

Application du modèle IPIM aux événements intenses : éjections de masse coronale (CME) et régions d'interaction en corotation (CIR)

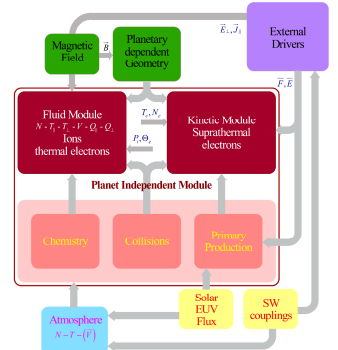


A. Marchaudon, P.-L. Blelly, A. Aikio, A. Maute, S. Thomas, J. Eisenbeis



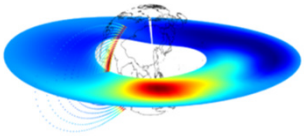
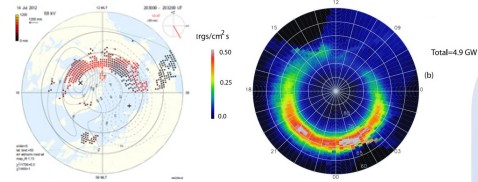
Modèle IPIM (IRAP Plasmaphere-Ionosphere Model)

- ✓ **Modèle d'ionosphère issu de la famille de modèle TRANSCAR** (Marchaudon et Blelly, 2015,)
- ✓ Deux modules principaux résolvant les équations de transport le long d'une ligne de champ magnétique :
 - ✓ **Module fluide** qui résout les équations de transport à 16-moment pour les ions principaux et les électrons thermiques
 - ✓ **Module cinétique** qui résout l'équation de transport de Boltzmann pour les électrons suprathermiques
- ✓ Prise en compte des processus chimiques, de collisions et de production
- ✓ Description eulérienne le long du champ magnétique et lagrangienne transverse au champ magnétique (prise en compte de la convection ionosphérique)
- ✓ Géométrie magnétique : dipôle excentré ou modèle IGRF (cas terrestre)
- ✓ **Reconstruction 3D de l'ionosphère en configuration multi-tubes (protocole MPI)**



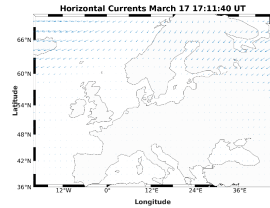
Synopsis du modèle IPIM - le module fluide fournit la densité et la température des électrons thermiques au module cinétique qui en retour fournit les taux de chauffage des électrons et la production des ions

Cartes de convection SuperDARN (avec assimilation de données) et de précipitation OVATION pour l'orage du 14 Juillet 2012 utilisé entrées d'IPIM



Potentiel à l'équateur et à moyenne latitude au niveau de la surface équatoriale, issu du module d'électrodynamique équatorial couplé à IPIM pour le 21 Mai 2014 - 12:00 TU

Exemple de courants ionosphériques issus d'IPIM au dessus de l'Europe pendant l'orage de St Patrick's day (17 March 2015) Les flèches montrent l'amplitude et la direction des courants



Développements récents et en cours

A hautes latitudes - Electro-dynamique

- ✓ Couplage avec les modèles « état de l'art » drivés par les conditions du milieu interplanétaire au choc (données OMNI) :
 - ✓ **convection ionosphérique** (modèle SuperDARN, avec assimilation possible de données et transformés en coordonnées dipôle excentré - Collaboration Dartmouth College) et adapté aux orages
 - ✓ **précipitation** (modèle OVATION)
- ✓ Couplage avec le **modèle de thermosphère TIEGCM** (Collaboration NCAR-NOAA) et ses entrées électrodynamiques
- ✓ Utilisation versatile de ces différents modèles en entrées

A basses et moyennes latitudes (voir aussi poster et présentation P.-L. Blelly)

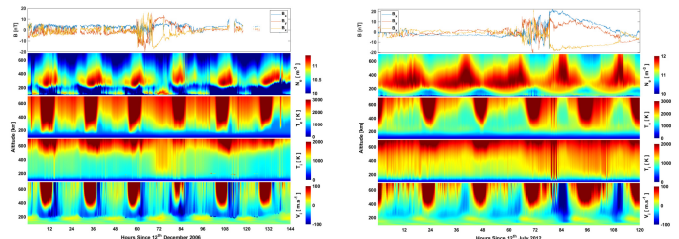
- ✓ Développement d'une métrique basée sur le champ magnétique près de l'équateur
- ✓ Développement d'un **modèle d'électrodynamique équatorial** → à étendre aux moyennes latitudes
- ✓ Développement de modules de conductivités et de Biot et Savard pour calculer les perturbations magnétiques au sol associées aux courants ionosphériques

Cas des Ejections de Masse Coronale (CME)

- ✓ **Développements dans le cadre des projets H2020 EUFORIA_2.0 (2019-2022) et ANR ASTRID PRISMS (2020-2023)**
- ✓ **Couplage IPIM avec convection SuperDARN et précipitation OVATION pour étudier la réponse de l'ionosphère à hautes latitudes à des CMEs (de morphologie similaire) en été et en hiver**

Résultats - modélisation IPIM :

- ✓ **Forte croissance de la densité électronique durant l'été**
- ✓ **Croissance plus modérée et plus localisée en temps local durant l'hiver**
- ✓ Difficultés rencontrées liées aux entrées électrodynamiques de SuperDARN
 - ✓ Avec les entrées SuperDARN (modèle le plus récent de TS18) : la convection subaurorale observée pendant l'orage provoque des montées de couches à hautes latitudes non observées par les radars incohérents
 - ✓ Besoin de mieux contraindre la limite subaurorale de la convection ionosphérique



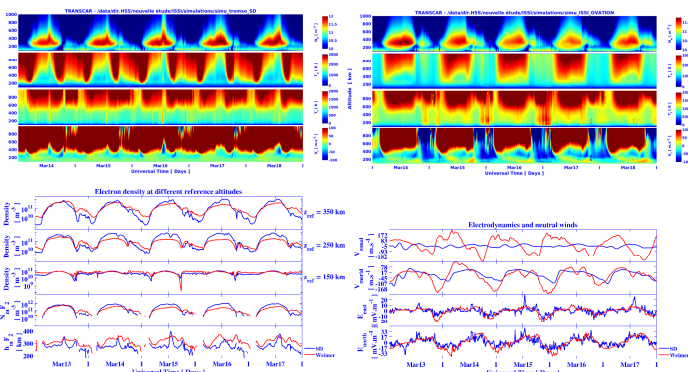
Présentation des simulations IPIM des CME du 15 décembre 2006 et du 14 Juillet 2012 avec les données IMF OMNI et les trajectoires des tubes de flux associés

Cas des High Speed Streams (HSS/CIR)

- ✓ **Collaboration ISSI IRAP-Université Oulu-NOAA**
- ✓ **Couplage IPIM-TIEGCM pour un événement d'HSS à l'équinoxe avec effet sur plusieurs jours**

Résultats - modélisation IPIM :

- ✓ **Forte décroissance de la densité électronique observées par EISCAT-Tromsø et ESR-Svalbard durant plusieurs jours**
- ✓ **Différents jeux de modélisation réalisés avec TIEGCM-IPIM**
- ✓ Difficultés rencontrées liées aux entrées électrodynamiques de TIEGCM
 - ✓ Avec les entrées SuperDARN/OVATION : transfert d'énergie insuffisant pour chauffer la thermosphère et pour créer cette décroissance de densité électronique
 - ✓ Avec les entrées empiriques des modèles Weimer/AURORA : transfert d'énergie suffisant mais chauffage Joule calculé irréaliste et qui reste à expliquer



Présentation des simulations TIEGCM-IPIM de l'HSS du 14 Mars 2016 avec les deux jeux d'entrées électrodynamiques (SuperDARN/OVATION à gauche et Weimer/AURORA à droite) et comparaison de certains paramètres entre les 2 simulations