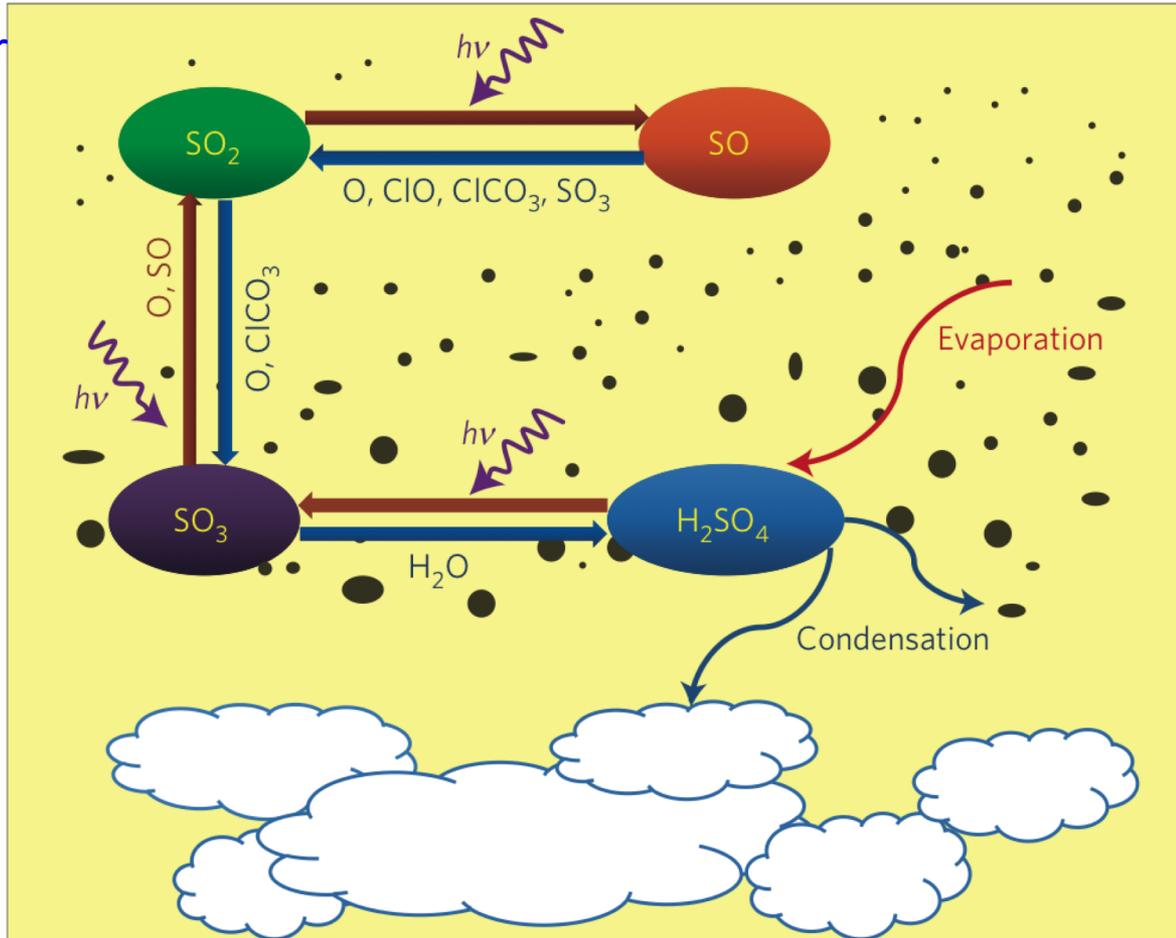
Les mystères de Vénus (2)

100 km
160 K,
0.02 mbar

70 km
220 K,
10 mbar

60 km
230 K,
0.15 bar

50 km
300 K,
1 bar



Mesosphere

H₂O 1 – 3 ppm
SO₂ 10 – 1000 ppb

$SO_2 + hv \rightarrow SO + O$
 $SO_2 + O + hv \rightarrow SO_3$
 $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$
-> condensation
& evaporation

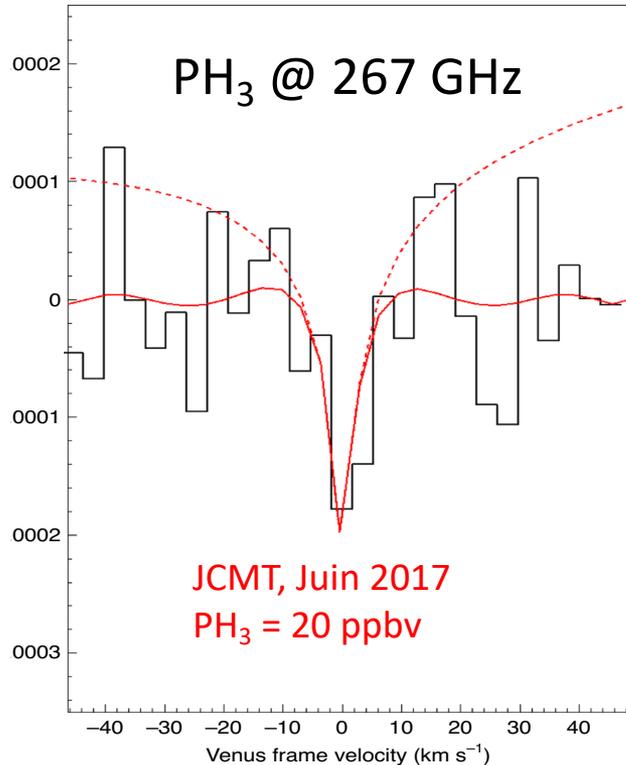
Troposphere

H₂O 30 ppm
SO₂ 150 ppm

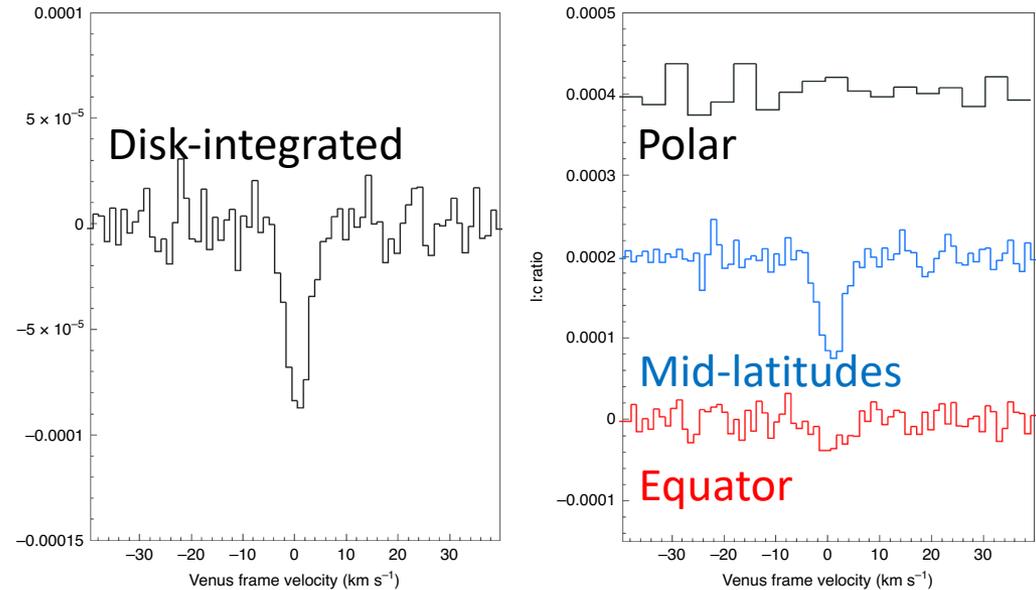
- SO₂ est diminué d'un facteur 1000 entre la troposphère et la mésosphère
- 1/5 du SO₂ se combine à H₂O pour former H₂SO₄
- -> où passe le reste???? Aérosols?

Les mesures millimétriques : PH₃ @ 267 GHz (G2020a)

JCMT, Juin 2017



ALMA, Mars 2019



Ce qui fait débat:

- L'analyse de G2020a utilise un polynome de degré 12 pour éliminer les oscillations du continu (les « ripples »)
- Les lignes de base < 30 m sont supprimées « pour diminuer le bruit »

Les mesures infrarouges (E2020)

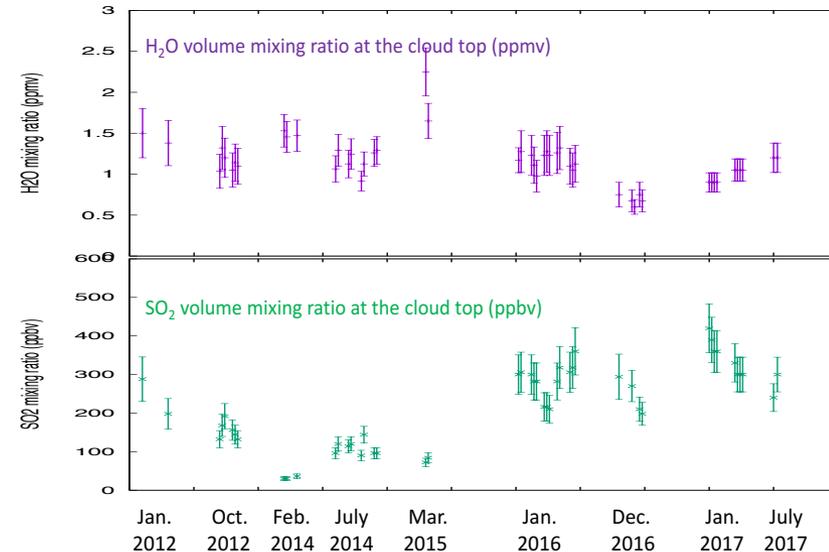
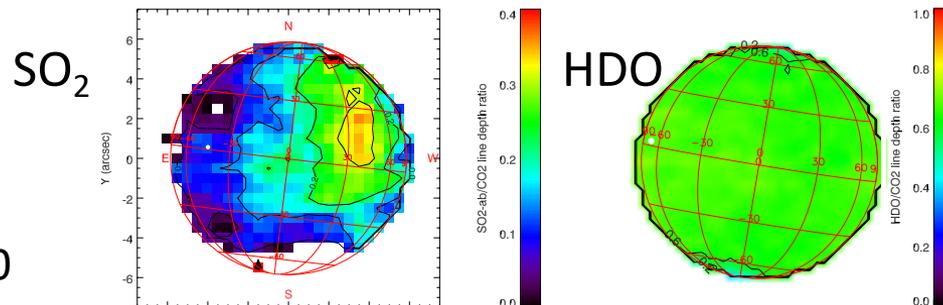
TEXES @ IRTF

NASA Infrared Telescope Facility,
Maunakea Observatory, Hawaii

TEXAS Echelon Cross Echelle Spectrograph
(5 – 25 μm , $R = 8 \cdot 10^4$ @ 7 μm)

Campagne d'observation de Vénus (2012->)

- Objectif: étudier les cycles de l'eau et du soufre par la cartographie de SO_2 et HDO (proxy de H_2O) au sommet des nuages -> étude des variations spatio-temporelles
- Observations à différentes longueurs d'onde pour sonder différents niveaux (7, 10, 12, 18 μm)
- 13 campagnes entre 2012 et 2019



Où rechercher PH₃ dans l'infrarouge thermique?

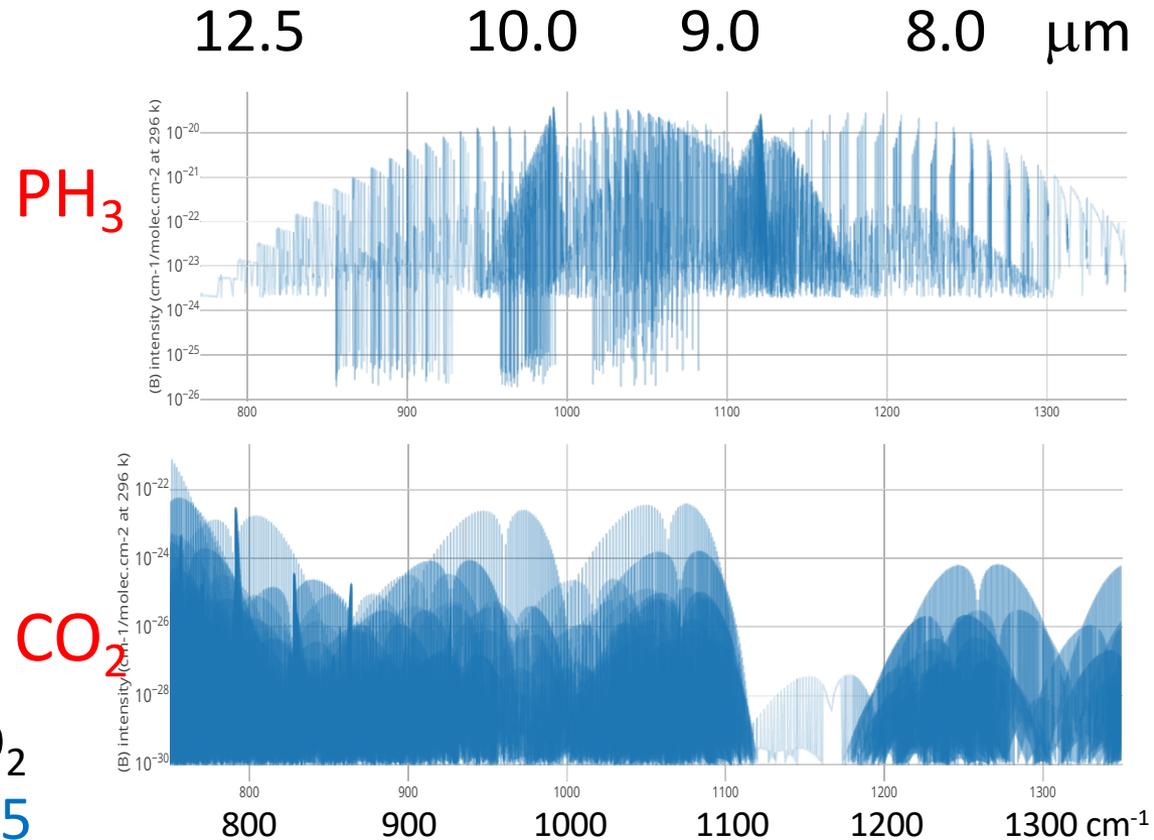
- PH₃ a 2 bandes fortes à 10 μm et 9 μm

- La bande à 10 μm tombe dans la bande de O₃ terrestre

→ La bande à 9 μm est la plus favorable pour une détection

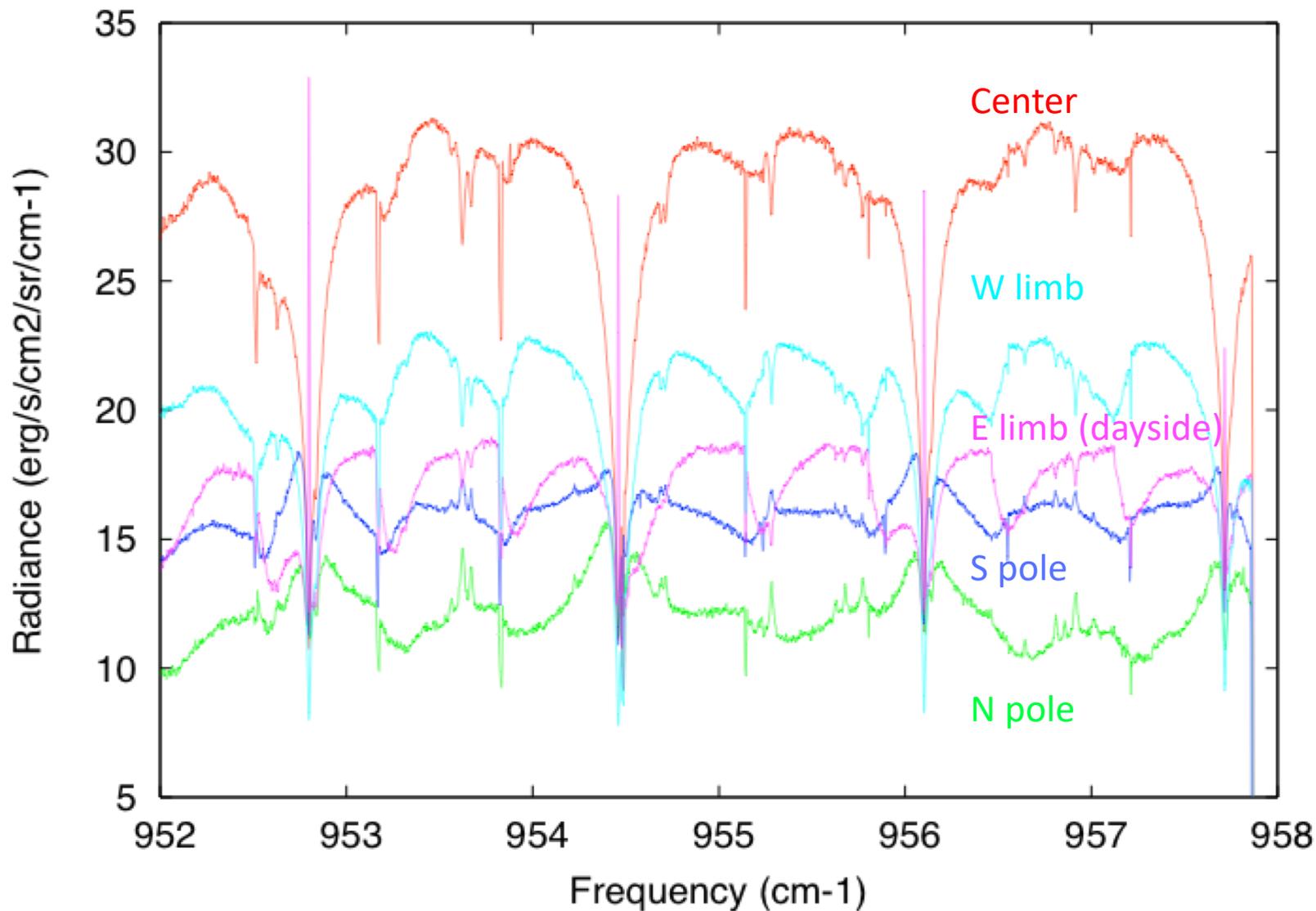
- Il faut aussi des raies faibles de CO₂ pour mesurer le rapport PH₃/CO₂

→ La région autour de 10.5 μm (950 cm^{-1}) est un bon compromis

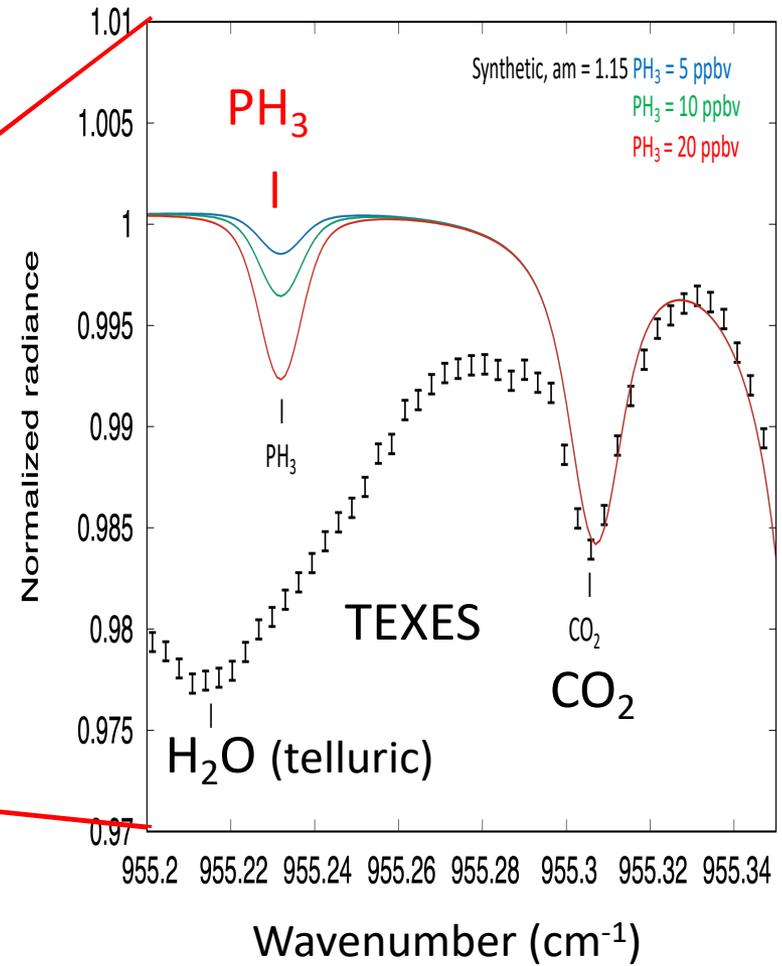
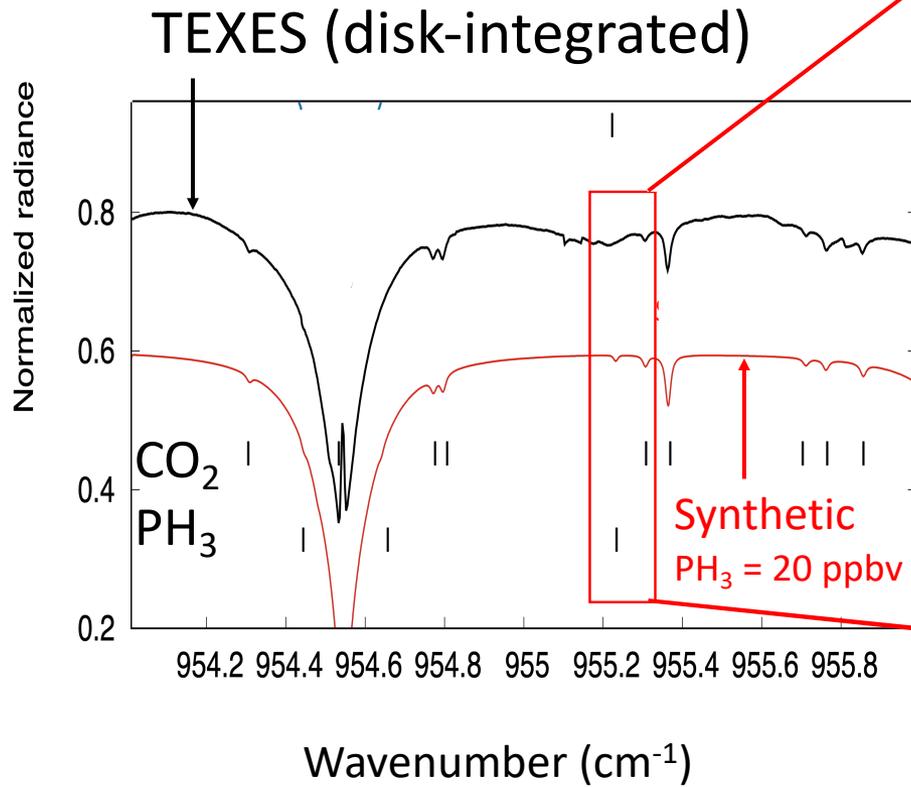


La bande $2\nu_2 - \nu_2$ de CO_2 @ 955 cm^{-1} ($10.5 \mu\text{m}$)

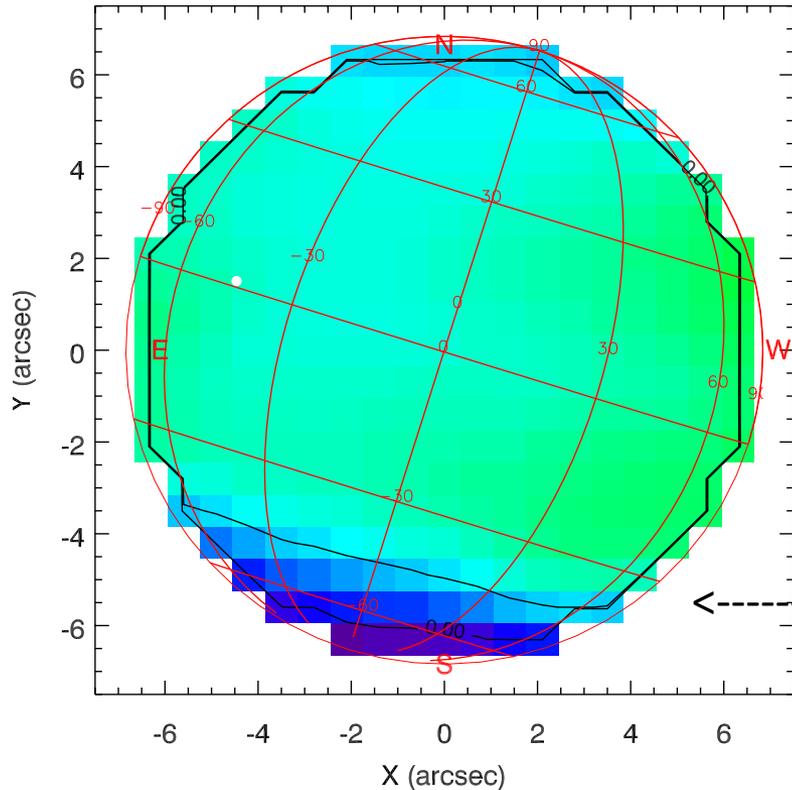
Une émission non-LTE est visible au limbe, côté jour



Venus, disk integrated (March 2015)
 $\text{PH}_3 < 5 \text{ ppbv}$ (3σ)

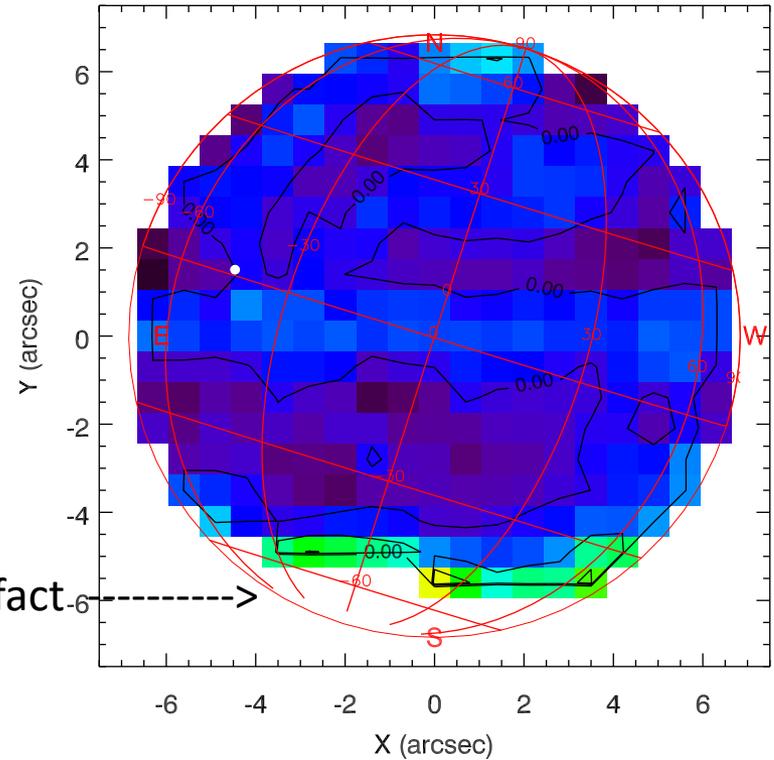


Absence de PH₃ sur le disque de Vénus



CO₂ line depth

-0.05 0.00 0.05 0.10 0.15 0.20



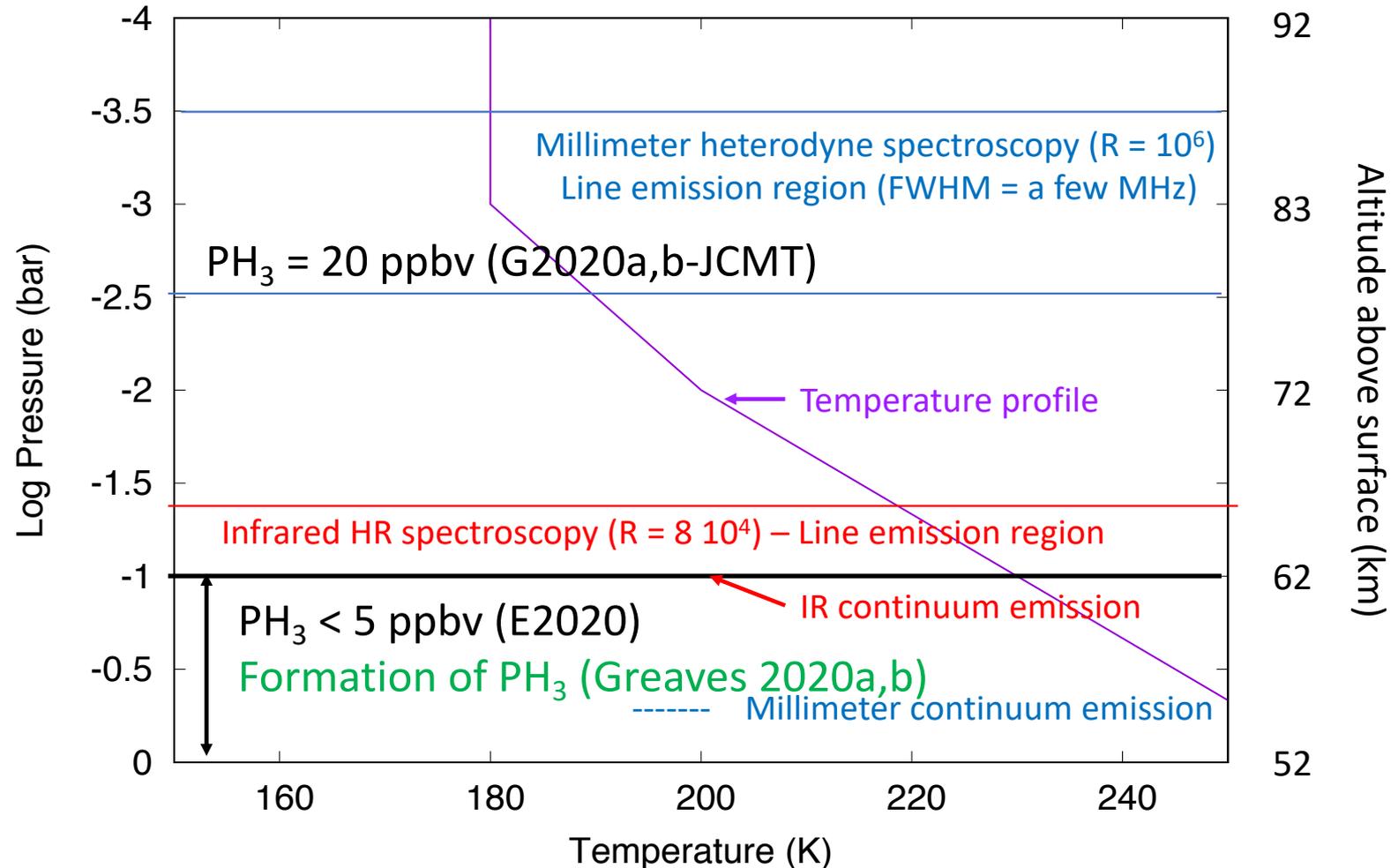
PH₃/ CO₂ line depth ratio

-0.05 0.00 0.05 0.10 0.15 0.20



L'abondance de PH₃ est déduite du rapport de profondeur des raies (PH₃/CO₂) < 0.05 en tout point de la planète -> PH₃ < 5 ppbv partout

Peut-on réconcilier les mesures infrarouges et millimétriques?



- La raie millimétrique (très étroite) est formée à $z > 70$ km
- La raie infrarouge est formée à 60 km

14/20 La phosphine est censée se former dans les nuages -> **Contradiction**

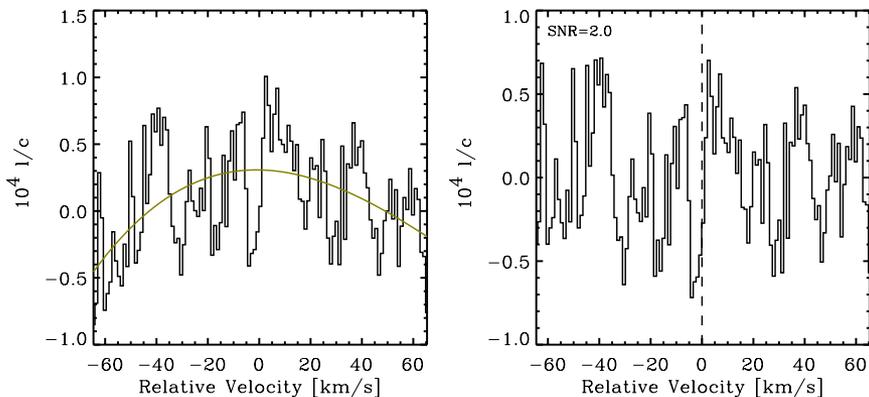
Suite à G2020, la contestation s'organise

- I. Snellen et al. (Leiden) ArXiv:2020.09761, soumis à Science (21/10/2020)
 - Les données ALMA de G2020a ne montrent pas la phosphine
- G. Villanueva et al. (NASA/GSFC), ArXiv:2020.14305, soumis à Nature Astronomy, 28/10/2020)
 - La raie du JCMT de G2020 est due à SO_2 et non PH_3
 - Les données ALMA ne montrent pas la phosphine
 - Le modèle photochimique de PH_3 est en contradiction avec la raie soi-disant observée
- M. Thompson (Hertfordshire, UK), ArXiv:2020.15188v1, soumis à MNRAS (30/10/2020)
 - Les données du JCMT de G2020a ne montrent pas la phosphine

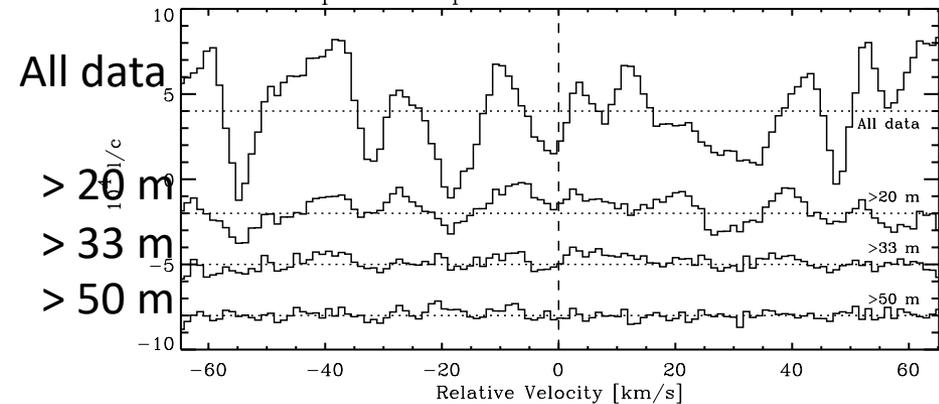
1. Snellen et al.

- L'utilisation d'un polynôme de degré 12 introduit des fausses raies
 - Reproduction des résultats de G2020 avec leurs hypothèses (polynôme de degré 12, lignes de base > 33m)
 - Analyse avec un polynome de degré 3 -> pas de raie
 - Analyse avec différentes lignes de base -> pas de raie

ALMA 267 MHz - Venus



Spectral dependence on ALMA Baselines

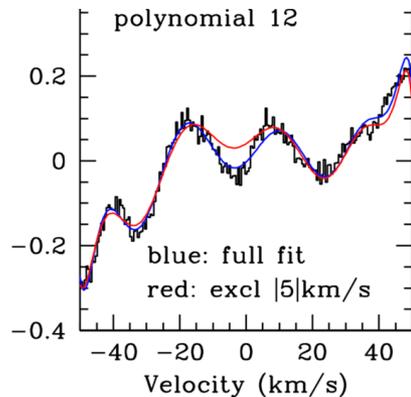


Pol. Degré 3 -> Pas de raie

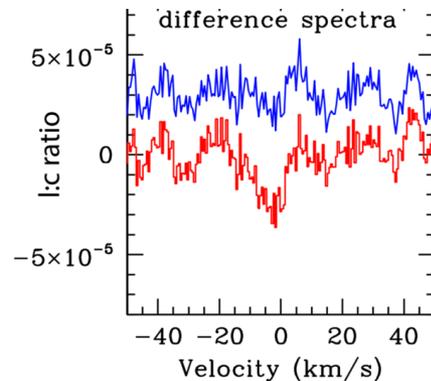
Effet de la ligne de base

2. Villanueva et al. (27 auteurs)

- Mêmes critiques que Snellen sur la méthode, de plus:
 - Il existe une raie de SO_2 très proche de PH_3
 - La raie du JCMT est en fait SO_2 (100 ppbv - plausible)
 - La raie ALMA est un artefact lié à la méthode utilisée
- Le profil PH_3 du modèle photochimique n'est pas cohérent avec l'observation de la raie millimétrique

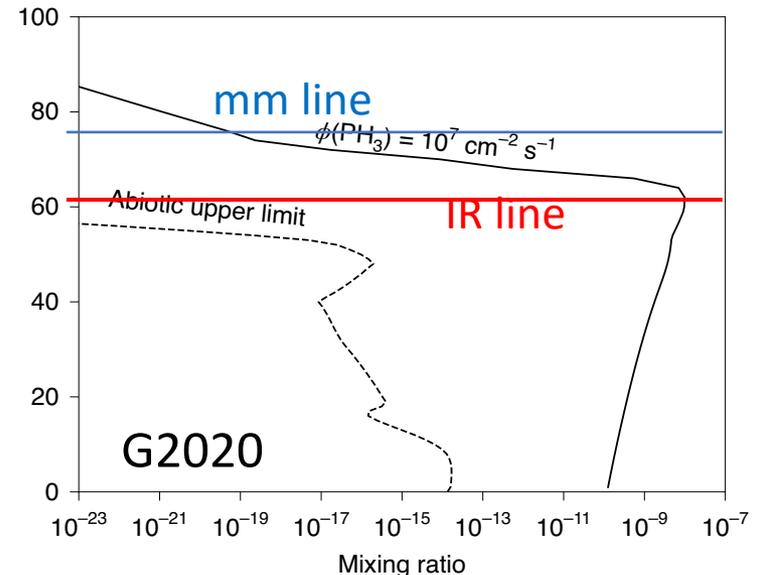


Fit complet



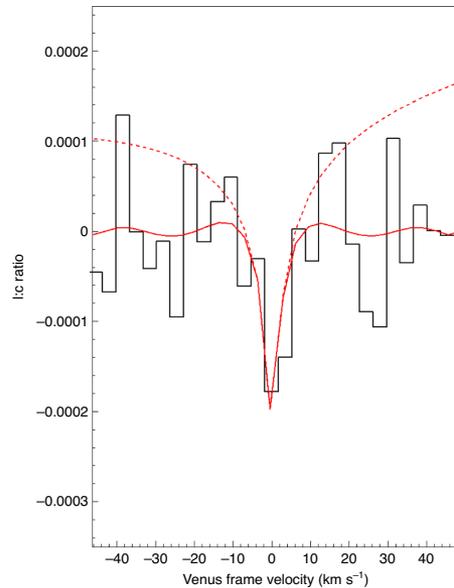
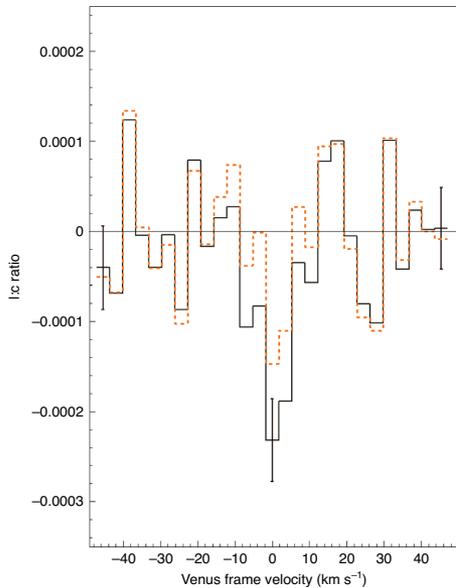
Villanueva +2020

Fit excluant la fenêtre $[-5, +5]$ km/s



3. Thompson

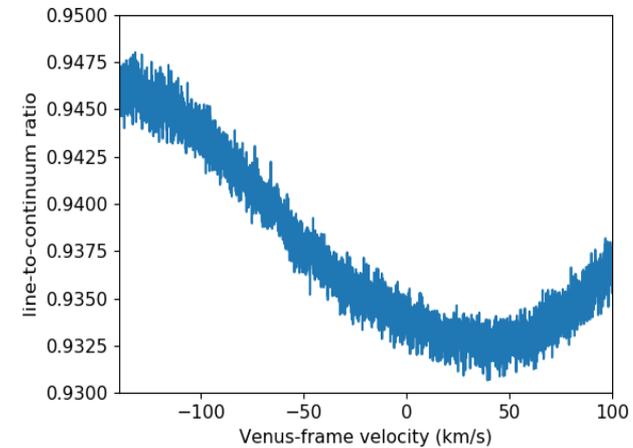
- Mêmes critiques que les précédents, mais pour les données du JCMT



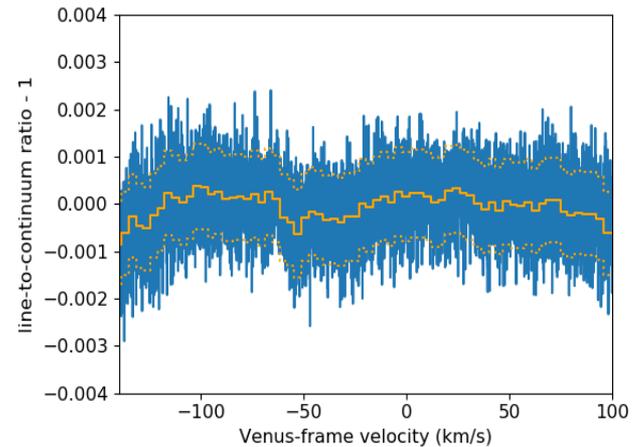
G2020

Fenêtre de 8 km/s

Fenêtre de 2 km/s



Données
Brutes

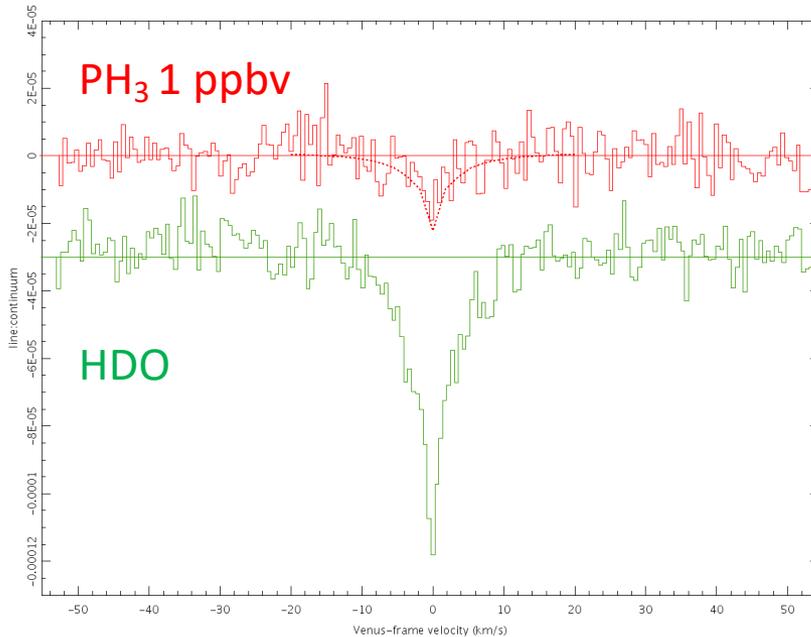


Filtrage
Par pol.
Degré 3

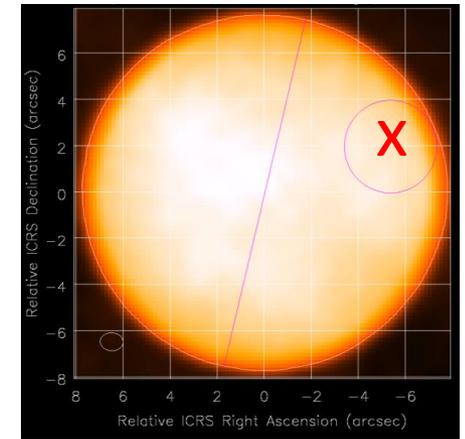
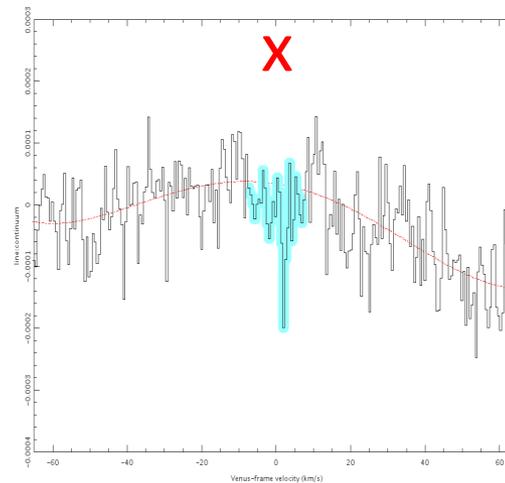
Thompson, 2020

Dernières nouvelles (17/11): Nouveau traitement des données ALMA après recalibration (ArXiv, G2020b)

Disque entier: $\text{PH}_3 = 1$ ppbv



**Variations de PH_3 sur le disque:
Exemple avec $\text{PH}_3 = 5$ ppbv**



- Les données ALMA indiquent une abondance très faible de PH_3 (à la limite du bruit!)
- Elles pourraient s'expliquer par une petite raie de SO_2 présente à la même fréquence

→ La valeur de PH_3 de 2017 est incompatible avec les mesures de 2015 et 2019
→ Conclusion de G2020b: Il y a des variations temporelles par un facteur $> 20!$

→ A suivre....!

Les leçons à tirer...

- Dès qu'il s'agit de vie extraterrestre, il y a de la folie dans l'air...
 - > Merci à Hervé Cottin et Louis d'Hendecourt qui ont tiré très tôt la sonnette d'alarme!
 - D'autres papiers fantaisistes sont sortis en octobre:
 - Détection tentative de PH_3 par le spectro de masse de Pioneer Venus (NB: $m(\text{PH}_3) = m(\text{H}_2\text{S}) = 34!$)
 - Annonce de détection de la glycine dans Vénus avec ALMA...!
- Problème possible de crédibilité d'ALMA...
 - Nouvelle calibration: chute d'un facteur 20 de l'abondance de la phosphine!
- Dérive possible liée à l'accessibilité des toutes les archives astronomiques?
- Toute dernière nouvelle (sera présentée à l'AGU le 11 décembre):
 - L'instrument SOIR (IR solar occultation) de Venus Express ne voit pas trace de PH_3 entre 2006 et 2010 (< 1-2 ppbv)
- -> C'est peut-être vraiment la fin de l'histoire?