

## Groupe Thématique Soleil Hélosphère Magnétosphères (SHM)

### BILAN DEPUIS SPS 2019

Kretzschmar Matthieu (président), Kader Amsif (thématicien), Elvira Astafyeva, Frédéric Auchère, Frédéric Baudin, Matthieu Berthomier, Sébastien Célestin, Vincent Génot, Lina Hadid, Karine Issautier, Dimitra Koutroumpa, Vincent Maget, Antoine Strugarek

## Questions Scientifiques - Fonctionnement du système Soleil-Planètes

### Comment le Soleil fonctionne et contrôle l'héliosphère ?

- Fonctionnement interne du Soleil et du cycle solaire
- Chauffage coronal
- Accélération et microphysique du vent solaire
- Génération et propagation des événements énergétiques

### Comment se créent et varient les environnements terrestres et planétaires ?

- Réponses des systèmes magnétosphériques aux événements solaires
- Couplages atmosphère-ionosphère-magnétosphère

### Quel est l'impact de la variabilité solaire sur nos activités ?

- Comprendre et prédire la chaîne des événements de la météorologie de l'espace



### Observations spatiales

- Observation à distance (téléscope, ..) et *in situ* (analyseur de particules... ) des plasmas du système solaire
- Mesures multi-points pour la couverture spatiale et la séparation des variations temporelles et spatiales

## Fonctionnement et Variabilité du Soleil et de l'héliosphère

- Chauffage de la haute atmosphère solaire
  - Découverte des plus petites éruptions solaire avec EUI (France Co-PI) sur **Solar Orbiter (Solo)**
- Génération et propagation des événements énergétiques
  - Fortes contraintes sur la génération et la propagation des événements énergétiques grâce à l'observation multi-satellites (**Solar Orbiter, Parker Solar Probe, Stereo, Sdo, Wind**) et aux combinaisons de données *remote sensing* et *in situ* (EUI, SPICE, STIX, RPW, SWA, ..)

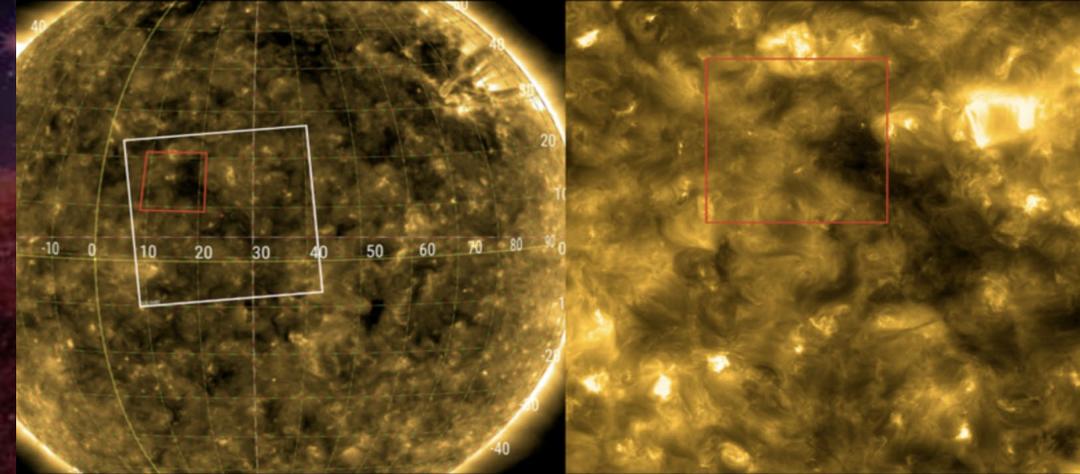
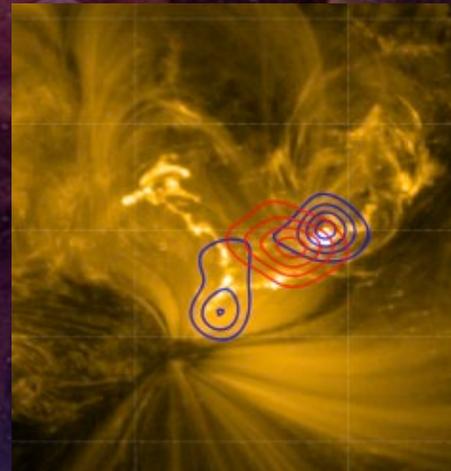
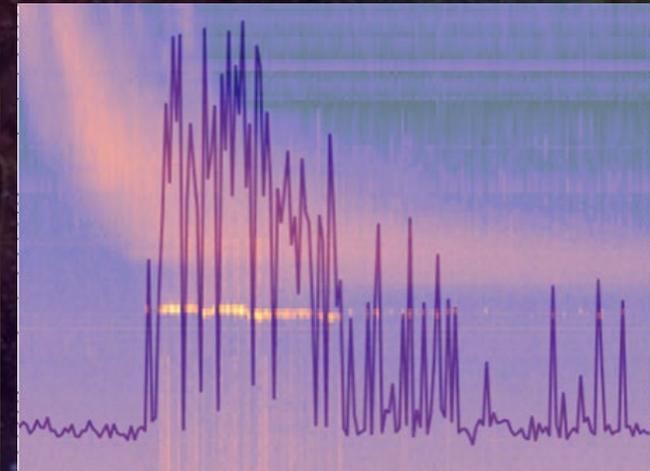


Image haute résolution de la couronne par Solar Orbiter



EUI et STIX localisent l'éruption dans l'atmosphère solaire

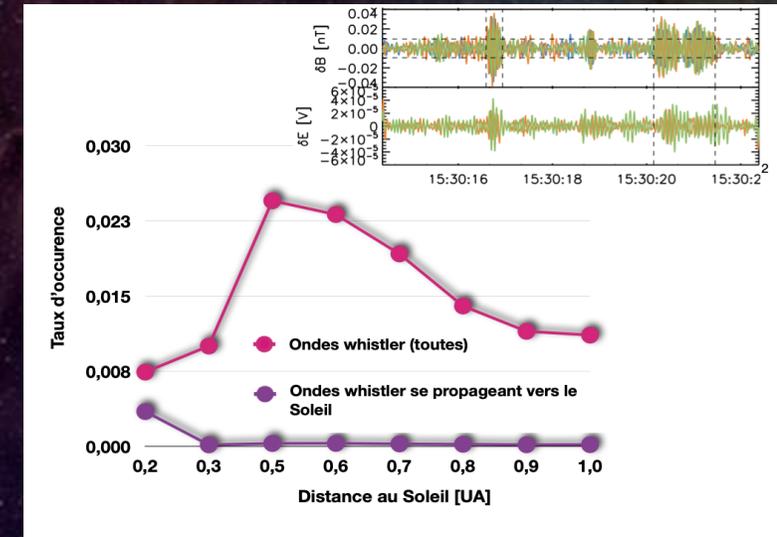
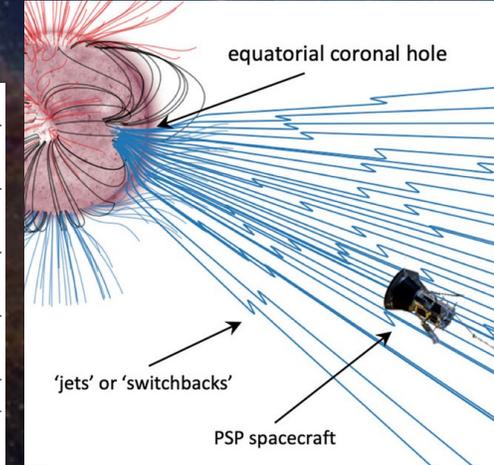
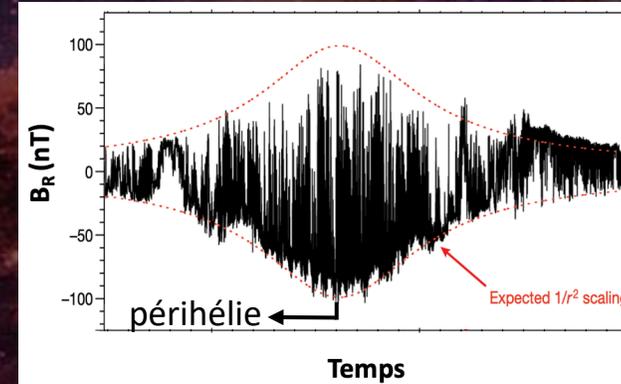


RPW mesure la propagation et l'effet des particules accélérées au niveau du satellite

## Fonctionnement et Variabilité du Soleil et de l'héliosphère

- Accélération et microphysique du vent solaire
  - Omniprésence des « switchbacks », leur connexion avec l'atmosphère solaire, et leur rôle sur le vent solaire (**Parker Solar Probe**)
  - Cartographie de l'héliosphère interne et microphysique du vent solaire (**Solar Orbiter, Parker Solar Probe**) – effet des interactions ondes particules sur l'évolution du vent solaire

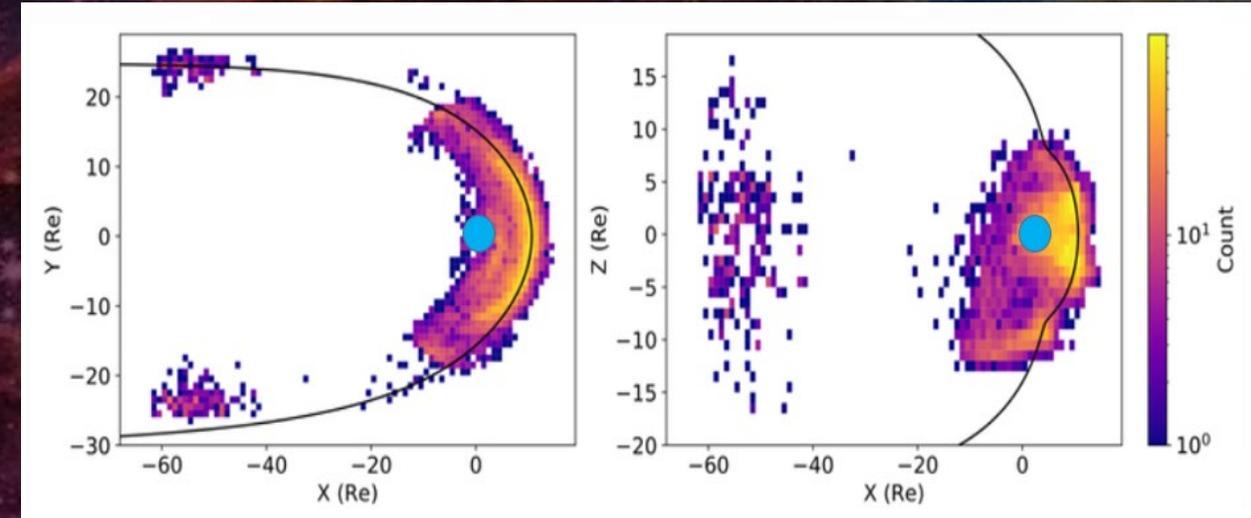
Switchbacks mesurés par PSP



Taux d'apparition des ondes Whistler (SolO&PSP) 4

## Environnements Terrestre et Planétaires

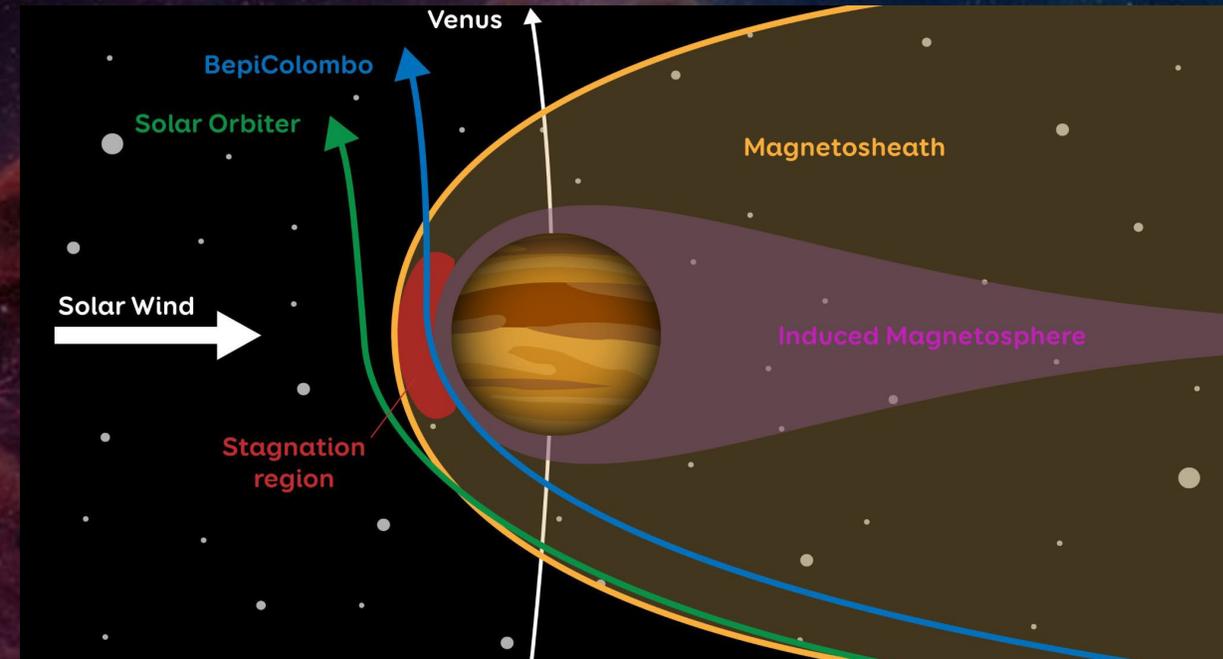
- Evènements transitoires au dessus des zones orageuses
  - Echec du lancement de **Taranis** et de la reprise Taranis2, mais exploitation de vols ballons et développements instrumentaux pour de nouvelles mesures
- Magnétosphère terrestre : Exploitation des bases de données **Cluster/MMS/Themis/Double Star**
  - Utilisation de techniques d'apprentissage profond pour la physique magnétosphérique (zones frontières, reconnexion magnétique)
    - *modèle analytique de la magnétosphère mis à jour*
    - *Etude de la reconnexion aux échelles électroniques*



*Distribution spatiale de 15 000 traversées de la magnétopause terrestre détectées par des techniques de machine learning, dans deux plans orthogonaux*

## Environnements Terrestre et Planétaires

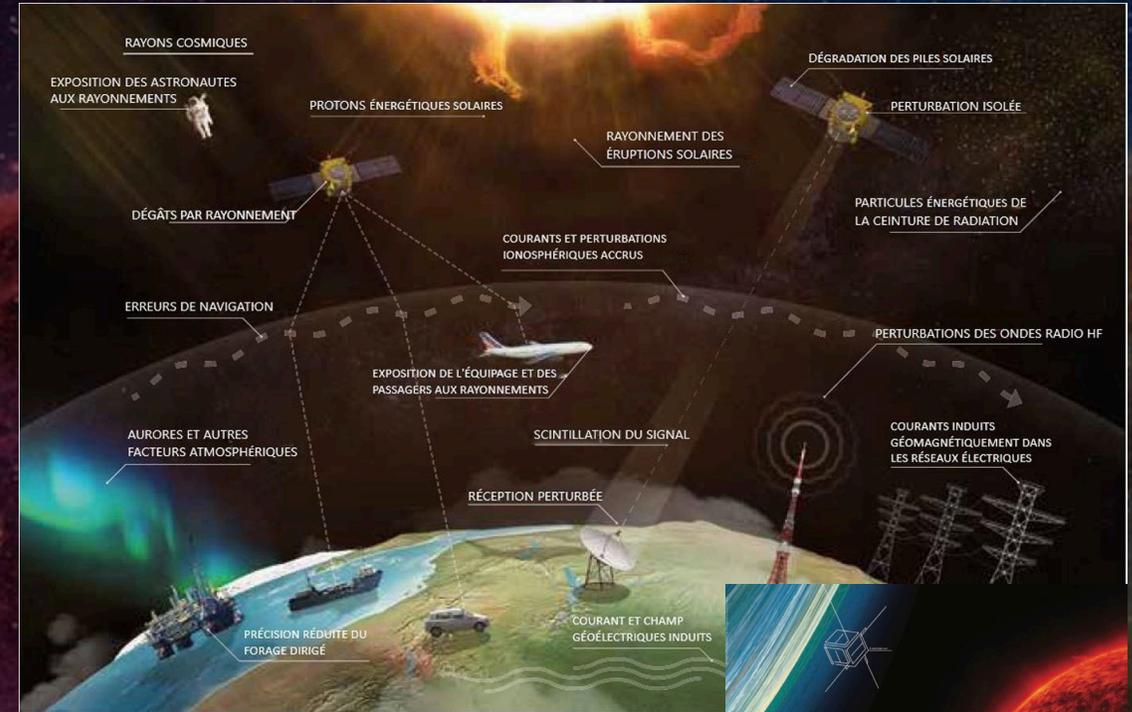
- Rôle des lunes sur les aurores de Jupiter avec **Juno**
- Lancement de **BepiColombo** (ESA/JAXA, 2018) et **Juice** (ESA, 2023)
  - Analyse des survols de Vénus par **BepiColombo** et **Solar Orbiter**
    - *L'atmosphère de Venus s'oppose efficacement au vent solaire malgré l'absence de champ magnétique intrinsèque*
  - Analyse des survols de Mercure
    - *Première détection d'ondes de type chorus autour de Mercure*
    - *Injections impulsives d'électrons précipitant à la surface semblables à celles observées sur Terre lors des orages magnétiques*
  - Juice en route
    - *Assistance gravitationnelle Lune-Terre, une première*



*Schéma de la région de stagnation du vent solaire au voisinage de Vénus (rayon 6050 km). Observation par SoLO et BepiColombo en Août 2021*

## Météorologie de l'espace

- Renforcement de la participation de la France au programme météo de l'espace de l'ESA (S2P)
  - Organisation de l'European Space Weather Week 2023 à Toulouse (700 participants)
- Développement de services pour l'ESA :
  - Propagation d'éruptions solaires
  - Prévion des risques satellites associés à la dynamique des ceintures de radiation terrestres
  - Prévion du cycle magnétique de 11 ans du Soleil
  - Surveillance des radiations pour l'aviation civile et militaire
- Miniaturisation des instruments
  - Notamment soutenue par la phase 0 de SPEED



## BILAN PROGRAMMATIQUE

Type de mesure/d'observables	Cadre de réalisation <sup>(1)</sup>
Observations simultanées des échelles fluide, ionique et électronique	ESA, NASA, JAXA
Observations spectroscopiques et polarimétriques à haute résolution du Soleil	ESA, NASA (SOLARIS), JAXA (Solar-C)
Exploration in situ des plasma spatiaux à partir de nano-satellites	CNES
Mesure multi-points dans les magnétosphères planétaires	ESA (Comet Interceptor), JAXA, NASA (RENSEM)
Mesure in-situ multi-points de l'ionosphère	ESA (CIRCUS, NUAM)
Explorer les magnétosphères des géantes glacées	ESA, NASA (M*)
Observation sismique solaire	ESA, NASA

➤ Echec du lancement de **Taranis** (CNES)

➤ **HelioSWARM** (NASA, 2029) : 1<sup>ères</sup> mesures simultanées multi échelles fluides et ioniques dans le vent solaire

➤ **Plasma Observatory** (ESA M7 – phase A compétitive, 2037) : Constellation de 7 satellites pour l'accélération des particules dans la magnétosphère terrestre.

➤ **Solar-C** (JAXA, 2029) : dynamique de l'atmosphère solaire à très haute résolution

➤ Phase 0 **Speed** CNES/PASO sur un nanosat prototype pour les mesures in situ.

➤ **M-Matisse** (ESA M7 – phase A compétitive, 2037) : Deux satellites pour faire de la météorologie de l'espace à Mars

➤ **Comet-Interceptor** (ESA, 2027) : exploration d'une comète

➤ La mission **Uranus Orbiter and Probe** : La *Flagship* du prochain *Decadal Survey* de planétologie des US sera dédiée à l'exploration d'Uranus.

+ Livraison JUICE !