



PNST : colloque à mi-parcours
Hendaye, 14-16 mars 2016

RÉSUMÉS ET LISTE DES PARTICIPANTS

Accès Web :

Site du colloque : https://pnst.ias.u-psud.fr/colloque_2016/main_1st.php

Site PNST : <https://pnst.ias.u-psud.fr>



Introduction

Le colloque à mi-parcours du PNST aura lieu du lundi 14 mars (12h) au mercredi 16 mars (14h) 2016 au centre Azureva de Hendaye.

Ce colloque s'adresse à tous les chercheurs et étudiants de la discipline des plasmas magnétisés dans les environnements solaire et terrestre. Il traitera également du magnétisme solaire et stellaire et des plasmas planétaires qui sont aux interfaces du PNST avec la physique stellaire et la planétologie.

Le colloque est organisé autour des 7 thèmes suivants :

1. Simulations et outils numériques
2. Nouvelles missions et instrumentation (sol et espace)
3. Couplages entre enveloppes de plasma (ex : intérieur/couronne/vent solaire, vent solaire/magnétosphère, magnétosphère/ionosphère/haute atmosphère)
4. Transport d'énergie multi-échelles et turbulence (ex : Soleil, vent solaire, magnétosphères, échelles ionique et électronique, dynamo)
5. Mécanismes d'accélération des particules et chauffage du plasma (ex : couronne et vent solaires, magnétosphères, particules énergétiques)
6. Activité éruptive ou impulsive dans les plasmas (ex : couronne, magnétosphères terrestre et planétaires)
7. Relations Soleil-Terre et météorologie de l'espace (ex : observation/prévision de l'activité solaire, environnement spatial, conditions géomagnétiques, variabilité de l'irradiance)

Le colloque comportera des présentations invitées (orales) et des présentations contribuées. Les présentations contribuées se feront toutes sous forme de posters (format A0 avec la plus grande dimension verticalement), et chaque poster fera l'objet d'une courte présentation orale d'une minute (une et une seule diapo) en séance plénière (voir sessions "mon poster en 60 secondes", MP60S, dans le programme du colloque).

Table des matières

Introduction	1
Thème 1 : Simulations et outils numériques	9
Aunai N., Nouveaux développements des modèles hybrides	9
Bommier V., Résolution de l'ambiguïté fondamentale dans les mesures du vecteur champ magnétique de la photosphère solaire	10
Cecconi B. et al., Developing an Efficient Planetary Space Weather Alert Service using Virtual Observatory Standards	11
Cecconi B. et al., Europlanet/VESPA et les plasmas du système solaire	12
Chane-Yook M. et al., Codes de transfert radiatif hors ETL 1D et 2D pour les structures solaires et stellaires	13
Dargent J. et al., The role of the cold ion population on magnetic reconnection at the Earth's magnetopause : fully kinetic simulations	14
Génot V. et al., Analyse de l'IMF à l'orbite de Mercure à partir des outils du CDP	15
Griton L. et al., Simulations MHD de l'interaction entre le vent solaire et des magnétosphères planétaires	16
Guillemant S. et al., Simulations of the solar orbiter spacecraft interactions with the solar wind : effects on the RPW & SWA/EAS measurements	17
Hung C., Estimating the deep solar meridional circulation using magnetic observations and a dynamo model : a variational approach	18
Louis C. et al., Modéliser les émissions radio aurorales joviennes avec SERPE	19
Marchaudon A. et al., Perspectives en modélisations de l'ionosphère	20
Nicolas L. et al., Magnetic streaming instability in space and laboratory plasmas	21
Sanchez-Diaz E. et al., Le rôle des collisions pour l'accélération du vent solaire lent : origine des ions d'hélium au maximum solaire	22
Varela J. et al., Differential Rotation and Dynamo Action in Solar-like Stars	23
Zuccarello F. et al., Critical parameters at the onset of solar eruptions	24
Thème 2 : Nouvelles missions et instrumentation (sol et espace)	26
Berthomier M. et al., Les enjeux scientifiques de la mission Alfvén	26
Cara A. et al., AMBER_NG : A compact dual ion-electron spectrometer for thermal plasma measurements	27

Cecconi B. et al. , Etude NOIRE : Nanosats pour un Observatoire Interférométrie Radio dans l'Espace	28
Cecconi B. , Point sur les Nanosats	29
Corbard T. et al. , METEOSPACE, surveillance solaire et météorologie de l'espace à Calern	30
Dalmasse K. et al. , Exploitation des mesures actuelles et futures de spectropolarimétrie coronale de CoMP et DKIST	31
Dandouras I. et al. , NOBEL : une mission ESA-M5 proposée pour comprendre les mécanismes d'échappement atmosphérique d'une planète magnétisée	32
Gelly B. et al. , New-life for the THEMIS Solar Telescope	33
Hulot G. al. , NanoMagSat, un nanosatellite pour l'observation du champ magnétique terrestre et de l'environnement ionosphérique	34
Oza A. et al. , Towards a Carbon Nanotube Ionization Source for Planetary Atmosphere Exploration	35
Pinçon J-L. , La mission TARANIS	36
Prado J-Y. et al. , Mesure du diamètre solaire par photométrie des éclipses solaires totales	37
Sahraoui F. et al. , La mission THOR	38
Sarria D. et al. , The TARANIS XGRE Instrument : Preliminary Modeling and TGF Detection Rate Estimation	39
Thème 3 : Couplages entre enveloppes de plasma	41
Blanc M. et al. , Ionosphere-magnetosphere coupling studies with Juno and Cassini proximal orbits	41
Chaufray J-Y. et al. , Modélisation de la haute atmosphère de Mars et premières comparaisons avec les observations MAVEN	42
Esteban R. et al. , Plasma acceleration in the Martian magnetotail	43
Henri P. et al. , The plasma environment of a comet with Rosetta	44
Ihaddadene K. et al. , Estimation of Physical Properties of Streamers in Transient Luminous Events from Non-Steady State Optical Emissions	45
Jouve L. et al. , Que nous apprennent les simulations numériques sur le magnétisme de notre étoile ?	46
Lamy L. , Aurores et magnétosphère d'Uranus post-équinoxe	47
Leclercq L. et al. , Simulations hybrides de la magnétosphère de Mercure	48
Lilensten J. et al. , Aurores bleues sur Mars	49
Mazelle C. et al. , Dependence of the location of the Martian magnetic lobes on the interplanetary magnetic field direction	50
Mazelle C. et al. , Principaux résultats de la première année de mesures de Maven autour de Mars	51
Palin L. et al. , Couplage magnétosphère-ionosphère via le système de courants 3D avant et après le déclenchement d'un sous-orage magnétosphérique	52
Pariat E. et al. , Hélicitogramme 3D : représentation coronale du flux d'hélicité photosphérique	53
Pinto R. et al. , Solar wind speed and flux-tube geometry	54

Réville V. et al. , 3D simulations of solar like stars winds constrained by spectropolarimetric maps	55
Savoini P. et al. , 2D full-particle simulations of the terrestrial ion foreshock : self consistent individual ion trajectories analysis	56
Schmieder B. et al. , Magnetic support and dynamics of a prominence observed by THEMIS and IRIS	57
Schmieder B. et al. , Coupling between convection and magnetic field in filament channel	58
Steckiewicz M. al. , Altitude dependence of nightside Martian suprathermal electron depletions as revealed by MAVEN observations	59
Strugarek A. al. , Interactions magnétiques étoiles-planètes en 3D	60
Thème 4 : Transport d'énergie multi-échelles et turbulence	62
Berthomier M. et al. , Caractérisation de la turbulence whistler observée à la magnétopause par MMS	62
Breuillard H. et al. , The Effects of Kinetic Instabilities on Ion and Electron-Scale Turbulence in Earth's Magnetosheath	63
Emeriau-Viard C. et al. , Evolution of internal magnetic fields in solar like-stars from the PMS to the ZAMS	64
Faurobert M. et al. , Etude spectrale de la distribution spatiale de l'énergie magnétique dans le Soleil calme	65
Galtier S. , Transport d'énergie multi-échelle dans le vent solaire	66
Grappin R. et al. , Equilibre dynamo-Alfvén dans la zone inertielle du vent solaire	67
Kacem I. et al. , Current and plasma structures associated with FTEs observed in the magnetosheath by MMS	68
Lion S. , A non-Gaussian Universal Description of Solar Wind Magnetic Field Fluctuations	69
Mazelle C. et al. , ULF waves in the Martian foreshock : MAVEN observations	70
Montagud V. et al. , Le chauffage turbulent dans le vent solaire : comment le modéliser ?	71
Perrone D. , Compressible coherent structures in slow solar wind turbulence at ion scales	72
Verdini A. et al. , Solar wind turbulence anisotropy, from large to small scales	73
Verdini A. et al. , Turbulence in the solar wind : what controls the slope of the energy spectrum ?	74
Thème 5 : Mécanismes d'accélération des particules et chauffage du plasma	76
Auchère F. et al. , Periodic Pulses or Random Amplitudes in Coronal Loops as Signatures of Thermal Non-Equilibrium	76
Breuillard H. et al. , Multi-Spacecraft Analysis of Plasma Jet Events and Associated Whistler-Wave Emissions using MMS Data	77

Carley E. et al. , The ELEVATE Catalogue : Understanding the coronal origins of solar energetic particles	78
Célestin S. , Recent Advances in Terrestrial Gamma ray Flashes and Their Effects in the Near-Earth Environment	79
Dandouras I. , Observations par Cluster sur les sources des ions magnétosphériques	80
Froment C. et al. , Evidence for highly-stratified and quasi-steady heating of solar coronal loops	81
Gordino M. et al. , Empirical relations between the Lyman line intensities of H I and He II	82
Guennou C. et al. , Lifecycle of a large-scale polar pseudostreamer	83
Lavraud B. et al. , The fine structure of the magnetosheath boundary layer during magnetic reconnection at the Earth's magnetopause	84
Le Contel O. et al. , Etude de l'activité électromagnétique détectée par MMS au voisinage de la magnétopause et de son rôle possible dans le chauffage et l'accélération des électrons	85
Le Contel O. et al. , Premiers résultats de la mission MMS	86
Mazelle C. et al. , Particle Acceleration and Shock Structures in Shock-Shock Interaction	87
Musset S. et al. , Diffusive transport of energetic electrons in the 2004, May 21 solar flare	88
Pinto R. et al. , X-ray emission in simulations of flaring coronal loops	89
Retino A. et al. , The physics of magnetic reconnection onset at the subsolar magnetopause : MMS observations	90
Solomon J. et al. , Chauffage impulsif des boucles coronales et pulsations en intensité de longues périodes : approximation analytique	91
Vernisse Y. et al. , Small-scale topological changes associated with magnetic reconnection during Kelvin-Helmholtz instability at the Earth's Magnetopause	92
Vilmer N. et al. , Particules énergétiques dans les éruptions solaires : mesures RHESSI	93
Zarka P. , La magnétosphère de Jupiter avant JUNO	94
Thème 6 : Activité éruptive ou impulsive dans les plasmas	96
Farges T. , Phénomènes lumineux transitoires : observations et mécanismes physiques	96
Fruit G. et al. , Instabilité électrostatique dans une couche de courant - Interaction avec les électrons piégés	97
Masson S. et al. , Les flares confinés et éruptifs sont-ils si différents ?	98
Rouillard A. et al. , Structures 3D et CMEs : observations STEREO	99
Salas Matamoros C. et al. , CME-related particle acceleration regions during a simple eruptive event near solar minimum	100
Schmieder B. et al. , Prominence plasma and magnetic field structure - A coordinated observation with IRIS, Hinode and THEMIS	101

Thème 7 : Relations Soleil-Terre et météorologie de l'espace	103
Abouadarham J., BASS 2000	103
Andre N. et al., Planetary SpaceWeather Services for the Europlanet 2020 Research Infrastructure	104
Astafyeva E. et al., Données champ magnétique et plasma de la mission SWARM	105
Astafyeva E. et al., Recent advances in the study of the global ionosphere dynamics : A multi-instrumental approach	106
Baudin F., SoHO : 20 ans de succès	107
Benacquista R., Étude statistique de la geoefficacité des ICMEs en tenant compte de leur structure	108
Bourdarie S. et al., Restitution des flux d'électrons dans les ceintures de radiation à partir d'un filtre de Kalman d'ensemble	109
Buchlin E. et al., Automated detection, characterization, and tracking of filaments from SDO data	110
Buchlin E. et al., Solar data, dataproducts, and tools at MEDOC	111
Cherniak I. et al., Impact of the space weather on the ionosphere : dynamics of the high-latitude plasma irregularities	112
Dudok de Wit T. et al., F30 : un nouvel indice d'émission UV solaire pour l'orbitographie	113
Dudok de Wit T. et al., Reconstruire l'activité solaire de 1850 à 2300 pour le GIEC	114
Génot V. et al., Action du CDDP et de STORMS pour la préparation de la mission d'astrophysique-X ATHENA-XIFU	115
Génot V. et al., CDDP activities	116
Gravet R. et al., On the UV contrast of solar magnetic features and variations of small magnetic fields	117
Gruet M., Prédiction de la dynamique des ceintures de radiation à partir de l'indice magnétosphérique alpha	118
Herrera D. et al., Prise en compte du temps local magnétique dans le code Salammbô modélisant la dynamique des ceintures de radiation terrestres	119
Janvier M. et al., Détermination de la forme générique des CMEs interplané- taires à 1AU	120
Klein K-L. et al., Sursauts radio solaires et aviation civile - y a-t-il une relation ?	121
Lamy L., The Auroral Planetary Imaging and Spectroscopy (APIS) service	122
Lazaro D. et al., IPODE et IPSAT : Observatoire des ceintures de radiation de la Terre dans le cadre du projet CRATERRE	123
Le Chat G. et al., Effect of the Interplanetary Medium on Nanodust Obser- vations by the Solar Terrestrial Relations Observatory	124
Lilensten J. et al., Première mesure de l'angle de polarisation aurorale	125
Pinto R. et al., Connecting the surface of the Sun to the Heliosphere	126
Plotnikov I. et al., Long-Term Tracking of Corotating Density Structures using Heliospheric Imaging	127
Sicard-Piet A. et al., Etudes des événements extrêmes, de Carrington à nos jours	128

Strugarek A. et al. , Prédiction des éruptions solaires les plus intenses par assimilation de données	129
Turc L. et al. , Propriétés des nuages magnétiques à 1 UA et conséquences sur leur interaction avec l'environnement terrestre	130
Zakharenkova I. et al. , Use of space-borne GPS measurements for detection of the plasma density irregularities in the topside ionosphere	131
Zucca P. et al. , HESPERIA studies on the nature of high-energy solar gamma-ray events	132
Autres thèmes	134
Aunai N. et al. , Scientific Qt application for Learning from Observations of Plasmas (SciQLOP)	134
Klein K-L. , Conférence grand public au centre Azureva : "Ces taches importantes qui viennent troubler le ciel - deux histoires des taches solaires" . .	135
Koutroumpa D. et al. , 20 ans de mesures de la direction du flot d'hydrogène interstellaire avec SWAN : stabilité et influence de l'activité solaire	136
Mirioni L. et al. , Un nouveau site web pour parcourir les aperçus (quicklooks) des données de l'instrument SCM et accéder plus facilement aux données de la mission MMS	137
Mottez F. , Un livre sur les aurores polaires destiné au grand public	138
Programme du colloque	139
Liste des participants	142
Comités d'organisation	149

Thème 1 : Simulations et outils numériques

Nouveaux développements des modèles hybrides

N. Aunai, LPP

R. Smets, A. Ciardi

La dynamique des processus plasmas spatiaux est faiblement ou non-collisionnelle et s'installe très souvent sur une grande gamme d'échelles spatiales et temporelles. Cette propriété rend impossible la simulation numérique directe des systèmes via la résolution des équations de Vlasov-Maxwell. L'on doit souvent se contenter de résoudre les petites échelles, à l'aide de modèles cinétiques, ou les grandes, à l'aide de modèles fluides. Les modèles dits « hybrides » se placent idéalement à des échelles intermédiaire en négligeant la nature cinétique des électrons mais pas celle des ions. Cependant ces modèles ne parviennent pas à joindre les deux bouts. Ils sont soit utilisés à « petite échelle », mais ne font guère mieux que les codes « full-PIC » dans leur traitement de l'aspect 3D des systèmes, soit à « grande échelle » où ils restent très lourds en comparaison aux modèles fluides. Dans cette présentation, nous commencerons par une petite introduction sur les modèles hybrides puis nous passerons en revue quelques travaux récents sur leur utilisation à petite échelle et leur comparaison aux modèles full-PIC, sur leur utilisation à grande échelle. Ensuite, nous discuterons de travaux récents et projets naissant de modèles hybrides multi-échelles.

Résolution de l'ambiguïté fondamentale dans les mesures du vecteur champ magnétique de la photosphère solaire

V. Bommier, LESIA

Les mesures du vecteur champ magnétique de la photosphère solaire, et notamment celles effectuées avec le télescope THEMIS, révèlent une anisotropie du champ magnétique : si $|dB_z/dz|$ est de l'ordre de 3 G/km (gradient vertical, au voisinage des taches solaires), $|dB_x/dx + dB_y/dy|$ n'est que de l'ordre de 0.3 G/km, comme si le champ magnétique reflétait la stratification forte induite par la gravitation dans les fluides, qui fait que la longueur horizontale caractéristique est 10 fois plus grande que la longueur verticale caractéristique dans la photosphère solaire. Ce chiffre 10 a été confirmé par l'évaluation du nombre de Froude dans la photosphère. Une explication a été proposée, basée sur l'écrantage de Debye anisotrope, pour établir le lien entre cette stratification forte et le champ magnétique (Bommier, V., 2013, <http://www.hindawi.com/journals/physri/2013/195403/>). Il s'ensuit que pour rétablir la nullité de $\text{div}B$ et pouvoir alors l'utiliser pour résoudre l'ambiguïté des mesures de champ magnétique en éliminant les solutions parasites, il faut multiplier les longueurs selon ce "rapport d'aspect". Je voudrais présenter un test de cette affirmation. J'ai soumis des cartes ambiguës que j'avais obtenues en appliquant mon code d'inversion UNNOFIT à des données spectropolarimétriques obtenues par HINODE/SOT/SP, qui résout les deux raies Fe I 6301.5 et 6302.5 Angströms, au code de résolution d'ambiguïté proposé par A. Crouch (Crouch, A.D., 2013, Sol. Phys., 282, 107). Ce code fonctionne par minimisation de $|\text{div}B|$, et à partir des données de deux raies spectrales formées à des profondeurs différentes comme le sont celles observées par HINODE/SOT/SP. Mais ce code n'a jamais tourné sur des données réelles, seulement sur des données de simulation. J'ai voulu mettre en évidence la nécessité de mettre au préalable les données réelles à l'échelle de ce "rapport d'aspect". Pour cela, j'ai d'abord fait tourner le code tel quel, et l'ambiguïté n'a pas été correctement résolue sur les taches solaires, où la solution peut être vérifiée selon la polarité de la tache. Puis, pour simuler cette mise à l'échelle sans intervenir dans le code, comme les observations n'étaient pas loin du centre du disque, j'ai simplement divisé par 10 la taille des pixels dans chacune des dimensions x et y. Alors l'ambiguïté s'est résolue correctement.

Developing an Efficient Planetary Space Weather Alert Service using Virtual Observatory Standards

B. Cecconi, LESIA

N. André, K. Benson, L. Tomasik

L'objectif de cette tâche du projet Europlanet/PSWS est d'identifier les besoins des utilisateurs, d'implémenter un gestionnaire d'alerte et de rejoindre ces deux aspects pour les événements planétaires et les prédictions en météo spatiale planétaire. Le service d'alerte prévu sera développé avec pour but de faciliter la découverte ou l'annonce de prédictions pour produits par l'équipe PSWS. Le but ultime est de mettre en place un service dédié aux équipes de recherches aux industriels et aux amateurs, afin d'accompagner la mise en place de campagne d'observations, de transmettre des information contextuelles pour les études scientifiques et d'alerter les opérateurs de missions spatiales planétaires pour des risques liés aux conditions spatiales (vent solaire, ceintures de radiations) en particulier. L'Observatoire de Paris et le MSSL (Grande Bretagne) vont étudier le standard VOEvent for ces objectifs. L'équipe de l'IRAP et du SRC en Pologne étudieront la manière de relier VOEvent aux outils PSWS.

Europlanet/VESPA et les plasmas du système solaire

B. Cecconi, LESIA

S. Erard, P. Le Sidaner, N. André, V. Génot, M. Gangloff

L'Observatoire Virtuel a pour but de faciliter la découverte, la récupération et l'analyse des données depuis les archives et catalogues du monde entier. L'objectif de VESPA (Virtual European Solar and Planetary Access) est construire l'infrastructure d'un Observatoire Virtuel pour les sciences du Système Solaire (du Soleil aux planètes, voire aux exoplanètes). Nous présentons ici comment ce projet s'insère dans les outils et réseaux déjà existants pour la communauté PNST qui est très en avance pour ces aspects sur le reste des communautés qui étudient le système solaire. L'accent est mis sur l'exploration planétaire (les magnétosphères planétaires dans notre cas), mais l'infrastructure peut distribuer des données solaires ou Soleil-Terre.

Codes de transfert radiatif hors ETL 1D et 2D pour les structures solaires et stellaires

M. Chane-Yook, IAS

J-C. Vial, P. Gouttebroze, J. Dubau

Nous présenterons un ensemble de codes de transfert radiatif hors ETL en 1D et 2D incluant des champs de vitesses, conçus pour interpréter des données spatiales solaires et stellaires passées (SOHO), en cours (Hinode, SDO, IRIS) ou futures (Solar Orbiter).

Les codes 1D avec ou sans champs de vitesses correspondent à une modélisation (représentée par une couche plan-parallèle) soit de couches illuminées (protubérances et filaments solaires) soit d'atmosphères "semi-infinies". Ces milieux sont considérés soit isothermes-isobares soit variables à l'intérieur de la structure. Le transfert radiatif concerne continu et raies spectrales d'éléments comme l'hydrogène, l'hélium, le calcium, et le magnésium, ... La redistribution partielle en fréquences ne concerne que les raies de résonance.

Les codes 2D décrivent le transfert radiatif hors ETL pour les atomes d'hydrogène, d'hélium et de magnésium dans un objet cylindrique se trouvant dans la couronne solaire, et incluent des champs de vitesses (3D) du gaz, avec redistribution complète en fréquences.

La plupart de ces codes sont disponibles avec documentation (utilisation et méthode) sur le site MEDOC à l'adresse suivante :

<https://idoc.ias.u-psud.fr/MEDOC/Radiative%20transfer%20codes>

The role of the cold ion population on magnetic reconnection at the Earth's magnetopause : fully kinetic simulations

J. Dargent, LPP

N. Aunai, B. Lavraud, S. Toledo Redondo

Magnetic reconnection at the Earth's dayside magnetopause involves ion populations from both the magnetosheath and magnetosphere. The magnetosphere often contains a cold ion population. This population originates from the ionosphere (generally the plasmaspheric plume) and is not always detectable by particle instruments due to its low energy, despite having an important contribution to the total ion density. In particular, the presence of cold ions at the magnetopause is common in the equatorial plane where the new Magnetospheric Multiscale mission operates. We present 2D fully kinetic simulations of asymmetric magnetic reconnection with same global quantities for all ions taken into account, but different magnetosphere populations. The comparison of simulations with and without cold ions suggests that these directly impact signatures recently suggested as good markers of the X line region, such as a normal electric field shoulder. Our simulations also show a drastic fall in cold ion density near the X line, to the point that almost none of them actually reach the X-line itself. Such effects are to be taken into account when analyzing in situ measurements.

Analyse de l'IMF à l'orbite de Mercure à partir des outils du CDP

V. Génot, IRAP

R. Modolo, E. Budnik, M. Gangloff, CDP & IMPEX teams

Les fonctionnalités d'analyse des outils AMDA et 3DView sont décrites à partir d'un cas scientifique sur l'influence de l'IMF sur le champ magnétique de Mercure (observations de MESSENGER). Les connexions entre ces outils et des bases externes de modèles (LAT-MOS, SINP) sont illustrées à travers ce cas. Dans la continuité des développements du projet IMPEX, on montrera comment d'autres données (modèles, observations) peuvent être intégrées dans ce système.

Simulations MHD de l'interaction entre le vent solaire et des magnétosphères planétaires

L. Griton, LESIA

F. Pantellini, M. Moncuquet

Je travaille sur des simulations magnétohydrodynamiques (MHD) de l'interaction du vent solaire avec des magnétosphères planétaires. Après une introduction générale, je traiterai plus particulièrement du cas de Mercure (rotateur lent) qui nous intéresse dans le cadre de la préparation de la mission BepiColombo, et d'Uranus, un des cas les plus compliqués du système solaire en raison de sa rotation rapide et de l'orientation exotique de ses axes de rotation et magnétique.

Simulations of the solar orbiter spacecraft interactions with the solar wind : effects on the RPW & SWA/EAS measurements

S. Guillemant, IRAP

V. Génot, A. Hilgers, L. Lamy, P. Louarn, M. Maksimovic, J-C. Matéo-Vélez, C.J. Owen, F. Pantellini, P. Sarrailh, A. Vecchio

This presentation focuses on numerical simulations of the Solar Orbiter spacecraft/plasma interactions performed with the Spacecraft Plasma Interaction System (SPIS) software (<http://dev.spis.org/projects/spine/home/spis/>). This toolkit aims at modelling spacecraft-plasma interactions, based on an electrostatic 3-D unstructured particle-in-cell plasma model. New powerful SPIS functionalities were recently delivered within the extension of the software : SPIS-Science (ESA contract). This version revolutionizes spacecraft/plasma interactions as users are now able to model and configure plasma instrument such as Langmuir probes or particle detectors taking into account instrument characteristics like geometry, materials, energy ranges and resolution, output frequency, field of view. The Solar Orbiter spacecraft (M-class ESA Cosmic Vision with NASA participation, to be launched in October 2018), is dedicated to the Sun observation with in-situ and remote sensing instruments, brought as close as 0.28 A.U. from the star. In this hot and dense environment the entire satellite will be submitted to high radiations and temperatures (up to 10 Solar constants). Material responses to environment constraints (heat, U.V. flux, photoemission, secondary electron emission) might bias the scientific instrument measurements.

Among the 10 Solar orbiter Instruments, the Electron Analyzer System (EAS) will collect the thermal electron Velocity Distribution Function (VDFs) and the Radio and Plasma Waves (RPW) will measure the ambient electric field fluctuation from DC to several kHz. Previous numerical simulations already showed the EAS detector will be affected by important fluxes of low energy secondary and photoelectrons, emitted by Solar Orbiter itself, and deflected by local potential barriers due to covering material charging, ion wake and secondary electron / photoelectron high densities. These phenomena result in a bias of the measured thermal electrons VDFs. Compared with theoretical undisturbed VDFs, EAS measures a high increase of density (of more than 130% at Solar Orbiter perihelion) and a discrepancy in electron flux origin due to particle deflections generated by the satellite itself and its various element potentials. We will review in this presentation the latest results obtained for the modelling of EAS. As for RPW, the experiment consists in 3 conducting antennas of 6 m length which will charge independently according to local environment conditions. The potential difference between them will allow to recover the ambient electric field in the plasma, knowing the effective length of the stacers. However those 3 antennas will also emit electron clouds in their vicinity (modifying the local electrostatic pattern). They also might bend due to material expansion on their sunlit faces (at the closest distance to the Sun, temperature expected on the antennas will be about 500 - 600° C). Those disturbing issues need to be investigated through simulations.

Estimating the deep solar meridional circulation using magnetic observations and a dynamo model : a variational approach

C. Hung, CEA-AIM/IPGP

We show how magnetic observations of the Sun can be used in conjunction with an axisymmetric flux-transport solar dynamo model in order to estimate the large-scale meridional circulation throughout the convection zone. Our innovative approach rests on variational data assimilation, whereby the distance between predictions and observations (measured by an objective function) is iteratively minimized by means of an optimization algorithm seeking the meridional flow that best accounts for the data. The minimization is performed using a quasi-Newton technique, which requires knowledge of the sensitivity of the objective function to the meridional flow. That sensitivity is efficiently computed via the integration of the adjoint flux-transport dynamo model. Closed-loop (also known as twin) experiments using synthetic data demonstrate the validity and accuracy of this technique for a variety of meridional flow configurations, ranging from unicellular and equatorially symmetric to multicellular and equatorially asymmetric. In this well-controlled synthetic context, we perform a systematic study of the behavior of our variational approach under different observational configurations by varying their spatial density, temporal density, and noise level, as well as the width of the assimilation window. We find that the method is remarkably robust, leading in most cases to a recovery of the true meridional flow to within better than 1%. These encouraging results are a first step toward using this technique to (i) better constrain the physical processes occurring inside the Sun and (ii) better predict solar activity on decadal timescales. This work is supported by Idex Sorbonne Paris Cite via the DAMSE project.

Modéliser les émissions radio aurorales joviennes avec SERPE

C. Louis, LESIA

L. Lamy, P. Zarka

Les émissions radio aurorales intenses produites par la magnétosphère de Jupiter entre quelques kHz et 40 MHz sont observées depuis un demi-siècle. Cependant, elles suscitent encore de nombreuses questions, et leur étude est l'un des objectifs principaux de la mission orbitale polaire Juno, dont l'arrivée à Jupiter est prévue pour juillet 2016. Ces émissions analogues au rayonnement radio auroral terrestre, sont certainement produites par le même mécanisme, l'Instabilité Maser Cyclotron (IMC), à partir d'électrons non-maxwelliens faiblement relativistes amplifiant des ondes sur les lignes de champ magnétique de haute latitude (Zarka, 1998). Ces émissions se divisent en plusieurs composantes spectrales, induites ou non par la lune Io. L'origine et la relation entre les émissions non-Io kilométriques, hectométriques et décamétriques (Io ou non-Io) en particulier reste peu comprise.

Pour étudier ces émissions, nous simulons numériquement des sources radio autour de Jupiter et leur visibilité pour un observateur donné afin de produire des spectres dynamiques comparables aux observations. Ces simulations sont réalisées avec la version la plus récente du code SERPE - Simulateur d'Émissions Radio Planétaires et Exoplanétaire <http://maser.obspm.fr> (Hess et al., en prép.) - développé pour modéliser des émissions décamétriques liées à Io, des émissions kilométriques de Saturne et prédire des émissions radio exoplanétaires (Hess et al., 2008, 2011 ; Lamy et al., 2008, 2013). De telles simulations apportent à la fois des contraintes macroscopiques sur les émissions observées (sources radio et lignes de champ actives visibles) et microphysiques sur les sources (la fonction de distribution des électrons sources contrôle le diagramme d'émission IMC et peut ainsi être testée). Nous avons validé un calcul théorique plus réaliste de l'angle d'émission utilisé par SERPE, puis nous avons produit des simulations des émissions Io et non-Io au long cours, que nous comparons aux observations acquises par les sondes Voyager 1 & 2 (survol de Jupiter en 1979, observations PRA 1kHz-40MHz) et Cassini (survol de Jupiter en 2000, observations RPWS 3kHz-16MHz) ainsi que par le réseau décamétrique de Nançay (observations journalières de Jupiter sur la gamme 10-40MHz).

Perspectives en modélisations de l'ionosphère

A. Marchaudon, IRAP

P-L. Blelly, M. Grandin

La forte dépendance de notre société vis-à-vis des communications radio et des systèmes embarqués dans l'espace confère à l'ionosphère, en tant que milieu ionisé, un rôle critique du fait de ses propriétés dispersives vis-à-vis des ondes électromagnétiques. Par ailleurs, l'ionosphère est un élément clé en météorologie spatiale car elle est un lieu de convergence des mécanismes d'interaction entre le soleil, au travers de ces émissions de particules et d'énergie, et l'environnement terrestre, dominé par la magnétosphère. Les besoins en modélisation de l'ionosphère se situent donc à deux niveaux. En premier lieu, il faut développer des modèles scientifiques qui s'appuient sur des axes de recherche prioritaire comme :

- le couplage magnétosphère-ionosphère à travers l'électrodynamique des régions de haute et basse latitudes
- les échanges interhémisphériques pour sonder la magnétosphère interne
- la physico-chimie du milieu lors des événements solaires extrêmes

Ces modèles impliquent des développements numériques et informatiques lourds et des ressources de calcul importantes (calculateurs dans les méso-centres et les centres de calcul nationaux).

En parallèle, il faut disposer de modèles à vocation opérationnel dont l'objectif est plus de corriger les effets de l'ionosphère. Les outils actuels basés sur des modèles empiriques non cohérents sont complètement inadaptés à la complexité du milieu et sont obsolètes par rapport aux besoins.

Nous présenterons les deux axes de développement que nous avons engagés, en mettant en avant comment l'opérationnel bénéficie de l'expertise acquise avec les modèles scientifiques lourds et en retour comment ces modèles opérationnels peuvent enrichir la description statistique du milieu à grande échelle en assimilant des sources de données diverses à large couverture spatio-temporelle : GNSS, radio-occultation, ionosondes, SuperDARN. Nous concluons avec les objectifs de mise à disposition de la communauté des outils développés, notamment TRANSCAR online, et les extensions planétaires que nous menons dans le cadre d'Europlanet.

Magnetic streaming instability in space and laboratory plasmas

L. Nicolas, LPP

R. SMETS, A. CIARDI

Energetic ions propagating in a magnetized background drive magnetosonic waves unstable. The enhanced wave activity slows down the beam, transferring part of the energy to the background plasma. This instability is common in many astrophysical environments such as the reflected ions in the Earth bow shock or cosmic rays streaming in the interstellar medium. In addition, the ability of generating strong (up to 40 T) steady-state magnetic fields in laser-produced plasmas is opening the door to studying this instability in the laboratory.

Using the hybrid code HECKLE, which treats the ions as macroparticles and electrons as a massless fluid, we study the magnetic streaming instability for a range of plasma parameters and present an overview of the analytical and numerical results.

We can then study the characteristics of the modes generated that are given by the theory, as the dispersion relation of the waves, or the energy transfer from the beam to the background plasma.

Le role des collisions pour l'accélération du vent solaire lent : origine des ions d'hélium au maximum solaire

E. Sanchez-Diaz, IRAP

P.L. Blelly, A.P. Rouillard, B. Lavraud, R. Pinto

At solar maximum, the slow solar wind presents an enhanced helium abundance compared to solar minimum (Aellig et al., 2001 ; Kasper et al., 2007, 2012). Sanchez-Diaz et al. (2016) found that the yearly average of helium abundance in the slow solar wind is very well correlated with the yearly average in the proton mass flux right above the transition region. This correlation is especially remarkable for the very slow solar wind ($V < 300$ km/s), where the proton flux is especially high. We hypothesized that the helium abundance might be enhanced due to a non-negligible amount of Coulomb collisions between hydrogen and helium when the proton mass flux is so elevated (5 times bigger than at solar minimum and one order of magnitude bigger than in the fast solar wind).

To explore the role of H to He collisions in the acceleration of He ions, we input the proton temperature and expansion factor profiles resulting from the combination of a Potential Field Source Model (PFSS) and a 1D hydrodynamic solar wind model described in Pinto et al. (2009) into a collisional two fluid model. The model assumes that there is no heating for the helium ions in the very slow solar wind. We evaluate the possible role of Coulomb collisions on the escape of He for a number of different geometries and boundary conditions.

Differential Rotation and Dynamo Action in Solar-like Stars

J. Varela, CEA

A. Strugarek and A. S. Brun

The differential rotation of solar-like stars is influenced by rotation rate and mass in presence of magnetic fields generated by a convective dynamo. We use the ASH code to model the convective dynamo of solar-like stars at various rotation rates and masses, hence different effective Rossby numbers. We obtained models with either prograde (solar-like) or retrograde (anti-solar-like) differential rotation. We study the trends of differential rotation versus stellar rotation rate obtained for simulations including the effect of the magnetic field compared with the hydro cases, showing a better agreement with the observations in the magnetic models. Analysis of angular momentum transport revealed that the simulations with retrograde and prograde differential rotation have opposite distribution of the viscous, turbulent Reynolds stresses and meridional circulation contributions. The thermal wind balance is achieved in the prograde cases. However, in retrograde cases Reynolds stresses are dominant for high latitudes and near the top of the convective layer. Baroclinic effects are stronger for faster rotating models. In most cases we observe temporal fluctuations of angular velocity that could be interpreted as torsional oscillations.

Critical parameters at the onset of solar eruptions

F. Zuccarello, LESIA

G. Aulanier, S. Gilchrist

Magnetic flux ropes are topological structures consisting of twisted magnetic field lines that globally wrap around an axis. The torus instability model predicts that a magnetic flux rope of major radius R undergoes an eruption when its axis reaches a location where the decay index $-d(\ln B_{ex})/d(\ln R)$ of the ambient magnetic field B_{ex} is larger than a critical value. In the current-wire model, the critical value depends on the thickness and time-evolution of the current channel. We use magneto-hydrodynamic (MHD) simulations to investigate if the critical value of the decay index at the onset of the eruption is affected by the magnetic flux rope's internal current profile and/or by the particular pre-eruptive photospheric dynamics. The evolution of an asymmetric, bipolar active region is driven by applying different classes of photospheric motions. We find that the critical value of the decay index at the onset of the eruption is not significantly affected by either the pre-eruptive photospheric evolution of the active region or by the resulting different magnetic flux ropes. As in the case of the current-wire model, we find that there is a 'critical range' [1.3 – 1.5], rather than a 'critical value' for the onset of the torus instability. This range is in good agreement with the predictions of the current-wire model, despite the inclusion of line-tying effects and the occurrence of tether-cutting magnetic reconnection.

Thème 2 : Nouvelles missions et instrumentation (sol et espace)

Les enjeux scientifiques de la mission Alfvén

M. Berthomier, LPP

L. Lamy, B. Lavraud, J.-L. Pinçon et Alfvén Team

Les mécanismes d'accélération, de chauffage et de rayonnement jouent un rôle fondamental dans la structuration et la dynamique des plasmas fortement magnétisés. Ils permettent notamment la production des rayons cosmiques, des jets galactiques et stellaires, le développement des éruptions solaires, la formation des ceintures de radiation planétaires et la production des émissions aurorales visibles sur les planètes magnétisées. Dans le système Soleil-Terre, ils sont à l'oeuvre de manière spectaculaire dans la zone de transition entre photosphère et chromosphère et à l'interface ionosphère-magnétosphère. La compréhension du couplage de ces enveloppes de plasma nécessite de comprendre la physique de ces processus universels non-locaux et dynamiques que ni les missions mono-satellites ni les observations à distance n'ont permis d'élucider. La mission Alfvén, en positionnant deux satellites en conjonction magnétique le long des lignes de force aurorales, permettra de caractériser pour la première fois la dynamique des structures d'accélération et de rayonnement et d'évaluer l'efficacité des mécanismes de chauffage dans un plasma fortement magnétisé. L'observation simultanée multi-échelles des arcs auroraux permettra de quantifier les mécanismes de conversion et de transfert d'énergie entre l'ionosphère et la magnétosphère. La coordination avec les observatoires au sol fournira des opportunités uniques pour replacer les observations satellitaires dans le contexte de la dynamique magnétosphérique globale. Nous présentons les enjeux scientifiques de la mission Alfvén qui sera proposée à l'AO M5 de l'ESA en 2016.

AMBER_NG : A compact dual ion-electron spectrometer for thermal plasma measurements

A. Cara, IRAP

B. Lavraud, D. Payan, C. Aoustin, Y. Ballot, A. Cadu, O. Chassela, H. Tap, O. Bernal, T. Camus, P. Devoto, A. Fedorov, J. Rouzaud

The Active Monitor Box of Electrostatic Risks (AMBRE) is a double-head thermal electron and ion electrostatic analyzer ($\sim 0 - 30$ keV) that will be launched onboard the Jason-3 spacecraft in 2015. The new generation AMBRE instrument (AMBRE_NG) constitutes a significant new evolution that will be based on a single head with newly developed sub-systems to reduce all instrument resources. We will describe the main front-end and high-voltage electronics developments which are being made to perform such dual ion-electron measurements. The first purpose of AMBRE_NG is the monitoring of spacecraft charging and of the plasma populations at the origin of this charging. The design is also appropriate for the study of space plasma processes in the Earth's magnetosphere, as well as at other planets where time resolution may not prevail over mass constraints.

Etude NOIRE : Nanosats pour un Observatoire Interférométrie Radio dans l'Espace

B. Cecconi, LESIA

Équipe NOIRE

La gamme de fréquence allant de quelques kHz à la quelques dizaines de MHz est une gamme spectrale qui a été explorée avec des instruments très simples sans véritable résolution angulaire (missions WIND, STEREO, Ulysses, Cassini...) pour l'observation des sources radio du système solaire. Pour aller plus loin, c'est-à-dire, obtenir des images résolues du ciel, il faut mettre en place un système d'observation interférométrique, comme pour les grands instruments radio sols récents (LOFAR, LWA) ou en cours de construction (SKA...). A cause de la coupure ionosphérique, il faut aller dans l'espace, et si possible se placer à un endroit où la Terre et les parasites d'origine humaine sont faibles voire occultés. Par ailleurs, pour avoir une bonne résolution angulaire bien échantillonner le ciel, il faut un grand nombre de noeud de mesure. La solution nanosat paraît donc un bonne opportunité pour réaliser un réseau de senseurs radio spatiaux à un coût raisonnable. Ce type de concept est étudié depuis plusieurs années aux USA et aux Pays Bas. L'équipe NOIRE propose de lancer la communauté française dans cette aventure. Le CNES a sélectionné cette étude pour une phase-0 à l'été 2015. L'équipe NOIRE est composée de chercheurs et d'ingénieurs des communautés PNST et Astrophysique. Nous voulons mettre en place une feuille de route d'études techniques et de démonstrateurs pour tenter de construire un instrument qui pourrait révolutionner notre vision de l'Univers.

Point sur les Nanosats

B. Cecconi, LESIA

Depuis quelques années, la plateforme nanosat se développe et les applications scientifiques liées aux thématiques du PNST émergent. Quelques missions nanosat étudiants ont été lancées et ont permis des mesures scientifiques dans l'environnement spatial terrestre. Plusieurs ateliers ont eu lieu lors des deux dernières années sur les nanosats et les applications en physique spatiale et pour la météo de l'espace. Un résumé des conclusions de ces ateliers sera présenté, ainsi qu'une discussion sur les projets en cours et les futures applications pour ce type de plateforme.

METEOSPACE, surveillance solaire et météorologie de l'espace à Calern

T. Corbard, Lagrange

J-M. Malherbe, D. Crussaire, F. Morand, L. Biree, C. Renaud

METEOSPACE est un nouveau projet de partenariat entre l'Observatoire de Paris, l'Observatoire de la Côte d'Azur et l'Armée de l'Air pour le développement et l'exploitation d'un ensemble de petits télescopes H-alpha/Ca II K/Ca II H/Bande G qui doivent être installés sur le plateau de Calern. L'objectif est la surveillance de l'activité solaire à la fois pour la recherche et pour ses applications en météorologie de l'espace par le biais de l'observation optique en continu et à haute cadence des phénomènes dynamiques à la source de l'activité solaire : éruptions, ondes de Moreton associées, déclenchement des éjections de masse coronale, déstabilisation des filaments.

Exploitation des mesures actuelles et futures de spectro-polarimétrie coronale de CoMP et DKIST

K. Dalmasse, NCAR

D. W. Nychka, S. E. Gibson, Y. Fan

Les mesures spectro-polarimétriques de la couronne solaire, e.g., à partir de raies infra-rouges contiennent une information magnétique précieuse et complémentaire aux données photosphériques pour étudier le champ magnétique solaire. Le Coronal Multi-channel Polarimeter (CoMP), installé au Mauna Loa Solar Observatory, est actuellement le seul instrument à effectuer des mesures journalières de ce type de données depuis sa mise en service en 2010. Les données polarimétriques de CoMP offrent des perspectives intéressantes pour améliorer les modèles de reconstruction du champ magnétique, et plus généralement, pour l'étude du magnétisme solaire. Cependant, ces données coronales ne peuvent pas être directement retranscrites en cartes du champ magnétique dans le plan du ciel, et leur utilisation par la communauté solaire internationale reste ainsi très limitée. Nous proposons donc une nouvelle approche pour l'exploitation des mesures spectro-polarimétriques coronales dans le cadre de l'étude du champ magnétique solaire. Notre approche est basée sur la combinaison d'un modèle classique de reconstruction du champ magnétique paramétrisé, de modélisation prédictive de la polarisation de raies infra-rouges dans la couronne solaire, et du développement d'une nouvelle méthode statistique d'optimisation de χ^2 . A l'aide d'un cas test, nous avons montré que la polarisation de raies infra-rouges observées dans la couronne fournit des contraintes suffisantes pour trouver le champ magnétique d'un modèle permettant d'optimiser un χ^2 comparant le signal polarimétrique prédit au signal réel. Cette méthode ouvre de nouvelles perspectives pour l'exploitation des données polarimétriques coronales de CoMP et du futur grand télescope solaire Daniel K. Inoue Solar Telescope.

NOBEL : une mission ESA-M5 proposée pour comprendre les mécanismes d'échappement atmosphérique d'une planète magnétisée

I. Dandouras, IRAP

Masatoshi Yamauchi et l'équipe de la proposition NOBEL

The NOBEL mission aims to study the thermal and non-thermal escape of major atmospheric components (nitrogen, oxygen, and their isotopes) from the Earth, a magnetized planet. This requires the first-time exploration of the Earth's entire exosphere as well as the first-time examination of isotope ratios in an extended altitude range, from the upper ionosphere (800 km high) up to the magnetosphere.

The measurement quality should allow connecting the various types of escape from the Earth to the different gravity mass-filtering and chemical reactions on a geological time scale. Since the solar EUV and solar wind conditions during solar maximum at present are comparable to the solar minimum conditions 1-2 billion years ago, the escaping amount and the isotope and N/O ratios should be obtained as a function of external forcing (solar and geomagnetic conditions) to allow a scaling to the past.

To achieve these goals, the ion measurements in this mission should be able to separate nitrogen species (N, N₂, N⁺ and N₂⁺) from oxygen (O, O⁺), near the exobase, in the exosphere and up in the magnetosphere.

The proposed mission ESA-M5 mission consists of a spinning satellite in a 500 km x 33000 km altitude high-inclination orbit, equipped with in-situ and remote sensing instruments.

New-life for the THEMIS Solar Telescope

B. Gelly, UPS3718 THEMIS

M. Langlois, G. Moretto, R. Douet, M. Tallon, C. Le Men, A. Lopez Ariste

We present here the ongoing upgrades at Themis Solar Telescope. Adaptive optics systems are installed with excellent results for imaging purposes at most existing solar telescopes, but the combination of polarimetric measurements with adaptive optics is quite challenging and not usually fully addressed from the design up. Adaptive optics within a specially re-designed optical path are being combined with THEMIS unique high polarimetric precision and high spectral resolution.

Themis routinely delivers high SNR polarized spectra with a polarimetric accuracy of 10^{-4} to 10^{-5} . The polarimetric system uses a modulated dual beam principle with an analyzer located at the prime focus. Due to this configuration, Themis has been called a "polarization-free" telescope (although a better qualification would be "calibration-free"). Speckle imaging has been successfully implemented showing that the telescope has excellent imaging capabilities whenever the seeing is above $r_0=8\text{cm}$. The present upgrades aim at correcting a number of limiting issues : i) Polarized spectra require high-SNR hence long exposure times, and the mapping the solar surface is also a time consuming process : as a result, the spectropolarimetry spatial resolution is never better than $0.5''$ which is no longer a competitive number, ii) The current dual beam polarimetry requires a severe field limitation to $15''$ in one spatial direction, which is both an observing limitation and makes impossible the implementation of any wavefront sensor, and iii) There is a flaw at system level in the placement of the current scanning device.

To solve what precedes, a 2 years study was necessary. A re-designed optical path starting from the M2 is being implemented, changing the f/ratio from f/63 to f/52.9. The optical relay is simpler with an improved transmission, and an AO bench will be located just before the spectrograph entrance. This AO is designed to start operating at $r_0=4.7\text{ cm}$ (half of the time at our site) with a ~ 100 actuator high-speed and high-stroke DM. The new polarimetric concept is now a superimposed modulated dual beam with no field limitation : this is the most challenging part of the work as it implies to control the behaviour of the Mueller matrix of a time-varying complex optical system. Based on a complete model of the optical path, with detailed simulations of the effect of ad-hoc surface coatings, deviation from the ideal situation can be controlled to an almost arbitrary low level. We expect from this renewed telescope a very large improvement of the spatial resolution of the polarized spectra, an excellent performances in spectropolarimetric mapping of the solar surface. It will available during a second exploitation period within 2018 -2025 and will then stop operating at the dawn of the future European Solar Telescope (EST).

NanoMagSat, un nanosatellite pour l'observation du champ magnétique terrestre et de l'environnement ionosphérique

G. Hulot, IPGP

J.M. Léger, T. Jager, E. Astafyeva, P. Coïsson, V. Lesur, P. Vigneron, F. Bertrand, L. Tommasini, A. Laurens, M. Manda, K. Amsif, C. Fratt

L'observation du champ géomagnétique et de l'environnement ionosphérique en orbite basse est actuellement assurée par la mission Swarm de l'ESA. Cette mission est constituée de 3 satellites en orbites polaires, dont 2 orbitent à proximité l'un de l'autre sur des orbites parallèles, et le troisième se trouve sur une orbite légèrement plus haute, se séparant progressivement en heure locale des deux autres satellites. Ces satellites devraient restés opérationnels jusqu'à au moins 2021, le satellite en orbite haute pouvant même resté opérationnel jusqu'à au moins 2024. Ces circonstances, et l'importance de pérenniser ce type d'observations, nous ont amené à proposer le lancement rapide d'une mission à moindre coût, basée sur le concept de nanosatellite, qui pourrait à la fois apporter une dimension supplémentaire à la mission Swarm et servir de précurseur pour des missions nanosatellites ultérieures.

Cette mission NanoMagSat est actuellement en étude de phase 0 au CNES. Le coeur de sa charge utile consisterait en une version miniaturisée du magnétomètre absolu ASM du CEA-Léti exploité sur la mission Swarm, capable de fournir simultanément des mesures scalaires et vectoriel du champ magnétique à 1 Hz d'échantillonnage (bande passante de [0-0.4 Hz]), ainsi que des mesures scalaires à plus haute fréquence (250 Hz). En couplant cet instrument à des caméras stellaires, cet ASM permettrait à NanoMagSat de fournir des données de qualité suffisante pour l'étude du champ magnétique principal, du champ lithosphérique ainsi que des champs ionosphérique et magnétosphérique. Ces données seraient particulièrement utiles si elles étaient acquises sur une orbite inclinée à 60° , venant ainsi compléter les données de Swarm, acquises sur des orbites polaires. Une telle orbite aurait le double avantage de couvrir bien plus rapidement les heures locales visitées, et de croiser (à $+30^\circ$ et -30°) les orbites polaires de la mission Swarm. Ces caractéristiques permettraient une amélioration substantielle de la qualité des modèles de champs principal, lithosphérique et ionosphérique (Sq), en particulier.

L'étude de phase 0 menée jusqu'à présent porte sur deux formats possibles pour la plateforme (12U ou 27U). Elle laisse apparaître que les contraintes imposées par l'instrument ASM et les caméras stellaires d'une part, l'orbite inclinée à 60° d'autre part, pourraient être compatibles avec les contraintes imposées par les autres éléments du satellite (calculateur de bord, communications, GPS...). La possibilité d'embarquer des instruments supplémentaires pour élargir le spectre des études scientifiques possibles à partir de NanoMagSat est également considérée avec beaucoup d'attention (sonde de Langmuir, search coils, magnétomètre fluxgate, et/ou analyseur d'ions).

Ce poster a pour but de présenter cette étude et de solliciter le point de vue de la communauté présente au PNTS sur les choix instrumentaux possibles, compte tenu des contraintes imposées par le format nanosatellite.

Towards a Carbon Nanotube Ionization Source for Planetary Atmosphere Exploration

A. Oza, LATMOS

F. Leblanc, J-J. Berthelier, J. Becker, P. Gilbert, L. Vettier, R. Coulomb, N.T. Hong, S. Lee

The characterization of planetary exospheres today, relies on the development of a highly efficient ionization source, due to the scant neutral molecules ($n < 10^8 \text{cm}^{-3}$) present in diffuse planetary coronae. These tenuous atmospheres provide insight on to physical processes known to occur such as : space weathering, magneto-atmosphere interactions, as well as atmospheric escape mechanisms, all of which are being heavily investigated via current 3D Monte Carlo, Exosphere General Model (EGM) simulations (Turc et al. 2014, Leblanc et al. 2016 in prep) at LATMOS. Validation of these studies will rely on *in-situ* observations in the coming decades.

Neutral detection strongly depends on electron-impact ionization which via conventional cathode-sources, such as thermal filaments (heated up to 2000K), may only produce the target ionization essential for energy-measurements with large power consumption. Carbon nanotubes (CNTs) however, are ideal low-power, cold cathodes, when subject to moderate electric fields ($E \sim 1\text{MV}/\text{m}$). We present our current device, a CNT electron gun (CNTEG), powered by a 15mm^2 CNT chip. The CNTEG currently extracts hundreds of $\mu\text{Amperes}$ of field electrons with applied external voltages of ~ -150 Volts, approaching minimum power consumption < 0.1 Watts. The 3D modeling of field effect electrons ionizing a standard influx of neutrals is shown, using the multiphysics suite COMSOL.

To better anticipate the species an ideal *in-situ* spacecraft equipped with such an ionization source would observe, for a given position and time, we simulate Europa's exosphere. We observe atmospheric inhomogeneities shaped by (1) Jovian gravitation, (2) solar insolation of water ice, and (3) sputtering of the icy regolith from Iogenic plasma torus ions, S^{n+} , O^{n+} (Cassidy et al. 2013), ejecting predominately molecular oxygen as predicted by Johnson et al. 1982, and potentially observed by HST (Saur et al. 2011).

La mission TARANIS

J-L. Pinçon, LPC2E

Depuis le début des années 90, on sait que l'atmosphère au-dessus des orages est le lieu de phénomènes lumineux regroupés sous le terme générique de Transient Luminous Events (TLE) et de bouffées de photons de haute énergie appelées Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF). Les nombreuses observations collectées ces dernières années montrent que, contrairement à ce que l'on supposait initialement, il s'agit de phénomènes fréquents dépendant principalement de la seule existence d'une activité orageuse significative. Afin de répondre aux nombreuses questions en suspens sur les mécanismes à l'origine de ces phénomènes et leurs impacts sur la physico-chimie de la haute atmosphère, le satellite TARANIS du CNES, dédié à l'étude des TLE et TGF, sera lancé sur une orbite basse en 2018.

Lors de cette présentation je commencerai par rappeler les principales caractéristiques des TLE et TGF et ferai un bref point sur l'état de nos connaissances concernant ces phénomènes. Je décrirai ensuite la mission spatiale TARANIS du CNES qui sera lancée en 2018 et qui sera entièrement dédiée à l'étude des TLE et TGF. Je conclurai par un point sur l'état d'avancement de la mission et sur l'organisation de la communauté en vue de l'exploitation des données TARANIS.

Mesure du diamètre solaire par photométrie des éclipses solaires totales

J-Y. Prado, exCNES

P. Lamy, S. Koutchmy, P. Rocher

En accompagnement de la mission PICARD dont l'objectif principal était la détermination du diamètre solaire, deux méthodes de détermination du diamètre solaire depuis le sol ont été soutenues par le CNES : PICARSOL et l'analyse des courbes de lumières enregistrées à l'occasion des éclipses solaires totales.

Cette dernière méthode a produit des résultats publiés dans Solar Physics en novembre 2015.

Le poster se propose de présenter une synthèse de ce papier et de faire un premier compte-rendu des observations effectuées à l'occasion de l'éclipse solaire totale du 9 mars 2016 depuis l'Indonésie.

A Novel Technique for Measuring the Solar Radius from Eclipse Light Curves - Results for 2010, 2012, 2013 and 2015-P.Lamy,J.Y.Prado,O.Floyd,P.Rocher,G.Faury,S.Koutchmy.

Abstract :

We report on a novel technique for measuring the solar radius during total solar eclipses that exploits light curves recorded just before and after second and third contacts.

The measurements are performed by pre-programmed photometers that are deployed over the eclipse paths and are operated without supervision. The recorded light curves are compared to synthetic light curves calculated from high-accuracy ephemerides and lunar-limb profiles constructed from the topographic model of the Moon provided by the Kaguya lunar space mission. A minimization process between the two sets of curves yields the solar radius. Altogether, seventeen determinations have been obtained during the past four total eclipses with the following averages (at a wavelength of 540 nm and scaled to 1 AU) : 959.94 ± 0.02 arcsec on 11 July 2010, 960.02 ± 0.04 arcsec on 13 November 2012, 959.99 ± 0.09 arcsec on 3 November 2013, and 960.01 ± 0.09 arcsec on 20 March 2015. Part of the differences between these four values may be attributed to weather conditions. Averaging the whole set of measurements yields a radius of 959.99 ± 0.06 arcsec ($696,246 \pm 45$ km), which agrees excellently well with the most recent data and supports an upward revision of the standard IAU value, as previously suggested.

La mission THOR

F. Sahraoui, LPP

Equipe THOR

La mission THOR dédiée à l'étude de la turbulence et de la dissipation d'énergie aux petites échelles (sub-ioniques et électroniques) dans le vent solaire et dans certaines régions clés de l'environnement terrestre (choc et magnétogaine). La mission a été soumise en janvier 2015 à l'ESA dans le cadre de l'AO M4, avant d'être sélectionnée en juin 2015 (avec ARIEL et XIPE) pour une étude de Phase A. Je présenterai les objectifs scientifiques de la mission, sa charge utile, la contribution française et le calendrier prévisionnel de la mission.

The TARANIS XGRE Instrument : Preliminary Modeling and TGF Detection Rate Estimation

D. Sarria, APC

F. Lebrun, P.-L. Blelly, R. Chipaux, F. Forme, D. Pailot, P. Laurent

The XGRE instrument on-board the TARANIS satellite is a key element of the payload with ambitious scientific objectives regarding Terrestrial Gamma Ray flashes (TGFs) and associated electron beams (TEBs). At the altitude of the satellite, the instruments will measure X and gamma rays produced from sources at lower altitude, and filtered by the atmosphere, together with secondary relativistic electrons. Such measurements give an indirect access to the characteristics of the source of the TGF. A model of the transport of these burst emissions through the atmosphere, of their interactions with the satellite, and of the response of the detectors is necessary.

A first step has been accomplished with the development of the MC-PEPTITA Monte Carlo model (see Sarria et al. 2015, JGRA) that simulates the transport of X/gamma-rays and relativistic electrons/positrons through the atmosphere, from the source region up to the altitude of the satellite. Using the GEANT4 toolkit, the next step needs to take into account the detection of the energetic particles by the three XGRE sensors. The model will be validated by comparison with laboratory experiments. We present some preliminary results of the XGRE detector model and an estimate of the expected XGRE TGF detection rate.

Thème 3 : Couplages entre enveloppes de plasma

Ionosphere-magnetosphere coupling studies with Juno and Cassini proximal orbits

M. Blanc, IRAP

N. André, P.-L. Blelly, V. Génot, P. Louarn, A. Marchaudon, C. Peymirat, C. Tao, B. Cecconi, L. Lamy, C. Louis, Ph. Zarka, S. Hess, A. Sicard, F. Mottez

The magnetodisk of Jupiter is dragged into partial corotation with the planet by an electric current loop that connects the disk to the jovian upper atmosphere via intense field-aligned currents driving the main auroral emissions. Thanks to its unique orbital geometry, Juno will allow for the first time a quantitative study of the characteristics of the three key segments of this circuit and of their connection : the magnetodisk/plasmasheet, where currents transverse to the magnetic field maintain the disk into partial corotation ; auroral field lines, which connect the magnetodisk to the auroral circuit proper and along which current is carried in part by accelerated particles ; and the ionospheric closure of the circuit, where Ohmic currents extract momentum from the upper atmosphere and produce Joule heating. To a large extent, the Cassini proximal orbits will provide a similar opportunity at Saturn.

We describe our detailed plans for a physical study of these three segments and their interconnections, and of the key processes that are at work in the enforcement of magnetospheric corotation and sub-corotation at Jupiter and Saturn, based on the outcome of a first workshop on “Magnetosphere-Ionosphere-Thermosphere coupling at Jupiter” organized in Toulouse by IRAP and LESIA on oct. 13 and 14, 2015. All contributions to this workshop can be found on line at :

http://cdpp.eu/workshops/Jupiter_MIT_coupling/

Extension of this work to a broader circle of the PNST community, in view of its consolidation and deepening in support to the on-going Juno and Cassini missions and in preparation for the upcoming missions to the Jupiter system, JUICE and Europa, is very welcome! Collaborative, multi-laboratory proposals in the ANR and ERC frameworks to develop this work line are anticipated.

Modélisation de la haute atmosphère de Mars et premières comparaisons avec les observations MAVEN

J-Y. Chaufray, LATMOS

F. Leblanc, R. Modolo

La sonde MAVEN mise en orbite autour de Mars en Septembre 2014 observe de façon systématique les différentes couches allant de la thermosphère de Mars jusqu'au vent solaire pour mieux comprendre les processus d'échappement atmosphérique et leur variations en fonction des différents forcages externes (vent solaire, rayonnement solaire). Le LATMOS en collaboration avec le LMD, l'Institut d'Astrophysique d'Andalousie et l'IRAP a développé une suite de modèles capables de décrire ces différentes régions. Dans cette présentation je présenterai les dernières améliorations apportées aux modèles thermosphérique/ionosphérique et exosphérique de Mars ainsi que les premières comparaisons entre les résultats de simulations de ces modèles et les observations effectuées par la sonde MAVEN, en particulier les observations effectuées par le spectromètre IUVS.

Plasma acceleration in the Martian magnetotail

R. Esteban Hernandez, LATMOS

R. Modolo, F. Leblanc, J-Y. Chaufray, S. Curry, M. Steckiewicz, G. DiBraccio,
N. Romanelli, J. Halekas, etc.

Since November 2014, the Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) spacecraft has been collecting data from Mars's upper atmosphere and induced magnetosphere (Jakosky et al., 2015). Evidences of escaping planetary ions have been reported from earlier missions as Mars-Express (Barabash et al., 2007) and more recently from MAVEN (e.g. Dong et al., 2015, Brain et al., 2015). Our goal is to determine the acceleration mechanism responsible for the energization of planetary ions in the Martian plasma sheet. MAVEN has a full plasma package with a magnetometer and plasma particles instruments, which allow to address the question of plasma particle acceleration.

According to Dubinin et al. (2011), the $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ force due to magnetic shear stresses of the draped field lines is expected to play a major role in such energization process. On MAVEN data, we have first identified and characterized current sheet crossings taking place in Mars' magnetotail and then tested the Walén relation to infer the significance of the $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ force in the particle's energization. To characterize the plasma sheet crossing we have worked with MAVEN magnetometer (MAG, Connerney et al., SSR, 2015) and mass spectrometer (STATIC, McFadden et al., SSR, 2015) data, focusing on a particular event. We have performed a minimum variance analysis, on the magnetic field observations which allows to characterize the current sheet. We present results of the Walén test and our conclusions on planetary plasma acceleration in the plasma sheet region.

The plasma environment of a comet with Rosetta

P. Henri, LPC2E

On behalf of the Rosetta Plasma Consortium

The ESA's Rosetta spacecraft reached its target comet, 67P/Churyumov-Gerasimenko, in summer 2014, while it was at more than 3 A.U. from the Sun. From then, Rosetta has continuously monitored the cometary surface and its close environment (gas, dust and plasma). In summer 2015, a year after the arrival of Rosetta, Churyumov-Gerasimenko reached its perihelion, at 1.2 AU, while the maximum of the cometary activity has been observed. Its distance to the Sun is now increasing, until the end of mission planned in September 2016.

Since the arrival of Rosetta, the different plasma sensors of the Rosetta Plasma Consortium has been continuously monitoring the plasma environment of comet Churyumov-Gerasimenko : its structure, evolution and dynamics, as well as its interaction with the solar wind.

After a summary of the key aspects of the Rosetta mission and an introduction on the cometary plasma and its interaction with the solar wind, I will review our current understanding of the plasma environment around comet Churyumov-Gerasimenko through the results obtained so far by the Rosetta Plasma Consortium (RPC), by combining observations obtained from the different RPC sensors.

Estimation of Physical Properties of Streamers in Transient Luminous Events from Non-Steady State Optical Emissions

K. Ihaddadene, LPC2E

S. Célestin

Sprites are transient luminous events (TLEs) that result from the electrostatic coupling between thunderstorm-induced charges following a positive cloud-to-ground lightning discharge (+CG) and the lower ionosphere. These fine-structured objects are composed of filamentary streamer discharges propagating in the D-region of the ionosphere and in the mesosphere.

Optical emissions from sprite streamers are used to estimate peak electric fields and electron energies [e.g., Kuo et al., GRL, 32, L19103, 2005 ; Adachi et al., GRL, 33, L17803, 2006]. It has been shown that significant correction factors need to be used to account for the spatial shift between distributions of optical emissions in streamers and peak electric fields in their heads [Celestin and Pasko, GRL, 37, L07804, 2010]. The latter study involved the excited species $N_2(C^3\Pi_u)$ and $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$, whose populations are considered to be in steady state. The species $N_2(C^3\Pi_u)$ and $N_2^+(B^2\Sigma_u^+)$ are responsible for the second positive ($2PN_2$) and first negative ($1NN_2^+$) band systems of N_2 and N_2^+ , respectively.

In this work, we show how this technique can be extended to non-steady state optical emissions, such as those produced by $N_2(a^1\Pi_g)$ and $N_2(B^3\Pi_g)$ in the form of Lyman-Birge-Hopfield (LBH) and first positive ($1PN_2$) band systems, respectively. Additionally, we simulate numerically downward propagating sprite streamers and their optical emissions for the following band systems : $1PN_2$, $2PN_2$, LBH, and $1NN_2^+$, and show how they relate to specific physical properties. This study particularly focuses on improving analysis of observational results from the future missions ASIM (ESA) and TARANIS (CNES) that will detect various optical emissions produced by transient luminous events in the nadir.

Que nous apprennent les simulations numériques sur le magnétisme de notre étoile ?

L. Jouve, IRAP

S. Brun, G. Aulanier, R. Pinto

Il est admis que le champ magnétique observé à la surface du Soleil est généré en profondeur via le mécanisme dynamo. Nous nous intéresserons à la manière dont le champ magnétique généré au sein du plasma solaire évolue pour créer une telle activité de surface, via la modélisation de différentes étapes de la dynamo.

Nous présenterons des simulations numériques 2D et 3D permettant d'une part de comprendre comment les écoulements à grande échelle influencent le cycle magnétique solaire dans sa globalité et d'autre part par quels mécanismes le champ magnétique créé dans l'intérieur solaire se structure pour émerger à la surface sous forme de régions actives. Nous nous intéresserons en particulier au rôle de la tachocline, à l'interface entre zone radiative et zone convective et au couplage de l'intérieur solaire avec l'atmosphère et le vent solaires.

Aurores et magnétosphère d'Uranus post-équinoxe

L. Lamy, LESIA

La redétection des aurores d'Uranus dans l'ultraviolet avec le télescope spatial Hubble en 2011, quatre ans après l'équinoxe, pendant des épisodes de vent solaire actif ont ouvert un nouveau chapitre d'étude de cette magnétosphère asymétrique, jusque là limitée aux seules observations Voyager 2 de 1986. Sa géométrie particulière (60° d'inclinaison entre les axes de spin et magnétique) la rendent en effet particulièrement sensible aux conditions dans le vent solaire, sur des échelles de temps allant d'une rotation planétaire (17.24h) à une variation saisonnière (une révolution uranienne dure 84 ans). Les signatures identifiées en 2011 prenaient la forme de points chaud à courte durée de vie, possible signature de reconnexion magnétique entre les champs planétaire et interplanétaire côté jour "au soleil". Cette étude présente les résultats de campagnes d'observation Hubble récentes, obtenues en 2012 et 2014 en période de vent solaire calme et très actif. Les observations révèlent de nouvelles détections, de caractéristiques similaires et différentes à celles de 2011, qui suggèrent un rôle moteur du vent solaire dans l'activation de précipitations aurorales dans ce qui pourrait être l'analogie des aurores terrestres du cornet polaire.

Simulations hybrides de la magnétosphère de Mercure

L. Leclercq, LATMOS

R. Modolo, F. Leblanc, G. Chanteur

Mercure possède un champ magnétique intrinsèque découvert en 1974 par Mariner 10. Ce champ interagit avec le vent solaire, formant ainsi une magnétosphère propre à Mercure. Malgré les observations récentes de MESSENGER, cette magnétosphère reste mal connue, en particulier dans l'hémisphère Sud. Afin d'améliorer notre compréhension de la magnétosphère herméenne et de préparer la mission européenne Bepi-Colombo, nous présentons des simulations numériques de l'environnement magnétisé de Mercure.

Au cours de ces dernières années, notre équipe a développé un modèle hybride parallèle tri-dimensionnel multi-espèces qui décrit les interactions plasma-objet planétaire. Ce modèle générique a été appliqué aux interactions entre le vent solaire et Mars (Modolo et al. 2005, 2006), entre le vent solaire et l'environnement herméen (Richer et al. 2012), et à l'interaction de l'environnement de Titan avec la magnétosphère de Saturne (Modolo et al. 2007, 2008). Récemment, nous avons enrichi le modèle en développant une méthode multi-grilles permettant d'affiner la résolution spatiale d'un facteur 2 dans la région proche de l'obstacle planétaire. Cette méthode a été appliquée à l'interaction de Ganymède avec le plasma magnétosphérique de Jupiter (Leclercq et al., 2016). Nous présentons ici les résultats de son adaptation à l'environnement magnétisé de Mercure, permettant d'atteindre une résolution spatiale d'environ 20 km dans les régions proches de la surface. Une telle résolution spatiale s'approche des échelles de hauteur de espèces neutres constituant l'exosphère de Mercure, ce qui nous permet d'envisager un couplage entre le modèle hybride magnétosphérique et un modèle tri-dimensionnel d'exosphère (Leblanc et al., 2011).

Références :

- Leblanc, F., Chaufray, J.-Y., Mercury and Moon He exospheres : Analysis and modeling, Icarus, 2011
- Leclercq, L., Modolo, R., Leblanc, F., Hess, S., Mancini, M., 3D Magnetospheric parallel hybrid multi-grid method applied to planet-plasma interactions, Journal of Computational Physics, 2016
- Modolo, R., Chanteur, G.M., Dubinin, E., Matthews, A.P., Influence of the solar EUV flux on the Martian plasma environment, Annales Geophysicae, 2005
- Modolo, R., Chanteur, G.M., Dubinin, E., Matthews, A.P., Simulated solar wind plasma interaction with the Martian exosphere : influence of the solar EUV flux on the bow shock and the magnetic pile-up boundary, Annales Geophysicae, 2006
- Modolo, R., Chanteur, G.M., Wahlund, J.-E., Canu, et al., Plasma environment in the wake of Titan from hybrid simulation : A case study, Geophysical Research Letters, 2007
- Modolo, R., Chanteur, G.M., A global hybrid model for Titan's interaction with the Kronian plasma : Application to the Cassini Ta flyby, Journal of Geophysical Research

Aurores bleues sur Mars

J. Lilensten, IPAG

D. Bernard, M. Barthelémy, G. Gronoff, C. Simon Wedlund, A. Opitz

The upper atmosphere of Mars is a laboratory for better understanding the planetary atmosphere evolution, and is an example of the interaction of the solar wind with an unmagnetized planet that has only patches of crustal magnetic field. In that context, several space missions were launched to study the Martian environment and its aurorae, notably ESA's Mars Express discovered the first aurora-like structures, and more recently NASA's MAVEN, which is dedicated to understand the atmospheric escape.

However, none of the existing missions have spectrometers in the visible spectral range for the observation of the upper atmosphere and the aurorae, but there are UV spectrometer which can be used to infer visible aurora emission. The UV aurorae on Mars have a counterpart in the visible spectral range which should be detectable under the right conditions. We discuss what are the most favorable conditions to observe these aurorae discernible with the naked eye. In this article, we simulate the Martian aurora in the visible spectral range both with an experimental setup (the Planeterra, which we use to measure intensity with respect to the naked eye) and with a numerical ionosphere simulation model (Trans*/Aeroplanets).

We show that the electron impact on CO₂ produces strong emissions at 412 nm and 434 nm, i.e., in the blue part of the visible spectrum which are due to the CO₂⁺(A) Fox-Duffendack-Barker bands. The modeling of the electron transport at Mars shows that these blue emissions as well as the emissions of the 630 nm (red) and 557.7 nm (green) lines of atomic oxygen may be observable several times during a solar cycle during strong solar events.

The absence of visible spectrometers dedicated to these observations onboard existing space missions and the location of the different Martian rovers, far from the vertically aligned crustal magnetic field lines of Mars, have prevented so far the observations of such an aurora. In the foreseeable future, two missions may help observing these aurorae : The exo-Mars/Trace Gas Orbiter mission will carry a visible spectrometer which could be used to detect these events in the visible spectral range. NOMAD (Nadir and Occultation for Mars Discovery) will carry a UV-visible spectrometer in the 200-650 nm range.

This work is dedicated to Kristian Birkeland (1867-1917).

Dependence of the location of the Martian magnetic lobes on the interplanetary magnetic field direction

C. Mazelle, IRAP

N. Romanelli, C. Bertucci

The magnetic field topology surrounding the Martian atmosphere is mainly the result of gradients in the velocity of the solar wind (SW). Such variations in the SW velocity are in turn the result of a massloading process and forces associated with electric currents flowing around the ionosphere of Mars [Nagy et al 2004, Mazelle et al 2004, Brain et al 2015]. In particular, in the regions where the collisionless regime holds, the interplanetary magnetic field (IMF) frozen into the SW piles up in front of the stagnation region of the flow. At the same time, the magnetic field lines are stretched in the direction of the unperturbed SW as this stream moves away from Mars, giving rise to a magnetotail [Alfvén, 1957]. As a result and in contrast with an obstacle with and intrinsic global magnetic field, the structure and organization of the magnetic field around Mars depends on the direction of the IMF and its variabilities [Yeroshenko et al., 1990; Crider et al., 2004; Bertucci et al., 2003; Romanelli et al 2015]. In this study we use magnetometer data from the Mars Global Surveyor (MGS) spacecraft during portions of the premapping orbits of the mission to study the variability of the Martian-induced magnetotail as a function of the orientation of the IMF. The time spent by MGS in the magnetotail lobes during periods with positive solar wind flow-aligned IMF component $B_{\text{IMF},\parallel}$ suggests that their location as well as the position of the central polarity reversal layer (PRL) are displaced in the direction antiparallel to the IMF cross-flow component $B_{\text{IMF},\perp}$. Analogously, in the cases where $B_{\text{IMF},\parallel}$ is negative, the lobes are displaced in the direction of $B_{\text{IMF},\perp}$. We find this behavior to be compatible with a previously published $B_{\text{IMF},\perp}$ analytical model of the IMF draping, where for the first time, the displacement of a complementary reversal layer (denoted as IPRL for inverse polarity reversal layer) is deduced from first principles [Romanelli et al 2014]. We also analyzed these results in the context of recent observations provided by the Mars Atmospheric and Volatile Evolution spacecraft [e.g. DiBraccio et al 2015].

Principaux résultats de la première année de mesures de Maven autour de Mars

C. Mazelle, IRAP

En orbite autour de Mars depuis le 22 septembre 2014, la sonde Maven effectue depuis des mesures de l'environnement martien à l'aide d'un ensemble expérimental dédié à l'étude de l'échappement atmosphérique liés aux effets du rayonnement solaire et de l'interaction avec le vent solaire beaucoup plus complet que les missions précédentes. Le 6 novembre dernier, les premiers résultats obtenus pendant la première année de la mission ont été publiés d'un bloc dans les revues *Science* et *GRL* (une cinquantaine d'articles en tout) montrant le rôle primordial de l'érosion atmosphérique par le vent solaire depuis l'arrêt de la dynamo planétaire. Parmi les principaux résultats, je passerai d'abord en revue ceux concernant la première exploration de l'ionosphère martienne à des altitudes aussi basses que 130 km (lors des campagnes de "deep dips"), la dynamique de l'échappement avec en particulier l'importance de l'influence des CMEs (augmentation des taux d'échappement entre un et deux ordres de grandeurs), la découverte d'un nouveau types d'aurores martiennes (baptisées "aurores diffuses") observées sur une grande partie du côté nuit. Je mentionnerai aussi brièvement l'influence des sources crustales sur la dynamique des particules dans la queue magnétique et la reconnexion, la pénétration de particules issues du vent solaire à très basse altitude, le vent polaire, les trous d'électrons suprathermiques, les ondes électromagnétiques basse fréquence liées au pickup et la caractérisation de l'évolution saisonnière de l'exosphère,...

La première année de mission étendue de Maven a débuté le 16 novembre 2015 et d'autres résultats sont à venir. Deux laboratoires de notre communauté sont impliqués dans Maven (l'IRAP qui a fourni le spectromètre d'électrons SWEA et le Latmos).

Couplage magnétosphère-ionosphère via le système de courants 3D avant et après le déclenchement d'un sous-orage magnétosphérique

L. Palin, IRFU

H. Opgenoorth

Les sous-orages magnétosphériques sont un phénomène de reconfiguration globale de la magnétosphère, impliquant l'accumulation d'énergie dans la queue magnétosphérique, et sa conversion brutale en énergie cinétique et thermique. Dans cette étude, nous montrons que les périodes de fort transport de plasma (phénomène transitoire et local) dans la couche de plasma centrale appelées BBFs (Bursty Bulk Flow), associées à de petits fronts de dipolarisation (DFs), peuvent créer un petit système de courants 3D (SCW : Substorm Current Wedge) lorsqu'ils pénètrent dans la queue proche même pendant des conditions de vent solaire calme. Les mécanismes en jeu sont les mêmes que pendant un sous-orage mais beaucoup plus localisés. Nous présentons la première observation de la réponse graduelle de l'ionosphère au fur et à mesure que la couche de plasma réchauffe. Nous discutons la relation entre les BBFs et le SCW avant et après un sous-orage.

Hélicitogramme 3D : représentation coronale du flux d'hélicité photosphérique

E. Pariat, LESIA

K. Dalmasse, P. Démoulin

L'hélicité magnétique est une quantité géométrique signée qui mesure le niveau d'entortillement global des lignes de champs magnétiques d'un plasma magnétisé. L'hélicité est un des rares invariants en magnétohydrodynamique idéale et elle est aussi quasi-conservée lors des événements éruptifs solaires. L'interaction de structures d'hélicité de signe opposé peut théoriquement permettre la libération d'une plus grande quantité d'énergie magnétique lors des éruptions solaires. L'étude de la distribution de l'hélicité apparaît donc pertinente pour mieux comprendre les événements actifs. Nous avons ainsi récemment mis au point une méthode permettant de calculer et représenter en 3D le flux d'hélicité magnétique photosphérique au niveau des structures magnétiques coronales. L'utilisation de ces hélicitogramme 3D lors d'un cas observé nous a ainsi permis de montrer que l'éruption observée était effectivement corrélée spatialement avec des structures magnétiques dont la chiralité est opposée. L'emploi de ces hélicitogrammes 3D s'ouvre donc à de plus vastes études statistiques des événements éruptifs solaires.

Solar wind speed and flux-tube geometry

R. Pinto, IRAP

S. Brun, A. Rouillard

The cyclic variations of the strength and geometry of the global background magnetic field strongly affect the solar wind flow and cause the segregation between the fast and slow wind flows. Fast wind flows develop exclusively within coronal holes, while the slow solar wind streams from the vicinities of the coronal hole boundaries (i.e, around streamers and pseudo-streamers) and/or active regions.

It is well known that the terminal (asymptotic) wind speed in a given magnetic flux-tube is generally anti-correlated with its total superradial expansion ratio, which motivated the definition of widely-used semi-empirical predictive laws (such as WSA). In practice, such scaling laws require ad-hoc corrections and empirical fits to *in-situ* spacecraft data ; a predictive law based solely on physical principles is still missing. We investigate this problem by performing combined numerical simulations of the solar dynamo, corona and solar wind covering an 11 yr activity cycle. We analysed a large sample of open flux-tubes in order to investigate the dependence of the wind speed on geometrical parameters of the flux-tubes. We found that the total flux-tube expansion effectively control the locations of the slow and fast wind flows, but the actual asymptotic wind speeds attained - specially those of the slow wind - are also dependent on field-line inclination.

This work is supported by the FP7 project #606692 (HELICATS).

3D simulations of solar like stars winds constrained by spectropolarimetric maps

V. Réville, CEA AIM Paris-Saclay

C.P. Folsom, A. Strugarek, A.S. Brun

Created at the base of the convective envelope by a nonlinear dynamo process, the large scale magnetic field of a star evolves with its rotational history. Beyond the photosphere, magnetic processes heat the corona above one million Kelvin hence driving a magnetized wind responsible for the braking of main sequence stars. With the development of Zeeman-Doppler imaging through spectropolarimetry, we are now able to precisely describe the surface magnetic field of a large sample of stars. Thus the study of the coronal structure and magnetic field with age, magnetochronology, has developed to extend and complete gyrochronology. We propose a study of the corona and the wind of a sample of solar like stars of different age to follow the evolution of its properties from 20 Myr to 4.5 Gyr. We use 3D MHD simulations constrained by spectropolarimetric maps of the surface magnetic field obtained by the BCoolest consortium and observations of the Sun. To perform those simulations we develop a coherent framework to assess various stellar parameters such as the equilibrium coronal temperature driving the wind. Those assumptions have consequences on UV emission, wind terminal speed and mass loss during the history of the solar system.

2D full-particle simulations of the terrestrial ion foreshock : self consistent individual ion trajectories analysis

P. Savoini, LPP

B. Lembège

Collisionless shocks are well-known structures in astrophysical environments which dissipate bulk flow kinetic energy and accelerate large fraction of particle. Spacecrafts have firmly established the existence of the so-called terrestrial foreshock region magnetically connected to the shock and filled by two distinct populations in the quasi-perpendicular shock region (i.e. for $45^\circ \leq \theta_{Bn} \leq 90^\circ$, where θ_{Bn} is the angle between the shock normal and the upstream magnetic field) : (i) the field-aligned ion beams or « FAB » characterized by a gyrotropic distribution, and (ii) the gyro-phase bunched ions or « GPB » characterized by a NON gyrotropic distribution. The present work is based on the use of two dimensional PIC simulation of a curved shock and associated foreshock region where full curvature effects, time of flight effects and both electrons and ions dynamics are fully described by a self consistent approach.

Our previous analysis (Savoini et Lembège, 2015) has evidenced that these two types of backstreaming populations can originate from the shock front itself without invoking any local diffusion by ion beam instabilities. Present results are focussed on individual ion trajectories and evidence that "FAB" population is injected into the foreshock mainly along the shock front whereas the "GPB" population penetrates more deeply the shock front. Such differences explain why the "FAB" population loses their gyro-phase coherency and become gyrotropic which is not the case for the "GPB". The impact of these different injection features on the energy gain for each ion population will be presented in détails.

Savoini, P. and B. Lembège (2015), « Production of nongyrotropic and gyrotropic backstreaming ion distributions in the quasi-perpendicular ion foreshock région », *J. Geophys. Res.*, 120, pp 7154-7171, doi = 10.1002/2015JA021018.

Magnetic support and dynamics of a prominence observed by THEMIS and IRIS

B. Schmieder, LESIA

H. Tian, A. Lopez-Ariste, T. Kucera, K. Dalmasse, P. Mein, L. Golub

In September 2013 several prominences were observed with the IRIS spectrograph during a 60 day-long international program. We will present one set of observations obtained using multiple instruments on September 24. SDO/AIA and IRIS slit-jaws provided images of the prominence corresponding to different physical conditions of the transition region between the cool plasma and the corona.

The vector magnetic field was derived from THEMIS (Tenerife) observations using the He D3 depolarisation due to the magnetic field. The inversion code (PCA) takes into account the Hanle and the Zeeman effects. Movies from SDO/AIA in 304 Å and Hinode/SOT in Ca II show the dynamics of the fine structures in the plane of the sky. From Mg II and Si IV lines observed by IRIS and H-alpha observed by the Multi-channel subtractive spectrograph (MSDP) in the Meudon solar tower we derived the Dopplershifts of the fine structures. The profiles of the Mg II lines are narrow (FWHM=0.15 Å) and not reversed, contrary to the predictions of the theoretical models (Paletou et al 1993). We could resolve the velocity of several structures along the LOS with Dopplershifts as high as 60 km/s.

Coupling between convection and magnetic field in filament channel

B. Schmieder, LESIA

T. Roudier, N. Mein, P. Mein , R. Chandra

The analysis of the proper motions using SDO/HMI continuum images with the new version of the coherent structure tracking (CST) algorithm developed to track the granules as well as the large scale photospheric flows, was performed during three hours in a region containing a large filament channel on September 17, 2010.

Supergranules were identified in the filament channel. Diverging flows inside the supergranules are similar in and out the filament channel. Using corks, we derived the passive scalar points and produced maps of cork distribution. The anchorage structures with the photosphere (feet) of the filament are located in the areas of converging flows with accumulations of corks. Averaging the velocity vectors for each latitude we defined a profile of the differential rotation.

We conclude that the coupling between the convection and magnetic field in the photosphere is relatively strong. The filament experienced the convection motions through its feet. On a large scale point-of-view the differential rotation induced a shear of 0.1 km/s in the filament. On a small scale point-of-view convection motions favored the interaction/cancellation of the parasitic polarities at the base of the feet with the surrounding network explaining the brightenings, jets and the eruption that were observed in the EUV filament.

Altitude dependence of nightside Martian suprathermal electron depletions as revealed by MAVEN observations

M. Steckiewicz, IRAP

C. Mazelle, P. Garnier, N. Andre, E. Penou, A. Beth, J.-A. Sauvaud, D. Mitchell,
J. McFadden, J. Luhmann, J. Connerney, L. Andersson, B. Jakosky

The MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile evolution) spacecraft is providing new detailed observations of the Martian ionosphere thanks to its unique orbital coverage and instrument suite. During most periapsis passages on the nightside ionosphere suprathermal electron depletions were detected. A simple criterion was implemented to identify the 3707 depletions observed from November 2014 to February 2015 above the Northern hemisphere and from June to September 2015 above the Southern hemisphere. A statistical analysis reveals that the main ion and electron populations within the depletions are surprisingly constant in time and altitude. Absorption by CO₂ is the main loss process for suprathermal electrons, and electrons that strongly peaked around 6 eV are resulting from this interaction. The observation of depletions appears however highly dependent on altitude. Depletions are mainly located above strong crustal magnetic sources above 170 km, whereas the depletions observed for the first time below 170 km are globally scattered onto the Martian surface with no particular dependence on crustal fields.

Interactions magnétiques étoiles-planètes en 3D

A. Strugarek, Université de Montréal - CEA/SAP

V. Réville, A. S. Brun, S.P. Matt

Les planètes en orbite proche de leur étoile sont en général dans la région sub-alfvénique du vent de leur hôte. Elles y excitent des perturbations alfvéniques qui sont alors capables de remonter le long des lignes de champ magnétique et impacter la basse couronne de l'étoile. De cette interaction peut naître des émissions induites (typiquement en rayon X ou UV) potentiellement observables à distance. L'interaction magnétique qui s'établit prend la forme de deux d'ailes d'Alfvén. Selon la topologie des champs magnétiques stellaire et planétaire, il est possible que l'une, les deux, ou aucune des ailes d'Alfvén relie la planète à son étoile hôte.

A l'aide de simulations numériques tri-dimensionnelles globales, nous explorons la formation et le maintien des ailes d'Alfvén dans le vent de l'étoile en utilisant le formalisme magnétohydrodynamique. La planète et l'étoile sont traitées comme conditions aux limites dans la simulation. En changeant la topologie des champs magnétiques nous explorons la variété d'ailes d'Alfvén pouvant se développer et quantifions les flux de Poynting les traversant. Ceci nous permet d'estimer la quantité d'énergie magnétique pouvant frapper la basse couronne de l'étoile et ultimement induire d'éventuelles émissions anormales. Nous montrons que la topologie magnétique peut faire varier de plus d'un ordre de grandeur le flux d'énergie associé à l'interaction étoile-planète, et ainsi faire varier significativement les émissions induites par une planète le long de son orbite si la magnétosphère stellaire est hétérogène.

Enfin, nous étendons notre modèle tri-dimensionnel afin de prendre en compte des topologies magnétiques non-axisymétriques tirées d'observations d'étoiles par spectropolarimétrie. Nous discutons en particulier le cas d'HD189733, qui possède une planète en orbite proche ($R_{\text{orb}} = 8.8 R_{\star}$) et montrons que celle-ci se situe à l'intérieur de la surface Alfvénique du vent pour une partie significative de son orbite.

Thème 4 : Transport d'énergie multi-échelles et turbulence

Caractérisation de la turbulence whistler observée à la magnétopause par MMS

M. Berthomier, LPP

O. Le Contel, H. Breuillard, A. Retino, A. Chasapis, L. Mirioni et MMS Team

Les passages de MMS du côté jour à petites distances de séparation (de 10 à 40 km) offrent l'opportunité de caractériser pour la première fois de manière complète la turbulence d'ondes whistler aux échelles électroniques dans la gamme de fréquence allant de 1 Hz à 4 kHz. L'étude détaillée de ces fluctuations électromagnétiques observées au voisinage immédiat de la magnétopause utilise les techniques d'analyse multi-points développées pour la mission Cluster qui permettent de prendre en compte de manière non-ambigüe l'effet Doppler dû à la vitesse du plasma mesurée à haute résolution temporelle par MMS. Nous présentons les premiers résultats de ces analyses expérimentales.

The Effects of Kinetic Instabilities on Ion and Electron-Scale Turbulence in Earth's Magnetosheath

H. Breuillard, LPP

O. Alexandrova, E. Yordanova, A. Vaivads

The Earth's magnetosheath is the region of solar wind which has been decelerated and thermalized at the terrestrial bow shock. The magnetosheath is characterized by high level of turbulent fluctuations covering all the scales from the largest down to the kinetic scales. The turbulent fluctuations are thought to play a fundamental role into key processes such as energy transport and dissipation in plasma. In addition to turbulence, different kind of plasma instabilities are generated in the magnetosheath due to the large temperature anisotropies in the plasma, introduced by its boundaries (bow shock and magnetopause). In this study we use high-quality magnetic field measurements from Cluster spacecraft to investigate the effects of such instabilities on the small-scale turbulence. We show that the steepening of the power spectrum of magnetic field fluctuations in the magnetosheath occurs at the largest characteristic ion scale. However, the spectrum can be modified by the presence of waves/structures at ion scales, shifting the onset of the small-scale (from ion down to electron scales) turbulent cascade towards the smallest ion scale. The small-scale cascade is therefore highly dependent on the presence of kinetic instabilities, waves and local plasma parameters. Here we show that in the absence of strong waves the small-scale turbulence is quasi-isotropic and has a spectral index $\alpha \approx -2.8$. When transverse or compressive waves are present, we observe an anisotropy in the magnetic field components and a decrease in the absolute value of α . Slab/2D turbulence also develops in the presence of transverse/compressive waves, resulting in gyrotyrpy/non-gyrotyrpy of small-scale fluctuations. The presence of both waves reduces the anisotropy in the amplitude of fluctuations in the small-scale range. In addition, we make use of MMS (Magnetospheric MultiScale) mission data in burst-mode (8192 samples/s) to investigate the nature of electron-scale magnetic turbulence in Earth's magnetosheath and the effects of electron instabilities on its properties.

Evolution of internal magnetic fields in solar like-stars from the PMS to the ZAMS

C. Emeriau-Viard, CEA/DSM/AIM/SAP/LDEE

A.S. Brun

We present our latest effort to study the generation and evolution of magnetic fields in solar-like stars during their pre-main-sequence (PMS) phase. At the beginning of this phase, stars are fully convective and fast rotators and as a consequence generate intense magnetic field through dynamo action.

The question is to know how this inner magnetic field evolves as the stellar radiative core grows and the convective envelope becomes shallower, e.g Is there a primordial magnetic field buried deep inside today's Sun? if so, what is its origin?

To answer these questions, we have developed numerical simulations with ASH that represent a solar-like star at different stages of its evolution from its birth until it reaches the zero-age main sequence (ZAMS) and then evolves on the main sequence to reach the solar age. In this poster we focus on the PMS.

We have performed several simulations that have different radiative core size coupled to an outer turbulent convective envelope and different rotation rate as they contract toward the ZAMS. We have then computed how dynamo action is being modified by the different global stellar parameters and used as seed magnetic field the dynamo-generated magnetic field from the younger less evolved model. We report on how the magnetic field evolve and how the transition between radiative interior and convective envelope impact the field topology.

Etude spectrale de la distribution spatiale de l'énergie magnétique dans le Soleil calme

M. Faurobert, Laboratoire Lagrange

G. Ricort

Nous utilisons des observations spectro-polarimétriques obtenues à bord du satellite Hinode dans la raie du FeI à 630.25 nm pour déterminer le spectre de Fourier de la distribution spatiale du flux magnétique entre 0.3'' et 5'' dans les régions calmes intra-réseau. L'inversion des paramètres de Stokes est effectuée en régime de champ magnétique faible. Les cartes de polarisation et les images de la granulation sont corrigées des défocalisations éventuelles et de la convolution par la réponse impulsionnelle de l'instrument.

Le spectre présente un double pic pour des tailles caractéristiques de l'ordre de 2'' et 0.8'' respectivement, et une décroissance à petite échelle en $k^{-2.0}$. Ces valeurs semblent invariantes entre le minimum du cycle en 2007 et le maximum en 2013.

Transport d'énergie multi-échelle dans le vent solaire

S. Galtier, LPP

Comment les fluctuations turbulentes d'énergie du vent solaire sont-elles transportées des plus grandes échelles magnétohydrodynamiques aux échelles sub-ioniques, pour enfin être dissipées aux échelles électroniques? La réponse précise à cette question - si tant est qu'il y en ait qu'une seule - n'est pas encore connue, mais des progrès récents aux niveaux observationnel et théorique ont été réalisés. Dans cette présentation orale, j'exposerai brièvement certains résultats et je discuterai de l'importance des nouvelles missions spatiales pour progresser sur cette difficile question.

Equilibre dynamo-Alfvén dans la zone inertielle du vent solaire

R. Grappin, LPP

A. Verdini, W.-C. Müller

La dynamo solaire, liée à une cascade turbulente dite “inverse”, génère un champ magnétique à très grande échelle à partir de l'énergie turbulence du champ de vitesse. La cascade directe génère également un excès magnétique, observé depuis longtemps dans le vent solaire, et dont on a mesuré seulement récemment le spectre (Chen et al, 2013). Un mécanisme de génération de l'excès magnétique dans la cascade directe a été proposé en 1983 (Grappin Pouquet Léorat) ; il est dit “dynamo-Alfvén” parce qu'il résulte de la compétition entre un effet dynamo local et la relaxation de cet excès dû à la propagation des ondes d'Alfvén. Il prédit à l'équilibre une relation précise, à la fois quantitative et qualitative (pentes spectrales) entre les deux spectres d'énergie dite résiduelle $E_k^M - E_k^V$ et énergie totale $E_k^M + E_k^V$ (E_k^M = énergie magnétique, E_k^V = énergie cinétique). Ce modèle théorique décrivait bien à l'époque les équations du modèle de fermeture turbulente edqnm. Il s'est trouvé décrire également les simulations directes de turbulence MHD 3D incompressible (Müller Grappin 2005). Par contre, les mesures faites dans le vent solaire récemment par Chen et al. (2013) diffèrent clairement des prédictions du modèle. Nous proposons ici une théorie modifiée qui décrit tous les régimes de vent, aussi bien la turbulence en $k^{-5/3}$ des vents lents que le régime des vents rapides à forte hélicité croisée dont le spectre est proche de $k^{-3/2}$. Les simulations compressibles à faible Mach, MHD 3D standard ou bien incluant l'expansion du vent solaire (EBM), sont en accord avec ce nouveau modèle. Parmi les points restant à élucider : (i) le temps caractéristique du terme source de l'excès magnétique et de l'énergie (cascade directe) sont très différents ; (ii) les simulations incompressibles et compressibles obéissent à des modèles différents.

Current and plasma structures associated with FTEs observed in the magnetosheath by MMS

I. Kacem, IRAP

MMS team

Flux Transfer Events (FTE) are commonly observed at the magnetopause and are generally interpreted as the product of magnetic reconnection occurring there. In this study, we analyze observations of several FTEs, such as the event of August 15, 2015, 13 :25 UT. This case consists of an isolated FTE detected during quiet conditions and the burst data are available for the 4 spacecraft, which were in good tetrahedron configuration. We report detailed analysis of the fine current and plasma structure of the FTE and of the complex set of secondary current structures surrounding it. The organization of the current distribution and of the plasma features will be discussed considering the magnetic reconnection paradigm. We then compare this reference event with other FTEs analyzed with the help of burst data.

A non-Gaussian Universal Description of Solar Wind Magnetic Field Fluctuations

S. Lion, LESIA

The analysis of Probability Distribution Functions (PDF) for velocity and magnetic field fluctuations in solar wind reveals that fluctuations around the mean field occur in clusters and are stronger than expected from Gaussian statistics. This phenomenon is called intermittency and is related to the presence of coherent structures in the solar wind. Here we proposed a universal description of PDF in solar wind using a four-parameter function. We describe the evolution of this parameters with increasing frequencies as well as some implications of this empirical model. Finally we establish the connection with the power spectrum and we discuss possible links between the intermittency, coherent structures and the evolution of the turbulent spectrum at ion scales.

ULF waves in the Martian foreshock : MAVEN observations

C. Mazelle, IRAP

L. Shan, K. Meziane, C. Bertucci, J. Halekas, J. Connerney, J. McFadden, D. Mitchell, D. Larson, D. Brain, B. Jakosky

Foreshock ULF waves constitute a significant physical phenomenon of the plasma environment for terrestrial planets. The occurrence of these ULF waves, associated with backstreaming ions reflected and accelerated at the bow shock, implies specific conditions and properties of the shock and its foreshock. Using measurements from MAVEN, we report clear observations of this type of ULF waves in the Martian foreshock. We show from different case studies that the peak frequency of the wave case in spacecraft frame is too far from the local ion cyclotron frequency to be associated with local pickup ions taking into account the Doppler shifted frequency from a cyclotron resonance, the obliquity of the mode, resonance broadening and experimental uncertainties. On the opposite their properties fit very well with foreshock waves driven unstable by backstreaming field-aligned ion beams. The propagation angle is usually less than 30 degrees from ambient magnetic field. The waves also display elliptical and left-hand polarizations with respect to interplanetary magnetic field in the spacecraft frame. It is clear for these cases that foreshock ions are simultaneous present for the ULF wave interval. Such observation is important in order to discriminate with the already well-reported pickup ion (protons) waves associated with exospheric hydrogen in order to quantitatively use the later to study seasonal variations of the hydrogen corona.

Le chauffage turbulent dans le vent solaire : comment le modéliser ?

V. Montagud, LPP

R. Grappin, A. Verdini

Les missions Helios et Ulysses ont montré que la température des protons décroissait dans l'héliosphère avec la distance au soleil plus lentement que sous le simple effet de l'expansion adiabatique.

Nous adoptons ici le scénario de la dissipation turbulente au cours du transport des fluctuations injectées depuis la surface solaire, en nous concentrant sur la partie super-alfvénique du vent, $R > 0.1$ AU.

Le point de départ est l'expression bien connue de la dissipation turbulente en hydrodynamique pour des tourbillons d'amplitude u et de dimension L , qui est

$$du^2/dt \simeq -u^3/L \quad (1)$$

L'expression (1) décrit correctement la dissipation des chocs plans (1D) dans le vent solaire (et du chauffage associé), une fois inclus l'amortissement linéaire dû à l'expansion du vent. L'expression (1) s'inclut facilement dans un modèle de vent solaire. Plus généralement, elle résume l'effet d'une cascade turbulente qui transporte l'énergie des gros tourbillons de taille L vers les échelles où la dissipation (quelle que soit sa forme détaillée) transforme l'énergie cohérente en énergie thermique.

Par ailleurs, la généralisation de l'expression (1) à la MHD, faite depuis longtemps, oblige à considérer deux cascades d'énergie séparées (composantes d'Elsasser mêlant amplitude du champ magnétique et du champ de vitesse). Bien entendu, dans la cascade turbulence 3D, la dimension des tourbillons L varie au cours du temps, et il faut donc une équation supplémentaire pour L .

Enfin, et c'est le sujet de ce travail, une difficulté importante, dans le cas du vent solaire, est celle liée à la déformation des tourbillons qui nourrissent la cascade. Dans les modèles, l'évolution du paramètre L avec la distance est liée dans les modèles à celle de la cassure entre les zones spectrales en k^{-1} et $k^{-5/3}$. Mais pour rendre le modèle auto-cohérent, il faut prendre en compte la structure 3D des tourbillons générée par l'expansion transverse des structures (Verdini Grappin 2015) : un seul paramètre L ne suffit pas.

On explore ici pour commencer la dynamique 2D dans le plan transverse à la radiale : c'est cette dynamique 2D qui est le plus ralentie par l'expansion. Nous utilisons le modèle numérique dit "expanding box model" qui permet d'étudier séparément l'évolution des fluctuations sous l'effet du vent moyen radial donné.

Compressible coherent structures in slow solar wind turbulence at ion scales

D. Perrone, European Space Agency / ESAC

O. Alexandrova, A. Mangeney, M. Maksimovic, C. Lacombe, V. Rocoto, J.C. Kasper, D. Jovanovic

Understanding the physical mechanisms of dissipation, and the related heating, in turbulent collisionless plasmas (such as the solar wind) represents nowadays one of the key issues of plasma physics. Although the complex behavior of the solar wind has been matter of investigation of many years, some of the primary problems still remain a puzzle for the scientific community.

Here, we investigate the nature of the turbulent fluctuations close to the ion scales in a slow solar wind stream, using high-time resolution magnetic field data of multi-point measurements of Cluster spacecraft. We found that about 40% of the analyzed time interval is characterized by the presence of coherent structures, that have a strong wave-vector anisotropy in the perpendicular direction with respect to the local magnetic field and typical scales of few ion characteristic scales. Moreover, although most of the structures are merely convected by the wind, the 25% propagate in plasma frame.

Furthermore, we show for the first time that different families of coherent structures participate to the intermittency at ion scales in solar wind, such as compressible structures, i.e. magnetic holes, solitons and shock; and alfvénic structures in form of current sheets and vortices. These last ones can have an important compressible part and they are the most frequently observed during the present interval of slow solar wind.

Solar wind turbulence anisotropy, from large to small scales

A. Verdini, Royal Observatory of Belgium

R. Grappin, O. Alexandrova

Properties of solar wind fluctuations are often interpreted as those of a homogenous turbulent plasma, at MHD or ion scales. However solar-wind turbulence is not homogenous, being embedded in a spherically expanding flow of approximately constant speed.

We simulate turbulence in the solar wind by numerically integrating the Expanding Box Model (EBM) equations for MHD that retain the effect of spherical expansion and compute second order structure functions with respect to the local mean field.

We find that EBM simulations are able to reproduce the observed 3D anisotropy that differs from that one of homogenous turbulence. We explain the large-scale properties thanks to the component anisotropy (i.e. $B_T, B_N \gg B_R$) that is driven by expansion and highlight that expansion effects persist all the way down to small scales (above the proton scale).

However we also show that expansion effects are maximal when increments are computed along the radial axis, which is the axis of symmetry introduced by expansion and the only direction accessible to observations. Thus the observed properties can be only partially representative of solar wind turbulence.

We conclude by describing a project that uses both observations and simulations to uncover turbulence anisotropy in solar wind intervals in which expansion effects are expected to be minimal and so to understand whether small-scale anisotropy is controlled only by the magnetic field axis as in homogenous turbulence or by the radial axis as well.

Turbulence in the solar wind : what controls the slope of the energy spectrum ?

A. Verdini, Royal Observatory of Belgium

R. Grappin

The spectrum of solar wind fluctuations is well described by a power law with an average spectral index $-5/3$ for periods between a few hours and a few minutes. However, the spectral index varies with stream speed and with the correlation of velocity and magnetic field fluctuations (Alfvénicity) : the spectrum is softer in fast and Alfvénic streams.

Roughly, this variation can be understood in term of the turbulent age of fluctuations at a given scale : the faster is the wind or the stronger is the correlation than the younger is the turbulence. Since the coronal spectrum is supposed to be rather flat (at least in the fast solar wind), smaller spectral indices correspond to less evolved spectra. According to this interpretation, one would expect spectral slope to change with distance as the turbulence ages, while observations report fairly stable spectral slopes.

In order to quantify the effect of wind speed and Alfvénicity on the spectral slope, we ran a series of numerical simulations of MHD turbulence in the framework of the Expanding Box Model (EBM). In EBM we can vary the expansion rate and the initial correlation of fluctuations so as to investigate the existence of a threshold value for each parameter or for a combination of the two that could explain the observed variation and stability of the spectral index. We present preliminary results that indicate that the expansion rate does control the spectral index of energy when the Alfvénicity is high.

Thème 5 : Mécanismes d'accélération des particules et chauffage du plasma

Periodic Pulses or Random Amplitudes in Coronal Loops as Signatures of Thermal Non-Equilibrium

F. Auchère, IAS

C. Froment, K. Bocchialini, J. Solomon, E. Buchlin

We present a detailed analysis of the properties of the Fourier and wavelet power spectra of slow periodic pulsations observed in solar coronal loops and described by Froment et al. Our primary aim was to re-assess critically the significance of the detections. This requires proper estimation of the frequency dependence and statistical properties of the several components constituting the power spectra. This includes recognition of the possible modification of the spectral shape by pre-processing of the data. We demonstrate that de-trending tends to produce false detections around the frequency cut-off of the applied filter. In addition, we show that the models of white and red noise built in the widely used wavelet code of Torrence & Compo in most cases cannot adequately represent the power spectrum of coronal time series, thus also possibly leading to false positives. Both effects suggest that several reports of periodic phenomena in the corona should be re-examined.

However, the Torrence & Compo code effectively computes rigorous confidence levels if it is fed with pertinent models of mean power spectra, and we give practical information on the corresponding manner to call the core routines. We remind the meaning of the default confidence levels output by the code and we propose new Monte Carlo-derived confidence levels that take into account the total number of degrees of freedom in the wavelet spectra. In this way, we confirm that the peaks of power detected by Froment et al. in extreme-ultraviolet light curves from the Solar Dynamics Observatory (SDO) Atmospheric Imaging Assembly (AIA) telescope have less than 0.1% chance of being caused by stochastic processes. We further show that, in addition to the power law expected from a background stochastic process, the power spectra exhibit the discrete harmonics and continuous component characteristic of signals formed by periodic pulses of random amplitudes.

Multi-Spacecraft Analysis of Plasma Jet Events and Associated Whistler-Wave Emissions using MMS Data

H. Breuillard, LPP

O. Le Contel, A. Retino, A. Chasapis, T. Chust and the MMS Team

Plasma jets aka bursty bulk flows play a crucial role in Earth's plasmasheet dynamics, in particular during substorms where they can sometimes even penetrate down to the geosynchronous orbit. The energy input from the solar wind is partly dissipated in jet fronts (also called dipolarization fronts) in the form of strong whistler waves that can heat and accelerate energetic electrons. The ratio of the energy transported during jets to the substorm energy consumption is still under debate due to instrumental limitations. In May 2015 the Magnetospheric Multiscale (MMS) mission evolves in a string-of-pearls configuration with an average inter-satellite distance of 300 km which allows us to study in detail the microphysics of these phenomena. Thus in this study we employ MMS data to investigate the properties of jet fronts propagating earthward and their associated whistler-mode wave emissions. We show that the spatial dynamics of jet fronts are of the order of the ion gyroradius and whistler-wave dynamics have a temporal scale of a few seconds. We also investigate the energy dissipation associated with such waves and their interaction with energetic electrons in the vicinity of the flow/jet braking region. In addition, we make use of ray tracing simulations to evaluate their propagation properties, as well as their impact on particles in the off-equatorial magnetosphere.

The ELEVATE Catalogue : Understanding the coronal origins of solar energetic particles

E. Carley, LESIA

N. Vilmer, P-T. Gallagher

Flare and CME activity in the solar corona is often associated with the in-situ detection of solar energetic particles (SEPs). However, the exact mechanism by which flares and/or CMEs produce SEPs is still subject to much debate. In this study, we analyse the coronal activity associated with multiple SEP events from the SEPserver catalogue. This involves observations of EUV waves using the Atmospheric Imaging Assembly (AIA), giving estimates of wave/shock kinematics. We combine this with a detailed investigation of the particle acceleration and shock activity using existing and new spectrographs (e.g., Orféus, Nançay) and the Nançay Radioheliograph. Added to this will be a detailed analysis of CME kinematics and energetics using both the SOHO and STEREO coronagraphs. We have so far compiled a list of ~ 50 events from the AIA era and created an online catalogue known as ELEVATE. This catalogue will aid the understanding of the coronal conditions that lead to the acceleration of energetic particles.

Recent Advances in Terrestrial Gamma ray Flashes and Their Effects in the Near-Earth Environment

S. Célestin, LPC2E

Terrestrial gamma-ray flashes (TGFs) are bursts ($\sim 100 \mu\text{s}$) of high-energy photons originating from the Earth's atmosphere in association with thunderstorm activity [e.g., Briggs et al., JGR, 118, 3805, 2013]. The TGF photon spectrum (typically extending from $\sim 10 \text{ keV}$ to $> 40 \text{ MeV}$) is characteristic of bremsstrahlung from high-energy electrons propagating in the atmosphere as they collide with atomic nuclei of air molecules. Although TGFs are believed to be produced inside thunderclouds (below 15 km altitude), the underlying physical mechanisms are still debated. Large-scale relativistic runaway electron avalanches (RREAs) along with relativistic feedback caused by positrons and photons have been proposed to occur in thunderclouds and to produce TGFs [e.g., Dwyer et al., Space Sci. Rev., 173, 133, 2012]. It has also been found that the production of thermal runaway electrons by stepping lightning leaders and their further acceleration could explain the TGF spectra and fluences for intracloud (IC) lightning electric potentials above $\sim 100 \text{ MV}$ [Xu et al., GRL, 39, L08801, 2012; Celestin et al., JGR, 120, 2015]. In both scenarios, runaway electron avalanches take place and the related bremsstrahlung produces the TGF.

In addition, secondary processes accompanying the transport of TGF gamma rays through the atmosphere lead to the production of high-energy electrons and positrons capable of escaping into space [Dwyer et al., GRL, 35, L02815, 2008]. These events are often referred to as Terrestrial Electron Beams (TEBs) and represent an unforeseen and not yet quantified source of high-energy electrons and positrons ($> 1 \text{ MeV}$) in the Earth's radiation belts [Dwyer et al., 2008; Briggs et al., GRL, 38, L02808, 2011]. In this work, we will review the most recent advances in the field of TGFs and TEBs.

Observations par Cluster sur les sources des ions magnétosphériques

I. Dandouras, IRAP

Depuis 2001 l'expérience CIS (Cluster Ion Spectrometry) à bord des satellites Cluster permet une étude systématique des populations ioniques dans la magnétosphère terrestre : sources, circulation, dynamique des principaux réservoirs, et pertes. La contribution des principales sources sera présentée, et en particulier le rôle des ions d'origine ionosphérique et plasmasphérique dans le peuplement et la dynamique de la magnétosphère.

Evidence for highly-stratified and quasi-steady heating of solar coronal loops

C. Froment, IAS

F. Auchère, G. Aulanier, Z. Mikić , K. Bocchialini, E. Buchlin, J. Solomon

In solar coronal loops, thermal non-equilibrium (TNE) is a phenomenon that could occur when the heating is both highly-stratified (i.e. mainly concentrated near solar coronal loops footpoints) and quasi-constant. It is resulting in a particular response of the plasma : evaporation and condensation cycles with periodic evolution of the temperature and the density.

Unambiguous observational identification of TNE would thus permit to strongly constrain heating scenarios. Up to now, while TNE is the standard interpretation of coronal rain, it was not believed to happen commonly in warm coronal loops.

Auchère et al 2014 report the detection of long-period intensity pulsations (periods of several hours) with SoHO/EIT. This phenomenon appears to be very common in coronal loops. Three intensity pulsation events that have been studied in detail with data from SDO/AIA, show strong evidence for TNE in warm loops (Froment et al 2015). For each active region studied, only one loop bundle undergoes this kind of pulsation. These loops appear to have the same cooling/heating behavior as the rest of the active region but show a different response of the plasma.

To understand why these particular loops are showing pulsations, we investigate a particular magnetic topology that could favor this particular plasma response. The loops geometry from the magnetic field extrapolations is also used as input for 1D hydrodynamic simulations. We conduct a parameter space study and conclude on the high sensitivity of TNE to both loops geometry and heating intensity/geometry. We finally compare the properties of simulated loops with the properties of the ones studied with SDO/AIA.

These new simulations further strenghten the interpretation of the observed pulsations as signatures of TNE. This implies that the heating in active regions must be highly stratified and that the frequency of the heating events must be shorter than the typical cooling time. We can not discriminate the heating mechanism(s) involved but conclude on their main spatial localization in loop bundles and on the timescale of the heating.

Empirical relations between the Lyman line intensities of H I and He II

M. Gordino, IAS

F. Auchère, J.-C. Vial, D. M. Hassler, K. Bocchialini

In the modeling of the resonantly scattered coronal emission of neutral hydrogen and singly ionized helium, we need to know the intensity of the source, ie the chromospheric intensities. For the moment, due to a lack of full disk observations in Lyman alpha 121.6 nm and Lyman beta 102.5 nm, it is commonly assumed that the chromospheric emission is uniform. In a previous study Auchère (2005) derived an empirical relation between the H I 121.6 nm and He II 30.4 nm chromospheric intensities. The aim of the current work is to complete this previous study using spatially resolved observations in H I Lyman alpha (MXUVI and CLASP) and He II 30.4 nm (EIT/SOHO and AIA/SDO). We also derive a relationship between H I Lyman beta (SUMER/SOHO) and He II 30.4 nm (EIT/SOHO). These resulting relationships will be used to use commonly available He II 30.4 nm images as proxies for H I Lyman alpha or Lyman beta images for resonant scattering models. These result will be useful in order to prepare the future observations of the METIS and FSI instruments on Solar Orbiter.

Lifecycle of a large-scale polar pseudostreamer

C. Guennou, Observatoire de Meudon

L.A. Rachmeler, D.A. Seaton, F. Auchère

We report on an exceptional large-scale coronal pseudostreamer/cavity system in the southern polar region of the solar corona, which was visible for approximately a year starting in February 2014. It is unusual to see such a large closed-field structure embedded within the open polar coronal hole. We investigate this structure to document its formation, evolution and eventually its shrinking process, using data from both the PROBA2/SWAP and SDO/AIA UV imagers. In particular, we used EUV tomography to find the overall shape and internal structure of the pseudostreamer, and to determine its 3D temperature and density structure using then DEM analysis. We found that the cavity temperature is extremely stable with time and is essentially at similar or slightly hotter temperature than the surrounding pseudostreamer. Two regimes in cavity thermal properties was observed : the first 5 months corresponds to the lower density depletion associated with the highly multi-thermal plasma, while the shrinking period exhibits the exact opposite behavior. As the thermodynamic properties are strongly correlated with the magnetic structure, these results provide constraints on both the trigger of CMEs and the processes that maintain cavities stability for such a long lifetime.

The fine structure of the magnetosheath boundary layer during magnetic reconnection at the Earth's magnetopause

B. Lavraud, IRAP

MMS team

Magnetic reconnection at the Earth's magnetopause creates highly structured boundary layers both inside and outside the main current sheet of the magnetopause. Thanks to unprecedented high-resolution measurements by the Magnetospheric Multiscale mission, we report several new features pertaining to the fine structure of the magnetopause boundary layer during magnetic reconnection. We show in particular that the outer edge of the magnetosheath electron boundary layers displays a fine-scale velocity dispersion spatial structure, consistent with magnetic reconnection and the existence of a X-line geometry. The high-resolution ion and electron observations further demonstrate the details of specular particle reflection at the main magnetopause current sheet and suggest significant variability in the actual location of particle heating upon transport through the magnetopause.

Etude de l'activité électromagnétique détectée par MMS au voisinage de la magnétopause et de son rôle possible dans le chauffage et l'accélération des électrons

O. Le Contel, LPP

A. Retinò, H. Breuillard, M. Berthomier, L. Mirioni, F. Sahraoui, T. Chust,
A. Chasapis, N. Aunai, B. Lavraud, C. Jacquy et l'équipe MMS

Depuis le 1er septembre 2015, la mission MMS (NASA) de quatre satellites identiques, évoluant en formation tétraédrique le long d'une orbite équatoriale, est rentrée dans la phase d'analyse scientifique (Phase E). Dans cette étude, nous analysons différentes traversées de la magnétopause lorsque la séparation des satellites est de l'ordre de 10km, c'est-à-dire à l'échelle du rayon de giration des électrons. En particulier, nous étudions les émissions électromagnétiques détectées par MMS dans deux bandes de fréquence : (1) 1-10 Hz qui correspond au domaine des ondes d'Alfvén cinétiques et des ondes hybride basse, (2) 10 Hz - 1k Hz qui comprend principalement les émissions dites de sifflement (« whistler » modes). Après avoir caractérisé la polarisation des différents types d'onde et leur propagation, nous estimons leur importance d'un point de vue énergétique et discutons leur rôle possible dans le chauffage et l'accélération des électrons.

Premiers résultats de la mission MMS

O. Le Contel, LPP

A. Retinò, H. Breuillard, M. Berthomier, L. Mirioni, F. Sahraoui, T. Chust,
A. Chasapis, N. Aunai, B. Lavraud, C. Jacquy et l'équipe MMS

La mission MMS de la NASA a été lancée avec succès le 12 mars 2015 par une fusée Atlas V depuis la base de Cap Canaveral. Elle est constituée de quatre satellites identiques qui ont été placés en orbite équatoriale; dans un premier temps selon une configuration en « collier de perles » puis depuis juillet 2015, en configuration tétraédrique. La phase de mise en route et de vérification des instruments a duré jusqu'au 1er septembre 2015, date à laquelle la mission est entrée officiellement dans la phase d'analyse scientifique. Ses objectifs principaux sont l'étude de la reconnexion magnétique, de l'accélération des particules et du rôle de la turbulence plasma dans le processus de reconnexion. Par ordre chronologique, nous présenterons quelques événements détectés dans la queue magnétosphérique (oscillations de la couche de courant, fronts de dipolarisation, ..) lors du début de la phase de mise en route et donc essentiellement à partir des données électromagnétiques. Puis, nous mettrons l'accent sur les données récoltées avec l'ensemble de l'instrumentation (champs électromagnétiques et plasma) lors des nombreuses traversées de la magnétopause effectuées avec des distances inter-satellites allant de 160 km, l'échelle ionique, à 10 km l'échelle électronique. Nous discuterons le rôle possible de l'activité électromagnétique sur le chauffage et l'accélération du plasma.

Particle Acceleration and Shock Structures in Shock-Shock Interaction

C. Mazelle, IRAP

Masaru Nakanotani, Shuichi Matsukiyo, Tohru Hada

Shock-shock interactions occur on various places in space and the interaction can produce high energy particles. For example, two or multiple coronal mass ejections (CME) are released from the Sun sometimes [Li et al., 2011]. In this situation, the preceding shock produces seed particles and the following shocks re-accelerate the seed particles. A CME driven shock can also collide with the Earth's bow shock [Hietala et al., 2011]. This study reported that ions are accelerated by the first Fermi acceleration between the two shocks before the collision. An electron acceleration through an interplanetary-Earth's bow shock interaction was also reported [Terasawa et al., 1997]. The detailed comprehension, however, is still missing due to only few studies. We have performed one-dimensional full PIC simulations to investigate a shock-shock interaction in which two shocks collide head-on. In a case of quasi-perpendicular shocks, electrons are accelerated by the mirror reflection between the two shocks before the collision. In a case of quasi-parallel shocks, ions can go back upstream and have great effect on the shock structure. Moreover, we discuss also observational results by mainly using Cluster data. Cluster can observe an interplanetary-Earth's bow shock interaction [e.g. Goncharov et al., 2011]. This can provide us the information of detailed shock structures and the particle acceleration mechanism in such type of shock-shock interaction.

Diffusive transport of energetic electrons in the 2004, May 21 solar flare

S. Musset, LESIA

E.P. Kontar, N. Vilmer

Energetic electrons are accelerated during solar flares, and produce bremsstrahlung emission in the X-ray domain as they propagate in the low corona towards denser regions and interact with the ambient medium. One challenge of high energy solar physics is to determine the link between X-ray observations (with RHESSI) and the physical processes of particle acceleration and propagation in the corona.

For the 2004, May 21 solar flare, we show that the number of energetic electrons in the coronal part of the flaring loop exceeds the number of electrons needed to explain the hard X-ray emission from the footpoints of the same loop. Such observation cannot be explained by the standard collisional transport model : an additional physical process is needed to explain how energetic electrons can be trapped in the corona.

In the hypothesis of turbulent pitch-angle scattering of energetic electrons (Kontar et al, 2014), diffusive transport can lead to a confinement of energetic electrons in the coronal source. We estimated the mean-free path of energetic electrons in this particular event to $10^8 - 10^9$ meters, which is smaller than the size of the flaring loop itself, and thus implies an efficient turbulent trapping. These observations are in agreement with a previous study of the gyrosynchrotron emission of this event (Kuznetsov & Kontar, 2015).

References :

- Kontar, E.P. et al. (2014 ; ApJ, 780, 176)
- Kuznetsov, A.A. & Kontar, E.P. (2015 ; SoPh, 290, 79)

X-ray emission in simulations of flaring coronal loops

R. Pinto, IRAP

N. Vilmer, M. Gordovskyy, P. Browning

Solar flares are associated with intense X-ray emission generated by hot flaring plasma and by energetic particles in coronal magnetic loops. We investigate the temporal, spatial and spectral evolution of the properties of the X-ray emission produced in simulated kink-unstable magnetic flux-ropes (using MHD and test-particle methods). The numerical setup used consists of highly twisted coronal loops embedded in regions of untwisted background coronal magnetic field. The magnetic flux-rope reconnects with the background flux after the triggering of the kink instability and is then allowed to relax to a lower energy state. Strong ohmic heating leads to strong and quick heating (up to more than 15 MK), to a strong peak of soft X-ray (thermal) emission and to the hardening of the X-ray spectrum. Particles are accelerated in all the flaring loop volume, but the associated synthetic hard X-ray emission is nevertheless concentrated near the footpoints. The amount of twist deduced from the thermal X-ray emission alone is considerably lower than the maximum twist in the simulated flux-ropes. The flux-rope plasma becomes strongly multi-thermal during the flaring episode, and the emission measure evolves into a bi-modal distribution as a function of temperature during the saturation phase, and later converges to the power-law distribution during the relaxation/cooling phase.

The physics of magnetic reconnection onset at the subsolar magnetopause : MMS observations

A. Retino, LPP

O. Le Contel, A. Chasapis, G. Cozzani, A. Alexandrova, H. Breuillard, T. Chust, L. Mirioni, B. Lavraud et l'équipe MMS

Magnetic reconnection is a fundamental process occurring in thin current sheets where a change in the magnetic field topology leads to fast magnetic energy conversion into charged particles energy. A key yet poorly understood aspect is how reconnection is initiated in the diffusion region by microphysical processes occurring at electron scales, the so-called onset problem. Reconnection onset leads to the energization of particles around reconnection sites, yet the exact energization mechanisms are also not yet fully understood. Simulations have provided some suggestions on the mechanisms responsible for onset and particle energization, however direct observations have been scarce so far. The four-spacecraft Magnetospheric Multiscale Mission (NASA/MMS) has been launched in March 2015 and allows, for the first time, in-situ observations of reconnection diffusion regions with adequate resolution to study electron scales. Here we present MMS observations in diffusion regions at the subsolar magnetopause and we investigate the conditions for reconnection onset. We select a few events with multiple crossings of the magnetopause current sheet for which signatures of absence of reconnection are rapidly followed by signatures of reconnection, and compare the measured electric field with the electric field due to both kinetic effects (electron pressure tensor, electron inertia terms) and to anomalous resistivity associated to different wave modes (e.g. lower hybrid waves, whistler waves, etc.). We also analyze electron distribution functions to study the mechanisms of electron energization in the diffusion region.

Chauffage impulsif des boucles coronales et pulsations en intensité de longues périodes : approximation analytique

J. Solomon, IAS

C. Froment, F. Auchère, K. Bocchialini, E. Buchlin

De nombreuses observations (SoHO /EIT, SDO/AIA) montrent la présence de pulsations en intensité de longues périodes (quelques heures) dans des boucles coronales chaudes (température $T \sim 1-5$ MK). Ces pulsations semblent liées à un effet de déséquilibre thermique (TNE : Thermal Non-Equilibrium) dû à un chauffage localisé aux pieds des boucles. L'étude du comportement des boucles sous l'effet d'un chauffage localisé continu et/ou impulsif est effectuée via de nombreuses simulations numériques (Cf. l'abstract conjoint de C. Froment et al). On obtient effectivement dans un certain nombre de cas des pulsations longues périodes. Cependant on peine quelque peu à cerner les valeurs pertinentes des différents paramètres induisant ces oscillations.

Afin d'apporter un éclairage complémentaire à ce problème, on effectue une étude analytique approchée. Pour cela, on considère un équilibre statique préalable et on linéarise l'équation de conservation de l'énergie. Par une méthode perturbative et en imposant des sources de chauffage variées dépendant du temps t , on obtient des solutions $T(t)$ que l'on peut comparer aux résultats des simulations numériques. On essaie ainsi de mieux cerner le rôle des différents paramètres du problème.

Small-scale topological changes associated with magnetic reconnection during Kelvin-Helmholtz instability at the Earth's Magnetopause

Y. Vernisse, IRAP

MMS team

The Kelvin-Helmholtz instability generates vortices and mixing of magnetosheath and magnetosphere plasma populations at the magnetopause during northward interplanetary magnetic field configurations. A Kelvin-Helmholtz event has been recorded by the four spacecraft of the Magnetospheric Multiscale (MMS) mission during a magnetopause crossing on the dusk side flank on 8 September 2015. MMS high resolution measurements permit unprecedented detailed analysis of small-scale structures within the vortices. Magnetic reconnection events were identified and analyzed to understand the associated small- and large-scale topological changes, in particular using the fine structure of the electron boundary layers. Owing to the existence of a previously formed boundary layer, the plasma density ratio across the reconnecting current sheets is typically 2. This makes such KH-related reconnection events interesting for studying quasi-symmetric reconnection (with bifurcated current sheets).

Particules énergétiques dans les éruptions solaires : mesures RHESSI

N. Vilmer, LESIA

S. Musset, V. Bommier, R. Pinto, H.A.S. Reid

Le satellite RHESSI (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) fournit depuis Février 2002 des données de spectro-imagerie X-gamma dans la bande 3-10000 keV qui fournissent des informations sur les particules énergétiques (électrons et ions) accélérés lors des éruptions solaires ainsi que sur le chauffage des arches coronales lors des éruptions.

La première partie de l'exposé présentera quelques uns des résultats marquants obtenus par la mission RHESSI depuis son lancement : mise en évidence des sites d'accélération des électrons dans les éruptions solaires, sites d'interaction des ions, bilan énergétique des éruptions, relations entre accélération de particules dans l'atmosphère solaire et phases d'accélération des éjections coronales de masse.

La seconde partie de l'exposé présentera quelques travaux récents réalisés au sein du PNST :

- relations entre signatures X des électrons accélérés dans les éruptions et courants électriques photosphériques (et leur variations au cours de l'éruption)
- simulations des émissions X thermiques et non-thermiques produites dans des arches coronales torsadées
- études statistiques entre les émissions X de la basse atmosphère solaire et les émissions radio produites par des faisceaux d'électrons se propageant de la couronne vers le milieu interplanétaire (types III).

La magnétosphère de Jupiter avant JUNO

P. Zarka, LESIA & USN

Juno sera la première sonde en orbite polaire autour de Jupiter à partir de Juillet 2016. A chacune de ses ~ 30 orbites, Juno survolera de très près les deux pôles de Jupiter et plongera sous ses ceintures de radiations. Cette orbite particulière permettra une exploration entièrement nouvelle de la magnétosphère de Jupiter, archétype de magnétosphère d'une planète géante en rotation rapide. L'établissement d'un modèle très précis du champ magnétique interne donnera un cadre solide pour l'études des régions polaires, régions-clé pour la compréhension des aurores (propriétés macroscopiques et microphysique), des interactions magnétosphère-satellites et magnétosphère-ionosphère, et des propriétés de la magnétosphère externe en interaction avec le vent solaire. Je rappellerai les principales questions ouvertes. Le profil orbital de la mission permettra aussi l'étude des ceintures de radiations (au periJove) et du magnétosdisque équatorial (à l'apoJove). Juno emporte une suite d'instruments "champs et particules" ainsi que des détecteurs UV, Visible, IR, micro-ondes et Radio basse fréquence. Ses mesures seront complétées par des observations au sol à toutes les longueurs d'onde qui s'organisent en une vaste coordination internationale.

Thème 6 : Activité éruptive ou impulsive dans les plasmas

Phénomènes lumineux transitoires : observations et mécanismes physiques

T. Farges, CEA, DAM, DIF

Découverts il y a 25 ans, et étudiés depuis, les événements lumineux transitoires se produisent dans la haute atmosphère, entre le sommet des nuages à 15-20 km jusqu'à la base de l'ionosphère (100 km), lors des nuits orageuses. Sprites, elves, jets bleus ou géants sont les noms exotiques qui leur ont été attribués. Même s'ils ont été regroupés sous la même terminologie, ils sont très différents tant pour leur durée (de moins d'une à plusieurs dizaines de millisecondes) et que pour leur dimension (filament de 40 km de haut sur quelques centaines de mètres de diamètre ou bien tore de 10 km d'épaisseur sur quelques centaines de kilomètres de diamètre). Chacun d'entre eux s'explique par un mécanisme physique différent mais, pour tous, l'activité électrique présente dans les nuages d'orage en est le moteur. Ces phénomènes seront observés par l'instrument MicroCaméras et Photomètres à bord du satellite TARANIS qui devrait être lancé en 2018. Nous présenterons ici quelques observations typiques de ces phénomènes lumineux transitoires dont nous déduirons les principales caractéristiques. Dans une seconde partie, nous présenterons brièvement les mécanismes physiques qui expliquent la formation des sprites, des elves et des jets géants.

Instabilité électrostatique dans une couche de courant - Interaction avec les électrons piégés

G. Fruit, IRAP

P. Louarn, A. Tur

Afin de comprendre comment l'équilibre d'une couche de courant peut être rompu de manière explosive, par exemple lors d'éruptions solaires ou de sous-orages magnétosphériques, un modèle cinétique complet a été développé dans une couche de courant bidimensionnelle (Fruit et al. 2013, Tur et al. 2014). L'ingrédient essentiel dans cette structure est le mouvement de rebond des électrons piégés dans la couche. Ce mouvement constitue un oscillateur naturel qui peut être excité par des perturbations électrostatiques ou plus généralement électromagnétiques. Dans cette présentation, seule la version électrostatique sera présentée.

L'état d'équilibre initial est celui d'une couche de Harris modifiée par l'existence d'une composante normale B_z du champ magnétique. Après linéarisation, l'équation de Vlasov est résolue pour des fluctuations électrostatiques de période proche de la période de rebond des électrons (quelques secondes). Le mouvement des électrons est restreint à ses premières composantes de Fourier, ce qui permet un calcul analytique complet des fonctions de distribution perturbées. La relation de dispersion des modes électrostatiques est obtenue par la condition de quasi-neutralité.

Si on ne considère que la couche de Harris, les seuls modes solutions de l'équation de dispersion sont fortement amortis, impliquant que la couche est stable. Si on inclut un gradient de densité perpendiculaire au champ magnétique (comme dans la queue magnétosphérique), des modes de dérive apparaissent (electrostatic drift waves) qui peuvent devenir fortement instables si les paramètres de la couche sont adéquats : β faible, gradient important de densité, longueur d'onde \sim rayon de Larmor ionique. Ce modèle peut être vu comme une extension de la théorie classique des ondes de dérive électrostatiques en incluant le mouvement de rebond des électrons.

Les flares confinés et éruptifs sont-ils si différents ?

S. Masson, LESIA

E. Pariat, G. Valori, N. Deng, H. Wang, C. Liu

Comprendre la dynamique des éruptions solaires permet d'apporter des contraintes sur les mécanismes physiques impliqués lors du déclenchement et l'évolution des flares. Cela permet notamment de définir les positions des sites de reconnexion ainsi que les flux magnétiques associés. Contrairement aux flares éruptifs - accompagnés par une éjection de masse coronale (CME) observée en lumière blanche - qui ont été largement étudiés, la dynamique des flares non-éruptifs est peu comprise.

L'exploitation des observations mutli-longueurs d'onde d'un flare compact combinée à une analyse topologique poussée de la région active nous a permis d'interpréter en détail l'évolution d'un flare non-éruptif. Tout d'abord, notre analyse montre qu'en plus d'une configuration magnétique en point nul, un tube de flux torsadé et son tube de flux hyperbolique sont présents sous ce point nul. Ce résultat suggère que les tubes de flux torsadés sont présents à toutes les échelles et pas seulement dans les grosses régions actives où les flares éruptifs sont observés.

De plus, l'analyse détaillée de l'émission UV dans les boucles post-éruptives et les rubans d'éruptions nous a permis de montrer que ce tube de flux torsadé, via la reconnexion magnétique au tube de flux hyperbolique, est responsable du déclenchement du flare et détermine la dynamique du flare par la suite - comme pour les flare éruptifs. Enfin, nous avons pu mettre en évidence que les phases tardives d'émissions UV observées plusieurs dizaines de minutes après la phase impulsive du flare sont causées par le refroidissement du plasma contenu dans les tubes de flux magnétiques ayant reconnectés lors de la phase impulsive.

Structures 3D et CMEs : observations STEREO

A. Rouillard, IRAP

I. Plotnikov, R. Pinto, B. Lavraud

Three-dimensional information on Coronal Mass Ejections (CMEs) and coronal shocks can be obtained from a wide range of in-situ measurements and remote-sensing techniques. Extreme ultraviolet (EUV) and white-light imaging sensed from several vantage points can be used to infer the 3-D geometry of the different parts that constitute a CME. High-resolution and high-cadence coronal imaging provides detailed information on the formation and release phase of a magnetic flux rope, the lateral expansion of the CME and the reconfiguration of the corona associated with the effects of pressure variations and reconnection. The evolution of the CME in the interplanetary medium and the connection of its various substructures with in-situ measurements can be obtained from multi-point heliospheric imaging. The derivation of the 3-D structure of CMEs and their shocks provides constraints for the theories developed to interpret the origin of the kinetic energy of CMEs and the associated energetic particles (SEPs).

CME-related particle acceleration regions during a simple eruptive event near solar minimum

C. Salas Matamoros, LESIA

L. Klein, A. Rouillard

An intriguing feature of many solar energetic particle (SEP) events is the detection of particles over a very extended range of longitudes in the Heliosphere. This may be due to peculiarities of the magnetic field in the corona, to a broad accelerator, to cross-field transport of the particles, or to a combination of these processes. The eruptive flare of the 26th of April 2008 offered an opportunity to study relevant processes under particularly favorable conditions, since it occurred in a very quiet solar and interplanetary environment.

This allowed us to investigate the physical link between a single well-identified Coronal Mass Ejection (CME), electron acceleration as traced by radio emission, and the production of SEPs. We conduct a detailed analysis combining radio observations (Nançay Radioheliograph and Decameter Array, Wind/WAVES spectrograph) with remote-sensing observations of the corona in extreme ultraviolet (EUV) and white light as well as in-situ measurements of energetic particles near 1AU (SoHO and STEREO spacecraft).

By combining images taken from multiple vantage points we were able to derive the time-dependent evolution of the 3-D pressure front developing around the erupting CME. Magnetic reconnection in the post-CME current sheet accelerated electrons that remained confined in closed magnetic fields in the corona, while the acceleration of escaping particles can be attributed to the pressure front generated ahead of the expanding CME. The CME accelerated electrons remotely from the parent active region, due to the interaction of its laterally expanding flank, traced by an EUV wave, with the ambient corona. SEPs detected at one STEREO spacecraft and SoHO were accelerated later, when the frontal shock of the CME intercepted the spacecraft-connected interplanetary magnetic field line. The injection regions into the Heliosphere inferred from the radio and SEP observations are separated in longitude by about 140° .

The observations for this event show that it is misleading to interpret multi-spacecraft SEP measurements in terms of one acceleration region in the corona. The different acceleration regions are linked to different vantage points in the interplanetary space.

Prominence plasma and magnetic field structure - A coordinated observation with IRIS, Hinode and THEMIS

B. Schmieder, LESIA

P. Levens, N. Labrosse, A. López Ariste

During an international campaign in 2014, utilising both space-based (IRIS and Hinode) and ground-based (THEMIS) instruments, we focused on observing prominences. We compare IRIS observations with those of Hinode (EIS and SOT) in order to build a more complete picture of the prominence structure for a quiescent prominence observed on 15 July 2014, identified to have tornado-like structure. THEMIS provides valuable information on the orientation and strength of the internal magnetic field. Here we find there is almost ubiquitously horizontal field with respect to the local limb, with possibly a turbulent component. The Mg II lines form the majority of our IRIS analysis, with a mixture of reversed and non-reversed profiles present in the prominence spectra. Comparing the differences between the Mg II data from IRIS and the Ca II images from Hinode/SOT provides an intriguing insight into the prominence legs in these channels. We present plasma diagnostics from IRIS, with line of sight velocities of around 10 km/s in either direction along the magnetic loops of material in the front of the prominence, and line widths comparable to those found for prominences by previous authors (e.g. Schmieder et al. 2014). We also take a look into the lines formed at higher, coronal plasma temperatures, as seen by Hinode/EIS, to compare plasma structures at a full range of temperatures.

Thème 7 : Relations Soleil-Terre et météorologie de l'espace

BASS 2000

J. Abouardham, LESIA

BASS2000 est un service labellisé par l'INSU qui fournit un accès centralisé à des données solaires de contexte. On y trouve les spectrohéliogrammes de Meudon et de Coimbra (Portugal), des observations obtenues par les lunettes CLIMSO, au Pic du Midi, et USET, en Belgique, et les observations radio-solaires de Nançay.

Des plus-values sont fournies, avec les données, concernant les éphémérides solaires, un spectre solaire haute résolution entre 67 et 5 400 nm, ainsi qu'un accès au Heliophysics Feature Catalogue (HFC) de HELIO.

Le HFC, en cours de déploiements sur divers sites contient des descriptions de structures solaires obtenues à partir de programmes de détection automatique. Les structures concernées sont les filaments, régions actives, trous coronaux, protubérances, taches, radio types III, et émissions radio coronales. Suivant les structures solaires, les données peuvent s'étendre entre 1996 et 2014.

Les cartes synoptiques de l'activité solaires sont en cours d'insertion dans BASS2000, et les données correspondantes seront bientôt accessibles en ligne, offrant des informations sur les filaments de 1919 à nos jours.

D'autre part, une collaboration étroite de BASS2000 avec le CDPD et MEDOC à amené à déposer une demande ANR fin 2015. Le projet s'appelle ECHO (End-user Centre for Heliospheric Observations), dans le cadre des projets de recherche collaborative. L'objectif de ce projet est double : d'une part rendre complètement interopérables les trois centres de données en tirant bénéfice du travail déjà effectué dans le cadre de HELIO et d'autres projets internationaux (modèle de données SPASE, par exemple); et d'autre part, développer des outils élémentaires, basés sur la sur-couche interopérable des trois centres de données permettant de traiter de façon transparente des données provenant de n'importe quelle région de l'héliosphère, soleil compris, en vue de fournir à la communauté française les moyens d'être à la pointe de la science dans l'utilisation des observations de Solar Orbiter.

Planetary SpaceWeather Services for the Europlanet 2020 Research Infrastructure

N. Andre, IRAP

V. Génot, A. Rouillard, B. Cecconi, P.-L. Blelly, F. Pitout, J. Lilensten, M. Barthélémy,
et l'équipe PSWS

Under Horizon 2020, the Europlanet 2020 Research Infrastructure (EPN2020-RI) will include an entirely new Virtual Access Service, WP5 VA1 “Planetary SpaceWeather Services” (PSWS) that will extend the concepts of space weather and space situational awareness to other planets in our Solar System and in particular to spacecraft that voyage through it. VA1 will make five entirely new ‘toolkit’ accessible to the research community and to industrial partners planning for space missions : a general planetary space weather toolkit, as well as three toolkits dedicated to the following key planetary environments : Mars (in support ExoMars), comets (building on the expected success of the ESA Rosetta mission), and outer planets (in preparation for the ESA JUICE mission to be launched in 2022). This will give the European planetary science community new methods, interfaces, functionalities and/or plugins dedicated to planetary space weather in the tools and models available within the partner institutes. It will also create a novel event-diary toolkit aiming at predicting and detecting planetary events like meteor showers and impacts. A variety of tools (in the form of web applications, standalone software, or numerical models in various degrees of implementation) are available for tracing propagation of planetary and/or solar events through the Solar System and modelling the response of the planetary environment (surfaces, atmospheres, ionospheres, and magnetospheres) to those events. But these tools were not originally designed for planetary event prediction and space weather applications. So WP10 JRA4 “Planetary Space Weather Services” (PSWS) will provide the additional research and tailoring required to apply them for these purposes. The overall objectives of this Joint Research Activities will be to review, test, improve and adapt methods and tools available within the partner institutes in order to make prototype planetary event and space weather services operational in Europe at the end of the programme.

Données champ magnétique et plasma de la mission SWARM

E. Astafyeva, IPGP

F. Pitout, I. Zakharenkova, A. Marchaudon, P. Coisson, G. Hulot

La mission Swarm de l'Agence spatiale européenne (ESA) est une constellation de trois satellites identiques. L'objectif principal de la mission Swarm est l'étude des variations spatiales et temporelles du champ magnétique terrestre ainsi que de l'environnement ionosphérique de la Terre. Les trois satellites ont été lancés le 22 novembre 2013, et ont été placés en orbite polaire (~ 87 deg d'inclinaison). Deux des satellites naviguent côte-à-côte sur des orbites parallèles séparées de 160 km et à une altitude de ~ 460 km, le troisième est à une altitude de ~ 520 km.

Chaque satellite embarque cinq instruments principaux : un magnétomètre à saturation de flux VFL (Vector Field Magnetometer), un magnétomètre scalaire absolu ASM (Absolute Scalar Magnetometer), des caméras stellaires (STR), un instrument de mesure de la densité ionique, de la vitesse de la dérive et du champ électrique EFI (Electric Field Instrument), un accéléromètre ACC. La position de chaque satellite est déterminée avec l'aide d'un réflecteur laser, ainsi que d'un récepteur GPS bi-fréquence. Ce dernier permet en même temps d'estimer le contenu électronique total (TEC) entre l'altitude du satellite Swarm et l'altitude orbitale des satellites GPS (~ 20200 km). Les données de la mission Swarm sont disponibles sur le site de l'ESA Earth Online (<http://earth.esa.int>).

En dehors de l'information sur l'avancement / le déroulement de la mission, nous présentons quelques premiers résultats obtenus avec des données magnétiques et ionosphériques de la mission.

Recent advances in the study of the global ionosphere dynamics : A multi-instrumental approach

E. Astafyeva, IPGP

I. Zakharenkova

Ionospheric and thermospheric storms are strong perturbations in the ionosphere and thermosphere caused by the significant variations in the magnetic activity. The storms are quite complex phenomena and are not well understood yet. Simultaneous use of multiple instruments, both space-borne and ground-based, has already shown its great advantage in finding new aspects of the global distribution of the upper atmosphere plasma with unprecedented detail. One of the most interesting recent findings is the demonstration of an altitudinal difference of the ionospheric behavior during geomagnetic storms, and occurrence of intensive ionospheric irregularities in the topside ionosphere (above the ionization maximum). Here, we show several examples of the multi-instrumental analysis of the ionospheric and thermospheric effects during geomagnetic storms occurred within the last solar cycle.

SoHO : 20 ans de succès

F. Baudin, IAS

Personne n'imaginait en 1995, lors du lancement de SoHO, le succès incroyable de cette mission, ni bien sûr sa longévité.

Lancée pour s'attaquer à 3 grandes questions sur la physique solaire (structure et dynamique interne du Soleil, structure et dynamique de la couronne, origine et accélération du vent solaire), SoHO a été bien au delà en moissonnant des résultats sur ces 3 grandes questions mais aussi des résultats parfaitement inattendus, comme c'est toujours le cas pour une mission destinée à révolutionner un domaine de recherche.

Quelques uns de ces résultats seront passés en revue, ainsi que d'autres aspects, comme le sauvetage de la mission après sa perte de contact ou les excursions inattendues de SoHO dans le domaine culturel.

Étude statistique de la geoefficacité des ICMEs en tenant compte de leur structure

R. Benacquista, ONERA

Dans cette étude, nous étudions les caractéristiques des événements liés aux ICMEs et leur efficacité à perturber la magnétosphère Terrestre. Pour cela, nous utilisons la méthode statistique appelée Superposed Epoch Analysis (SEA). Celle-ci permet de calculer le comportement moyen d'un paramètre autour d'une date référence appelée epoch-time. Pour cela, une liste de 306 événements recensés au cours du cycle solaire 23 (1996-2008) a été utilisée puis les SEAs ont été appliquées sur trois paramètres du vent solaire (le champ magnétique, la pression et la vitesse) et deux indices magnétiques (SYM-H et AE). La résolution temporelle permet ainsi d'observer les variations rapides des structures du vent solaire telles que les discontinuités dues aux chocs. Les événements de la liste ont ensuite été triés selon plusieurs critères : (1) la présence ou non d'un choc en amont de la gaine, (2) la structure interne de l'ICME (ejecta ou nuage magnétique), (3) la polarité des nuages magnétiques. Chaque fois, nous avons déterminé l'impact de ces caractéristiques, d'une part sur la structure de l'événement (paramètres du vent solaire) et sur la réaction de la magnétosphère (indices magnétiques). De plus, nous avons observé de nombreuses séquences d'ICMEs. Dans de tels cas, plusieurs ICMEs atteignent la Terre avec peu de temps (moins de 12h) entre chaque événement.

Ainsi près de 40% des ICMEs de notre liste appartiennent à de telles séquences et nous avons également étudié l'impact de ces enchainements sur la magnétosphère. Nos résultats montrent que la présence d'un choc est le critère principal pour générer de forts orages magnétiques.

Dans notre liste, les événements qui ne possèdent pas de choc génèrent, en moyenne, des orages de faibles intensités. Dans le cas contraire, la structure de l'ICME elle-même joue un rôle très important et il est montré que les nuages magnétiques sont, en moyenne, beaucoup plus geoefficaces que les ejecta. De plus, la polarité des nuages magnétiques est un critère primordial puisque le profil de l'orage magnétique correspondant dépend clairement de celle-ci, tant pour son intensité que pour son développement. Au final, sans tenir compte des séquences, il est montré que les structures les plus geoefficaces sont, dans l'ordre : les nuages magnétiques précédés d'un choc (représentant 17% de notre liste), les ejecta avec choc (49%), les nuages magnétiques sans choc (6%) et enfin les ejecta sans choc (28%). De plus, il a pu être constaté que les gaines et ICMEs n'impactent pas la magnétosphère de la même façon, les premiers touchant principalement les électrojets tandis que les seconds affectent plus le courant annulaire.

Restitution des flux d'électrons dans les ceintures de radiation à partir d'un filtre de Kalman d'ensemble

S. Bourdarie, ONERA

D. Lazaro, M. Maget, A. Sicard et RBSP-ECT Team

Un filtre de Kalman d'ensemble combiné avec l'outil Salammbô 3D a été utilisé pour produire une base de ré-analyse des ceintures de radiation d'électrons sur la période Septembre 2012-décembre 2015. Les mesures RBSP-A&B/MagEis, GOES-13/Maged et GOES-13/SEM ont été ingérés par le système. Jusqu'à présent, seuls les flux omnidirectionnels ont été pris en compte dans cette étude. La résolution temporelle de la base de données ré-analyse est de 10 minutes et couvre les énergies d'électrons au-dessus de 300 keV.

Les résultats obtenus sont comparés / validés avec des données INTEGRAL / SREM. La performance de l'outil d'assimilation de données sera discutée ainsi que les moyens d'amélioration pour l'avenir.

Automated detection, characterization, and tracking of filaments from SDO data

E. Buchlin, IAS

C. Mercier, J-C. Vial

Thanks to the cadence and continuity of AIA and HMI observations, SDO offers unique data for detecting, characterizing, and tracking solar filaments, until their eruptions, which are often associated with coronal mass ejections. Because of the requirement of short latency when aiming at space weather applications, and because of the important data volume, only an automated detection can be worked out. We present the code "FILaments, Eruptions, and Activations detected from Space" (FILEAS) that we have developed for the automated detection and tracking of filaments. Detections are based on the analysis of AIA 30.4 nm He II images and on the magnetic polarity inversion lines derived from HMI. Following the tracking of filaments as they rotate with the Sun, filament characteristics are computed and a database of filaments parameters is built. We present the algorithms and performances of the code, and we compare its results with the filaments detected in Halph and already present in the Heliophysics Events Knowledgebase. We finally discuss the possibility of using such a code to detect eruptions in real time.

Solar data, dataproducts, and tools at MEDOC

E. Buchlin, IAS

MEDOC team

MEDOC (Multi-Experiment Data and Operation Centre), initially created as a European data and operation centre for the SOHO mission, has grown with data from other solar physics space missions, from STEREO to SDO. Derived data products such as DEM maps from SDO/AIA, synoptic EUV intensity maps from SOHO/EIT, and catalogues of solar structures are also automatically produced and redistributed. Both the data and the derived data products are publicly available from web interfaces and from programmatic interfaces (with clients for IDL and Python), allowing classical data analysis as well as automatic queries, data download, and processing to be made on large datasets.

Impact of the space weather on the ionosphere : dynamics of the high-latitude plasma irregularities

I. Cherniak, University of Warmia and Mazury

I. Zakharenkova

Multi-site GPS observations from more than 2500 ground-based GPS stations were used to analyze the dynamics of the ionospheric irregularities in the Northern and Southern Hemispheres during various space weather events. Few types of the GPS data processing were implemented to analyze the dynamics of the high-latitude ionospheric irregularities produced by the recent severe geomagnetic storms. It was constructed the diurnal and hourly ROTI maps, hourly TEC maps as well as derived a high-resolution ROT variability for selected GPS station chains. With ROTI index maps it was determined the irregularities oval border and averaging parameter - semi-hemisphere fluctuation index. We analyze the dependence of the GPS-detected ionospheric irregularities on the auroral activity. The development and intensity of the high-latitude irregularities during this geomagnetic storm reveal a high correlation with the auroral hemispheric power and auroral electrojet indices. The indices and maps, based on analysis of TEC rapid variation can be effective and very perspective indicator of the presence of phase fluctuations and plasma irregularities caused this fluctuations in the high and mid-latitude ionosphere when space weather parameters are changed dramatically.

F30 : un nouvel indice d'émission UV solaire pour l'orbitographie

T. Dudok de Wit, LPC2E

S. Bruinsma, L. Hecker, C. Le Fèvre, P. Perrachon, P. Yaya

Le flux radio à 10.7 cm (indice F10.7) est l'indice solaire le plus couramment utilisé pour décrire la variabilité du flux solaire UV, et sert notamment aux modèles orbitographiques. Or cet indice ne reproduit pas fidèlement les composantes spectrales qui influencent la haute atmosphère terrestre : le flux radio émis à 30 cm (indice F30) est un meilleur candidat, et améliore les reconstructions orbitographiques. Les deux indices sont mesurés quotidiennement depuis les années 1950 (quoique par deux observatoires différents) et sont donc d'un grand intérêt pour la météorologie de l'espace.

Nous venons de mettre en place le prototype d'un service qui délivre quotidiennement l'indice F30, ainsi que sa prévision sur 30 jours. Notre étude vise notamment à améliorer la prédiction d'orbite opérationnelle.

Nous décrirons ici les principales différences entre les indices F10.7 et F30, ainsi que les performances du nouveau service de prévision.

Reconstruire l'activité solaire de 1850 à 2300 pour le GIEC

T. Dudok de Wit, LPC2E

L. Barnard, J. Beer, P. Charbonneau, B. Funke, K. Matthes, A. Maycock, A. Scaife, I. Usoskin

Le dernier rapport du GIEC souligne l'importance de disposer d'un jeu de données reproduisant fidèlement le forçage solaire de 1850 à nos jours, y compris un scénario allant jusqu'en 2300. Ce forçage inclut les valeurs quotidiennes du spectre solaire (extrême-UV à l'infrarouge), la précipitation d'électrons, les protons solaires, et le rayonnement cosmique.

Pour répondre à ce défi, notre groupe ISSI (International Space Science Institute, Bern) a réuni les meilleures reconstructions du forçage pour les réunir en un seul jeu de données homogène. Pour le forçage radiatif, nous nous sommes basés sur les modèles SATIRE-T/S et NRLSSI2, en recourant à divers indices pour les étendre dans la bande extrême-UV.

Nous proposons aussi deux scénarios possibles d'activité solaire future à l'échelle multi-décadale, basés sur 3 modèles différents, construits grâce à 10000 ans d'activité solaire déduits d'isotopes cosmogéniques. Les 3 approches s'accordent sur l'existence probable d'un minimum d'activité entre 2050-2090, dont le niveau serait proche du minimum dit de Gleissberg. Le second scénario, dit extrême, prévoit un minimum plus profond, équivalent à un minimum de Maunder. En revanche, la probabilité de ce dernier est inférieure à 5%.

La mise au point de ces scénarios soulève de nombreuses questions intéressantes quant à la prévisibilité de la variabilité solaire sur des échelles de temps supérieures à celle du cycle solaire.

Action du CDDP et de STORMS pour la préparation de la mission d'astrophysique-X ATHENA-XIFU

V. Génot, IRAP

C. Jacquey, A. Rouillard, B. Lavraud, D. Barret

ATHENA est une grande mission du programme Cosmic Vision 2015-2025 de l'ESA. Son lancement est prévu en 2028 pour être placée sur une orbite halo autour du point de Lagrange L2. Elle emportera un spectro-télescope X (X-IFU, X-ray Integral Field Unit) qui offrira une résolution spectrale inégalée. Pour atteindre les performances visées, la réduction du bruit de fond est un enjeu capital. Pour l'instrument X-IFU, les ions d'énergie comprise entre 40 et 200 KeV constituent une des sources principales du bruit de fond.

La réduction du bruit de fond, la connaissance de ses sources, les choix d'orbites les plus appropriées font l'objet d'efforts importants au sein du consortium ATHENA. Ce dernier a fait appel au CDDP pour caractériser l'environnement futur du satellite autour de L2. Cette étude est étendue à celui du point L1 qui constitue une alternative permettant de s'affranchir des ions accélérés dans la queue de la magnétosphère.

L'ESA y apporte un soutien important et finance l'action dédiée AREMBES à laquelle le CDDP participe en coordonnant notamment un workpackage dédié à la caractérisation de l'environnement à L2 et L1.

CDPP activities

V. Génot, IRAP

CDPP team

Je présenterai les activités du CDPP, en terme de support aux missions (Solar Orbiter, Juice, Athena) et programmes (SSA), de participation à l'Observatoire Virtuel et d'aide à l'analyse scientifique. Je montrerai comment les outils, en constant développement, ont rendu possible plusieurs publications récentes et sont régulièrement utilisés auprès des étudiants.

On the UV contrast of solar magnetic features and variations of small magnetic fields

R. Gravet, LPC2E

M. Kretzschmar, T. Dudok De Wit

The knowledge of solar irradiance and its temporal variations is an important issue for climat modeling and space weather. However, measurements of TSI and SSI are difficult and suffer from weaknesses (as, for example, insufficient temporal and spectral coverage); it is therefore necessary to model the TSI and SSI to obtain complete time series and to validate the observations. Irradiance models use magnetograms to distinguish the different magnetic structures of the Sun. The contribution of each structure is determined using a theoretical spectrum for each of these structures. The goal of our work is to put observational constraints on these theoretical spectra at UV wavelengths. To do so, we use magnetograms from the HMI instrument onboard SDO and solar images at 30.4 nm, 160 nm and 170 nm from the AIA instrument, also onboard SDO. These data enable us to study the contrast of magnetic structures in function of their position on the Sun and of the value of the magnetic field. We also take advantage of this work to study the evolution in time of the noise of the solar magnetogram.

Prédiction de la dynamique des ceintures de radiation à partir de l'indice magnétosphérique alpha

M. Gruet, ONERA

La dynamique de la magnétosphère est contrôlée par les émissions en provenance du soleil, notamment le vent solaire et les éjections sporadiques comme les éjections de masse coronale (CME). L'interaction entre le champ magnétique terrestre et le champ magnétique interplanétaire d'origine solaire affecte l'équilibre au sein du système magnétosphère-ionosphère et se mesure entre autres sous la forme de perturbations du champ magnétique terrestre observées au niveau du sol. Des indices magnétiques ont été développés au cours du temps pour essayer de caractériser au mieux ces interactions dans l'espace par une simple mesure au sol. Ces indices magnétiques ont une couverture temporelle fiable et remontent pour certains d'entre eux jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, mais leur résolution spatio-temporelle est devenue obsolète pour caractériser avec suffisamment de précision la dynamique du système magnétosphérique.

Récemment Chambodut et al. (2015) ont proposé un nouvel indice d'activité magnétosphérique globale, l'indice alpha. Il possède une résolution temporelle de 15 minutes, permettant de bien caractériser la dynamique du système magnétosphère-ionosphère et ainsi de mieux décrire les perturbations dans le système. Les mesures sont effectuées par l'ensemble des stations magnétiques situées au pied des lignes de champ magnétique entre 30 et 55° de latitude magnétique dans les deux hémisphères. La moyenne quadratique de la composante horizontale de l'activité magnétique est moyennée sur 15 minutes en chaque station puis corrigée pour ramener artificiellement la station à 50° de latitude magnétique. Une modélisation par spline permet d'obtenir la variation longitudinale de l'activité suivant l'hémisphère considéré, la moyenne du spline donnant la valeur de l'indice alpha dans chaque hémisphère séparément, et l'alpha global étant obtenu en moyennant les alphas de chaque hémisphère.

Dans ce poster nous commencerons par présenter l'algorithme du nouvel indice alpha proposé, puis nous présenterons les travaux initiés pour exploiter la richesse de l'information contenue dans la variation en longitude de l'indice alpha. Une étude statistique préliminaire des splines des alphas sur les CMEs et les Régions d'Interaction en Corotation (CIRs) a permis de montrer que l'activité magnétique est fortement organisée en temps magnétique local. Pour extraire l'information de l'activité en MLT, nous avons réfléchi au référentiel dans lequel représenté l'activité magnétique puis nous avons cherché à modéliser cette activité magnétique à partir de fonctions simples (ex : sommes de gaussiennes), permettant d'identifier : la position en MLT, la dispersion en MLT et l'amplitude de la (ou des) perturbation(s) magnétique(s) contenue(s) dans un événement donné.

Prise en compte du temps local magnétique dans le code Salammbô modélisant la dynamique des ceintures de radiation terrestres

D. Herrera, ONERA

S. Bourdarie, V. Maget, G. Rolland

La dynamique des ceintures de radiation est généralement modélisée par des codes numériques s'appuyant sur une équation de Fokker-Planck. Elle prend en compte les différentes composantes du mouvement des particules piégées par le champ magnétique (giration, rebond, dérive). Le plus souvent, des simplifications sont réalisées et toutes les composantes du mouvement ne sont plus observables. Le code Salammbô 3D développé au Département Environnement Spatial (DESP) de l'ONERA est de ce type, et a acquis une maturité reconnue mondialement. Il constitue aussi bien un modèle physique sur lequel s'appuie le développement des futurs modèles de spécification d'environnement, qu'un laboratoire virtuel d'observation et d'analyse des mécanismes physiques gouvernant la dynamique des ceintures de radiations.

Néanmoins, le code Salammbô 3D ne prend pas en compte le temps local magnétique, limitant sa résolution temporelle à l'échelle de l'heure. Or, la dynamique d'un orage magnétique fait intervenir une échelle de temps inférieure. Les variations spatiales de flux pendant un orage sont, de plus, très inhomogènes en temps local magnétique. On observe, par exemple, en orbite géostationnaire, davantage d'anomalies en vol du côté nuit et des environnements radiatifs très variables en fonction du temps local magnétique. En outre, avec cette limitation temporelle horaire, la dynamique des particules de basse énergie (inférieure à la centaine de keV) est mal prise en compte. Ce poster présente nos travaux actuels pour développer un nouveau code Salammbô 4D (trois coordonnées spatiales et l'énergie) prenant en compte la dimension temps local magnétique. L'objectif est de raffiner la modélisation de la dynamique des ceintures de radiation terrestres lors d'un orage magnétique à une échelle de temps inférieure à l'heure. La difficulté de ce travail est double.

Tout d'abord, l'ajout d'une dimension supplémentaire entraîne l'apparition d'un terme d'advection lié à la dérive électromagnétique autour de la Terre. Ce terme est source d'une importante diffusion numérique qu'il convient de limiter. Nous décrivons ici le travail réalisé pour aboutir à un traitement optimal de la diffusion numérique par méthode des limiteurs appliquée au schéma Beam-Warming. Cette méthode permet une bonne propagation de la condition initiale, sans oscillations parasites ni dispersion et avec un minimum de diffusion numérique.

Nous décrivons ensuite l'aspect théorique du « mapping », c'est-à-dire le passage du référentiel des coordonnées spatiales à celui des coordonnées de l'espace des phases, et inversement. Cette étape est essentielle pour avoir une représentation fidèle de la dynamique des ceintures de radiation en fonction du temps local magnétique. En effet, la résolution de l'équation de diffusion se fait dans l'espace des phases et la représentation graphique s'effectue quant à elle dans l'espace des coordonnées spatiales.

Détermination de la forme générique des CMEs interplanétaires à 1AU

M. Janvier, IAS

P. Demoulin, S. Dasso

Les propriétés physiques des éjections de masse coronale interplanétaires (ICMEs) peuvent être mesurées directement dans le vent solaire grâce aux sondes spatiales. En développant des nouvelles méthodes d'analyse reposant sur la statistique d'un grand nombre d'évènements, nous pouvons contraindre, grâce aux données in-situ, la géométrie la plus générique des ICMEs, en particulier de l'axe des nuages magnétiques qui les composent ainsi que des chocs qui les précèdent.

Pour cela, nous avons comparé les distributions statistiques d'un paramètre de forme dérivées de modèles analytiques, avec celle directement déduite des observations in situ. Nous avons reproduit cette approche avec plusieurs catalogues d'évènements issus d'études indépendantes, permettant de définir le meilleur modèle analytique permettant d'expliquer les observations obtenues. Nous avons également prouvé la robustesse des méthodes développées grâce à l'obtention de résultats similaires pour la forme des ICMEs d'un catalogue à un autre. Enfin, l'analyse statistique permet d'être étendue afin d'obtenir le comportement des propriétés physiques le long de ces structures interplanétaires.

Ces études permettent de contraindre d'une part les résultats numériques d'ICMEs, et d'autre part d'évoluer les modèles analytiques de leur propagation dans le milieu interplanétaire, deux aspects importants pour la météorologie de l'espace.

Sursauts radio solaires et aviation civile - y a-t-il une relation ?

K-L. Klein, LESIA

C. Marqué

L'interférence entre les sursauts radio solaires et des signaux GPS a été bien établie pour un certain nombre d'événements du passé. Elle est liée à des sursauts radio inhabituellement intenses autour d'une fréquence d'1 GHz. Un phénomène similaire peut aussi affecter l'aviation civile : le 4/11/2015, les radars du contrôle aérien en Suède ont été perturbés, au point que le décollage des avions a dû être suspendu pendant environ une heure. Cet incident coïncidait avec un sursaut solaire intense au voisinage des fréquences radar (1030 et 1090 MHz), observé aux stations de radioastronomie de Nançay et d'Human (Belgique). Nous montrerons les caractéristiques de l'émission radio et concluons que l'incident suédois était sans doute dû à ce sursaut, qui intervenait peu de temps avant le coucher du Soleil, à un instant donc où les radars scrutant l'horizon visaient la direction du Soleil. Cet incident tend à montrer l'importance d'études conjointes entre la recherche scientifique et les acteurs publics et industriels potentiellement concernés par la météorologie de l'espace, dans le but de cerner la sensibilité de l'équipement technologique à la météorologie de l'espace - études qui à l'heure actuelle butent sur la réticence des acteurs concernés à divulguer leurs informations et sur l'absence d'un cadre organisé d'une telle recherche.

The Auroral Planetary Imaging and Spectroscopy (APIS) service

L. Lamy, LESIA

Le service APIS comprend une base de données de haut niveau de spectro-imagerie aurorale planétaire (fondée sur les observations Hubble UV des planètes géantes et de leurs satellites depuis 1997), un moteur de recherche conditionnel avec des critères pensés pour les communautés magnétosphères/atmosphères, et une compatibilité OV (interconnexion avec portails de recherches OV, outils de visualisation en ligne). APIS a été labellisé par l'INSU fin 2015 comme service de référence du pôle national de diffusion de données en physique des plasmas.

IPODE et IPSAT : Observatoire des ceintures de radiation de la Terre dans le cadre du projet CRATERRE

D. Lazaro, ONERA

S.Bourdarie, A. Sicard-Piet, G. Rolland

Le projet CRATERRE est le fruit d'une collaboration entre l'ONERA et le CNES pour comprendre et prédire la structure et la dynamique des ceintures de radiation terrestre et ainsi développer de nouveaux modèles de spécification de ces ceintures. Dans ce cadre là, ont été développés : IPODE (Ionising Particle Onera Data basE) : base de données contenant les mesures de détecteurs de particules ionisées depuis les années 70 jusqu'à nos jours et IPSAT (Ionising Particle in Space Analysis Tool) : observatoire virtuel permettant de visualiser et d'analyser les données contenues dans IPODE. On présentera ces deux outils ainsi que les applications développées pour la surveillance de l'environnement, l'analyse des événements et les services d'indices d'activité géomagnétique terrestre.

Effect of the Interplanetary Medium on Nanodust Observations by the Solar Terrestrial Relations Observatory

G. Le Chat, OBSPM

K. Issautier, A. Zaslavsky, F. Pantellini, N. Meyer-Vernet, S. Belheouane,
M. Maksimovic

Dust particles provide an important fraction of the matter composing the interplanetary medium, their mass flux at 1 AU being comparable to the one of the solar wind. Among them, dust grains of nanometer size-scale can be detected using radio and plasma wave instruments, because they move at roughly the solar wind speed. The high velocity impact of a dust particle generates a small crater on the spacecraft : the dust particle and the crater material are vaporized. This produces a plasma cloud whose associated electrical charge induces an electric pulse measured with radio and plasma instruments. Since their first detection in the interplanetary medium, nanodust particles have been routinely measured using the *Solar Terrestrial Relations Observatory /WAVES* experiment [S/WAVES]. We present the nanodust properties measured using S/WAVES/*Low Frequency Receiver* [LFR] observations between 2007 and 2013, and for the first time, present evidence of coronal mass ejection interaction with the nanodust, leading to a higher nanodust flux measured at 1 AU. Finally, possible influences of the inner planets on the nanodust flux are presented and discussed.

Première mesure de l'angle de polarisation aurorale

J. Liliensten, IPAG

M. Barthélémy, G. Besson, M. Johnsen, J. Moen

Le degré de polarisation linéaire (DoLP) de la raie rouge aurorale est de plus en plus explorée. Dans ce travail, nous mesurons pour la première fois de l'angle de polarisation linéaire (AoLP) et nous comparons les mesures à l'angle apparent du champ magnétique à l'endroit de l'émission de la raie rouge, au cours d'un hivernage à Ny Alesund (Svalbard). Nous montrons que l'AoLP est un traceur de la configuration du champ magnétique. Cela ouvre de nouvelles perspectives, à la fois dans le cadre de la météorologie de l'espace et dans le domaine de la planétologie.

Cet hivernage a été financé par l'IPEV. La jouvence du polarimètre s'est faite sous financement PNST.

Connecting the surface of the Sun to the Heliosphere

R. Pinto, IRAP

A. Rouillard, V. Génot, T. Amari

We present an ongoing effort to determine automatically the magnetic connectivity between the solar surface and any point in the interplanetary space at any time. The goal is to produce robust predictions of the paths and propagation delays of any type of disturbance (slow/fast solar wind, waves, energetic particles, ballistic propagation). This is a key point for the exploitation of data from Solar Orbiter and Solar Probe Plus, and for establishing connections between remote and in-situ data.

The web interface for the tool is accessible at <http://storms-connectsolo.irap.omp.eu/>.

The background coronal magnetic field is, currently, determined via existing surface magnetograms and PFSS extrapolations, but the tool is ready to include different combinations of coronal field reconstruction methods (NLFFF, Solar Models), wind models (WSA, MVP), heliospheric models (Parker, ENLIL, EUFHORIA) and constraints from data assimilation techniques (ADAPT) as these become available. The tool will then compare the predictions made using several models in order to assess the uncertainties.

Long-Term Tracking of Corotating Density Structures using Heliospheric Imaging

I. Plotnikov, IRAP

A. Rouillard, J. Davies, HELCATS team

The systematic monitoring of the solar wind in high-cadence and high-resolution heliospheric images taken by the Solar-Terrestrial Relation Observatory (STEREO) spacecraft permits study of the spatial and temporal evolution of variable solar wind flows from the Sun to 1 AU, and beyond. As part of the EU Framework (FP7) HELCATS project, we have generated a catalogue listing the properties of 190 corotating structures well-observed in images taken by the Heliospheric Imager (HI) instrument on-board STEREO-A from 2007 to 2014. This analysis suggests that most of the corotating density structures detected by the HI are density inhomogeneities advected by the slow solar wind that eventually become entrained by stream interaction regions. We have derived the spatial-temporal evolution of each of these corotating structures by using a well-established fitting technique. The mean radial propagation speed of the corotating structures is found to be 310 ± 30 km/s. Such a low mean value corresponds to the terminal speed of the slow solar wind rather than the speed of stream interfaces, which is typically intermediate between the slow and fast solar wind speeds (~ 400 km/s). We predicted the arrival time of each corotating structure at different probes in the inner heliosphere and show that the speeds of the corotating density structures derived using our fitting technique track well the long-term variation of the radial speed of the slow solar wind during solar minimum years (2007-2008). Furthermore, we demonstrate that these features originate near the coronal neutral line that eventually becomes the heliospheric current sheet.

Etudes des événements extrêmes, de Carrington à nos jours

A. Sicard-Piet, ONERA

D. Boscher

Le but ici est de faire un état des lieux des événements extrêmes depuis 1859 jusqu'à nos jours et de tenter de répondre à la question suivante : l'événement de Carrington est-il un événement pire que les autres ? Un état de l'art sur l'événement de Carrington de 1859 sera effectué, en rappelant notamment l'enchaînement des événements et les diverses données disponibles. Ensuite une deuxième partie sera consacrée à l'étude de l'activité magnétique pendant l'événement de Carrington par comparaison avec d'autres événements plus récents comme Octobre 2003 ou Juillet 2004 par exemple. Ainsi, un indice $K_{\text{Equivalent}}$ sera calculé à partir des données magnétiques mesurées par les stations sol pendant les événements de 1859 et pendant d'autres événements remarquable de l'ère spatiale. La troisième partie résume une étude effectuée sur la recherche des événements extrêmes de 1859 à 2013 à travers l'indice magnétique AA. Enfin, une dernière partie est consacrée aux aurores boréales observées durant les événements extrêmes et en particulier à la latitude magnétique des observations en fonction de l'intensité de l'événement.

Prédiction des éruptions solaires les plus intenses par assimilation de données

A. Strugarek, Université de Montréal - CEA/SAP

A. S. Brun, P. Charbonneau

Les éruptions (*flares*) solaires et stellaires relâchent leur énergie en suivant une loi d'invariance d'échelle à travers plus de 8 ordres de grandeur. Les éruptions les plus intenses, de classe X ou supérieure (de densité de puissance supérieure à 10^{-4} W/m²), sont extrêmement rares (entre 0 et quelques dizaines par année) et difficile à prédire. La modélisation détaillée des régions actives à l'origine de ces éruptions nécessitent des ressources numériques trop importantes pour être menées de façon routinière dans le cadre d'un outil de prédiction en temps réel.

Afin de construire un outil prédictif, des modèles alternatifs empiriques, en général moins coûteux, peuvent être utilisés. Parmi ceux-ci, les modèles d'avalanche (ou de *tas de sable*) possèdent le double avantage d'être très peu coûteux en ressources numériques et de reproduire de façon adéquate la distribution statistique des éruptions solaires. Ces modèles sont en général forcés de façon stochastique, ce qui questionne leur capacité à prédire des événements particuliers. En se basant sur le travail pionnier de Lu & Hamilton, nous développons un modèle de tas de sable forcé de façon déterministe afin de minimiser les ingrédients aléatoires du modèle et de maximiser ses capacités prédictives. Nous montrons que dans ce nouveau modèle, en dépit de son niveau de stochasticité, les avalanches (ou éruptions) les plus intenses sont reproduites de façon robuste pour n'importe quelle séquence de nombre aléatoire, et peuvent ainsi en prédire l'occurrence.

Nous démontrons ensuite que ces modèles peuvent être couplés à une méthode d'assimilation de données en utilisant les observations en rayons X des satellites GOES, afin de prédire de futurs événements intenses. Le flux X observé est transformé en une série de pics qui est assimilée par le modèle en trouvant une condition initiale permettant de la reproduire. Nous montrons que la phase d'assimilation de données peut être utilisée dans un outil de prédiction en temps réel, et présentons les tests de notre modèle en cours de réalisation sur une série d'éruptions intenses observées par le passé avec les satellites GOES.

Propriétés des nuages magnétiques à 1 UA et conséquences sur leur interaction avec l'environnement terrestre

L. Turc, ESA/ESTEC

D. Fontaine, P. Escoubet

Les nuages magnétiques comptent parmi les structures les plus géoeffectives rencontrées dans le vent solaire. Ils se démarquent du milieu ambiant par un renforcement de l'intensité du champ magnétique et une rotation lente de sa direction. A partir d'une base d'évènements s'étendant sur 15 ans d'observations, de 2000 à 2014, nous examinons ici les propriétés statistiques de ces structures, et en particulier l'orientation de leur champ magnétique. Nous montrons qu'en général, l'orientation du champ magnétique dans les nuages magnétiques diffère de celle de la spirale de Parker communément rencontrée au niveau de l'orbite terrestre. Cela a pour conséquence immédiate de modifier la position des régions quasi-parallèle et quasi-perpendiculaire à la surface du choc, et donc de rendre caduque les habituelles asymétries aube/crépuscule dues à la présence du domaine quasi-parallèle du côté matin.

La configuration rencontrée au choc a un impact direct sur la structure magnétique des nuages dans la magnétogaine, que nous examinerons ici de façon statistique à partir des cas pour lesquels des observations en aval du choc sont disponibles. Nous discuterons les modifications du couplage vent solaire-magnétosphère qui en découlent. Par ailleurs, nos résultats suggèrent que la valeur de l'angle entre le champ magnétique en amont du choc et l'axe Terre-Soleil donne une bonne approximation du régime de choc rencontré à la traversée de celui-ci. Cette étude souligne l'importance de la prise en compte de la composante radiale du champ magnétique pour comprendre la géoeffectivité des nuages magnétiques.

Use of space-borne GPS measurements for detection of the plasma density irregularities in the topside ionosphere

I. Zakharenkova, IGP

E. Astafyeva

We present new results on the detection of the topside ionospheric irregularities/plasma bubbles using GPS measurements from Precise Orbit Determination (POD) GPS antenna onboard Low Earth Orbit (LEO) satellites. We use GPS measurements onboard the ESA's constellation mission Swarm, as well as GRACE and TerraSAR-X satellite, that have rather similar orbit altitude of about 500 km. We demonstrate that LEO GPS can be an effective tool for monitoring the occurrence of the topside ionospheric irregularities and may essentially contribute to the multi-instrumental analysis of the ground-based and in situ data. In the present study we analyze the occurrence and global distribution of the equatorial ionospheric irregularities during post-sunset period. Also we consider features of the auroral and equatorial irregularities detected by multi-satellite observations during main and recovery phase for several selected geomagnetic storms. To support our observations and conclusions, we involve into our analysis in situ plasma density provided by Swarm constellation, GRACE KBR, DMSP satellites, as well as ground-based GNSS and digisonde networks. Using Swarm GPS and in situ measurements we analyzed the occurrence climatology of the intense ionospheric irregularities during 2014-2015. The obtained results demonstrate a high degree of similarities in the occurrence pattern of the seasonal and longitudinal distribution of the topside ionospheric irregularities derived on both types of the satellite observations.

HESPERIA studies on the nature of high-energy solar gamma-ray events

P. Zucca, LESIA

K.-L. Klein, G. Share, N. Vilmer, O. Malandraki, R. Miteva, B. Heber, C. Hamadache, J. Kiener, V. Tatischeff, R. Vainio

The FERMI/LAT gamma-ray experiment observed a surprisingly large number of solar events with gamma-ray emission above photon energies of 100 MeV. The emission is likely due to pion-decay photons. This implies that the acceleration of protons in the solar corona to energies above 300 MeV is much more frequent than previously thought. In some cases the emission persists over several hours. In the frame of the HESPERIA project, funded by the Horizon 2020 programme of the European Union, we conduct an extensive study on the relationship between these gamma-ray emissions and electromagnetic signatures of accelerated electrons in the corona on the one hand, SEPs detected in space on the other hand. This contribution is to present first results on two subjects, using a sample of 25 gamma-ray events : (1) We compare the durations of the gamma-ray emission with the durations of hard X-ray and microwave signatures of electrons in the solar atmosphere, in the attempt to see if long-duration gamma-ray events are accompanied by signatures of long-duration electron acceleration. (2) We show that in each gamma-ray event electrons had rapid access to interplanetary space since the impulsive flare phase, so that high-energy SEP events should be detected. We compare the hardness of the proton spectra detected in interplanetary space with the prediction using the properties of the solar microwave bursts.

Autres thèmes

Scientific Qt application for Learning from Observations of Plasmas (SciQLOP)

N. Aunai, LPP

A. Jeandet, H. Winter, E. Le Penneç

Our community now owns decades of in situ measurements from multiple spacecraft missions, stored in public international and national databases. Exploring databases and browsing data, searching for the signatures of a plasma process of interest, now represents a real bottleneck in our daily workflow ; not only because of the massive and rapidly increasing amount of data, but also because of its intrinsic complexity. Indeed, in situ measurements represent 1D temporal cuts through 3D complex and unsteady structures. Compiling lists of events, performing statistical analysis is therefore a daunting task.

SciQLOP is a new project aiming at developing an open-source software bringing together an efficient and ergonomic multi-mission data browsing interface with a smart signature learning and recognition core built on state-of-the-art machine learning techniques. It also embeds an ipython terminal for users to interact with data and offering virtually limitless analysis options.

This presentation will present the SciQLOP project, the current state of the development, objectives of the first year release and discuss future goals and possibilities.

Conférence grand public au centre Azureva : "Ces taches importunes qui viennent troubler le ciel - deux histoires des taches solaires"

K-L. Klein, LESIA

Les taches solaires, petites régions sombres qui apparaissent et disparaissent à la surface du Soleil, montrent que cet astre n'est pas immuable. La recherche contemporaine s'intéresse à la nature des taches, qui illustrent le rôle du champ magnétique dans la structure des couches externes du Soleil. Le champ magnétique du Soleil structure la couronne - il explique pourquoi cette couronne, que nous voyons lors d'une éclipse totale du Soleil, n'est pas sphérique. Ce champ magnétique prend son origine à l'intérieur du Soleil, dans un gaz en mouvement, et est de ce fait variable au cours du temps, créant des phénomènes explosifs comme les éruptions solaires et l'éjections de masse.

Dans cet exposé on abordera deux aspects des taches solaires :

- (1) la recherche contemporaine : leur nature et l'activité du soleil,
- (2) l'histoire : leur "découverte" et les premières études systématiques, au début du XVIIème siècle.

Dans les deux aspects, la variabilité du Soleil est essentielle : elle nous montre aujourd'hui que notre astre peut affecter les activités technologiques humaines, notamment celles liées à l'espace. Au XVIIème siècle, la variabilité d'un astre était en conflit manifeste avec les idées de l'astronomie classique, formulée notamment par Aristote et Ptolémée, qui voyaient l'Univers comme un "cosmos" éternel et immuable. La découverte de la variabilité du Soleil, manifestée par l'apparition et la disparition des taches solaires, contribua alors au changement de la perception du ciel et du monde. Cet aspect sera illustré par le "Dialogue" de Galilée.

20 ans de mesures de la direction du flot d'hydrogène interstellaire avec SWAN : stabilité et influence de l'activité solaire

D. Koutroumpa, LATMOS

E. Quémerais, J-L. Bertaux, R. Lallement, S. Ferron

Nous présentons 20 ans de mesures du flot d'hydrogène interstellaire par rétrodiffusion de la raie Ly- α solaire avec l'instrument SWAN sur SOHO. Nous utilisons une méthode simple indépendante de modèle qui permet de déterminer la longitude d'arrivée du flot d'hydrogène interstellaire, en utilisant les effets de parallaxe induits par le mouvement de SOHO autour du Soleil. Nos résultats argumentent en faveur de la stabilité du flot interstellaire, excepté une modulation de la position apparente de la région d'émission maximale (Maximum Emission Region - MER) de l'hydrogène corrélée au cycle solaire. Nous discutons ses résultats en comparaison avec les résultats de certaines études récentes sur les variations du flot d'hélium interstellaire.

Un nouveau site web pour parcourir les aperçus (quicklooks) des données de l'instrument SCM et accéder plus facilement aux données de la mission MMS

L. Mirioni, LPP

O. Le Contel, N. Marsac

Les Search Coil Magnetometers (SCM) de chacun des 4 satellites MMS sont en fonctionnement depuis le lancement de la mission en mars 2015 acquérant chaque jour autour d'un gigaoctet de données par satellite (en mode survey, burst et high burst).

Il est important pour le LPP de se doter d'un outil de visualisation rapide de ces données afin de surveiller le fonctionnement de l'instrument et de détecter d'éventuelles anomalies via notamment l'analyse des calibrations en vol qui sont effectuées une fois par orbite.

Cet outil est actuellement en développement au LPP.

Il permettra également aux scientifiques de sélectionner les données en identifiant des événements intéressants, puis de télécharger directement le fichier de données via la base miroir locale, ainsi que les aperçus associés (position de la constellation, quicklook fields). Le volume imposant des données ($\sim 10\text{To}/\text{an}$) rend en effet pertinentes la construction et la gestion d'une base miroir locale incluant les données SCM mais également les données calibrées des autres instruments afin de permettre aux scientifiques de diminuer les temps de transfert de ces données très volumineuses et de réaliser des études statistiques sur des grands ensembles de données. C'est cette base qui, par exemple, devrait alimenter les projets de machine-learning en cours de développement au LPP.

Un livre sur les aurores polaires destiné au grand public

F. Mottez, LUTH, Observatoire de Paris

Beaucoup d'idées anciennes et fausses circulent de nos jours à propos des aurores polaires et de leur origine. Certes, de nombreux ouvrages paraissent à ce sujet, mais ils sont surtout publiés par des observateurs plutôt que par des physiciens, et il est fréquent que leurs explications soient parsemées d'erreurs. Les livres plus techniques s'adressent à des étudiants, d'un niveau en physique \geq L3. Je suis entrain d'écrire un livre sur les aurores polaires et la physique de la magnétosphère. Il sera publié chez Belin. Je veux présenter un panorama de la physique de la magnétosphère terrestre, les plasmas spatiaux, et mettre fin aux idées fausses. Le livre se termine sur des découvertes récentes, notamment celles de Cluster et Thémis. Il est conçu pour des lecteurs non spécialistes, pas forcément diplômés en physique. L'éditeur m'a demandé de cibler les lecteurs de "Pour la Science".

Je propose un poster de présentation du chantier en cours (manuscrit à rendre en avril 2016). Je suis intéressé par les commentaires que vous pourriez faire sur ce projet. Je suis également en recherche d'illustrations de bonne qualité et publiables. Si le livre est réussi, il pourra mettre en avant les thématiques chères au PNST, et vous aider comme support d'explications pour le grand public.

Programme du colloque

LUNDI 14 MARS

12h00-13h00 : *Accueil des participants*

13h00-14h00 : *Déjeuner*

(Chairman : D. Delcourt)

14h00-14h10 : Introduction du colloque (D. Delcourt)

PNST “Faits marquants”

14h10-14h30 : ROSETTA et l’environnement plasma de la comète (P. Henri)

14h30-14h50 : Premiers résultats de MAVEN (C. Mazelle)

14h50-15h10 : Premiers résultats de MMS (O. Lecontel)

15h10-15h30 : La mission THOR (F. Sahraoui)

15h30-15h50 : MP60S-1 (présentation de posters, une minute chacun)

15h50-16h20 : *Pause*

(Chairman : L. Lamy)

PNST “Faits marquants” (suite)

16h20-16h40 : Les 20 ans de SoHO (F. Baudin)

16h40-17h00 : Données champ magnétique et plasma de la mission SWARM (E. Astafyeva)

17h00-17h30 : MP60S-2 (présentation de posters, une minute chacun)

17h30-19h30 : Session posters

19h30-20h30 : Conférence grand public au centre Azureva : “Ces taches importunes qui viennent troubler le ciel - deux histoires des taches solaires” (L. Klein)

20h30-21h30 : *Dîner (incluant public extérieur)*

MARDI 15 MARS

(Chairman : S. Bourdarie)

9h00-9h30 : MP60S-3 (présentation de posters, une minute chacun)

PNST Thème 1 “Simulations et outils numériques”

9h30-9h50 : Nouveaux développements des modèles hybrides (N. Aunai)

9h50-10h10 : Perspectives en modélisations de l'ionosphère (A. Marchaudon)

10h10-10h30 : Calcul haute performance et “big data” (G. Aulanier)

10h30-11h00 : Pause

(Chairman : F. Pitout)

PNST Thème 2 “Nouvelles missions et instrumentation”

11h00-11h20 : Point sur la mission TARANIS (J-L. Pinçon)

11h20-11h40 : Points sur les nanostats (B. Cecconi)

PNST Thème 3 “Couplage entre enveloppes de plasma”

11h40-12h00 : Magnétisme solaire (L. Jouve)

12h00-12h20 : La magnétosphère de Jupiter avant JUNO (P. Zarka)

Interface PNST-PNP

12h20-12h50 : Présentation du PNP et discussion (A. Morbidelli)

12h50-13h50 : Déjeuner

(Chairwoman : D. Koutroumpa)

13h50-14h10 : En mémoire d'Alain Roux (D. Fontaine)

14h10-14h40 : MP60S-4 (présentation de posters, une minute chacun)

PNST Thème 4 “Transport d'énergie multi-échelle et turbulence”

14h40-15h00 : Transport d'énergie multi-échelle dans le vent solaire (S. Galtier)

Interface PNST-PNPS

15h00-15h30 : Présentation du PNPS et discussion (B. Dintrans)

15h30-16h40 : Pause (visite du château d'Abbadia)

Activités PNST

16h40-17h10 : Discussion plénière sur l'enseignement des plasmas solaire et planétaires en France (N. André, M. Kretzschmar)

17h10-17h30 : Discussion plénière sur le fonctionnement du PNST ([site web](#) et liste de diffusion, attractivité de l'AO...D. Delcourt, L. Klein et CS du PNST)

17h30-19h30 : Session posters

19h30-21h00 : Apéritif régional, dîner, remise du prix du “meilleur MP60S” (or, argent, bronze)

21h00 : AG SCOSTEP (N. Vilmer)

MERCREDI 16 MARS

(Chairman : J. Liliensten)

PNST et Groupe SHM

9h00-9h20 : Point sur les futures missions spatiales (F. Leblanc) et présentation de K. Amsif, nouveau thématicien CNES

9h20-9h30 : Hommage à J-Y. Prado (M. Maksimovic)

PNST Thème 7 “Météorologie de l’espace” et programme SSA

9h30-10h15 : Présentations (15 minutes chacune) des centres de données : **CDPP** (V. Génot), **MEDOC** (E. Buchlin), **BASS2000** (J. Abouharham)

Point sur la météorologie de l’espace, programme SSA et préparation

10h15-11h00 : Ministérielle 2016 (P. Faucher, K. Amsif), groupe de travail du CNES (L. Klein), initiatives européennes (T. Dudok de Wit)

11h00-11h30 : *Pause*

(Chairman : M. Kretzschmar)

PNST Thème 5 “Mécanismes d’accélération et de chauffage du plasma”

11h30-11h50 : Origine des ions magnétosphériques : mesures CLUSTER (I. Dandouras)

11h50-12h10 : Accélération des particules solaires : mesures RHESSI (N. Vilmer)

PNST Thème 6 “Activité éruptive ou impulsive dans les plasmas”

12h10-12h30 : Structures 3D et CMEs : mesures STEREO (A. Rouillard)

12h30-12h50 : Phénomènes lumineux transitoires (T. Farges)

12h50-13h40 : *Déjeuner*

13h45 : *Départ*

Liste des participants

ABOUDARHAM	Jean	LESIA
ALEXANDROVA	Olga	LESIA
AMSIF	Kader	CNES
ANDRE	Nicolas	IRAP
ASTAFYEVA	Elvira	IPGP
AUCHÈRE	Frédéric	IAS
AUNAI	Nicolas	LPP
BAUDIN	Frédéric	IAS
BELMONT	Gérard	LPP
BENACQUISTA	Rémi	ONERA
BERTHOMIER	Matthieu	LPP
BIREE	Lionel	CDAOA/COSMOS
BLANC	Michel	IRAP
BOMMIER	Véronique	LESIA
BOURDARIE	Sébastien	ONERA
BREUILLARD	Hugo	LPP

BRUN	Allan Sacha	AIM
BUCHLIN	Eric	IAS
CANU	Patrick	LPP
CARA	Antoine	IRAP
CARLEY	Eoin	LESIA
CECCONI	Baptiste	LESIA
CÉLESTIN	Sébastien	LPC2E
CHANE-YOOK	Martine	IAS
CHAUFRAY	Jean-Yves	LATMOS
CHERNIAK	Iurii	University of Warmia and Mazury
CHEVALIER	Christiane	LPP
COÏSSON	Pierdavide	IPGP
CORBARD	Thierry	Lagrange
CORNILLEAU-WEHRLIN	Nicole	LPP
DALMASSE	Kévin	NCAR
DANDOURAS	Iannis	IRAP
DARGENT	Jérémy	LPP
DELCOURT	Dominique	LPP
DINTRANS	Boris	IRAP et PNPS
DUBAU	Jacques	IAS
DUDOK DE WIT	Thierry	LPC2E

EMERIAU-VIARD	Constance	CEA/DSM/AIM/SAP/LDEE
ESTEBAN HERNANDEZ	Rosa	LATMOS
FABBRO	Vincent	DEMR/ONERA
FARGES	Thomas	CEA, DAM, DIF
FAUROBERT	Marianne	LPP
FONTAINE	Dominique	LPP
FROMENT	Clara	IAS
FRUIT	Gabriel	IRAP
GABRIEL	Alan	IAS
GALMICHE	Aurélien	ONERA
GALTIER	Sébastien	LPP
GELLY	Bernard	UPS3718 THEMIS
GÉNOT	Vincent	IRAP
GORDINO	Miguel	IAS
GRAPPIN	Roland	LPP
GRAVET	Romanic	LPC2E
GRITON	Léa	LESIA
GRUET	Marina	ONERA
GUENNOU	Chloé	Observatoire de Meudon
GUILLEMANT	Stanislas	IRAP/LESIA

HASSLER	Don	IAS
HENRI	Pierre	LPC2E
HERRERA	Damien	ONERA
HULOT	Gauthier	IPGP
HUNG	Ching Pui	CEA-AIM/IPGP
IHADDADENE	Kévin	LPC2E
JANVIER	Miho	IAS
JOUVE	Laurène	IRAP Toulouse
KACEM	Issaad	IRAP
KLEIN	Karl-Ludwig	LESIA
KOUTROUMPA	Dimitra	LATMOS
KRASNOSELSKIKH	Vladimir	LPC2E
KRETZSCHMAR	Matthieu	LPC2E
LAMY	Laurent	LESIA
LAVRAUD	Benoît	IRAP
LAZARO	Didier	ONERA
LE CHAT	Gaetan	OBSPM
LE CONTEL	Olivier	LPP
LEBLANC	François	LATMOS/UPMC
LECLERCQ	Ludivine	LATMOS
LEMBEGE	Bertrand	LATMOS

LEMORTON	Joel	ONERA
LILENSTEN	Jean	IPAG
LION	Sonny	LESIA
LOPEZ ARISTE	Arturo	IRAP
LOUIS	Corentin	LESIA
MAKSIMOVIC	Milan	LESIA
MARCHAUDON	Aurélie	IRAP
MASSON	Sophie	LESIA
MAZELLE	Christian	IRAP
MIRIONI	Laurent	LPP
MONCUQUET	Michel	LESIA
MONTAGUD	Victor	LPP
MORBIDELLI	Alessandro	Lagrange
MOTTEZ	Fabrice	LUTH
MUSSET	Sophie	LESIA
NICOLAS	Loïc	LPP
OZA	Apurva	LATMOS
PALIN	Laurianne	IRFU
PARIAT	Etienne	LESIA
PERRONE	Denise	European Space Agency / ESAC

PINÇON	Jean-Louis	LPC2E
PINTO	Rui	IRAP
PITOUT	Frédéric	IRAP
PLOTNIKOV	Illya	IRAP
PRADO	Jean-Yves	exCNES
QUEMERAIS	Eric	LATMOS
RENAUD	Catherine	Lagrange
RETINO	Alessandro	LPP
RÉVILLE	Victor	CEA AIM
ROUDIER	Thierry	IRAP
ROUILLARD	Alexis	IRAP
ROZELOT	Jean-Pierre	OCA Nice
SAHRAOUI	Fouad	LPP
SALAS MATAMOROS	Carolina	LESIA
SANCHEZ-DIAZ	Eduardo	IRAP
SARRIA	David	APC
SAVOINI	Philippe	LPP
SCHMIEDER	Brigitte	LESIA
SICARD-PIET	Angélica	ONERA
SOLOMON	Jacques	IAS
STECKIEWICZ	Morgane	IRAP

STRUGAREK	Antoine	Université de Montréal-CEA/SAP
TURC	Lucile	ESA/ESTEC
VARELA	Jacobo	CEA
VERDINI	Andrea	Royal Observatory of Belgium
VERNISSE	Yoann	IRAP
VIAL	Jean-Claude	IAS
VILMER	Nicole	LESIA
ZAKHARENKOVA	Irina	Planétologie et Sciences Spatiales, IPGP
ZAOUAR	Naima	LPP
ZARKA	Philippe	LESIA
ZUCCA	Pietro	LESIA
ZUCCARELLO	Francesco	LESIA

Comités d'organisation

Comité d'organisation scientifique

AUCHÈRE Frédéric (IAS) : frederic.auchere_at_ias.u-psud.fr

BOURDARIE Sébastien (ONERA) : sebastien.bourdarie_at_onera.fr

BRUN Sacha (CEA) : sacha.brun_at_cea.fr

CELESTIN Sébastien (LPC2E) : sebastien.celestin_at_cnrs-orleans.fr

CHAUFRAY Jean-Yves (LATMOS) : Jean-Yves.Chaufray_at_latmos.ipsl.fr

CORBARD Thierry (Lagrange) : thierry.corbard_at_oca.eu

DELCOURT Dominique (LPP), Directeur : dominique.delcourt_at_lpp.polytechnique.fr

FAUROBERT Marianne (Lagrange) : marianne.fauRobert_at_oca.eu

ISSAUTIER Karine (LESIA) : karine.issautier_at_obsmp.fr

KLEIN Karl-Ludwig (LESIA), Président : ludwig.klein_at_obsmp.fr

KOUTROUMPA Dimitra (LATMOS) : dimitra.koutroumpa_at_latmos.ipsl.fr

KRETZSCHMAR Matthieu (LPC2E) : matthieu.kretzschmar_at_cnrs-orleans.fr

LAMY Laurent (LESIA) : laurent.lamy_at_obsmp.fr

LILENSTEN Jean (IPAG) : jean.lilensten_at_obs.ujf-grenoble.fr

LOPEZ Arturo (IRAP) : alopezariste_at_gmail.com

PITOUT Frédéric (IRAP) : frederic.pitout_at_irap.omp.eu

ROUILLARD Alexis (IRAP) : alexis.rouillard_at_irap.omp.eu

SAHRAOUI Fouad (LPP) : fouad.sahraoui_at_lpp.polytechnique.fr

Comité d'organisation local

DELCOURT Dominique (LPP) : dominique.delcourt_at_lpp.polytechnique.fr

KLEIN Karl-Ludwig (LESIA) : ludwig.klein_at_obsmp.fr

CHEVALIER Christiane (LPP) : christiane.chevalier_at_lpp.polytechnique.fr

CHANE-YOOK Martine (IAS) : martine.chane-yook_at_ias.u-psud.fr