

Modélisation de l'interaction du vent solaire avec Mars

R. Modolo¹, G. Chanteur¹, E.M. Dubinin², A.P. Matthews³

¹ CETP-IPSL, ² MPI-Ae Lindau, ³ Univ. of Natal



Modélisation de l'interaction du vent solaire avec l'exosphère de Mars . Forum ASSNA – 15-17/12/2003

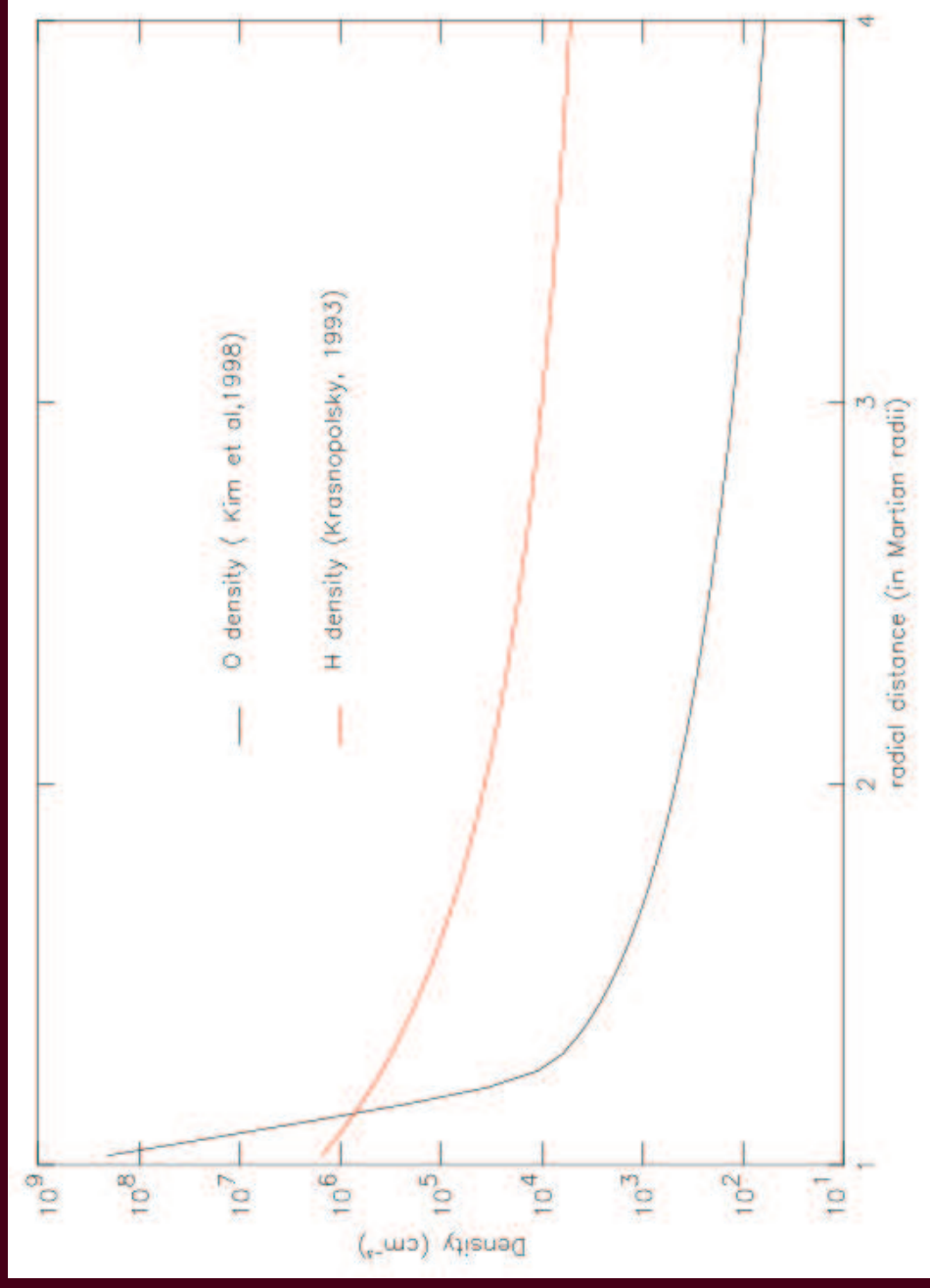
Environnement neutre de Mars

- Couronnes neutres d'hydrogène et d'oxygène
 - Les profil radiaux de H et O sont donnés *a priori*
 - L'extension des couronnes dépend de l'activité solaire.
(nos simulations : minimum solaire)
- Hydrogène : modèle de Chamberlain (éch. thermique)
 - A l'exobase (250 km) : $n_0 = 1. 10^{12} \text{ m}^{-3}$
 $E_0 = 0.124 \text{ eV}$, $T_0 = 0.0172 \text{ eV}$
(Krassnopolski, Icarus, 101, 1993)
- Oxygène : recombinaison dissociative



modèle empirique dérivé de simulations Monte-Carlo

Profils radiaux des couronnes H et O



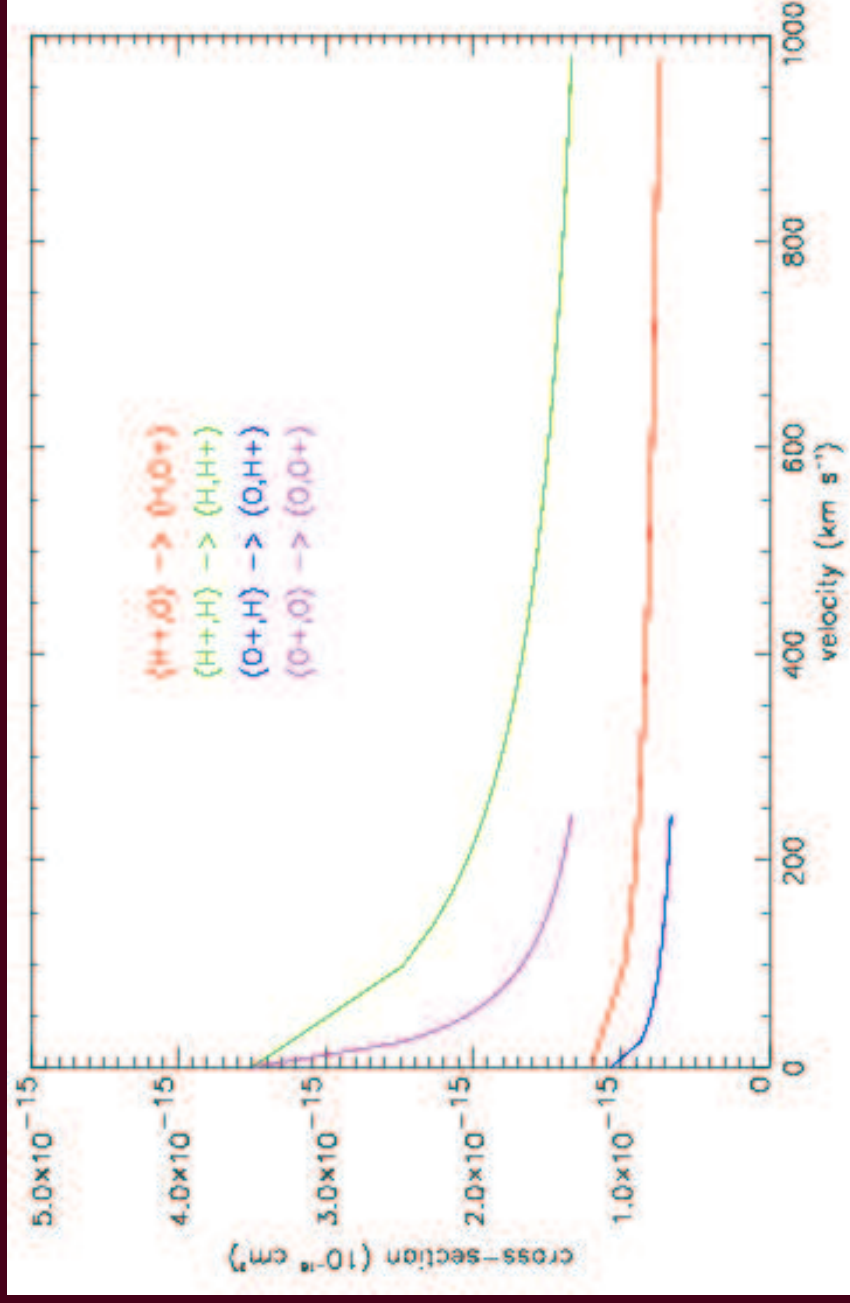
Processus d'ionisation

- Photo-ionisation:
fréquences au minimum solaire
 - Hydrogène : $2.4 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
 - Oxygène : $10.7 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
- Collisions électroniques:
fréquences dépendent de T_e
 - Pour un vent solaire incident avec $T_e = 1.5 \times 10^5 \text{ K}$
Hydrogène $0.76 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
Oxygène $1.30 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
- Echanges de charge: (détails vues suivantes)

Echanges de charges

- Réactions prises en compte
 - $H^+ + O \rightarrow H + O^+$
 - $H^+ + H \rightarrow H + H^+$
 - $O^+ + O \rightarrow O + O^+$
 - $O^+ + H \rightarrow O + H^+$
- Sections efficaces :
 - constantes pour les réactions non résonantes
 - $\sigma_{H+O} = 8. \times 10^{-16} \text{ cm}^2$
 - $\sigma_{O+H} = 1. \times 10^{-15} \text{ cm}^2$
 - dépendantes de V pour les réactions résonantes ($H^+/H, O^+/O$) : approximations homographiques

Les sections efficaces



Autres sources de plasma

- Vent solaire : H^+ et He^{++}
 - $n_{\text{H}^+} = 2.3 \text{ cm}^{-3}$ 5% de noyaux de He^{++}
 - $T_{e,\text{sw}} = 1.5 \times 10^5 \text{ K}$
 - Ecoulement super-sonique et super-Alfvénique
- $$V_{\text{sw}} = 10 V_a \quad (V_{\text{sw}} \approx 400 \text{ km.s}^{-1})$$
- $B_{\text{IMF}} = 3 \text{ nT}$ convecté par le vent solaire

- Echappement planétaire : O^+ & O_2^+
 - implantation uniforme de O^+ et O_2^+ entre 250 et 350 km en imposant les flux d'échappement :
 - côté jour : $1. \times 10^{11} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - côté nuit : $1. \times 10^{10} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Modèle numérique

- Modèle hybride 3D

Description cinétique pour les ions et fluide pour les électrons. Couplage aux équations de Maxwell.

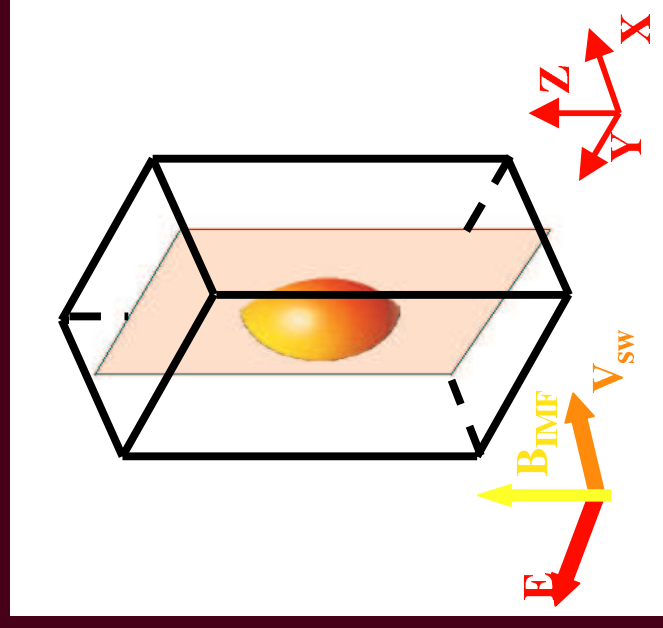
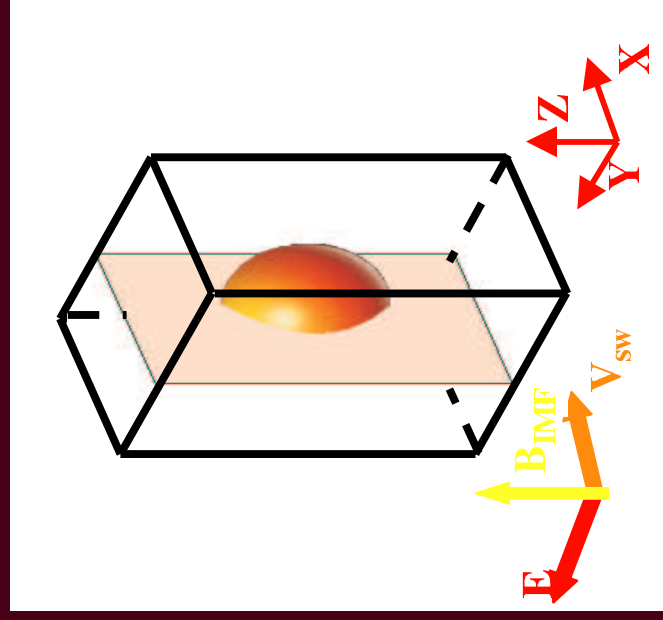
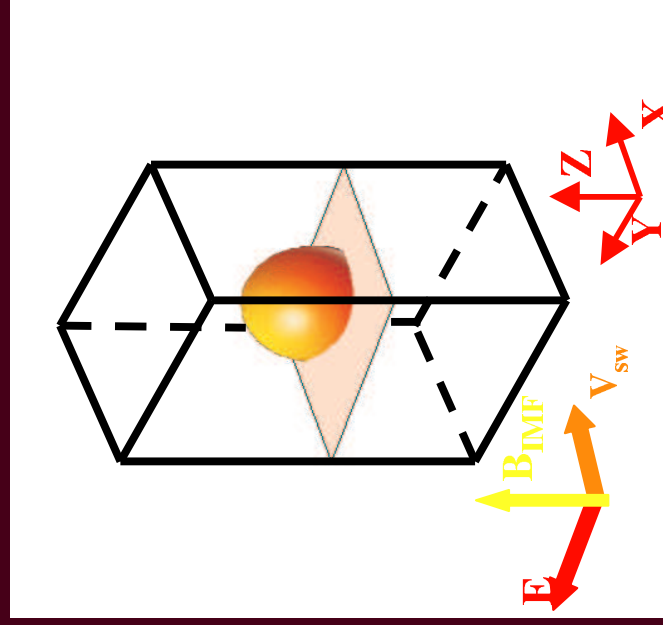
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\mathbf{x}_s}{dt} = \mathbf{v}_s \\ \frac{d\mathbf{v}_s}{dt} = q_s/m_s(\mathbf{E} + \mathbf{v}_s \times \mathbf{B}) \\ n_e m_e \frac{d\mathbf{u}_e}{dt} = n_e e \mathbf{E} + \mathbf{J}_e \times \mathbf{B} - \nabla p_e \end{array} \right.$$

Hypothèses :

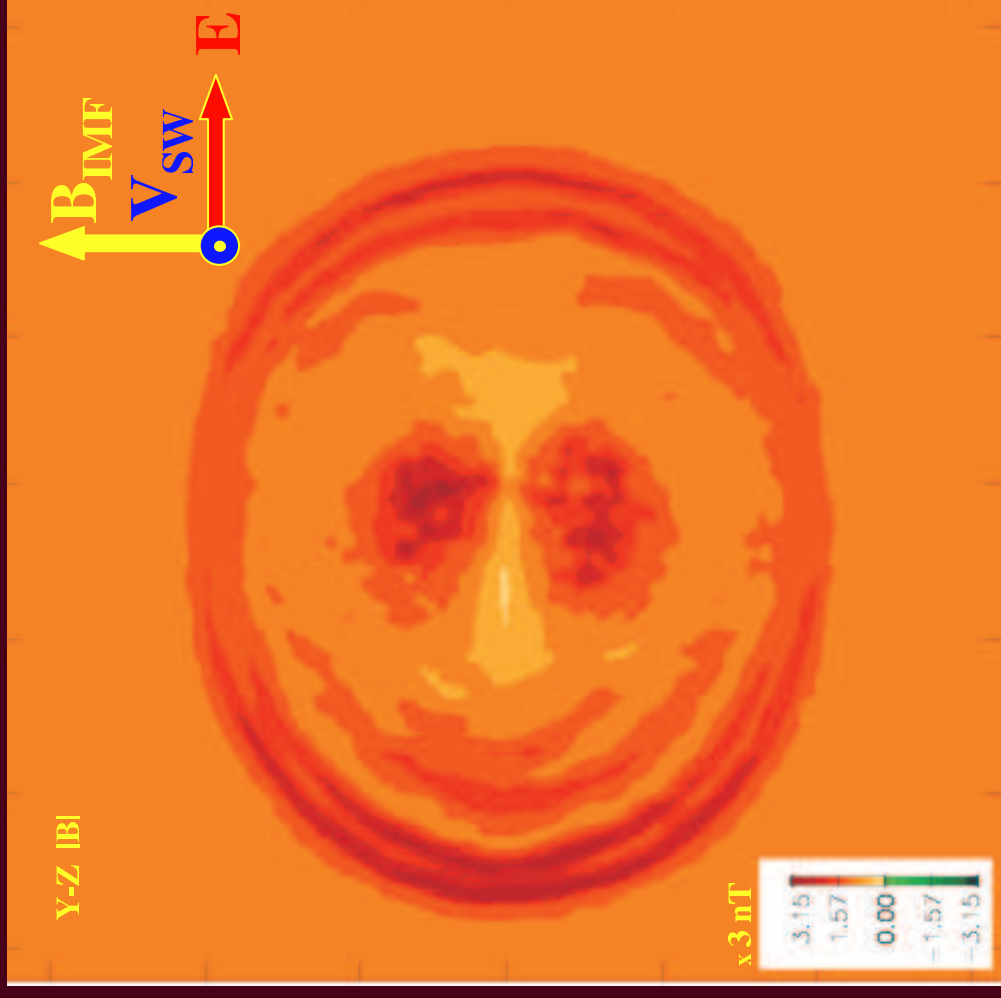
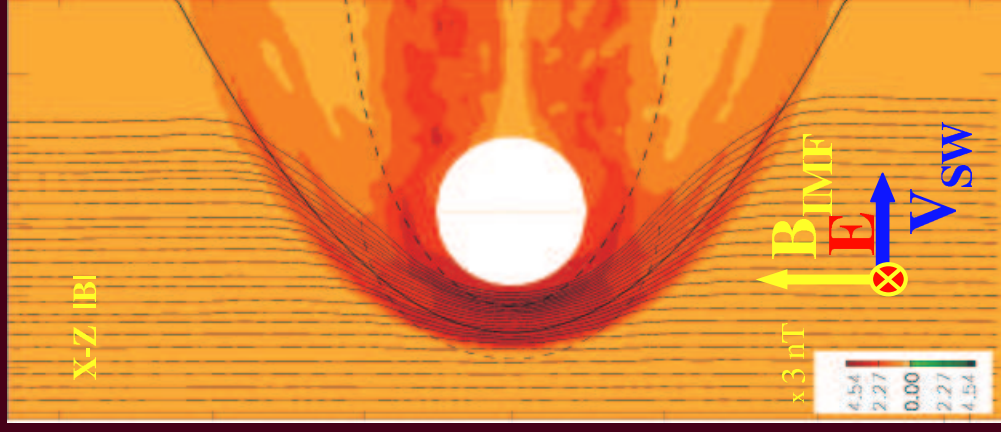
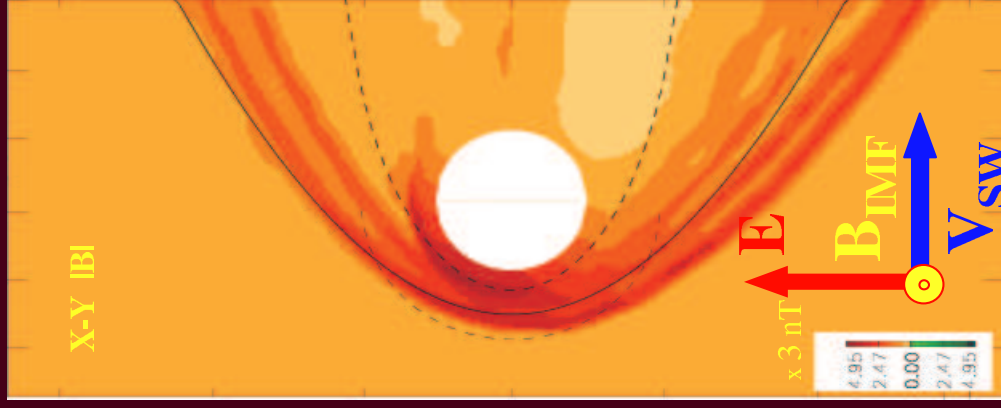
- Quasi-neutralité
- e- sans masse
- On néglige le déplacement de courant

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} \end{array} \right.$$

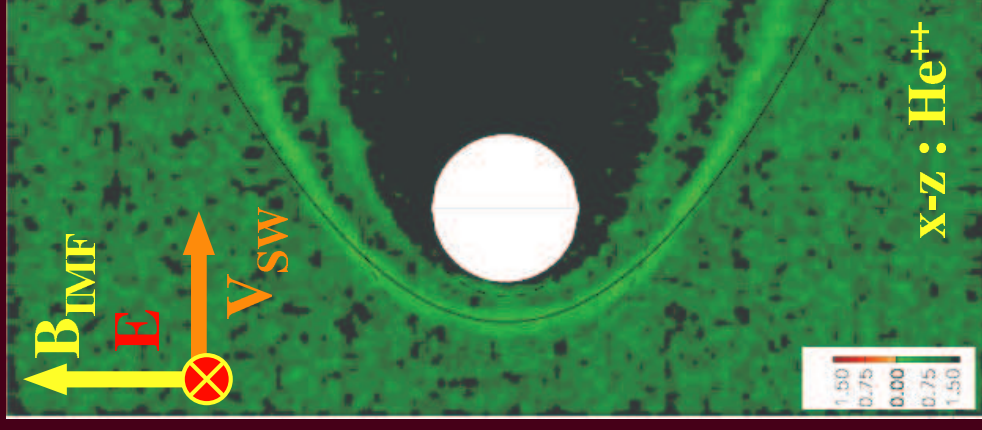
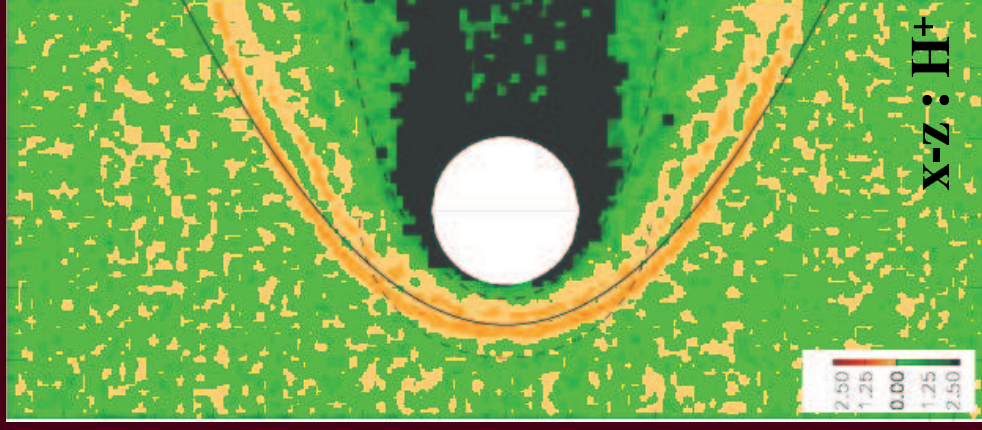
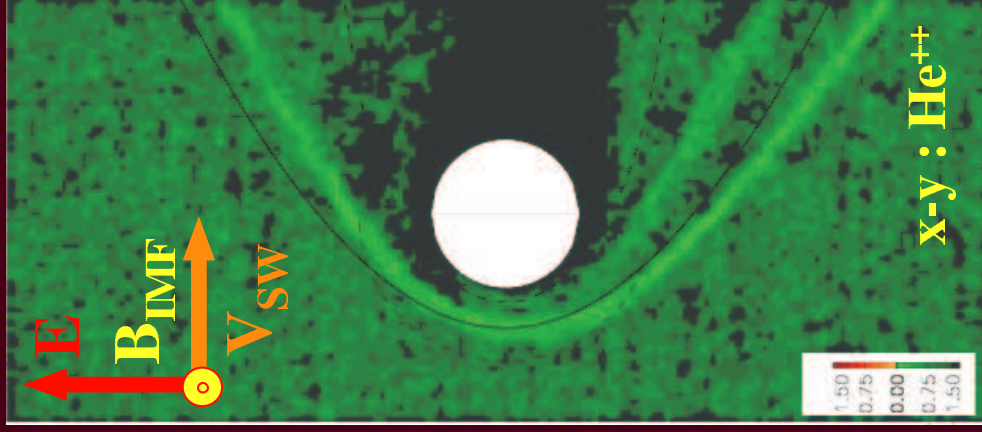
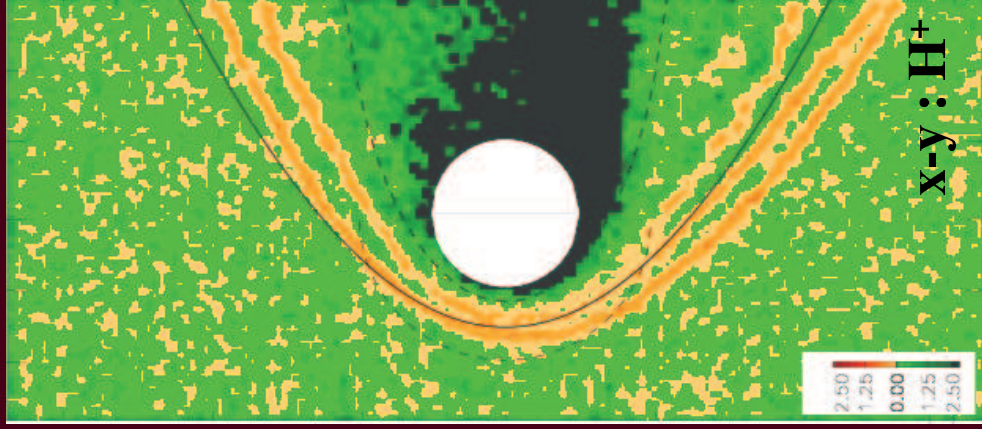
Vues et Coupes des diagnostics



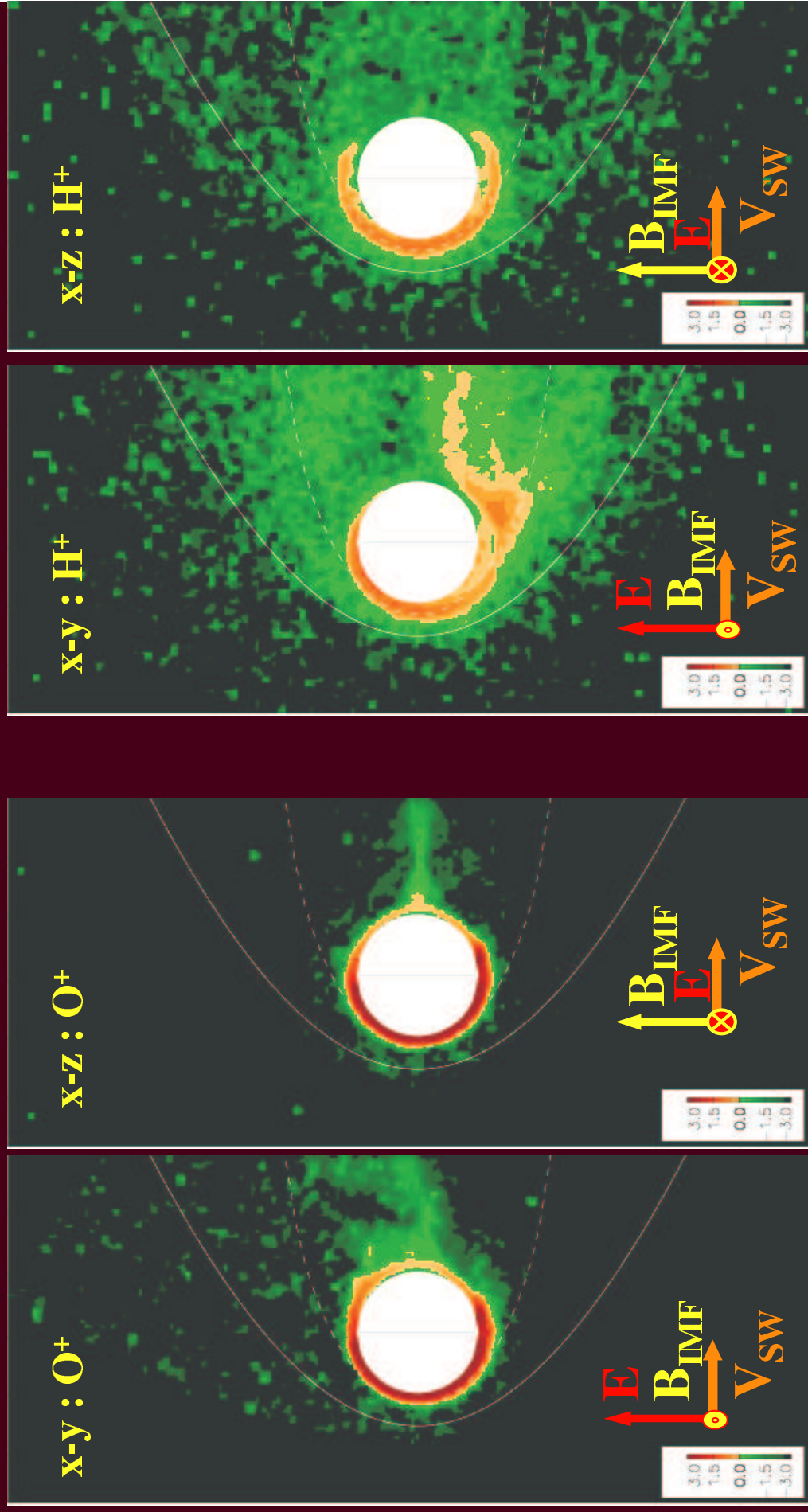
Choc et frontière d'empilement magnétique



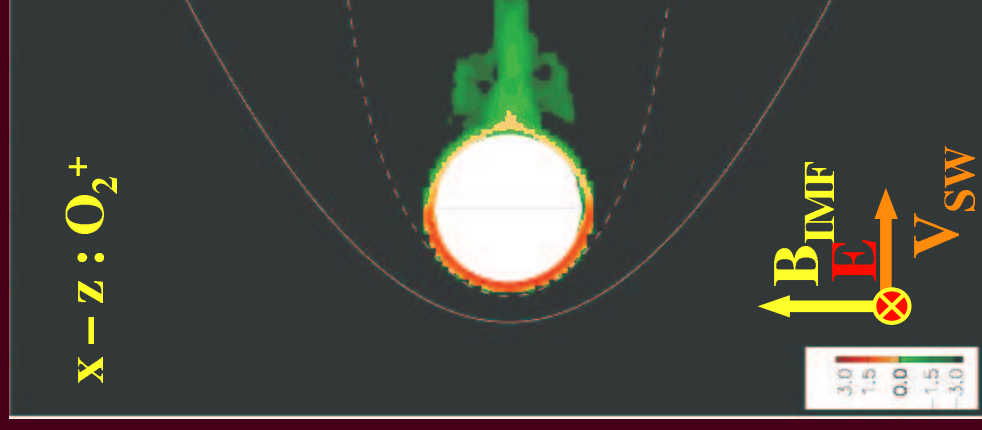
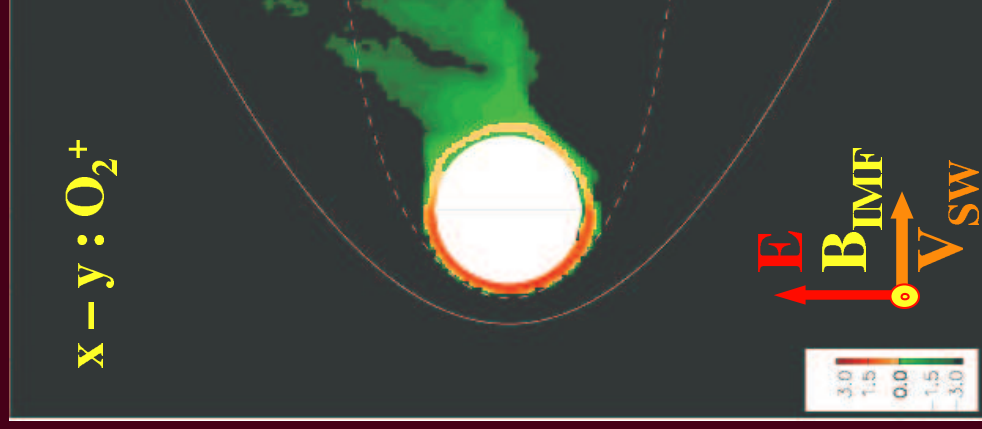
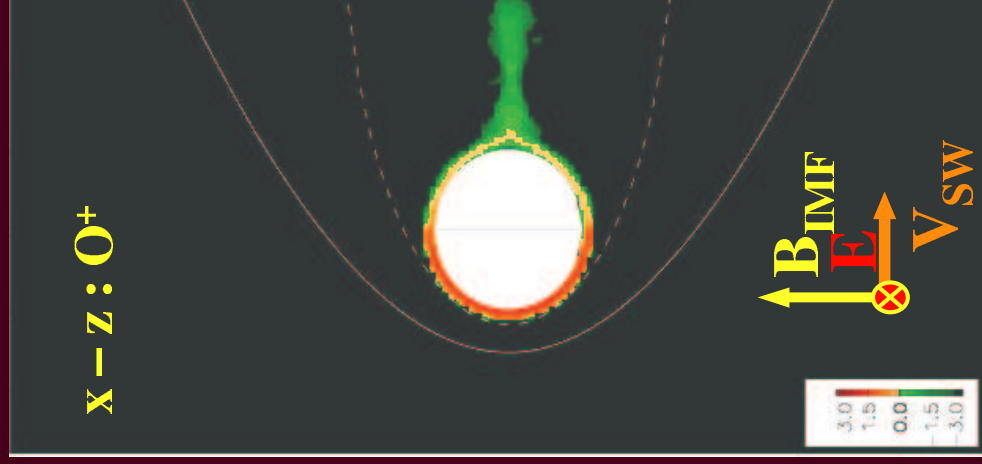
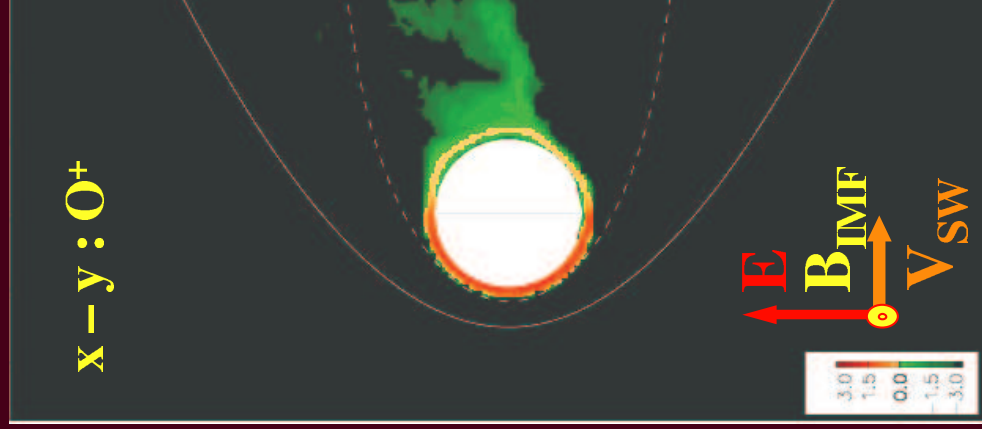
Densité du plasma solaire



Densités des ions planétaires



Les ions issus de l'échappement ionosphérique



Conclusions

- Positions du choc planétaire et de la frontière d'empilement magnétique en accord avec les observations de Phobos-2 et Mars Global Surveyor
- La région d'empilement magnétique est dominée par les ions planétaires, le plasma solaire en est exclu
- Asymétrie du choc liée au champ électrique de convection
- Asymétrie des O^+ liée au E_{conv}
- Confirmation des résultats avec une résolution de 150 km