

Profil de température électronique à partir d'un modèle exosphérique avec champ magnétique spiral

Karine Issautier

- Bases du modèle
- Résultats analytiques dans le cas radial
- Généralisation du modèle au cas spiral
- Discussions

- *Pierrard et al., Collisionless model of the solar wind in a spiral magnetic field, GRL, 28, 223, 2001*
- *Issautier et al., Astrophys. Space Science, 189, 2001*

Atelier Vent Solaire, Saint-Malo

Bases du modèle cinétique sans collision

Exosphère décrite par l'équation de Boltzmann sans collision (où équation de Vlasov) qui a pour solution toute constante du mouvement:

1. Conservation de l'énergie totale:

pour chaque espèce de particules

$$E_{tot} = \frac{1}{2}mv^2 - m\frac{GM}{r} + Ze\phi_E(r) = cste$$

Énergie gravitationnelle

Énergie potentielle électrique

2. Conservation du moment magnétique:

$$\mu = \frac{mv_{\perp}^2}{2B(r)} = cste$$

Où v_{\perp} composante de la vitesse perpendiculaire aux lignes de champ.

3. Théorème de Liouville:

La fonction de distribution de vitesse est constante sur la trajectoire des particules, et par conséquent, la fonction de distribution des vitesses « f_0 » donnée à l'exobase r_0 permet d'obtenir la FDV « f » à n'importe quelle distance $r > r_0$ pour une espèce de particule.

$$f(r, v^2, v_{\perp}^2) = f_0(r_0, v_0^2, v_{0\perp}^2)$$

où l'indice « 0 » se réfère à l'exobase et v_0^2 dépend du potentiel

4. Hypothèses:

Choix de FDV des électrons à l'exobase

Champ magnétique radial $B(r) = B_0 (r_0 / r)^2$

Potentiel électrique monotone

Profil de température prédit par un modèle exosphérique

- ü Calcul des moments de la distribution des vitesses
- ü Impose électro-neutralité du plasma
- ü Impose égalité des flux d'électrons et protons

A grande distance:

$$T_e / T_{e0} = 1 + 0.4 \left(m_p / m_e \right)^{5/6} \left(r_0 / r \right)^{4/3}$$

isotherme

adiabatique

- Ø Dépend peu de la FDV à l'exobase
- Ø Même ordre de grandeur à 1 UA des 2 termes
- Ø Profil moins raide quand distance augmente

Vitesse du vent solaire

Conservation de l'énergie pour les protons:

$$V_{SW} = \left(\frac{2}{m_p} \right)^{1/2} \left[e\phi_E(r_0) - \frac{m_p GM_\bullet}{r_0} \right]^{1/2}$$

- Dans le cas Lorentzien,

$$V_{SW} \approx v_{the} \left(\frac{m_e}{m_p} \right)^{1/2} \left\{ \left[\frac{v_{the} \sqrt{\pi} A_\kappa \kappa^{\kappa-1/2}}{v_{thp} 4(\kappa-1)} \right]^{1/(\kappa-1)} - \frac{2m_p GM_\bullet}{r_0 m_e v_{the}^2} \right\}^{1/2}$$

$\sim (v_{the}/v_{thp})^{1/(\kappa-1)}$

Donc vitesse augmente lorsque κ diminue (i.e., particules suprathermiques augmentent), et atteint ~ 700 km/s

Vitesse du vent solaire

Ø Dépend de la FDV à l'exobase et de la proportion de particules suprathermiques

Ø Vitesse augmente avec la contribution des particules énergétiques.

Si κ diminue, flux d'électron sortant augmente, et potentiel augmente pour contrebalancer la séparation de charges induite, et par conséquent, la vitesse tend à augmenter.

Ø Vitesses de l'ordre de 650 km/s

Généralisation du modèle

- Prise en compte du champ magnétique spiral

$$B(r) = \frac{B_0 r_0^2}{r^2} \left(1 + \frac{\Omega^2 r^2 \cos^2 \lambda}{V(r)^2} \right)^{1/2}$$

Ω : la vitesse angulaire

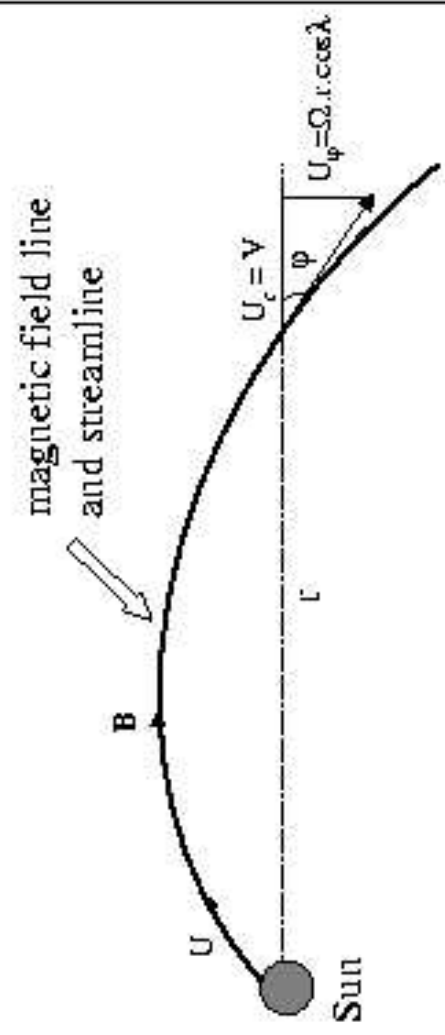
λ : latitude

V : vitesse du vent

- Prise en compte de l'énergie centrifuge

Référentiel de référence tourne avec le soleil

Rotating frame of reference



- Conservation de l'énergie totale dans le cas spiral:

pour chaque espèce de particules

$$E_{tot} = \frac{1}{2}mv^2 - m\frac{GM}{r} + Ze\phi_E(r) - \frac{1}{2}m\Omega^2 r^2 \cos^2 \lambda = cste$$

Énergie gravitationnelle

Énergie potentielle électrique

Énergie centrifuge dans le repère en rotation

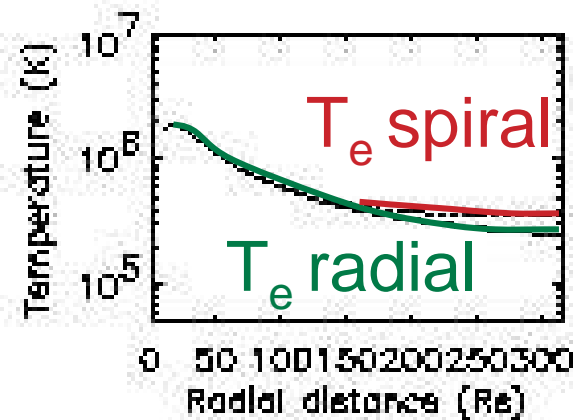
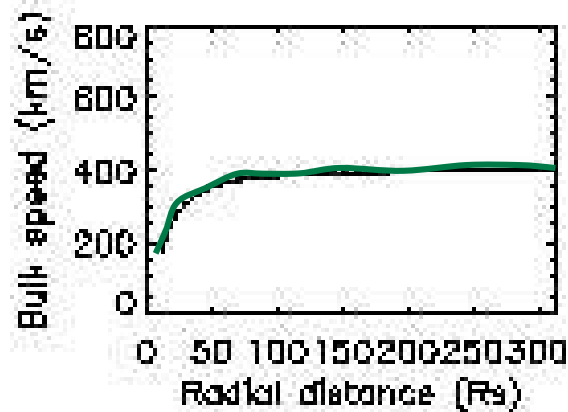
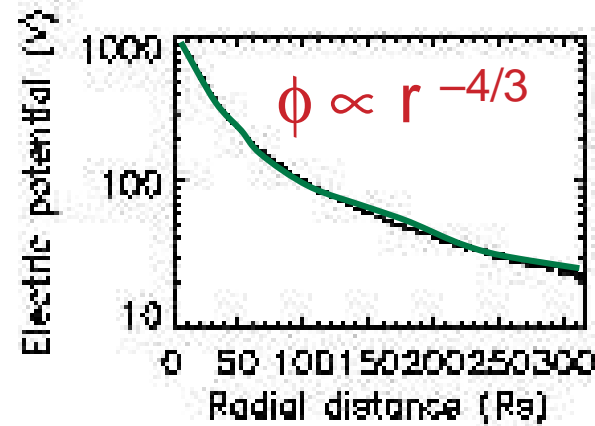
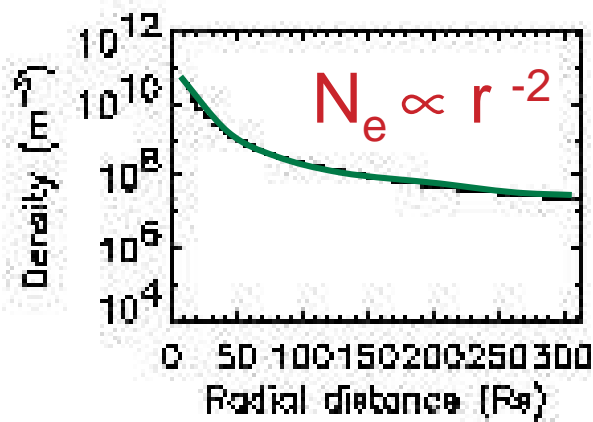
$$\Omega \sim 2.865 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$$

- Conservation du moment magnétique:

$$\mu = \frac{mv_{\perp}^2}{2B(r)} = cste$$

Où v_{\perp} composante de la vitesse perpendiculaire aux lignes de champ.

Résultats



- A grandes distances, **mêmes variations** de densité et du potentiel dans le cas radial et spiral.
- **Profil de température « moins raide »** dans le cas spiral

Profil de température à grande distance dans le cas spiral

$$T_e \propto \frac{A}{r^{4/3}} + B \left(1 + \frac{\Omega^2 r^2 \cos^2 \lambda}{V(r)^2} \right)^{1/2}$$

Électrons non sortants

électrons sortants

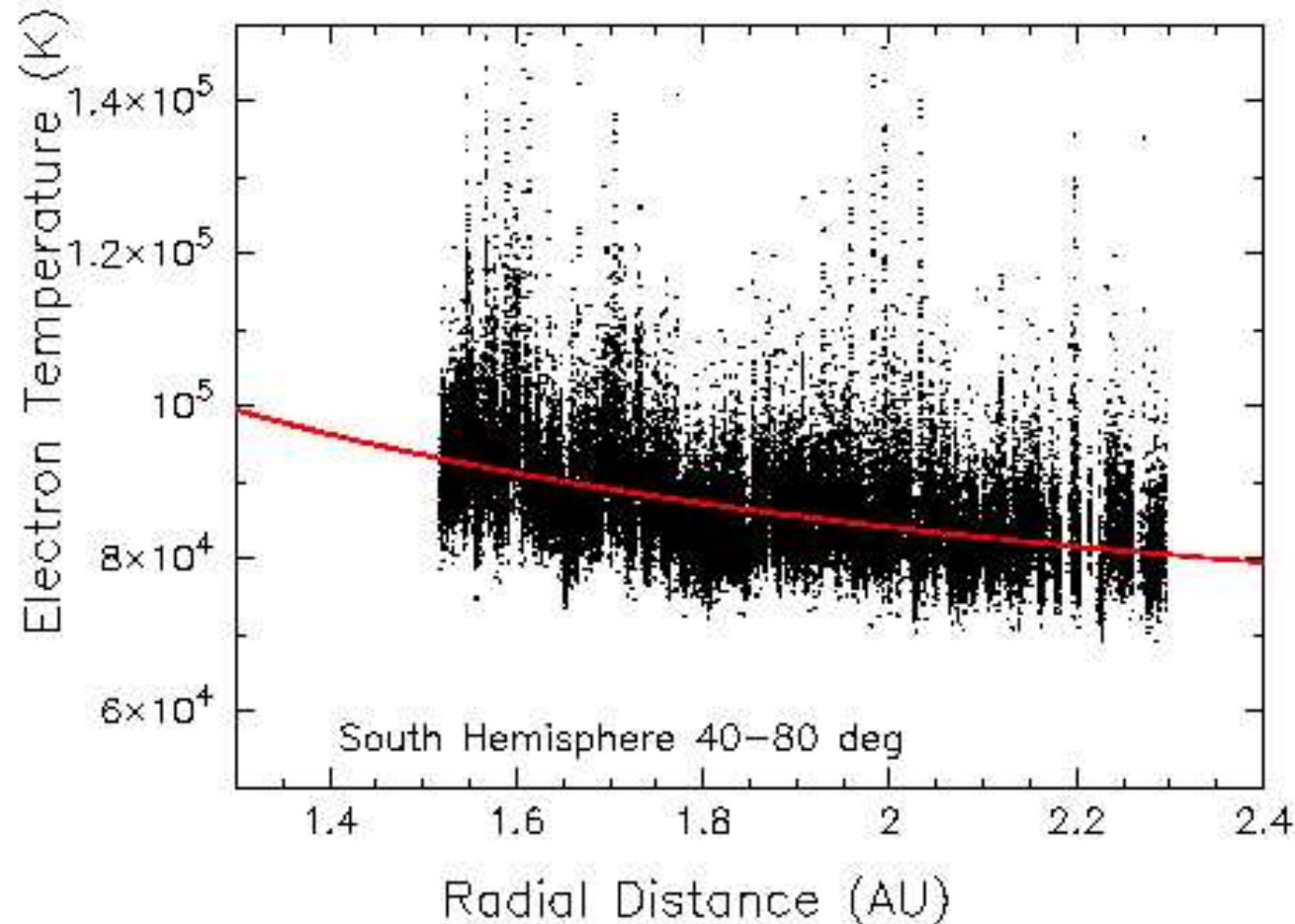


$$T_e = T_{4/3} + \frac{n_{\text{sortants}}}{n_e} T_{\text{sortants}}$$

Augmente avec r

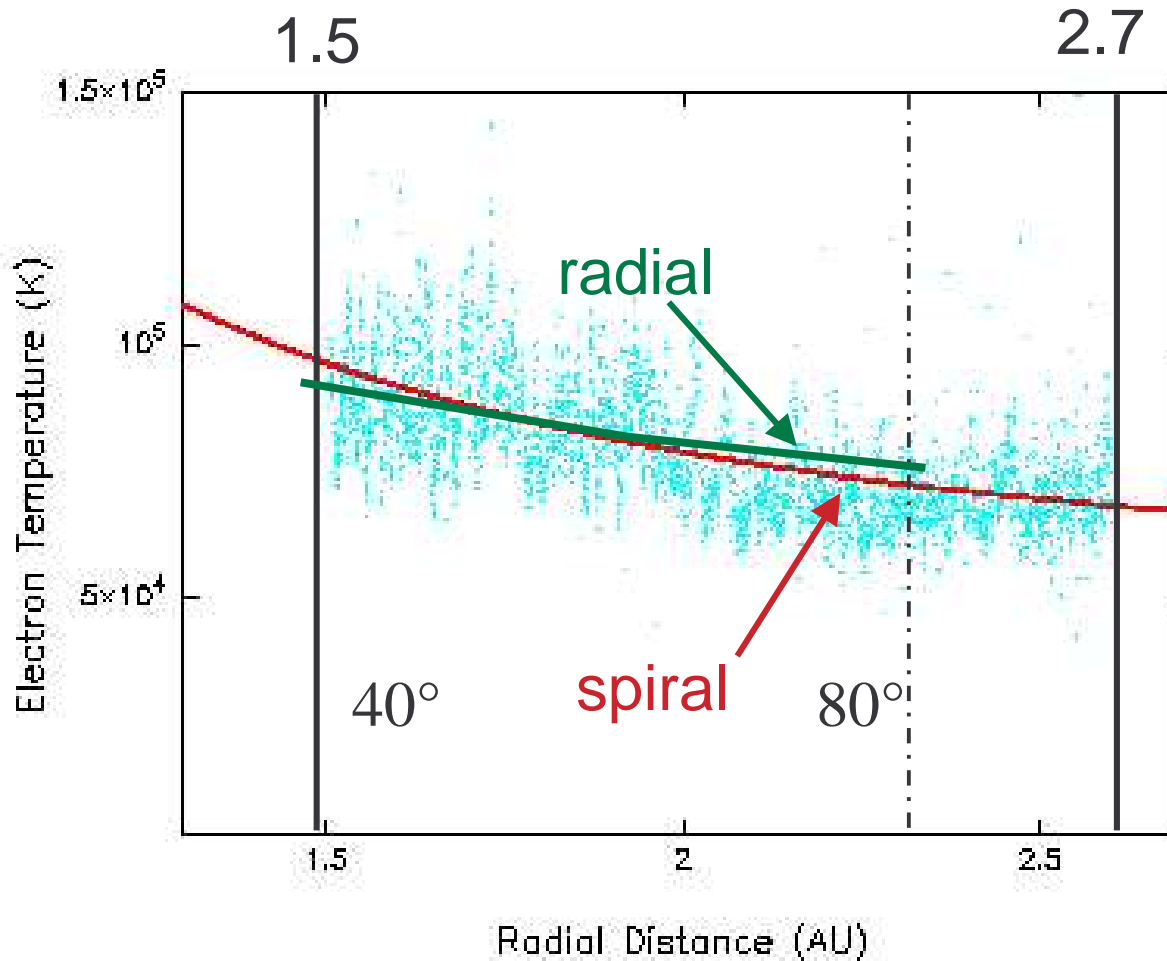
\sim constante

Comparaison aux observations Ulysse/URAP



$$T_e = T_c \frac{1 + \alpha T_h / T_c}{1 + \alpha} \quad \rightarrow \quad T_e \approx T_c + 0.06 \times T_h = T_c + 3.6 \times 10^4$$
$$T_h = 6.10^5 \text{ K}$$

Comparaison Modèle/Observations SWOOPS



$$T_e = \frac{1.2 \times 10^5}{r^{4/3}} + 1.2 \times 10^4 \sqrt{1 + (0.6 \times r \times \cos \lambda)^2}$$