



Modélisation de la réponse de l'atmosphère de Ganymède au flux UV solaire

Cessateur, Gaël^{1,2}; Lilensten², Jean ; Barthelemy, Mathieu²; Ménager, Hélène²;
Gronoff, Guillaume³; Simon, Cyril⁴; Dudok de Wit, Thierry¹

- (1) LPC2E, Orléans, France
- (2) IPAG, Grenoble, France
- (3) NASA, Hampton, USA
- (4) BIRA-IASB, Bruxelles, Belgique

Travaux précédents

- Etude du flux UV solaire dans le cadre de la météorologie de l'espace
- Caractérisation de la cohérence spectrale de la variabilité solaire
- Reconstruction du spectre UV à partir de bandes passantes (Cessateur et al, 2011)
- Lien direct avec les atmosphères planétaires

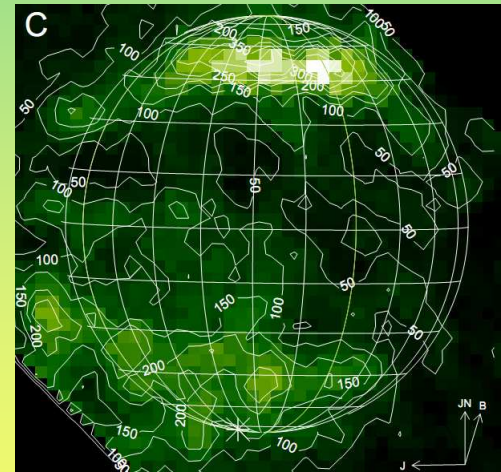
PLAN

- Atmosphère de Ganymède
- Flux UV solaire
- Méthode et Résultats

Présence d'une atmosphère ?

- Occultation stellaire (Carlson et al, 1973)
- Mesures in-situ: Voyager I (UVS), Galileo (PSW)

- Observations avec HST: O_2 , O
(Hall et al, 1997; Feldman et al, 2001)



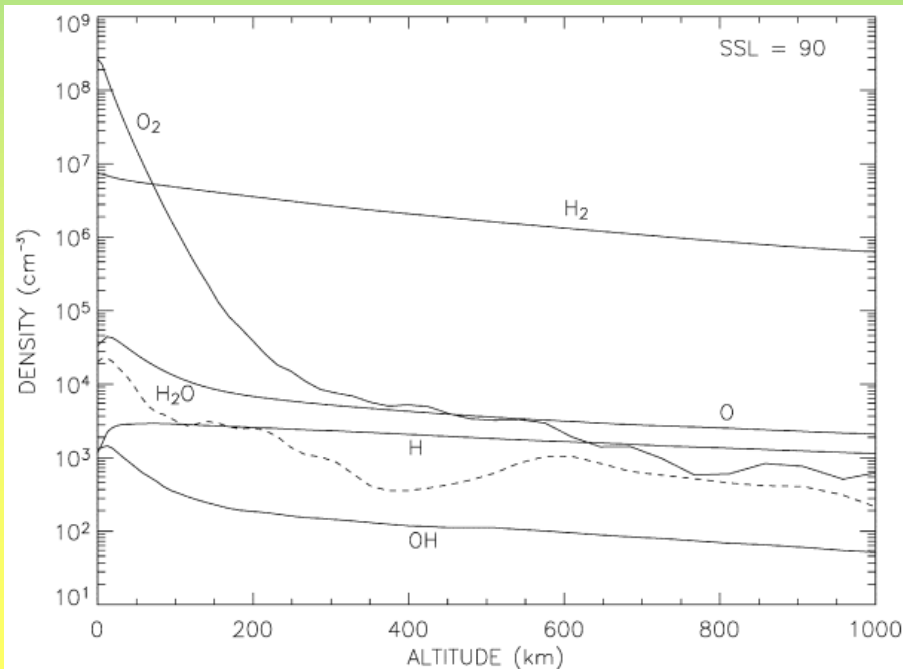
- Observation de la raie rouge ($O(^1D)$ @ 630 nm)
(Brown and Bouchez, 1999)

Modèle d'atmosphère neutre

Modèle de Marconi (2007)

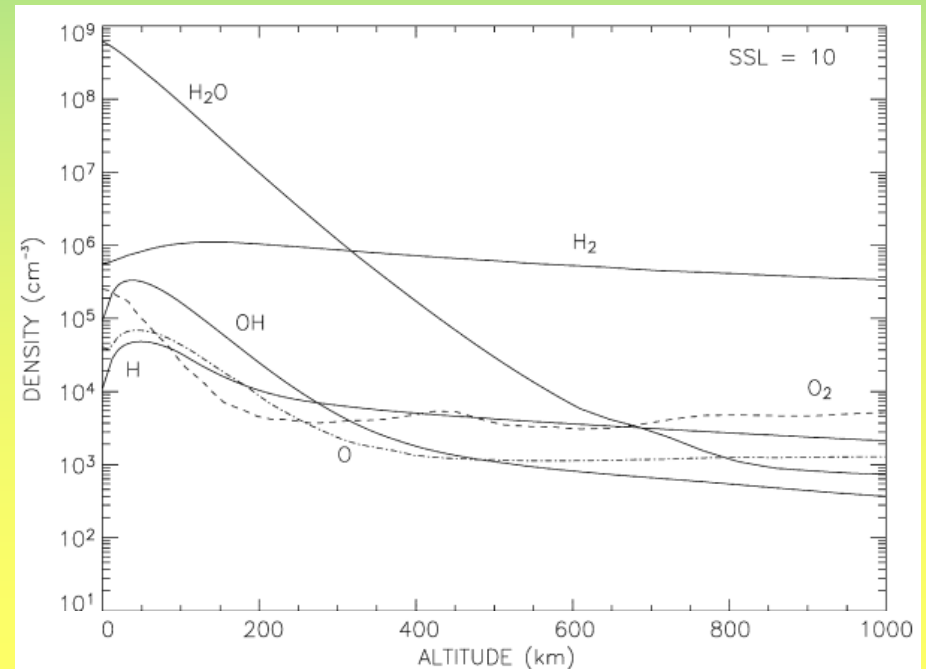
Région Polaire ($T \approx 80$ K)

Pulvérisation de la surface par des ions lourds (O^{n+} , S^{n+}): O_2 , H_2



Région Equatoriale ($T \approx 150$ K)

Sublimation de la glace d'eau: H_2O , H_2



Impact du flux UV solaire ?

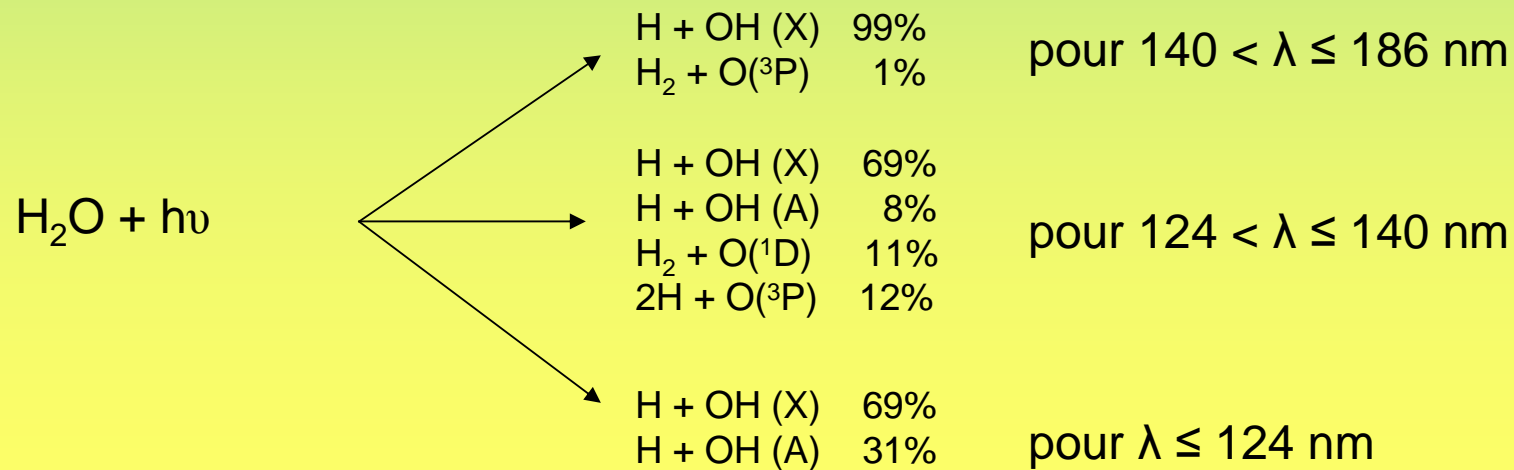
Photolyse de l'atmosphère

Flux EUV (10-91 nm): Ionisation

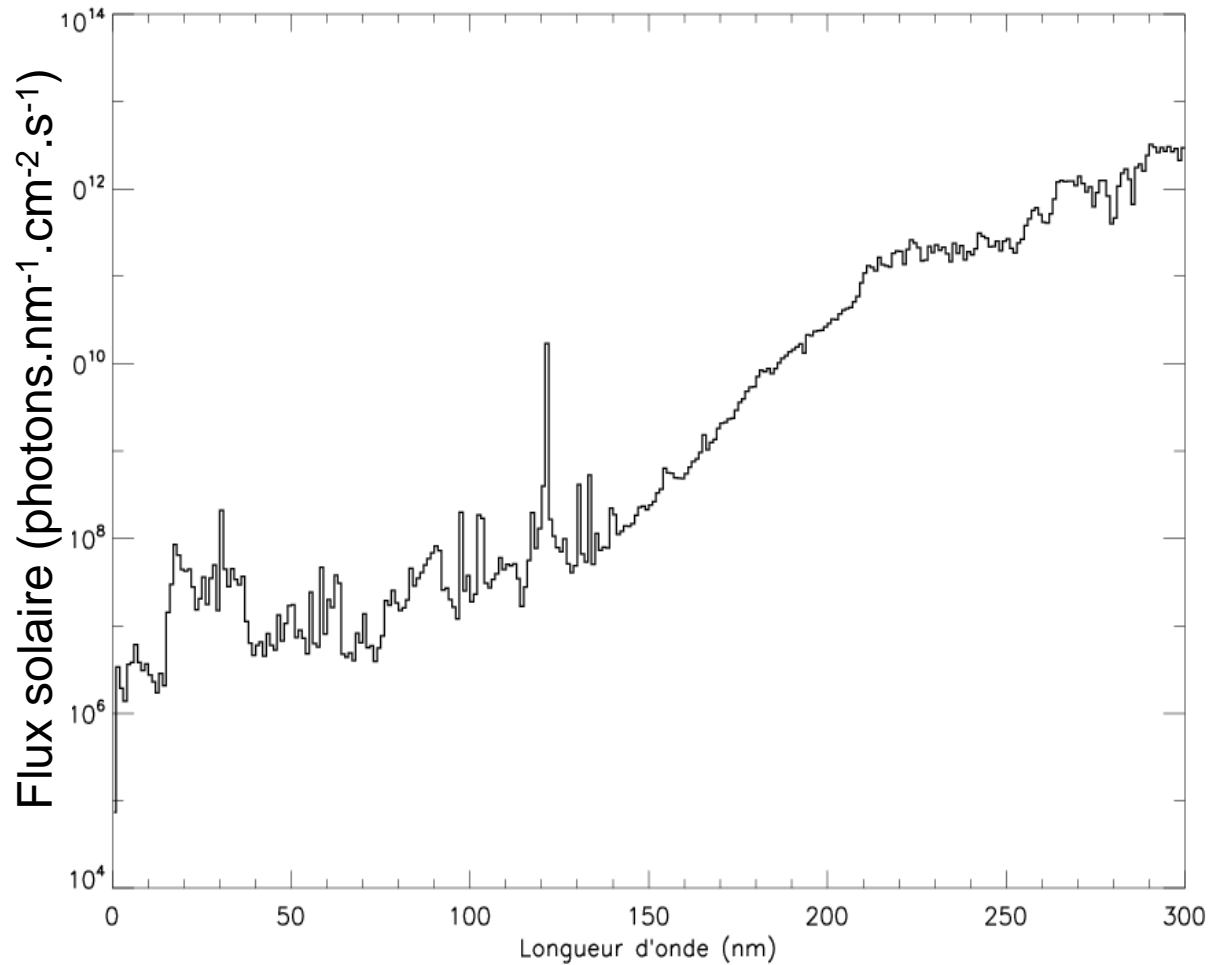
H_2O^+ , O_2^+ , H_2^+ , O^+ , OH^+ ,...

Flux UV (90-250 nm): Excitation/Dissociation

Exemple de l'eau (Wu and Chen, 1994)



Flux UV Solaire (pour le système jovien)



- Spectre composite



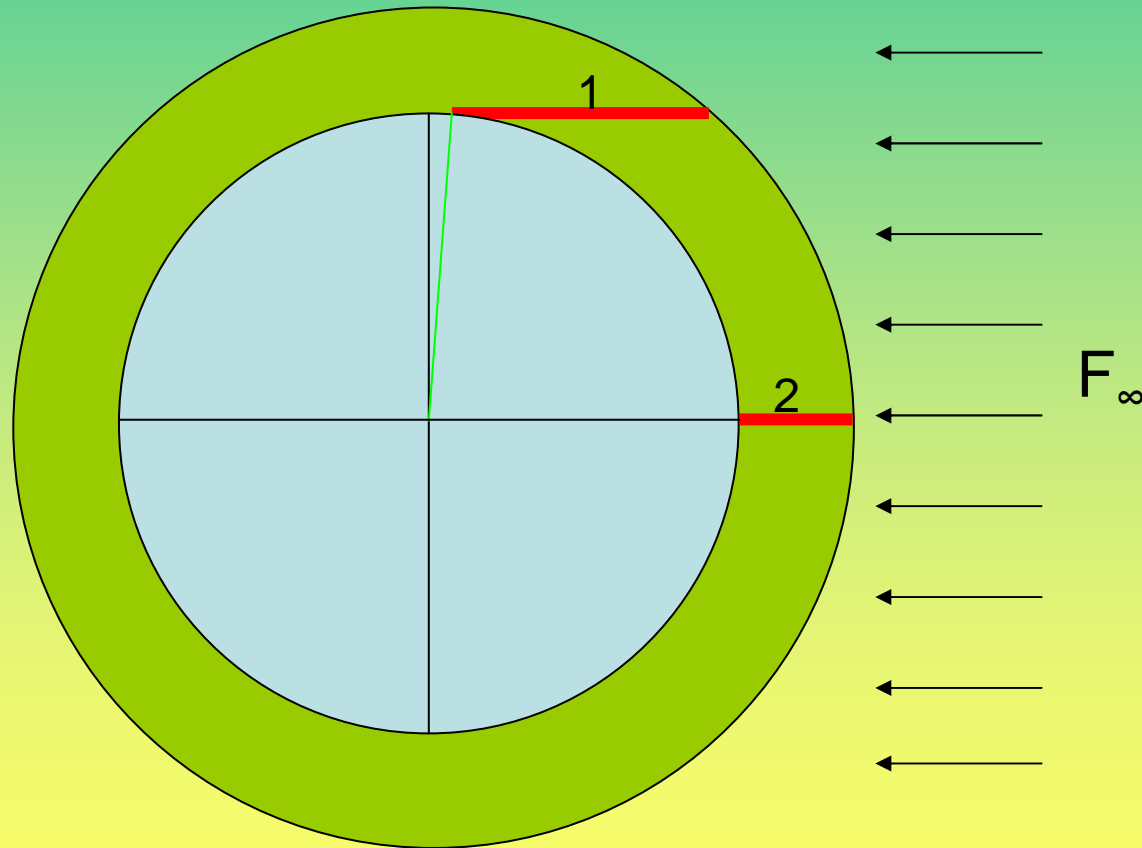
XPS/SOLTICE: 0-27 nm

TIMED/SEE: 27-115 nm

SORCE/SOLTICE: 115-300 nm

- Résolution $\Delta\lambda = 1\text{ nm}$
- F10.7 = 170

Mise en situation



Deux cas de figures

1. Région polaire ($\chi = 82^\circ$)

2. Région équatoriale ($\chi = 0^\circ$)

Photolyse de l'atmosphère: modélisation

- Loi de Beer-Lambert

$$F(\lambda, z) = F_{\infty}(\lambda)e^{-\tau} A(z)$$

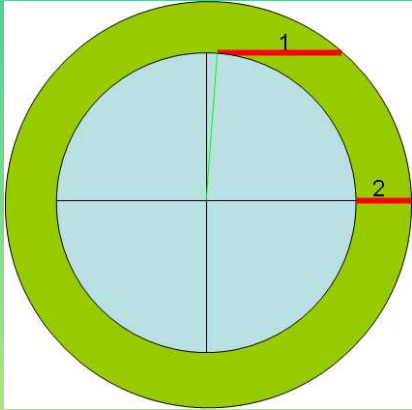
avec $\tau = \sum_k \sigma^k(\lambda) \int_z^{\infty} n_k(z') \frac{1}{\cos(\chi)} dz'$

Avec σ^k , la section efficace totale d'absorption pour l'espèce k

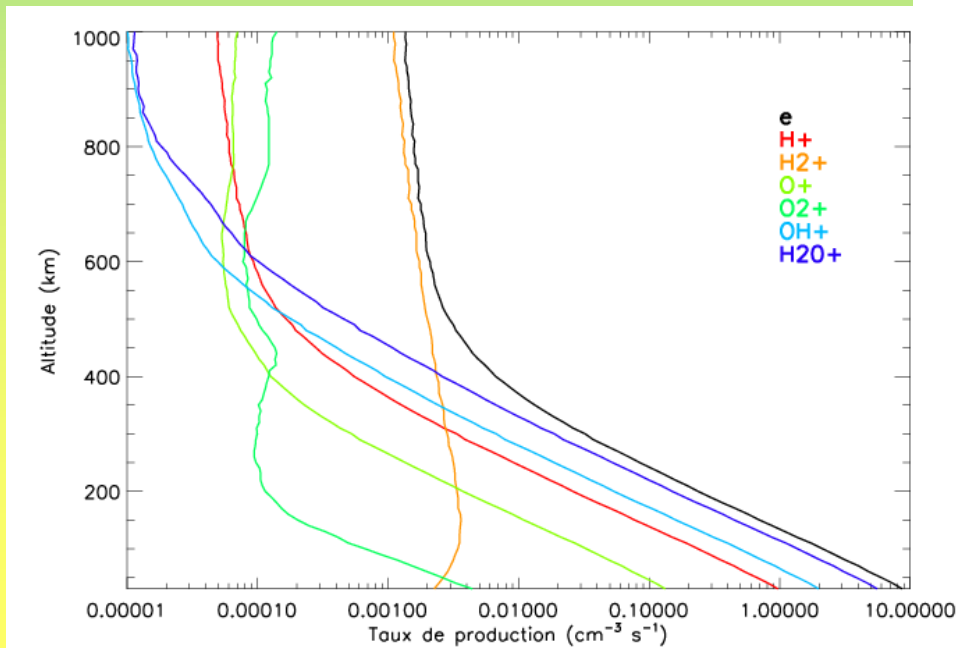
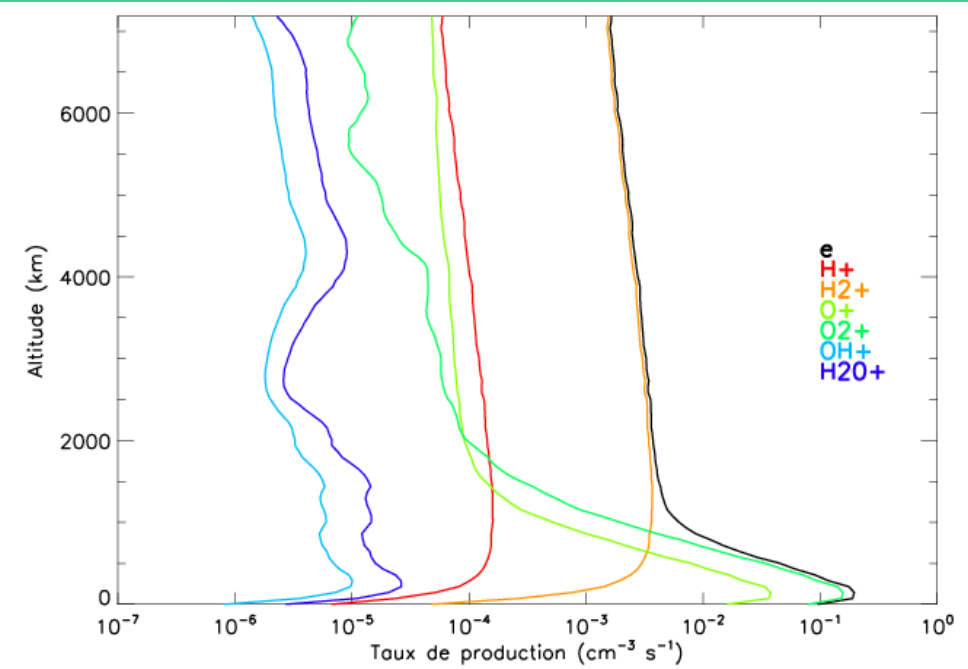
- Taux de Production pour une espèce k dans un état a

$$P_k^a(z) = \int_{\lambda} n_k(z) \sigma_a^k(\lambda) F(\lambda, z) d\lambda$$

Production électronique



Région polaire (1)

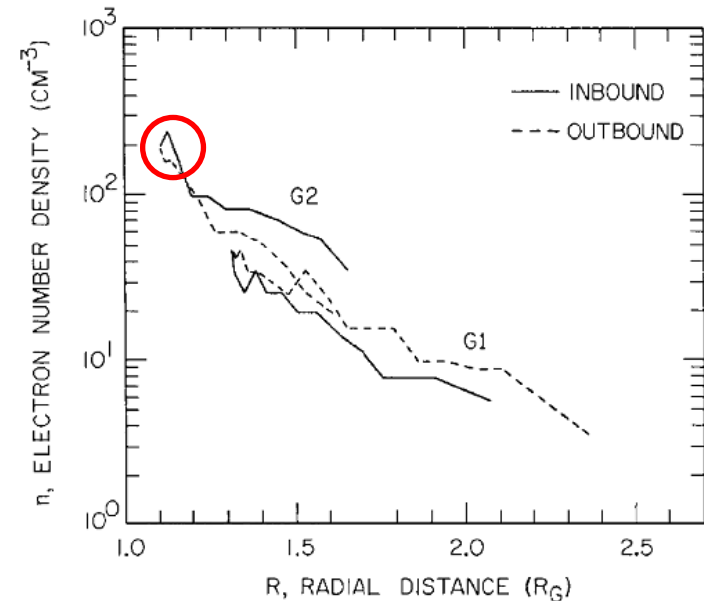


Région équatoriale (2)

Comparaison modèle/données

Mesure in-situ de la densité électronique (Galileo en région polaire)

$$\cancel{\nabla(nv)} + \cancel{\frac{\delta n}{\delta t}} = \text{Production} - \text{Perte}$$

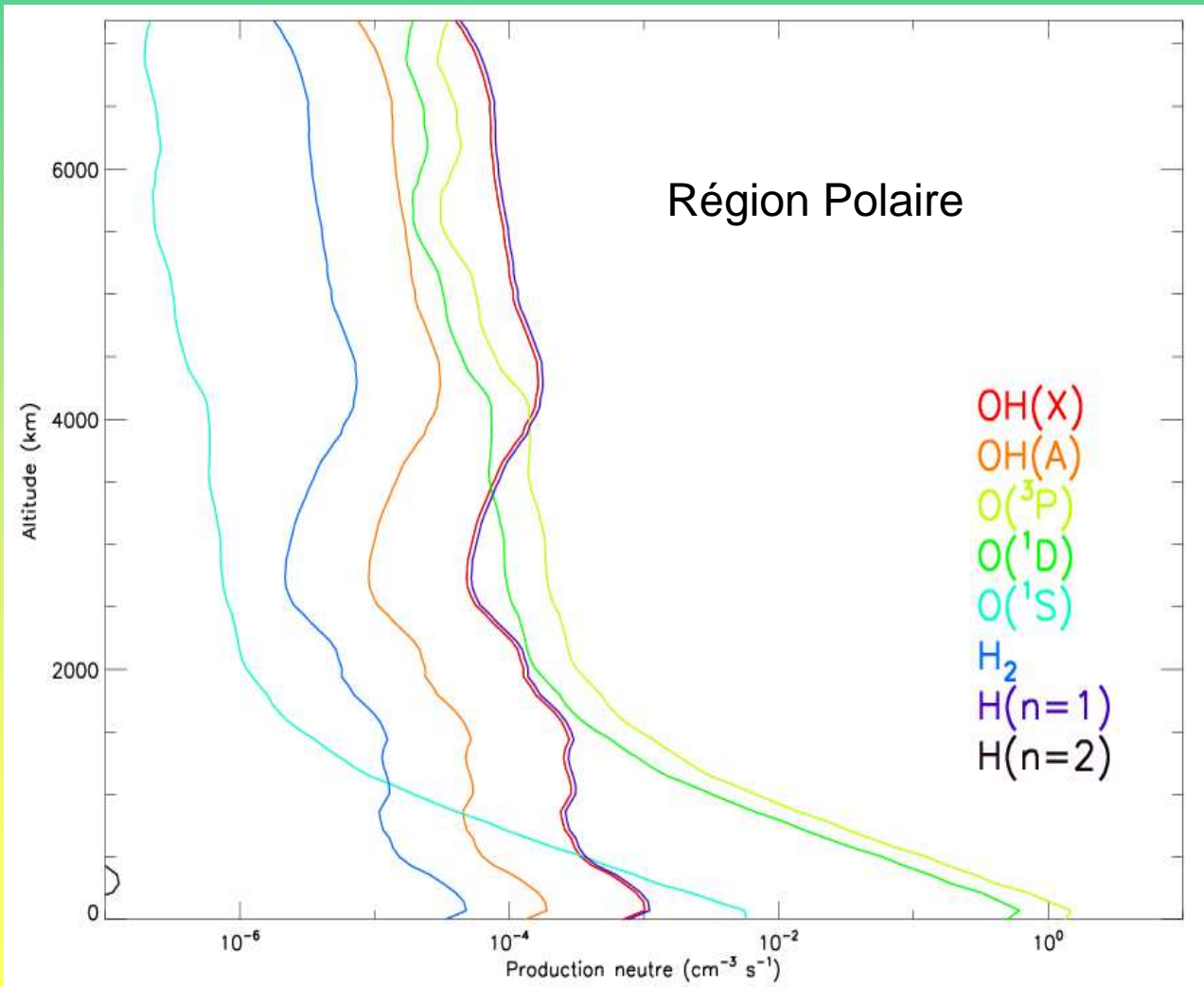


Pour $z=260$ km, $n_{\text{Galileo}} \approx 200 \text{ cm}^{-3}$

$\text{H}_2^+ + \text{e}^- \xrightarrow{\alpha} \text{H} + \text{H}$ (avec $\alpha = 2.3 \cdot 10^{-7} (300/T)^{0.4} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Florescu et al, 2006))

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad n_{\text{modèle}} &= 183 \text{ cm}^{-3} \text{ pour } T_e = T_{\text{neutre}} = 100\text{K} \\ &= 75 \text{ cm}^{-3} \text{ pour } T_e = 10000\text{K} \end{aligned}$$

Taux d'excitation



Emission

OH(A): 0.022 R

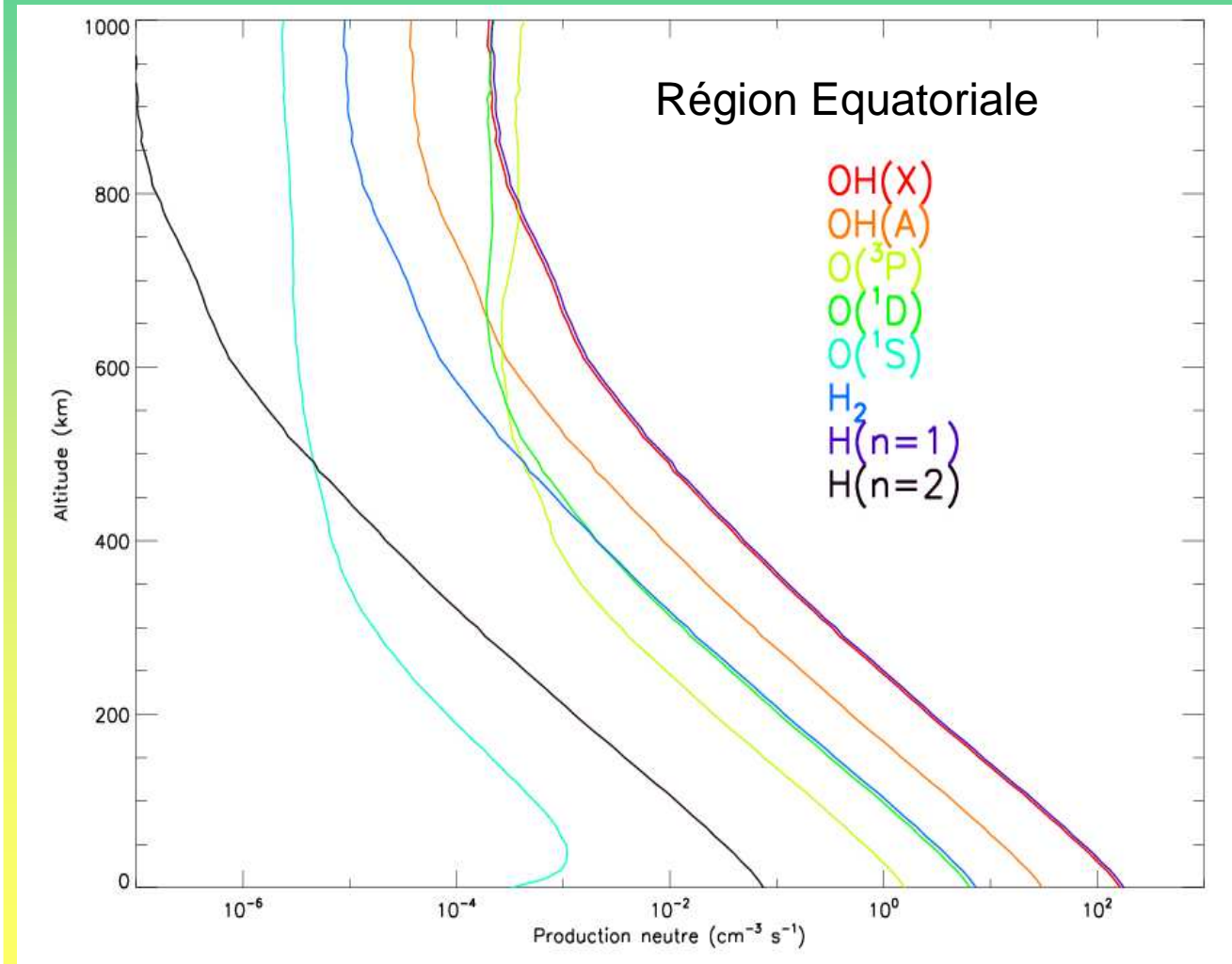
(Bandes d'émission 400-800 nm)

O(¹D): 16 R

(@ 630 nm)

Lyman α : $3 \cdot 10^{-5}$ R

Taux d'excitation



Emission

OH(A): 165 R

(Bandes d'émission 400-800 nm)

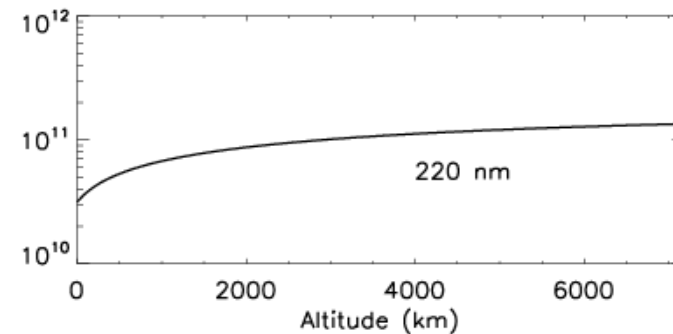
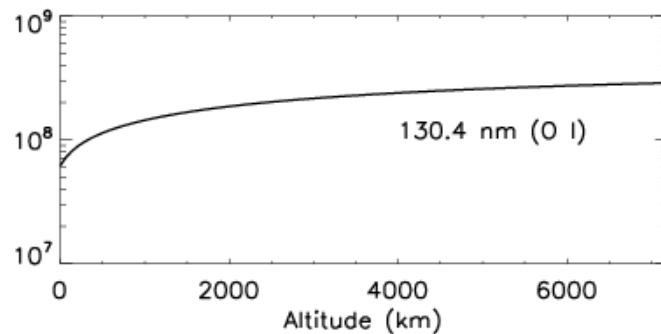
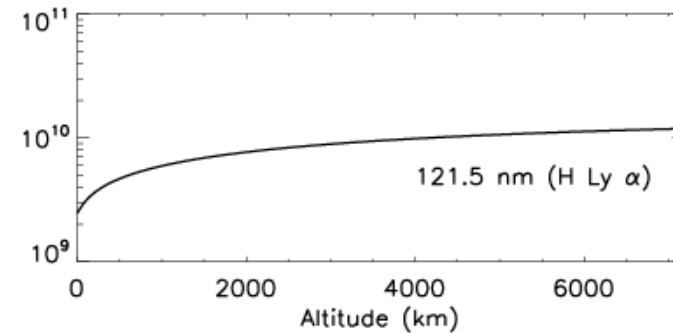
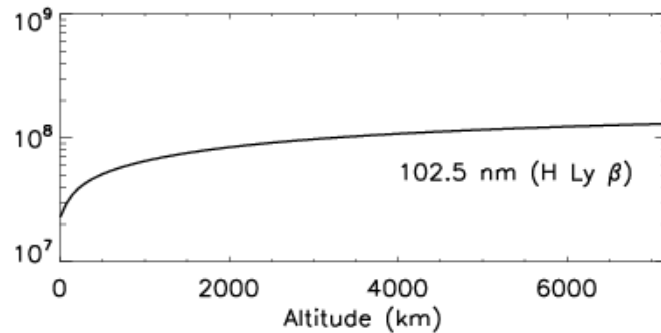
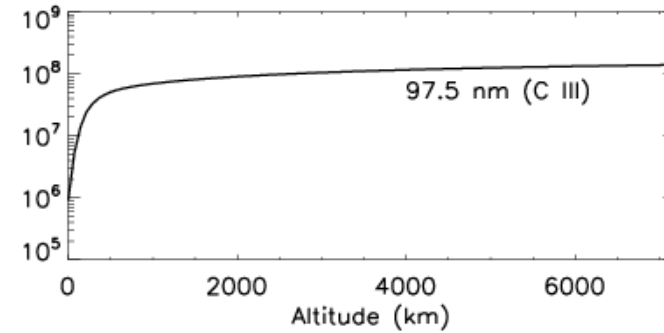
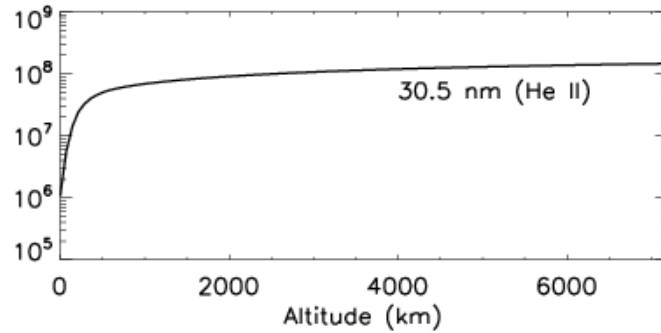
O(¹D): 35 R

(@ 630 nm)

Lyman α : 0.4 R

Evolution du flux UV (région polaire)

Flux solaire (photons.cm⁻².s⁻¹)



Conclusion

- Modélisation de la réponse de l'atmosphère de Ganymède
→ Bon accord avec les données de Galileo
- Emissions UV/Visible/IR faibles
- Code très modulable (résolution (Δz , $\Delta \lambda$), modèle de densité)
et facilement transportable
- Utilisation de bandes passantes pour caractériser le flux
UV solaire ?

