Propriétés Electriques d'Environnements Ionisés

Elena Seran

▶ **To cite this version:**

Elena Seran. Propriétés Electriques d'Environnements Ionisés. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Université Pierre et Marie Curie, 2015. tel-01140398

HAL Id: tel-01140398
https://insu.hal.science/tel-01140398

Submitted on 9 Apr 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dossier: **Habilitation à Diriger des Recherches**

Sujet: **Propriétés Electriques d'Environnements Ionisés**

Nom du candidat: **Elena Séran**

Laboratoire: LATMOS/IPSL, UPMC, UVSQ

Membres du jury :

1 Savoini Philippe - Président, Professeur UPMC
2 Lilensten Jean - Rapporteur, Directeur de recherche
3 Soula Serge - Rapporteur, Physicien CNAP
4 Zarka Philippe - Rapporteur, Directeur de recherche
5 Blanc Elisabeth - Examinateur, Directeur de recherche

Composition de dossier Pages

1. CV 2

2 Synthèse des travaux et projets scientifiques; liste des publications, enseignement et encadrement

2.1 Travaux 3
2.2 Projets 5
2.3 Publications et communications 11
2.4 Enseignement et encadrement 14

3. Descriptif détaillé des travaux scientifiques et projets

3.1 Travaux scientifiques 17
3.2 Projets 27

Annexe Publications les plus significatives (texte intégral) 38

1 CV

Elena Séran
Astronome Adjoint
LATMOS
UPMC, 4 place Jussieu
Elena.Seran@latmos.ipsl.fr
Tél. : 01 44 27 44 67

Depuis 2003
CETP/IPSL et ensuite **LATMOS/IPSL**, Astronome- Adjoint
- Décharges électriques : mécanismes et conditions de décharges stratosphériques, réponse ionosphérique (projet microsatellite TARANIS; « package » d'instruments SDA & OwensCam)
- Chargement électrique du régolite/poussières (application: atterrisseurs Lunaires et Martiens de l'ESA/ ROSCOSMOS et de la NASA; campagnes de mesures dans les déserts du Nevada et Owens)
- Structures aurorales méso- et petite- échelle: mécanismes de formation et de développement (projet microsatellite DEMETER, camera ALFA, radars SuperDARN, campagnes de mesures sous ballon dans la stratosphère)

2001-2003
CETP/CNRS, Saint-Maur, contrat d'ingénieur de recherche
- Développement du modèle qui permet de calculer la composition, densité, température et vitesse des ions à partir des mesures de l'analyseur d'ions à potentiel retardateur dans l'ionosphère (projet DEMETER).
- Développement du modèle du type "Particle in Ceil" pour calculer le courant collecté par une sonde de Langmuir dans un plasma ionosphérique (projet DEMETER)
- Développement du modèle qui permet de déterminer les caractéristiques des courants alignés au champ magnétique (application pour l'interprétation des mesures magnétiques de la mission ionosphérique Oersted).

1999-2001
Université de Leicester, Angleterre, département de physique et d'astronomie, contrat post-doctoral.
- Etude de mécanismes de génération des ondes d'Alfven et de précipitation d'électrons suprathermiques lors du chauffage de l'ionosphère par des ondes HF modulées
- Etude de mécanismes de génération des irrégularités de la densité électronique dans l'ionosphère
- Etude des limitations instrumentales pour la détermination de la vitesse du plasma sur la sonde ULYSSES.

1998
ESTEC/ESA, Noordwijk, Pays-Bas, bourse de recherche.
- Etude de la stabilité électrique des antennes électriques des satellites CLUSTER.

1995-1998
LPCE/CNRS, Orléans, contrat de recherche et thèse de **docteur en physique de l'Université d'Orléans**.
- Modélisation des antennes électriques dans le plasma spatial.
- Application du modèle pour l'interprétation des mesures faites par les satellites CLUSTER, POLAR, ARCAD, ROSETTA et par la fusée EIDI.

1983-1996
IKI, Institut de Recherche Spatiale, département de physique des plasmas, Moscou.
- Etude des mécanismes du chauffage des ions au passage du bow shock (projet INTERSHOCK).
- Développement des modèles permettant de déduire les paramètres du plasma ionique à partir des mesures faites par les instruments d'ions (projets INTERBALL, MARS 96).
- Développement d'algorithmes de compression d'images (projet MARS 96).

1978-1983
Université de Moscou, département de mathématiques appliquées, **diplôme de Master en mathématiques appliquées.**
- Simulation du plasma neutre d'un TOKAMAK.

2 Synthèse des travaux et projets scientifiques; liste des publications, enseignement et encadrement

2.1 Travaux

Mon activité scientifique consacrée aux études des **propriétés électriques d'environnements ionisés** s'est répartie entre théorie, modélisation et interprétation de résultats expérimentaux, avec le souci constant de bien maîtriser le fonctionnement des instruments de mesure utilisés. Cinq thèmes principaux ont été développés au cours des dernières années (voir 2.3, 3.1):

- Instruments de mesure: concept, modélisation, interprétation
    - Dans le plasma magnétosphérique
    - Dans le plasma ionosphérique
    - Dans l'atmosphère et dans les tornades de poussières

- Impact des orages magnétosphériques sur l'atmosphère/ionosphère

- "Chauffage" de l'ionosphère par les ondes HF

- Chargement électrique des poussières atmosphériques

- Décharges électriques dans l'atmosphère: mécanismes, impact sur l'ionosphère et l'atmosphère

Ces sujets à première vue bien différents, ont tous une même ligne conductrice qui est la compréhension des milieux ionisés enveloppant une planète. L'enveloppe de la planète peut être considérée comme un ensemble "multi-couches" dont chaque couche a ses propriétés particulières et son propre rôle, l'ensemble protégeant plus ou moins la planète contre les éléments hostiles de l'environnement interplanétaire. Au contact de la planète, le vent solaire est dévié par une cavité dimensionnée par le champ magnétique de celle-ci (quasi-inexistant, faible ou fort suivant le cas). Cette première couche «magnétosphère» est suivie par l'enveloppe gazeuse au contact de la planète, son atmosphère, qui absorbe/diminue le rayonnement solaire et ralentit les particules de hautes énergies. Chacune de ces couches comporte de la matière électriquement chargée, i.e. essentiellement des protons- alfas-électrons provenant du vent solaire pour la magnétosphère et essentiellement des atomes et molécules ionisés d'origine planétaire pour l'atmosphère. Les frontières entre les différentes couches ne sont pas imperméables ni pour le transfert d'énergie, ni pour le transfert de

matière. Dans la queue de la magnétosphère (à des dizaines de rayons terrestres dans le cas de la Terre) on trouve des ions atmosphériques échappés de la gravité. Dans la couche supérieure de l'atmosphère (ionosphère) on trouve des protons et de l'hélium du vent solaire. Dans les couches inférieures de l'atmosphère (parfois même considérées comme neutres) les particules électriquement chargées jouent encore un rôle important dans l'équilibre électrique. Une dis-balance d'ions positifs et négatifs, un chargement électrique des gouttelettes d'eau /glace dans les nuages et des poussières dans les tornades créent un champ électrique plus ou moins intense, variant entre une fraction de V m^{-1} dans la stratosphère "calme" jusqu'à des dizaines de kV m^{-1} dans les tempêtes de poussières et quelques centaines de kV m^{-1} dans les zones d'activité orageuse. A titre d'exemple, un échappement de matière et de rayonnements (électromagnétiques, gammas) à partir des régions de fort champ électrique crée un déséquilibre dans les régions adjacentes. On trouve des poussières échappées du sol dans la stratosphère terrestre, alors que l'on observe dans la magnétosphère des électrons énergétiques accélérés dans les nuages troposphériques. Les premières "échappées" peuvent modifier la balance radiative de l'atmosphère, les deuxièmes - la balance énergétique de la magnétosphère. C'est pour cela et malgré la spécificité de chaque région entourant la planète, qu'il est difficile de considérer chaque couche comme un système isolé. Les méthodes et les instruments que l'on propose pour analyser, mesurer et comprendre les propriétés de chaque milieu sont parfois identiques à la base, mais améliorés et adaptés pour chaque type d'environnement.

En 2014-2020 mes efforts, ainsi que les efforts de mon équipe, seront principalement concentrés sur deux sujets, i.e. le chargement électrique des poussières et les décharges électriques dans l'atmosphère. Tous les deux sont motivés par les expériences spatiales en cours de préparation, i.e. atterrisseurs martiens et lunaires avec un « package » d'instruments pour mesurer les poussières et le microsatellite TARANIS comportant un ensemble d'instruments de mesure du champ électrique et des ions thermiques dans l'ionosphère terrestre.

2.2 Projets

2.2.1 Responsable scientifique (PI) des projets

2.2.1.1 Spatiaux

2.2.1.1 IME-BF & SI: Instruments de mesure du champ électrique et du plasma à bord de microsatellite CNES TARANIS

Le satellite TARANIS est dédié à l'étude des mécanismes des décharges électriques observées dans la stratosphère pendant les orages troposphériques. En fonction de l'altitude d'apparition et de leur "topologie", ces éclairs stratosphériques sont nommés "blue-jets", "sprites", "elfes", etc. Ces phénomènes sont engendrés dans les régions de fort champ électrique, et associés aux émissions intenses d'électrons, photons, gammas, ondes électro- magnétiques. Ces émissions s'échappent de la basse atmosphère vers l'ionosphère et au-delà, dans la magnétosphère. Positionné sur une orbite héliocentrique à 700 km, le micro- satellite TARANIS a pour mission d'observer et caractériser ces phénomènes, ainsi que leurs impacts sur les propriétés de l'ionosphère. La Charge Utile de TARANIS est composée d'un détecteur d'électrons énergétiques, un détecteur de gammas, une caméra et des photomètres, une antenne électrique HF, un magnétomètre AC, un instrument de mesure du champ électrique basse fréquence et des ions thermiques. Le projet est actuellement en phase D et le lancement est prévu fin 2016 pour une durée de vie en orbite de 2 ans minimum.

Je suis PI (Principal Investigator) de l'instrument IME-BF (Instrument de Mesure Electrique Basse Fréquence) dédié principalement à la mesure du champ électrique dans une bande passante du continu à 1MHz.

Je suis également Co-PI de l'instrument SI (Sonde Ionique) en collaboration avec le GSFC NASA. Cet instrument est une sonde de Langmuir à potentiel fixe qui permet d'estimer la densité des ions thermiques.

Les capteurs de IME-BF et SI sont identiques à ceux qui ont été développés pour les missions spatiales précédentes, respectivement DEMETER et C-NOFS. Par contre, le traitement à bord a été défini spécifiquement pour TARANIS. J'ai défini en détails les différentes fonctions de l'analyseur à bord qui traitent non seulement les données des capteurs champ électrique et de la sonde ionique, mais aussi celles du champ magnétique. Je suis de très près toutes les étapes de développement des instruments sous ma responsabilité ainsi que tous les tests associés.

Pour le traitement au sol, chaque PI de TARANIS s'est engagé à développer les logiciels de traitement des données de son instrument. Ces logiciels seront intégrés en Centre de Mission de Satellite TARANIS (CMST) et fourniront les paramètres calculés à partir des mesures de chaque instrument. J'ai proposé des modèles analytiques pour estimer (i) les paramètres du plasma thermique à partir des signaux de calibration des capteurs IME-BF et des mesures de l'instrument SI. Ces modèles permettront de (ii) corriger la composante continue du champ électrique. Un jeune ingénieur en informatique développe sous ma responsabilité les logiciels de traitement des données IME-BF et SI pour le CMST. Enfin, pour estimer l'influence du chargement électrique du satellite sur les mesures du champ électrique j'ai proposé une thèse. Le but de cette thèse est de

- modéliser l'interaction satellite-plasma dans les conditions attendues le long de l'orbite de TARANIS
- calculer les charges à la surface du satellite
- calculer les charges d'espace autour du satellite (dans la gaine et le sillage)
- estimer les perturbations électriques engendrées par ces charges au niveau des capteurs IME-BF.

Cette étude sera menée en collaboration avec l'ONERA et doit démarrer avant le lancement de TARANIS.

2.2.1.2 Instrument Short Dipole Antenna (SDA) des "Dust Packages" proposé pour des atterrisseurs Lunaire et Martien de l'ESA/ROSCOSMOS

L'étude des propriétés électriques des poussières à la surface de la Lune comme à la surface de Mars présente un intérêt majeur pour la préparation des futures explorations humaines de ces objets. Les poussières lunaires, adhésives et abrasives, ont créé de nombreux problèmes à l'époque du programme Apollo. Ces poussières arrivent à s'infiltrer et se déposer dans les combinaisons des astronautes, sur les équipements (panneaux solaires, radiateurs, systèmes robotiques, filtres, etc.). Ces poussières, composées de différents types de diélectriques, sont chargées électriquement. La charge de chaque particule dépend de sa composition, de sa taille et des mécanismes du chargement électrique (chargement triboélectrique dû au mouvement relatif des particules, émissions de photoélectrons dues au rayonnement ultraviolet, impact des météorites, interaction avec les électrons/protons énergétiques, etc.). Soulevées du sol par différents mécanismes, les poussières peuvent rester en lévitation, suivre un mouvement parabolique (saltation) ou rotationnel et vertical (tornades de poussières dans les cas de Mars et de la Terre). Dans le

cas lunaire, les particules sont principalement soulevées par un champ électrique créé à la surface des irrégularités du régolite. Dans le cas de Mars (ainsi que de la Terre), elles sont portées essentiellement par le vent et les instabilités thermiques créées à la surface. Le chargement des poussières dans le mouvement peut inverser/modifier le champ électrique initial. A l'intérieur des tornades le champ électrique atteint des dizaines de kV m^{-1}.

Deux paramètres électriques primordiaux doivent pouvoir être mesurés pour l'étude de ces phénomènes : le champ électrique et la conductivité du milieu. La mesure de conductivité est délicate. Jusqu'à présent, elle s'effectuait par une mesure dite « temps de relaxation ». L'inconvénient de cette méthode est que le temps de relaxation peut être très long suivant la valeur de la conductivité du milieu, donc une résolution temporelle de la mesure faible et peu compatible avec des milieux présentant des variations temporelles rapides du champ électrique continu. Pour contourner ce problème et mesurer la conductivité de l'air prés du sol avec une résolution temporelle élevée, j'ai eu l'idée de combiner deux instruments de mesure du champ électrique : SDA modifié pour s'adapter aux milieux à conductivité faible et à champ électrique fort et variable et FM (Field Mill) installé à la hauteur de l'électrode de SDA. Une coopération entre mon équipe et le SPRL Michigan (spécialiste des FM de haute sensibilité et résolution temporelle) était initiée pour

- valider la méthode et les améliorations du « design » de SDA,
- proposer ce « package SDA+FM» pour l'atterrisseur Lunaire de l'ESA.

La situation actuelle est :

• Le projet d'atterrisseur Lunaire de l'ESA s'est arrêté en 2012 en phase B (faute de financement européen)

• SDA est proposé pour la Charge Utile des atterrisseurs Lunaires "Luna- 25" et "Luna-27" et des atterrisseurs Martien de la mission "Exomars-2018" (collaboration de ROSCOSMOS et de l'ESA) (voir 2.2.2)

2.2.1.2 Sous ballon

2.2.1.2.1 LDLE-GO (Lunar **D**ust **L**ifting **E**xperiment **GO**ndola**):** Validation du package d'instruments de mesure du champ électrique (SDA/LATMOS + FM/SPRL) proposé pour l'atterrisseur Lunaire de l'ESA (2.2.1.1) et validation de la R&T CNES "ELMIG" (2.2.1.4)

Les mesures sous ballon à une altitude d'environ 20 km permettent de valider le concept du « package » d'instruments SDA + FM dans des conditions de conductivité du milieu

comparables à celles rencontrées à la surface de Mars. Pour développer l'instrument SDA adapté aux vols sous ballon j'ai proposé une R&T au CNES (voir chapitre 2.2.1.4.1).
Deux vols ont été effectués avec succès en février et mars 2011, ESRANGE/ Suède.

2.2.1.3 Au sol

2.2.1.3.1 Instrument ALFA (Auroral Light Fine Analysis): Camera optique de type "plein ciel"

Dans le cadre de l'étude d'impact d'orages magnétiques sur l'ionosphère, j'ai défini et développé en collaboration avec mon équipe technique un instrument performant et peu coûteux nommé ALFA. La sensibilité et la résolution spatiale de cet instrument sont assurées par un capteur « Super-CCD » FUJI et un objectif "fish-eye" NIKON. L'originalité du design d'ALFA est sa mobilité, sa régulation thermique, son pilotage des paramètres (sensibilité, temps d'exposition, etc.) en "temps réel". L'avantage de cet instrument par rapport aux cameras du réseau suédois est la qualité des images (assurée par son optique et son capteur bien sûr mais surtout par le pilotage interactif du système). Cet instrument a été utilisé pour les mesures conjuguées des arcs auroraux au sol par ALFA et par les instruments de mesure du plasma à bord du satellite DEMETER à 700 km d'altitude.
Des campagnes d'observations à l'OHP, Kiruna, Svalbard, Niamey ont été effectuées avec succès en 2006- 2011

2.2.1.3.2 Instruments SDA & OwensCam: « package » d'instruments de mesure du champ électrique et d'imagerie

Afin de valider les différentes évolutions de notre instrument SDA en s'affranchissant des fortes contraintes des vols ballons, nous avons réalisé deux campagnes de mesures à la surface de la Terre. Les résultats de ces campagnes ont permis de démontrer le bien fondé du concept y compris dans des conditions de conductivité du milieu plus sévères qu'à la surface de Mars.
Des campagnes d'observations des tornades de poussières dans les déserts du Nevada (2012) et d'Owens Lake (2012) ont été effectuées avec succès.

Les caractéristiques et performances de ce « package » d'instruments champ électrique et optique nous permettent aussi de surveiller et caractériser les éclairs atmosphériques. L'ensemble de ces instruments sera utilisé lors des campagnes de mesures en conjugaison avec TARANIS.

Des campagnes conjuguées avec IME-BF /TARANIS sont prévues en 2016-2018

2.2.1.4 R&T CNES

2.2.1.4.1 ELMIG: Etude et réalisation d'une nacelle multi- instruments pour les vols sous ballon dans la stratosphère, R&T 2010-2012

Pour avoir la possibilité de tester différents instruments scientifiques sous ballon sans avoir à développer à chaque fois un nouveau système d'acquisition, de datation, de contrôle des instruments spécifiques, j'ai proposé et obtenu le financement d'une R&T CNES appelée ELMIG (Embedded and Light Multi Instruments Gondola). Ce système ELMIG léger et autonome gère les types d'interfaces les plus classiquement rencontrées sur les instruments scientifiques. Il permet donc d'intégrer facilement un instrument sans modifier le logiciel embarqué. Il suffit simplement d'adapter le fichier de configuration dédié à l'instrument.

Cette nacelle a été utilisée pour tester le fonctionnement de l'instrument SDA dans la stratosphère.

2.2.1.4.2 Sup-SDA: Etude et réalisation d'un système léger et déployable de support d'électrodes de l'instrument de mesure du champ électrique à la surface de la Lune et de planètes (Mars, Venus), R&T 2011-2014

Afin de pouvoir présenter aux appels d'offre une proposition de l'instrument SDA complet (électrodes, bras et électronique), nous avons obtenu le financement d'une R&T CNES pour l'étude d'un bras support d'électrodes déployable de faible poids appelé Sup-SDA. Ce bras innovant est développé suivant les spécifications (électriques, mécaniques, environnementales, etc.) définies par mon équipe et compatibles avec les environnements martien et lunaire.

2.2.2 Co- investigateur scientifique (CoI) des projets spatiaux

• **Package PML:** instruments de mesure des propriétés mécaniques et électriques des poussières sur la surface lunaire.

Le package fait partie de la charge utile des atterrisseurs Lunaires "Luna- 25" et "Luna-27" (2016-2018) (collaboration de ROSCOSMOS et de l'ESA). PI: A. Zakharov (IKI)

• **Package PC:** instruments de mesure des propriétés des poussières (taille, vitesse, densité, propriétés électriques) sur la surface martienne.

Le package est proposé pour la charge utile de l'atterrisseur Martien de la mission "Exomars-2018" (collaboration de ROSCOSMOS et l'ESA). PI: A. Zakharov (IKI)

2.2.3 Expertise

• Expert scientifique du groupe d'expertise CNES « Analyse de perte de ballon MIR 18.02.08 en Afrique »

• Expert identifié par le CNES (service DCT/PS/TVI) des expériences ICE (mesure du champ électrique) et IAP (analyseur de plasma) du satellite DEMETER

• Reporter of Discovery Grant proposal "Geospace Dynamics and the Aurora" for Natural Science and Engineering Research Council of Canada, 2008

• Rapporteur des revues à comité de lecture : Journal of Geophysical Research, Annales Geophysicae

• Member of ISSI international team in Space Science

- 2009-2010 "Auroral Small and Meso-Scale Structures, Origin and Function"
- 2010 "Coupling of Atmosphere Regions with Near Earth Space (CARNES)"

2.3 Publications et communications

2.3.1 Publications dans des revues à comité de lecture

Seran, E., M. Godefroy, N. Renno, H. Elliott, Variations of electric field and electric resistivity of air caused by dust motion, JGR, Space Physics, 118, 5358-5368, doi:10.1002/jgra.50478, **2013.**

N. O. Renno, E. Williams, D. Rosenfeld, D. G. Fisher, J. Fischer, T. Kremic, A. Agrawal, M. O. Andreae, R. Bierbaum, R. Blakeslee, A. Boerner, N. Bowles, H. Christian, A. Cox, J. Dunion, A. Horvath, X. Huang, A. Khain, S. Kinne, M. C. Lemos, J. Penner, U. Pöschl, J. Quaas, **E. Seran**, B. Stevens, T. Walati, T. Wagner, CHASER: An Innovative Satellite Mission Concept to Measure the Effects of Aerosols on Clouds and Climate, Bulletin of the American Meteorological Society, doi. 10.1175/BAMS-D-11-00239, **2013.**

Haerendel, G., C. Chaston, H. Frey, O. Amm, L. Juusola, R. Nakamura, **E. Seran**, J. Weygand, Birth and life of auroral arcs embedded in the evening auroral oval convection: a critical comparison of observations with theory, JGR, 117, A12220,doi: 10.1029/2012JA018128, **2012.**

J.-P. Pommereau, A. Garnier, G. Held, A. M. Gomes, F. Goutail, G. Durry, F. Borchi, A. Hauchecorne, N. Montoux, P. Cocquerez, G. Letrenne, F. Vial, A. Hertzog, B. Legras, I. Pisso, J. A. Pyle, N. R. P. Harris, R. L. Jones, A. D. Robinson, G. Hansford, L. Eden, T. Gardiner, N. Swann, B. Knudsen, N. Larsen, J. K. Nielsen, T. Christensen, F. Cairo, F. Fierli, M. Pirre, V. Marécal, N. Huret, E. D. Rivière, H. Coe, D. Grosvenor, K. Edvarsen, G. Di Donfrancesco, P. Ricaud, J.-J. Berthelier, M. Godefroy, **E. Seran**, K. Longo, and S. Freitas, An overview of the HIBISCUS campaign, Atmos. Chem. Phys., 11, 2309-2339, 2011, doi:10.5194/acp-11-2309-2011, **2011**.

H.U. Frey, O. Amm, C.C. Chaston, S. Fu, G. Haerendel, L. Juusola, T. Karlsson, B. Lanchester, R. Nakamura, N. Ostgaard, T. Sakanoi, **E. Séran**, D. Whiter, J. Weygand, Small and Meso-Scale properties of a substorm onset auroral arc, JGR, 115, A10209, doi:10.1029/2010JA015537, **2010**.

Séran, E., M. Godefroy, K. Kauristie, J.-C. Cerisier, J.-J. Berthelier, M. Lester, L.-E. Sarri, What can we learn from HF signal scattered from a discrete arc? Annales Geophysicae, 27, 1887-1896, **2009**.

Hu, Z.-J., H. Yang, D. Huang, T. Araki, N. Sato, M. Taguchi, **E. Séran**, et al., Synoptic distribution of dayside aurora : multiple-wavelength all-sky observations at Yellow River Station in Ny-Alesund, Svalbard, JASTP, 71, 794-804, **2009**.

Berthelier, J.-J., M. Malingre, R. Pfaff, **E. Séran**, R. Pottelette, J. Jasperse, J.-P. Lebreton, M. Parrot, Lightning-induced plasma turbulence and ion heating in equatorial ionospheric depletions, Nature Geoscience, 1**,** 101 – 105, **2008**

Séran, E., H.U. Frey, M. Fillingim, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, G. Parks, Demeter high resolution observations of the ionospheric thermal plasma response to magnetospheric energy input during the magnetic storm of November 2004, Annales Geophysicae, 25, 2503-2511, **2007**.

Pottelette, R., M. Malingre, J.-J. Berthelier, **E. Séran,** M. Parrot, Filamentary Alfvenic structures excited at the edges of equatorial plasma bubbles, *Annales Geophysicae*, 25, 12, 2159-2165, **2007**.

Lagoutte, D., J.Y. Brochot, D. de Carvalho, F. Elie, F. Harivelo, Y. Hobara, L. Madrias, M. Parrot, J.L. Pinçon, J.J. Berthelier, **E. Séran**, et al., The DEMETER Science Mission Centre, *Planet. Space Sci*., 54, 428-440, **2006**.

Berthelier, J.-J., M. Godefroy, F. Leblanc, **E. Séran**, Peschard, D., Gilbert, P., Artu, J., IAP, the thermal plasma analyzer on DEMETER, *Planet. Space Sci*., 54, 487-501, **2006**.

Séran, E. and J.-C. Cerisier, Current layers: influence of the finite size and non-uniform current distribution, *JASTP*, 67, 729-737, **2005**.

Séran, E., J.-J. Berthelier, F.Z. Saouri, J.-P. Lebreton, The spherical segmented Langmuir probe in a flowing thermal plasma: numerical model of the current collection, *Annales Geophysicae*, 23, 1723- 1733, **2005**.

Séran, E., Reconstruction of the ion plasma parameters from the current measurements: Mathematical tool, *Annales Geophysicae*, 21, 1159-1166, **2003**.

Wright, D.M., J.A. Davies, T.K. Yeoman, T.R. Robinson, S.R. Cash, **E. Séran***, M. Lester, P.J. Chapman, R.J. Strangeway, R.B. Horne, M.T. Rietveld, C.W. Carlson, Detection of artificially generated ULF waves by the FAST spacecraft and its application to the "tagging" of narrow flux tubes, J. Geophys. Res., 108, A2, 1090, **2003**.

Cash, S.R., J.A. Davies, **E. Seran***, T.R. Robinson, D.M. Wright, T.K. Yeoman, R.J. Strangeway, Electron acceleration observed by the FAST satellite within the IAR during a 3 Hz modulated EISCAT heater experiment, *Annales Geophysicae*, 20, 1499-1507, **2002**.

Seran, E.*, T.R. Robinson and J.A. Davies, Predicted and observed characteristics of small-scale field-aligned irregularities generated in the F-region by low power HF heating, *Annales Geophysicae*, 20, 647-653, **2002b**.

Seran, E.*, T.R. Robinson, J.A. Davies**,** D.M. Wright, M. Lester, Excitation of Alfvén waves by modulated HF heating of the ionosphere, with application to FAST observations, *Annales Geophysicae*, 20, 57-67, **2002a**.

Seran, E.* and S.W.H. Cowley, The effect of instrument limitations on the derivation of plasma flows from energetic ion anisotropies, with application to Ulysses observations at Jupiter, *Planet. Space Sci*., v.50, issue 2, 193-215, **2002**.

Khan, H., S.W.H. Cowley, **E. Seran***, M. Lester, D.J. Southwood, C.J. Owen, C.W. Smith, D.J. McComas, H.J. Singer, G.D. Reeves, M.J. Brittnacher, T.J. Hughes, L. Newitt, W.J. Hughes, J.F. Watermann, Observations of two complete substorm cycles during the Cassini Earth swing–By: Cassini magnetometer data in a global context, *J. Geophys. Res.*, 106, 30141-30175, **2001**

Geiswiller, J., J.G. Trotignon, C. Béghin and **E. Seran***, Rosetta mission mutual impedance probe modelling: the short and long Debye length plasma cases, *Astrophys. Space Science*, 277, 317-318, **2001b**.

Geiswiller, J., C. Béghin, **E. Seran***, D. Lagoutte, J.L. Michau and J.G. Trotignon, Rosetta spacecraft influence on the Mutual Impedance Probe frequency response in the Long Debye Length mode, *Planet. Space Sci*., 49, 633-644, **2001a**.

Seran, E.*, C. Béghin, R. Grard and C.P. Escoubet, The electrical stability of the electric field antennas in the plasmasphere, *JASTP*, v.63, issue 11, 1217-1224, **2001b**.

Seran, E.* and C. Béghin, The instability problem of the electric field antennas on the POLAR spacecraft, *Radio Sci.*, 36, N2, **2001a**.

Seran, E.* and C. Béghin, Application of the surface-charge distribution method to the interpretation of impedance measurements of a rocket-borne antenna, *Radio Sci.*, 33, 491, **1998**.

Béghin, C. and **E. Seran***, The Surface-Charge Distribution approach for modellization of quasistatic electric antennas in isotropic thermal plasma, *Radio Sci.*, 33, 503-516, **1998**.

Seran, E.*, Méthode des distributions superficielles de charges pour la modélisation des antennes électriques en plasma homogène, isotrope et Maxwellien, *Thèse de Doctorat*, Univ. Orléans, **1997**.

Vaisberg, O.L., **E. Seran***, G.N. Zastenker, V.N. Smirnov, Z. Nemecek, Ya. Shafrankova, I. Kozak, Fine structure in the ion distribution function behind the Earth's bow shock, *Cosmic Research*, 27(4), 545-550, **1989**.

Vaisberg, O, G. Zastenker, V. Smirnov, Z. Nemecek, Ya. Shafrankova, L. Avanov and **E. Seran***, Ion distribution function dynamics near the strong shock front (project Intershock), *Advances in space research*, 6(1), 41-44, **1986**.

Vaisberg, O.L., G.N. Zastenker, V.N. Smirnov, Z. Nemecek, Ya. Shafrankova, L.A. Avanov and **E. Seran***, The dynamics of the distribution function for ions near the front of a near-Earth shock wave, *Cosmic Research*, 24(2), 133-142, **1986**.

2.3.2 Communications 2003-2013

Seran, E., M. Godefroy, Dust Lifting Experiment (DLE): Variations of electric field and electric resistivity of air caused by dust motion, 4MS3 Planetary conference, poster and invited presentation, Moscow, **2013**

Zakharov, A.V. et **al.**, Proposal of the Dust Complex for the ExoMars-2018, 4MS3 Planetary conference, poster presentation, Moscow, **2013**

Seran, E. and M. Godefroy, Response of thermal and supra-thermal ionospheric plasma to energy input from magnetosphere and atmosphere during magnetospheric and thunder-storms: Demeter observations, ISEA13, Peru, **2012**.

M. Godefroy and **E. Seran**, EF-ATLEC multi-instruments gondola for balloon flights in stratosphere in conjunction with satellite TARANIS mission, ISEA13, Peru, **2012**.

Seran, E., M. Godefroy, N. Renno, P.-Y. Meslin, T. Kremic, Dust Lifiting Experiment for ESA Lunar Lander, ESA/ESTEC, Noordwijk, **2012**

Seran, E. and M. Godefroy, From ionosphere to dust … from micro-satellite to lander … scientific & technical approach, invited talk, NASA/GRC Innovation forum, **2012**.

Haerendel, G., et **al**., Birth and life of auroral arcs embedded in the evening auroral oval, #SM31A-2072, AGU, **2011**.

Seran, E. and M. Godefroy, MEF-ATLEC of COBRAT/TARANIS project: electric&magnetic measurements and 3D imaging of stratospheric/tropospheric discharges, ISSI team "Coupling of Atmosphere Regions with Near Earth Space (CARNES)", Bern, **2010**

Seran, E. and M. Godefroy, EF-ATLEC of COBRAT/TARANIS project: electric measurements and 3D imaging of stratospheric/tropospheric discharges, Transient Lightning Events/Transient Gamma Flash workshop, Amsterdam, **2010**.

Godefroy, M. and **E. Seran**, Emebedded, Light, Multi-Instrument Gondola (ELMIG) for balloon measurements. Concept and examples of applications for stratospheric observations in thunderstorm and auroral regions, ISSI team "Coupling of Atmosphere Regions with Near Earth Space (CARNES)", Bern, **2010**.

Seran, E. and M. Godefroy, LDLEGO: electric measurements in the auroral stratosphere during magnetospheric storms, ISSI team "Coupling of Atmosphere Regions with Near Earth Space (CARNES)", Bern, **2010**.

Seran, E, M. Godefroy, N. Renno, B. Block, Lunar Dust Lifting Experiment (LDLE) for the ESA Lunar Lander, Lunar Dust, Plasma & Atmosphere: the next steps, Boulder, **2010**.

Séran, E., What are the forces that control the motion of auroral arcs? ISSI International Team in Space Science "Auroral Small-and Meso-Scale Structures, Origin and Function", **2009**.

Séran, E., S. Cummer, J. Li, H. Frey, J.-J. Berthelier, M. Parrot, M. Godefroy, H. de Feraudy, Response of thermal ionospheric plasma to energy input from atmosphere during lightning discharges, Workshop on coupling of thunderstorms and lightning discharges, Corte, **2008**.

Séran, E., M. Godefroy, J.-C. Cerisier, K. Kauristie, L. Juusola, H. Yang, Z. Qinghe, Z. Hu, M. Lester, H. Frey, J.-J. Berthelier, M. Parrot, D. Lagoutte, J.-Y. Brochot, J. Lilensten, L.-E. Sarri, U. Braendsroem, F. Sigernes, An overview of Auroral Light Fine Analysis multi-instrumental campaigns carried out from Scandinavia in December 2006 and 2007**,** EGU, Vienna, **2008**.

Séran, E., H.U. Frey, M. Fillingim, G. Parks, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, Plasma modification in the mid-night auroral ionosphere during the magnetic storm of November 2004, EGU, Vienna, **2008**.

Séran E., H. Frey, M. Fillingim, G.Parks, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, Plasma modification in the mid-night auroral ionosphere during the magnetic storm of November 2004, Demeter-Image-Polar simultaneous observations, KuaFu meeting, Sanya, **2007**.

Séran E., M. Godefroy, U. Braendstroem, Mobile all-sky camera of the ALFA project, 33 AM, Kiruna, **2006**.

Séran E., M. Godefroy, All-sky camera of the ALFA project: common points and interests with the Wide Field Astronomical observations, Wide field imaging at Dôme C, Paris, **2006**.

Séran, E., H. Frey, G. Parks, J.-J. Berthelier, Plasma dynamics in the regions of auroral arcs: simultaneous observations by SuperDARN, IMAGE, POLAR and DEMETER, reports of EGU, Vienna, April, **2005**.

Séran, E., G. Parks, H. Frey and M. Fillingim, J.-J. Berthelier, Demeter contribution in the auroral measurements, 3rd Cluster Tail Workshop, Paris, **2005**.

Séran, E. and J.-C. Cerisier, What is wrong with the model of the infinite uniform current sheet, Proceedings of the SuperDARN meeting, Saskatoon, Canada, **2004**.

Séran, E., J.-J. Berthelier, J.-P. Lebreton, Current collection by a segmented Langmuir probe in the ionospheric plasma, 8th SCT proceedings, Huntsville, USA, **2003**.

2.4 Enseignement et encadrement

2.4.1 Enseignement

2013-2014
Ouverture sur l'entreprise, NP553 (M2), UFR 925, TP: 28h
La physique des concours ENSA, LV274, UFR 927, TD: 16h
Physique de mouvement, 1P004, UFR 925, TP: 24h

2012-2013
Fonctions, LM110, UFR 925, TD- TP -CC: 48h

2011-2012
Fonctions, LM110, UFR 925, TD- TP- CC: 44h

2010-2011
Ondes et thermodynamique, LP214, UFR 925, TP: 32h

2009-2010
Ondes et thermodynamique, LP214, UFR 925, TP: 24h
Thermodynamique et phénomènes ondulatoires, LV235, UFR 927, TP: 24h
Ondes: son et lumière, LP106, UFR 925, TP: 24 h

2008-2009
Ondes : Son et lumière, LP106, LP214, UFR 925, TP: 36h

2007-2008
Physique numérique, LP324, UFR 925, TP: 48h

2006-2007:
Physique de mouvement, LP102, UFR 925, TD- TP- CC: 64h

2005-2006
Initiation aux méthodes informatiques pour la physique, LP208, UFR 925, TD- TP- CC: 64h

2004-2005
Introduction au langage C, LE318, UFR 919, TP- CC: 64h

2003-2004
Projet langage C, LEEA, UFR 919, TP- CC : 96h

2.4.2 Encadrement

2.4.2.1 Encadrement de stagiaires

2011: M. Szocik, S. Kim (L1, Université de Michigan, 1 semaine), Campagne de mesures du champ électrique dans le désert de Nevada

2011: B. Mary (M1, 2 mois), Mesures du champ électrique dans le stratosphère auroral: impact de particules chargées

2009: J.-F. Rysman (M1, 2 mois), Développement et test d'algorithmes de traitement à bord des données du champ électrique: Projet IME-BF / Taranis

2009: F. Bonnie, K. Lam, R. O. Naeem (M2, 2 mois), Algorithmes de compression de spectres. Projet ARES/ExoMARS"

2007: C. Iatrides (L2, 2 mois), Etude et réalisation de l'instrument photomètre du projet ALFA [4]

2007: C. Moussu (L2, 2 semaines), Projet ALFA: Centrale à l'inertie [5]

2006: G. Basserie (M2, 6 mois), Développement de l'instrument optique "plein ciel" du projet ALFA (Auroral Light Fine Analysis) [6]

2005: G. Basserie (M1, 2 mois), Détection des courants parallèles à partir de mesures magnétiques au bord de satellite Demeter

2.4.2.2 Encadrement et co- encadrement de thésards, Post- Docs, CDDs

2013-2015: G. Lesage (CDD CNES), Développement d'algorithmes et modèles de traitement de mesures du champ électrique et du plasma à bord du microsatellite du CNES Taranis [1]
Responsable scientifique: E. Seran (LATMOS)

2012-2013: L. le Tiran (CDD CNES), Développement d'algorithmes et tests de traitement de mesures du champ électrique à bord du microsatellite du CNES Taranis
Responsable scientifique: E. Seran (LATMOS)

2010-2013: H. Elliott (PostDoc, University de Michigan), Electric field observations of terrestrial dust tornados: electric field and dust flow contributions [2]
Responsable scientifique: N. Renno (SPRL, Université du Michigan); Co- encadrement: 15% E. Seran (LATMOS)

2007-2009: Z.-J. Hu (PhD, PRIC), Multi-wavelength observations of day-side auroras: influence of solar wind parameters [3]
Directeur de thèse: H. Yang (PRIC); Co- encadrement: 15% E. Seran (CETP, LATMOS)

2005-2006: D. Peschard (CDD CNES, projet Demeter), Logiciel de calcul des paramètres du plasma thermique (expérience IAP à bord de Demeter) : optimisation du temps de calculs [7]
Responsable scientifique: J.-J. Berthelier (CETP) ; Co- encadrement: 10% E. Seran (CETP)

2004-2005: F. Saouri (CDD CNES, projet Demeter), Modèle numérique de la sonde de Langmuir: optimisation de la taille des cellules numériques [8]
Responsable scientifique: J.-J. Berthelier (CETP) ; Co- encadrement: 15% E. Seran (CETP)

2001-2002: S. Cash (PhD, University of Leicester), Electron acceleration by parallel electric fields created by HF heating of ionosphere [9]
Directeur de thèse: T. Robinson (Université de Leicester); Co- encadrement: 10%: E. Seran (Université de Leicester, CETP)

1998-2001: J. Geiswiller (PhD, Université d'Orléans), Modélisation d'antennes électriques à bord du satellite Rosetta [10, 11]

Directeur de thèse: J.-G. Trotignon (LPCE); Co- encadrement : 30% C. Beghin (LPCE), 15% E. Seran (LPCE, Université de Leicester)

Références

1. Seran, E., **G. Lesage**, M. Godefroy, S. Ruocco, Spécification scientifiques pour CMST: Traitement des données les 'instruments IME-BF, -MF, SI, TAR-SS-IME-BF_MF-SI-LATMOS, 2014.

2. Seran, E., M. Godefroy, N. Renno, **H. Elliott**, Variations of electric field and electric resistivity of air caused by dust motion, JGR, Space Physics, 118, 5358-5368, doi:10.1002/jgra.50478, 2013.

3. **Hu, Z.-J.,** H. Yang, D. Huang, T. Araki, N. Sato, M. Taguchi, E. Séran, et al., Synoptic distribution of dayside aurora : multiple-wavelength all-sky observations at Yellow River Station in Ny-Alesund, Svalbard, JASTP, 71, 794-804, 2009.

4. **C. Iatrides,** Etude et réalisation de l'instrument photomètre du projet ALFA, http://taranis.latmos.ipsl.fr/ALFA_web/Rapport_CI.pdf, 2007

5. **C. Moussu,** Projet ALFA: Centrale à l'inertie, http://taranis.latmos.ipsl.fr/ALFA_web/image/Rapport_Clement.pdf, 2007

6. **G. Basserie**, Développement de l'instrument optique "plein ciel" du projet ALFA (Auroral Light Fine Analysis), http://taranis.latmos.ipsl.fr/ALFA_web/image/Rapport_GM.pdf, 2006

7. Berthelier, J.-J., M. Godefroy, F. Leblanc, E. Séran, **Peschard, D**., Gilbert, P., Artu, J., IAP, the thermal plasma analyzer on DEMETER, *Planet. Space Sci*., 54, 487-501, 2006.

8. Séran, E., J.-J. Berthelier, **F.Z. Saouri**, J.-P. Lebreton, The spherical segmented Langmuir probe in a flowing thermal plasma: numerical model of the current collection, *Annales Geophysicae*, 23, 1723- 1733, 2005a.

9. **Cash, S.R.,** J.A. Davies, E. Seran*, T.R. Robinson, D.M. Wright, T.K. Yeoman, R.J. Strangeway, Electron acceleration observed by the FAST satellite within the IAR during a 3 Hz modulated EISCAT heater experiment, *Annales Geophysicae*, 20, 1499-1507, 2002.

10. **Geiswiller, J.,** C. Béghin, E. Seran*, D. Lagoutte, J.L. Michau and J.G. Trotignon, Rosetta spacecraft influence on the Mutual Impedance Probe frequency response in the Long Debye Length mode, *Planet. Space Sci*., 49, 633-644, 2001.

11. **Geiswiller, J.,** J.G. Trotignon, C. Béghin and E. Seran*, Rosetta mission mutual impedance probe modelling: the short and long Debye length plasma cases, *Astrophys. Space Science*, 277, 317-318, 2001.

3 Descriptif détaillé des travaux scientifiques et projets
3.1 Travaux scientifiques
3.1.1 Instruments de mesure: concept, modélisation, interprétation

3.1.1.1 Dans le plasma magnétosphérique

• Etude des limitations instrumentales pour la détermination de la vitesse du plasma [Séran, E.* et S. Cowley, 2002].

Ce travail a été motivé par l'énigme posée lors du passage de la sonde ULYSSES à proximité de Jupiter en 1992, où deux instruments de mesure d'ions énergétiques donnèrent des directions opposées du flux des ions dans la magnétosphère externe de Jupiter. La connaissance du sens de la circulation du plasma autour d'une planète est essentielle pour comprendre l'équilibre des forces qui engendrent ce mouvement. La magnétosphère de Jupiter est la plus vaste et la plus puissante du système solaire. Elle s'étend sur le plus de 7 millions de kilomètres en direction du Soleil (~100 R_J) et cent fois plus dans la direction opposée. Par rapport à la magnétosphère de la Terre contrôlée principalement par le vent solaire, la magnétosphère de Jupiter est façonnée par le mouvement propre de la planète. Les mesures de la sonde ULYSSES sont importantes pour savoir jusqu'à quelles distances le mouvement rotationnel domine le mouvement engendré par le vent solaire.

Nous avons développé un modèle analytique qui a permis:

- d'estimer la contribution d'anisotropies et de la composition du plasma ionique sur les mesures de deux instruments,
- de séparer les composantes de la vitesse du plasma parallèles et perpendiculaires au champ magnétique,
- d'analyser en détail des effets instrumentaux (couverture spatiale, énergies limitées, rotation du satellite, cross calibration, etc.),
- de prendre en compte les effets non attendus engendrés par les électrons énergétiques

et enfin

- d'obtenir des résultats concordants pour les 2 instruments pour conclure que la vitesse du plasma dans les régions externes de la magnétosphère (entre 100 et 90 R_J) est engendrée par le vent solaire.

• Un modèle de l'interaction d'une onde HF avec le plasma Maxwellien a été développé [Séran, E.*, 1997] et utilisé pour simuler le fonctionnement des antennes électriques et interpréter les données fournies par les expériences spatiales.

Ce modèle permet de calculer la distribution des charges sur l'antenne elle-même, aussi bien que sur les structures du satellite, et en conséquence, d'estimer les courants qui se ferment à travers le plasma et l'influence du couplage entre l'antenne et le satellite. Le modèle a permis:

• D'interpréter le phénomène des instabilités des antennes HF du satellite POLAR lors de la traversée du plasma dense (de plasmasphère ou cornet polaire) et expliquer les oscillations du système à contre-réaction capteur/garde lorsque les conditions locales du plasma favorisent une contre-réaction inductive entre l'antenne et le plasma [Seran* et al., 2001a,b]. Ce travail a contribué à la redéfinition du design des antennes HF à bord du satellite CLUSTER-2.

• De calculer la réponse de l'antenne HF à impédance mutuelle de l'expérience Isoprobe du satellite ARCAD-3 et retrouver la température des électrons à partir de la variation du potentiel mesuré autour de la fréquence du plasma électronique [Seran*, 1997]. Ce modèle, ensuite, a été appliqué pour simuler la réponse de l'antenne MIP à bord de la sonde Rosetta [Geiswiller et al., 2001 a,b].

3.1.1.2 Dans le plasma ionosphérique

• Un modèle numérique de type "Particle In Cell" a été développé pour simuler l'interaction d'une sonde de Langmuir avec le plasma que l'on trouve dans l'ionosphérique terrestre à 700 km d'altitude [Séran et al., 2005a].

Une des spécificités des mesures électrostatiques dans le plasma à ces altitudes est la formation d'une gaine autour de la sonde. Les propriétés du plasma à l'intérieur de la gaine sont très différentes de celles du plasma non perturbé (Fig. 3.1.1.2a). En conséquence, pour retrouver les paramètres du plasma (non perturbé) à partir du courant mesuré par la sonde une modélisation est nécessaire. Le modèle a été développé pour expliquer les mesures de la Sonde de Langmuir à bord du microsatellite DEMETER et il sera appliqué pour interpréter les données de la Sonde Ionique et du Champ Electrique à bord de microsatellite TARANIS [voir 3.2.4.3].

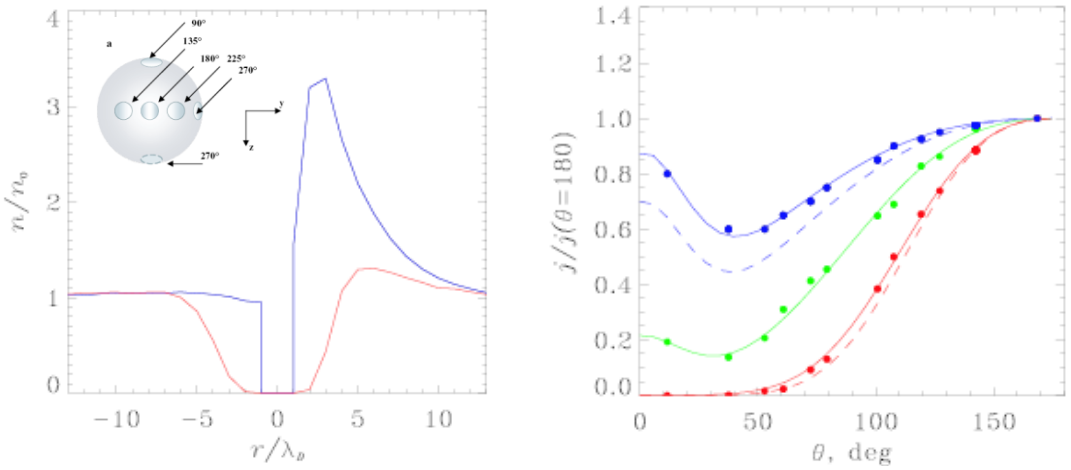

Fig. 3.1.1.2a Résultats de modélisation d'une sonde sphérique dans le plasma ionosphérique [Séran et al., 2005a]. **A gauche**, la distribution de la densité des ions 'oxygène (bleu) et des électrons (rouge) dans la gaine autour de la sonde. **A droite**, la variation du courant sur la surface de la sonde sphérique en fonction de l'angle latitudinal par rapport à la direction de la vitesse des ions dans le plasma thermique.

• Un modèle analytique pour calculer les paramètres du plasma thermique à partir du courant collecté par l'analyseur à potentiel retardateur a été développé [Seran, 2003].

Ce modèle prend en compte les différents effets instrumentaux, tels que l'ouverture effective de l'analyseur ou les pertes d'ions sur les parois de l'analyseur et leur absorption sur les grilles d'entrée. Le modèle permet de calculer la composition ionique, la température et la vitesse du plasma à partir du courant mesuré par l'instrument (Fig. 3.1.1.2b) Ce modèle était intégré dans les logiciels de traitement des données de l'instrument IAP du centre de mission DEMETER.

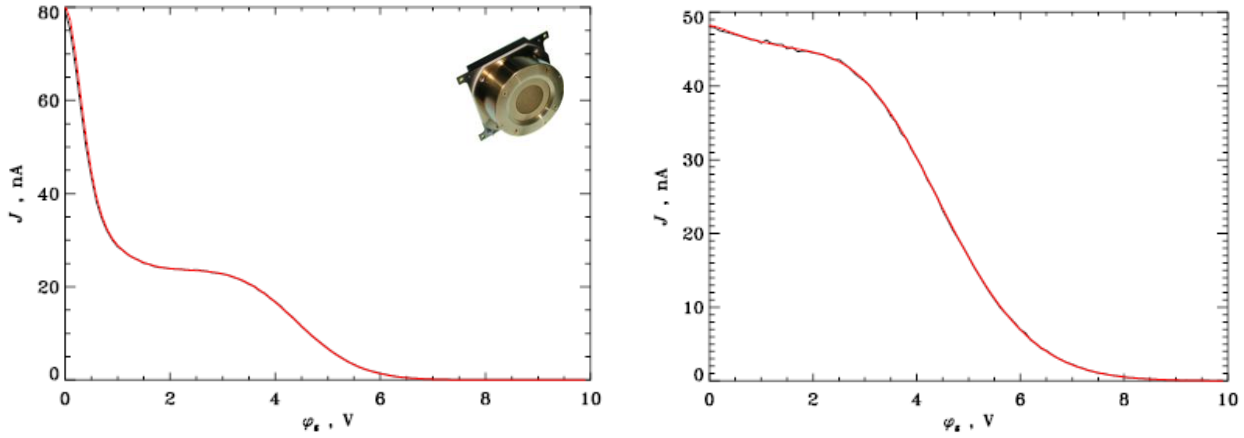

Fig. 3.1.1.2b Résultats de modélisation de l'analyseur dans le plasma ionosphérique [Séran et al., 2003]. La variation du courant en fonction du potentiel appliqué sur la grille à l'entrée de l'analyseur. Les paramètres du plasma sont: **(a gauche)** T_i = 0.09 eV, n(O+)= 1.6 10^{10} m^{-3}, n(He+)= 4 10^{9} m^{-3}, n(H+)= 3 10^{10} m^{-3}; **(a droite)**, T_i = 0.019 eV, n(O+)= 3 10^{10} m^{-3}, n(He+)= n(H+)= 10^{9} m^{-3}.

C'est la première fois et grâce à mon modèle que:

- le courant engendré par les électrons thermiques et
- les paramètres et composition des ions supra- thermiques

ont été déduits [Seran et al., 2007, 2009] à partir des mesures d'un analyseur à potentiel retardateur. Les résultats du modèle ont été utilisés dans de nombreuses publications [voir, par exemple, Berthelier et al., 2006, 2008].

• Un modèle de l'interaction de l'antenne électrique du type "dipôle double brin" avec le plasma ionosphérique a été développé pour expliquer la réponse en fréquence (jusqu'à présent inexpliquée) de l'instrument de mesure du champ électrique HF EIDI à bord d'une fusée.

Les variations de la résistance du dipôle autour de la fréquence du plasma électronique sont expliquées par la formation d'une gaine autour de l'antenne et une accumulation des charges à ses extrémités [Séran* et al., 1997 et 1998].

3.1.1.3 Dans l'atmosphère et dans les tornades des poussières

• Un modèle du couplage électrique entre l'instrument SDA (Short Dipôle Antenna) de mesure du champ électrique (DC - few kHz) et l'air a été développé [Séran et al., 2013] pour interpréter les observations du champ électrique dans l'atmosphère terrestre et en particulier au sol, dans les régions désertiques lors du passage de tornades de poussières (voir 3.1.4).

Pour la première fois ce type d'instrument a permis de mesurer le champ électrique continu et la conductivité de l'air au sol. Pour tester le modèle, les observations simultanées de deux instruments de mesure du champ électrique, SDA et FM (Field Mill) ont été effectuées lors d'une campagne de mesures dans le désert du Nevada. Ces observations ont permis de

- justifier le design de l'instrument et la méthode proposée,
- estimer
    - les perturbations engendrées dans l'air par une électrode polarisée,
    - la relation entre la résistance du couplage électrique électrode- air et la résistivité de l'air;
    - la résistivité électrique de l'air (paramètre qui est extrêmement difficile de mesurer dans la basse atmosphère de la Terre).

Le modèle sera utilisé pour interpréter les mesures du champ électrique sur la surface de Mars et de la Lune.

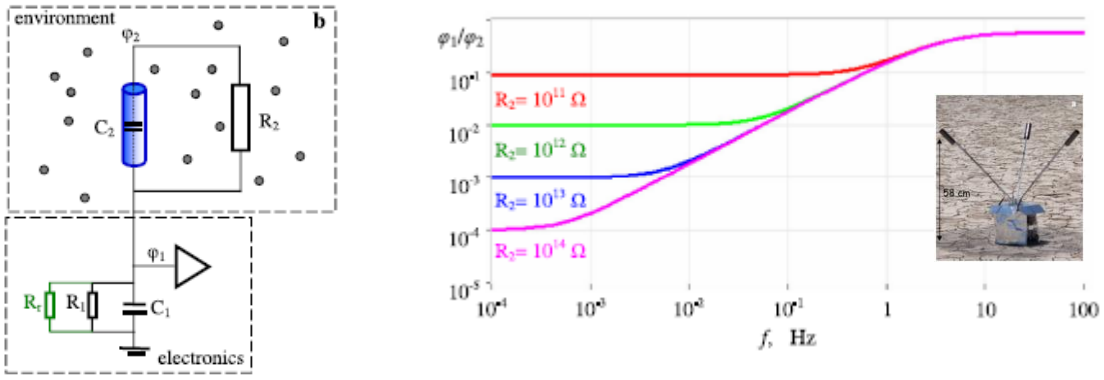

Fig. 3.1.1.3 **A gauche**, un schèma simplifié du couplage électrique: électronique SDA - électrode - environnement. **A droite**, la variation du potentiel mesuré normalisé sur la valeur du potentiel de l'air non perturbé en fonction de la résistance de l'air R_2.

3.1.2 Impact des orages magnétosphériques sur l'atmosphère/ionosphère

3.1.2.1 Mécanismes de formation d'arcs auroraux

Les observations d'arcs auroraux effectuées simultanément par des radars HF et des caméras optiques sont rares car les ondes HF sont souvent absorbées dans les régions de précipitation d'électrons énergétiques. Les observations de la convection du plasma ionosphérique (estimées à partir des mesures HF) à l'intérieur et autour des arcs sont importantes pour la compréhension des mécanismes de formation de ces arcs, ainsi que l'impact des électrons énergétiques sur l'ionosphère. Lors de notre campagne d'observations conjuguées entre nos instruments à bord du satellite DEMETER dans l'ionosphère (à 700 km), la caméra optique ALFA au sol (installée à Kiruna) et les radars HF (installés en Finlande), un arc discret a été observé par ces instruments. Ces observations ont permis [Séran et al., 2009]

- de caractériser les courants électriques et les photo-émissions associées à cet arc,
- d'étudier les mécanismes de formation des irrégularités de la densité électronique (cibles de rétrodiffusion des ondes HF) à l'intérieur de l'arc,
- de comparer le mouvement de l'arc avec la convection du plasma,
- d'estimer l'impact des électrons énergétiques (précipités le long des lignes du champ magnétique dans l'ionosphère) sur le plasma thermique et
- de caractériser la région d'accélération des électrons énergétiques.

Ces études ont été poursuivies dans des publications plus récentes, i.e. Frey et al., [2010] et Haerendel et al., [2012].

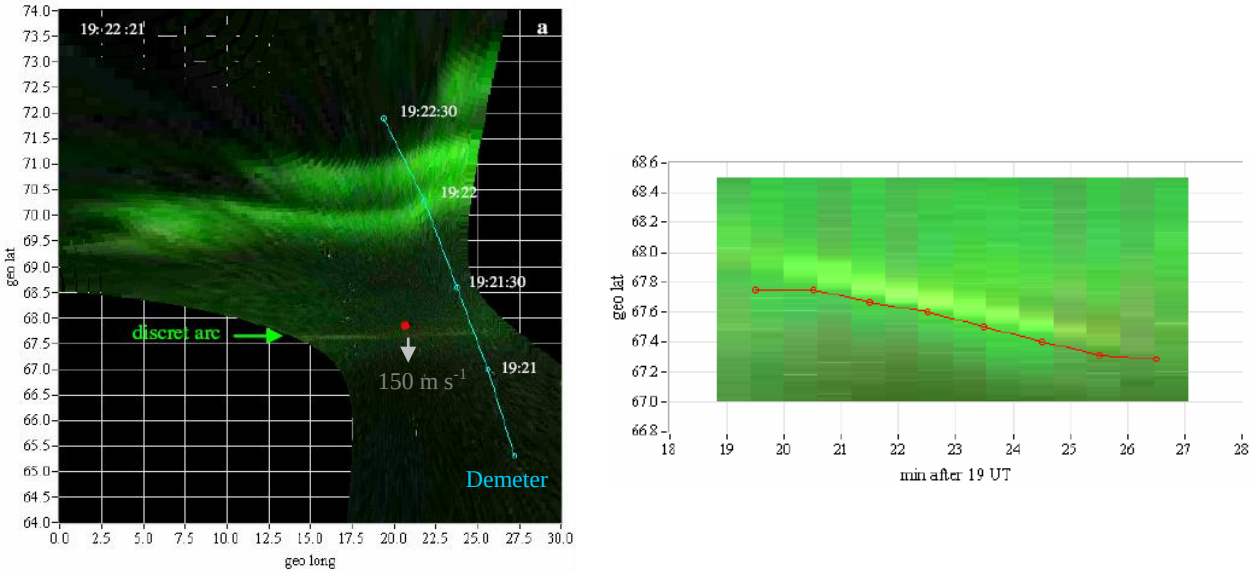

Fig. 3.1.2.1a (a gauche) Photo- émissions observées par la caméra optique ALFA installée à l'ESRANGE et trajectoire du satellite Demeter. **(A droite)** Mouvement de l'arc vers le sud observé par la caméra (vert) et les radars HF (cercles en rouge).

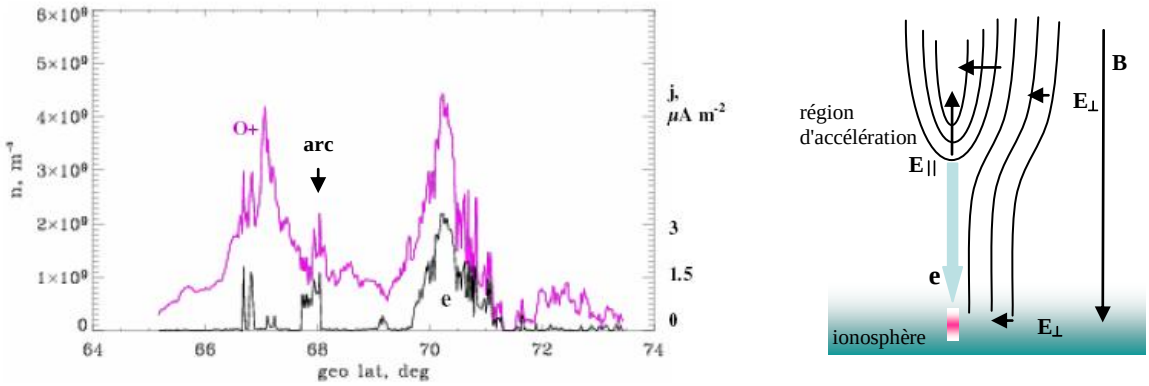

Fig. 3.1.2.1b (a gauche) Variations du courant électronique et de la densité des ions oxygène calculées à partir des mesures de l'analyseur d'ions IAP à bord de Demeter. **(A droite)** Schéma simplifié de la distribution des l'équipotentielles entre la région de l'accélération et l'ionosphère.

3.1.2.2 Impact des électrons et protons énergétiques sur le plasma ionosphérique

Des observations optiques à partir d'un satellite placé sur une orbite elliptique présentent l'avantage de fournir des images d'ovales auroraux entiers. Les caméras à bord du satellite IMAGE donnent un aperçu global et instantané des processus énergétiques qui ont lieu sur les frontières magnétosphériques. Les électrons et protons énergétiques, accélérés sur les frontières, précipitent le long des lignes du champ magnétique vers l'ionosphère et réagissent avec la matière ionosphérique. Pour comprendre l'effet d'orages magnétosphériques sur

l'ionosphère, les observations globales combinées aux observations effectuées in situ dans l'ionosphère sont essentielles.

Les observations du plasma et des émissions ultraviolettes effectuées simultanément à bord du satellite DEMETER (dans l'ionosphère) et du satellite IMAGE (dans la magnétosphère) ont permis [Séran et al., 2007]

- d'analyser les variations engendrées dans l'ionosphère aurorale et sub-aurorale lors d'un orage magnétique;
- de mettre en évidence
  - la formation de plusieurs couches de courants alignés au champ magnétique,
  - l'échappement rapide d'ions hydrogène de l'ionosphère,
  - l'augmentation de la densité et la diminution de la température des ions oxygène thermiques à l'intérieur des couches de courants montants,
  - le retournement de la convection du plasma dans l'ionosphère engendré par le champ électrique des anneaux de courants dans la queue magnétosphérique,
  - le chauffage des ions suprathermiques dans la région de cisaillement de la convection et
  - de proposer les mécanismes d'échappement des ions oxygène thermiques et supra-thermiques.

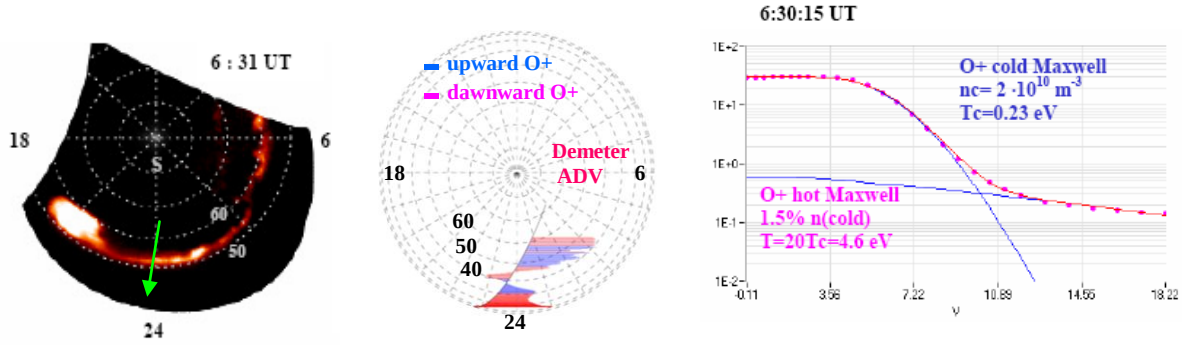

Fig. 3.1.2.2a (a gauche) Image d'ovale auroral obtenue par la camera WIC à bord d'IMAGE. **(au centre)** Vitesse du plasma dans l'ionosphère mesurée par l'analyseur d'ions ADV/DEMETER. **(à droite)** Le courant mesuré par l'analyseur à potentiel retardateur APR/DEMETER (cercles en rouge) et le courant calculé à partir du modèle développé par Séran [2003] avec deux populations d'oxygène, i.e. thermique et suprathermique (en bleu).

3.1.2.3 Couches de courants alignés au champ magnétique

Un modèle analytique pour calculer les perturbations du champ magnétique engendré par les courants électriques alignés au champ magnétique a été proposé [Séran et Cerisier, 2005] pour

- estimer l'effet de distributions non uniformes et dimensions finies des structures de

courants sur les perturbations magnétiques ;

- étudier les observations conjuguées du champ magnétique à bord du satellite OERSTED et des radars HF au sol;

- analyser la convection du plasma et les perturbations de la densité électronique dans les régions de fermeture des courants (en basse ionosphère).

Le modèle a été utilisé dans des publications plus récentes, i.e. Seran et al. [2007 et 2009], Pottelette et al. [2007].

3.1.3 "Chauffage" de l'ionosphère par les ondes HF

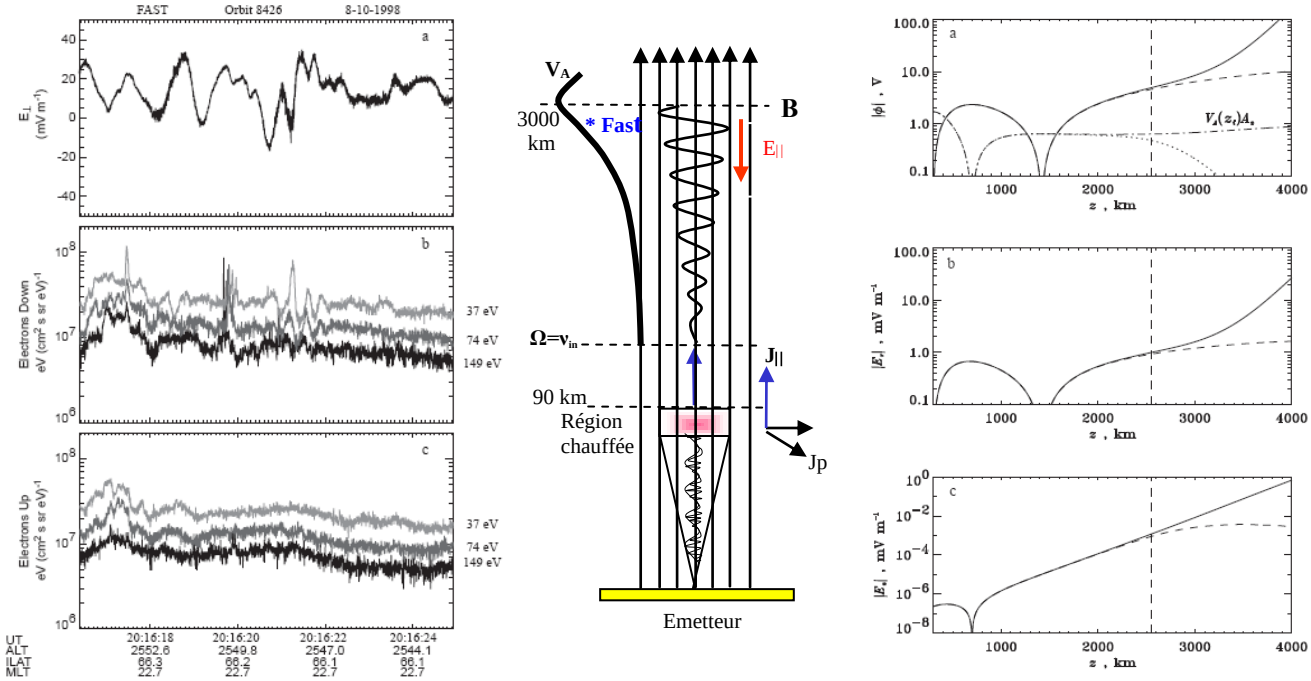

Fig. 3.1.3 (**a gauche**) Les mesures faites par le satellite FAST dans la magnétosphère à l'altitude de 2500 km au-dessus de la région de l'ionosphère chauffée par les ondes HF modulées. Entre 20:16:20 et 20:16:22 on observe: (a) une variation de la composante perpendiculaire du champ électrique avec la fréquence de la modulation des ondes HF et (b) des accélérations impulsionnelles des électrons suprathermiques vers l'ionosphère. (**au milieu**) Le modèle proposé pour expliquer l'excitation d'une onde d'Alfven à partir de la basse ionosphère. **(a droite)** Les variations en altitude du potentiel (a), des composantes perpendiculaires (b) et parallèles (c) du champ électrique, calculées à partir du modèle. L'amplitude du champ électrique aligné au champ magnétique de l'ordre du μV m^{-1} explique l'accélération des électrons observée à bord du satellite FAST.

Les expériences "actives", ayant l'avantage de contrôler la source (puissance, fréquences, temps, etc.) des perturbations générées, sont quasi idéales pour étudier les propriétés des milieux. Les radars HF installés à Tromso (Norvège) sont principalement dédiés aux études de la basse ionosphère en utilisant des observations de différents instruments au sol lors d'émissions d'ondes HF modulées. Pour comprendre l'impact des émissions HF (dites

"chauffage HF") sur la haute ionosphère, le radar HF de Tromso a fonctionné lors du passage du satellite FAST au-dessus de la région de l'ionosphère "chauffée" par les ondes HF.

• Pour expliquer des mesures du champ électrique et d'électrons à bord du FAST, j'ai développé un modèle de génération d'onde d'Alfvén par le "chauffage HF" (fig. 3.1.3). Ce modèle inclut [Séran* et al., 2002a] l'excitation d'un système de courant ionosphérique due aux modifications de la conductivité dans la couche d'absorption des ondes HF, les conditions aux limites entre l'ionosphère et la magnétosphère et les propriétés de propagation des ondes d'Alfvén dans l'ionosphère.

Ce travail a permis

- d'interpréter les observations du satellite FAST faites à l'altitude de 2500 km (au-dessus de la région chauffée) et, en particulier,
- d'expliquer
    - l'amplitude du champ électrique transverse,
    - ainsi que l'accélération des électrons suprathermiques

Ces études ont été poursuivies dans des publications plus récentes, i.e. [Séran* et al., 2002b], Cash et al., [2002], Wright et al., [2003].

• Pour comprendre le mécanisme de génération des irrégularités alignées de petite échelle dans l'ionosphère lors d'expériences de chauffage HF j'ai analysé les mesures des signaux détectés par le radar HF à rétrodiffusion SuperDARN/CUTLASS [Seran* et al., 2002b].. Cette analyse a permis :

- d'étudier
    - la variation de la puissance rétrodiffusée des régions "chauffées" par les ondes HF,
    - les conditions de développement de l'instabilité thermique
- et d'estimer les perturbations de la température et de la densité d'électrons à l'intérieur des irrégularités formées dans la basse ionosphère**.**

3.1.4 Chargement électrique des poussières

Les observations effectuées simultanément par deux instruments de mesure du champ électrique, i.e. Field Mill (FM) et Short Dipôle Antenne (SDA), lors d'une campagne de mesures dans le désert du Nevada ont permis de [Séran et al., 2013]

- confirmer le design de l'instrument SDA,

- prouver que le modèle proposé pour calculer le potentiel et la résistivité de l'air à partir des mesures SDA (voir 3.1.1.3) était exact,

- analyser les propriétés électriques des poussières,

- proposer un modèle pour calculer la distribution des charges électriques portées par les poussières à l'intérieur des tornades et dans les conditions "calmes",

- proposer un modèle pour expliquer les émissions électrostatiques observées par SDA,

- démontrer la relation entre la vitesse du vent et les événements de lévitation des poussières

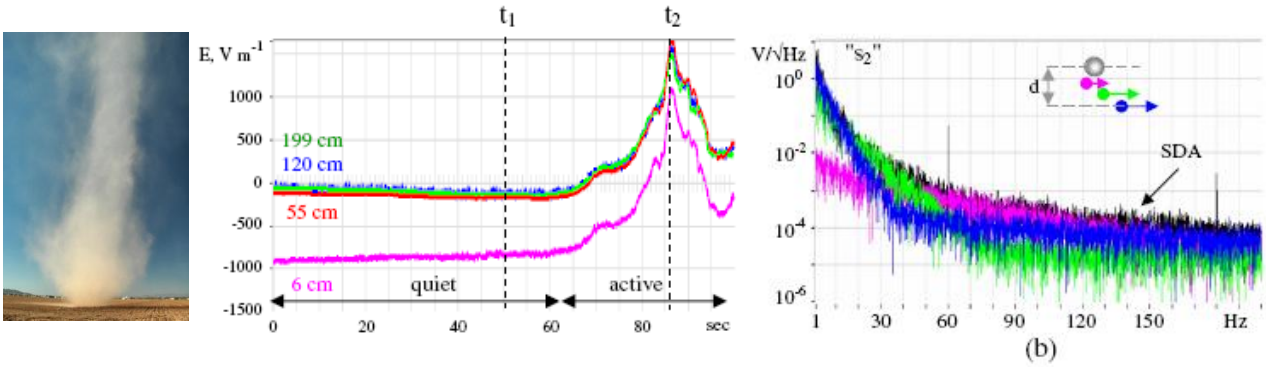

Fig. 3.1.4a (**à gauche**) Tornade de poussières observée dans le désert du Nevada. **(au centre)** Variation du champ électrique vertical mesurée à quatre hauteurs par rapport au sol lors d'un passage de tornade. **(à droite)** Spectres du champ électrique lors d'un passage de tornade mesurés (en noir) et modélisés (en couleur).

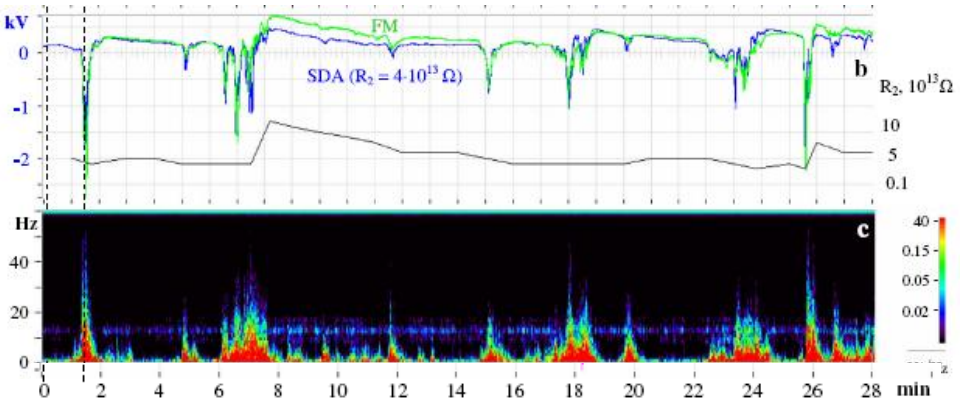

Fig. 3.1.4b (**b**) Variations temporelles du potentiel électrique calculées à partir des mesures des deux instruments, FM (vert) et SDA (bleu), ainsi que la résistance de couplage électrique entre les électrodes de SDA et l'air. (**c**) Spectrogramme obtenu à partir des mesures SDA. Chaque augmentation de l'amplitude du potentiel correspond au passage d'une tornade.

3.1.5 Décharges électriques dans l'atmosphère: mécanismes, impact sur l'ionosphère et l'atmosphère

Voir 3.1.1-3.1.3, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4

3.2 Projets

3.2.1 Spatiaux

3.2.1.1 IME-BF & SI: Instruments de mesures du champ électrique et du plasma à bord de microsatellite CNES TARANIS

Les objectifs scientifiques des instruments IME-BF & SI du projet TARANIS se décomposent en deux grandes parties. La première est dédiée au développement de l'instrument IME-BF et la deuxième à la science qu'on envisage de faire en utilisant les mesures du champ électrique à bord du satellite TARANIS. Les deux tâches sont fortement liées.

Les instruments IME-BF & SI comportent:

- l'antenne électrique de type dipôle double- sphère (DC – 3 MHz) et ses bras déployables,
- une Sonde Ionique pour mesurer la densité du plasma,
- l'analyseur de traitement à bord (données électriques, magnétiques et de la Sonde Ionique : de 0 à 20 kHz).

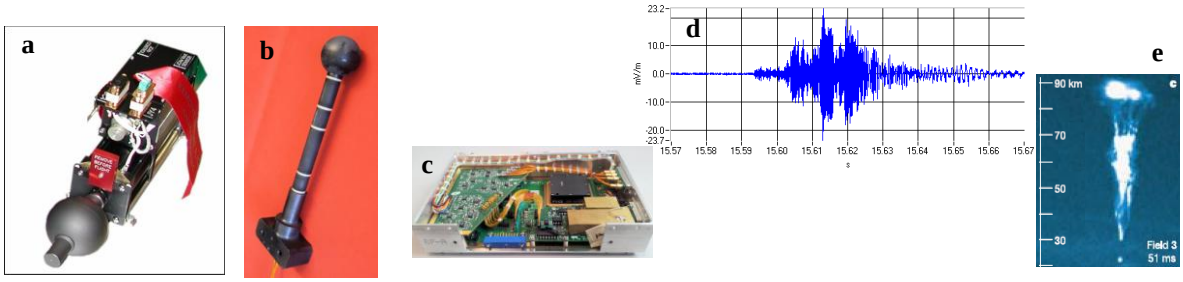

Fig.3.2.1.1 (a) Capteur IME-BF monté sur son bras déployable; **(b)** Sonde SI; **(c)** L'analyseur ; **(d)** Signal engendré par des décharges atmosphériques et observé dans l'ionosphère (ICE/Demeter); **(e)** Image d'un blue jet.

Ma contribution scientifique se partage entre les tâches suivantes :

- Lors de la **phase de développement** de l'instrument
  i. la définition des caractéristiques des instruments (sensibilité, dynamique, etc.)
  ii. la définition et justification des traitements à bord (bandes de fréquences, échantillonnage, fenêtrage, compression, etc.)
  iii. la définition et justification des modes de fonctionnement de l'instrument et de l'ensemble de la charge utile scientifique
  iv. la proposition du principe de calibration du senseur au sol (simulation de la gaine du plasma)
  v. la définition des valeurs du potentiel du plasma à partir des mesures d'IME-BF le long de l'orbite
  vi. la proposition du principe de l'inter- calibration des instruments de mesure du champ électrique BF (0- 20 kHz), MF (20 kHz - 1 MHz), et HF (100 kHz - 30 MHz

vii. la définition- écriture- tests des logiciels de traitement scientifique (Niveau 1, Niveau 2) et l'intégration des logiciels dans la chaîne du traitement du centre de mission TARANIS
viii. le développement d'algorithmes de détection automatique des "sifflements"
ix. le développement du modèle de propagation des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère, ionosphère, magnétosphère avec l'objectif de localiser et caractériser la source atmosphérique des décharges électriques
x. l'analyse des perturbations du potentiel du satellite dans le plasma ionosphérique [voir 3.2.4.3].

- Lors de la **phase de « Recette en vol »**

1. les vérifications des télécommandes, du traitement à bord et du transfert des données par télémétrie
2. l'analyse et correction des variations du potentiel de chaque sphère du dipôle électrique en fonction de la latitude et du temps local
3. l'identification des signaux perturbateurs induits par les autres instruments à bord et par les structures externes du satellite
4. l'analyse des résultats de calibration
5. l'ajustement des courants senseurs/plasma

- Lors de la **phase « Opérationnelle en vol »**

6. la programmation des modes de fonctionnement et du courant de polarisation des senseurs
7. l'organisation de campagnes multi- instruments satellite- sol

Un des avantages de notre projet est la continuité du travail effectué par l'équipe d'IME-BF&SI depuis quelques années sur les projets précédents, i.e. micro- satellites DEMETER/CNES et C/NOFS/NASA. Les senseurs pour mesurer le champ électrique, magnétique et la sonde ionique sont similaires à ceux de TARANIS. Six ans d'observations de DEMETER et deux ans d'observations de C/NOFS nous permettent de justifier et tester

- toutes les fonctions de l'instrument lors des phases de développement et d'adapter au mieux les paramètres pour les mesures dans l'ionosphère des phénomènes liés aux décharges atmosphériques
- le principe de calibration en vol
- l'estimation de la composante du champ électrique engendrée par le mouvement du satellite dans le champ magnétique
- les modèles de propagation des ondes électromagnétiques

- les modèles du chargement électrique du satellite dans le plasma ionosphérique (voir 3.2.4.3)

Calendrier du projet

Début des phases A/B	2005
PDR des instruments scientifiques de mission TARANIS	2009
Début de phase C	2011
Intégration de la charge utile scientifique "Engineering model"	2013
CDR des instruments scientifiques de mission TARANIS	2014
⇒ Début de phase D	2014
Intégration de la charge utile scientifique « Flight model »	2014-2015
Lancement du satellite TARANIS	2016
Phase "Opérationnelle en vol "	2016-2018

Equipe IME-BF & SI du LATMOS et de la NASA GSFC

• LATMOS
- E. Seran : PI
- M. Godefroy : IR électronique, PM/responsable Capteurs
- S. Ruocco : IE électronique, PM/responsable Analyseur
- G. Lesage : IR informatique, CDD CNES/CMST TARANIS
- F. Bertrand : AI informatique, Logiciels traitement sol
- F. Vivat : IR informatique
- I. Tchoumakova : AI gestionnaire, Communication

• NASA GSFC
- R. Pfaff : CoI
- R. Douglas : CoI
- J. Klenzing : CoI
- M. Fowle : IR mécanique
- R. Fourre : IR électronique
- T. Cameron : IE électronique

Références

=> **http://taranis.latmos.ipsl.fr/**

Seran, E. and M. Godefroy, Etude des perturbations électriques dues à la connexion du plasma ionosphérique avec les structures et matériaux externes du satellite TARANIS, Proposition de thèse CNES 2015-2017, 2014

Seran, E., G. Lesage, M. Godefroy, S. Ruocco, Spécifications scientifiques de traitement des données des instruments IME-BF et SI pour le Centre de Mission Taranis, TAR-SS_CMT-IME-BF-SI-LATMOS-ES_nov_2012.doc, 2013

Seran, E. and M. Godefroy, Taranis IME-BF & SI: Calibration & Validation, TAR-CAL_VAL_IME-BF-SI - LATMOS-ES-MG_fevr_2013.doc, 2013

Seran, E., Analytical model proposed for the data processing of the signal measured by SI probe, presentation in NASA/GSFC, October, 2013.

Godefroy, M., S. Ruocco, **E. Seran**, STB et DD IME-BF & SI, TAR-SP-S-7-MB-6500-LATMOS, TAR-DD-S-7-MB-6505-LATMOS, TAR-DD-S-7-MB-6551-LATMOS, 2013

Seran, E. and M. Godefroy, From ionosphere to dust … from micro-satellite to lander … scientific & technical approach, Invited Talk, NASA/GRC Innovation forum, 2012.

Seran, E. and M. Godefroy, Response of thermal and supra-thermal ionospheric plasma to energy input from magnetosphere and atmosphere during magnetospheric and thunder-storms: Demeter observations, ISEA13, Peru, 2012.

Klenzing, J, **E. Seran**, R. Pfaff, D. Rowland, Calibration algorithm for the fixed-bias Langmuir probe on Taranis, NASA/GSFC rapport, 2012.
Seran, E., et al., The spherical segmented Langmuir probe in a flowing thermal plasma: numerical model of the current collection, *Annales Geophysicae*, 23, 1723- 1733, 2005.
Seran, E., Reconstruction of the ion plasma parameters from the current measurements: Mathematical tool, Annales Geophysicae, 21, 1159-1166, 2003.

3.2.1.2 Instrument Short Dipole Antenna (SDA) des "Dust Packages" pour des atterrisseurs Lunaire et Martien de l'ESA/ROSCOSMOS

En avril 2009, l'équipe du LATMOS en collaboration avec deux autres laboratoires français, i.e. IRSN et LMD, et un laboratoire américain du Plasma Spatial (SPRL/Université du Michigan) a répondu au RFI de l'ESA « First Lunar Lander ». Dans cette réponse nous proposions une expérience intitulée Lunar Dust Lifting Experiment (LDLE) pour étudier les propriétés de la poussière lunaire et les mécanismes de leur chargement électrique et transport. L'expérience LDLE comporte deux instruments de mesure du champ électrique, i.e. Field Mill (FM) développé au SPRL et Short Dipôle Antenna (SDA). Ces deux instruments utilisent des techniques de mesures différentes et complémentaires, i.e. FM mesure le courant entre les deux parties d'un senseur rotationnel, SDA les potentiels de chaque électrode d'un dipôle. FM est conçu pour mesurer les champs forts, de 50 V m^{-1} à 200 kV m^{-1}, de DC à 10 Hz ; SDA pour mesurer les champs plus faibles, de 10 mV m^{-1} à 200 V m^{-1} en mode "survey" et jusqu'à ~10 kV m^{-1} en mode "burst" dans les gammes de fréquences 0 à 500 Hz (DC) et entre 40 μV m^{-1} $Hz^{-1/2}$ à 20 V m^{-1} $Hz^{-1/2}$ de 3 Hz à ~3 kHz (AC).

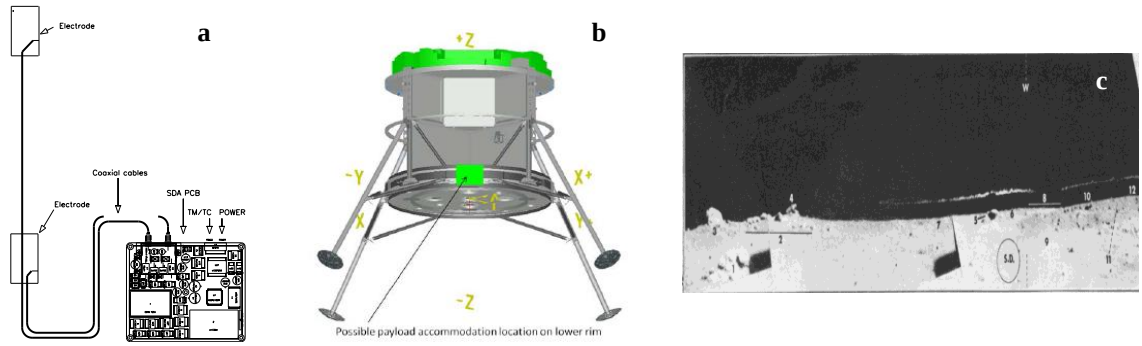

Fig.3.2.1.2 (a) Design de SDA; **(b)** Design du Lander Lunaire de l'ESA; **(c)** Poussières en lévitation observées à la surface de la Lune par "Surveyor-7" (Criswell, 1973).

Ces grandes dynamiques en amplitude et en fréquence confèrent une performance exceptionnelle au package LDLE, qui est bien adapté aux mesures du champ électrique et de matière électriquement chargée sur la surface de la Lune, ainsi que sur celle de Mars.

Lors de la phase de préparation de l'AO de l'ESA "Charge Utile scientifique" les sujets suivants ont été abordés:

- **Partie instrumentale**

  - optimisation des performances de la chaîne analogique de SDA : diminution du niveau de bruit, augmentation de l'impédance d'entrée
  - optimisation des performances de la chaîne analogique de SDA "champ fort"
  - développement du prototype du bras SDA avec les spécifications (électriques, thermiques, mécaniques, contraintes spatiales) adaptées aux environnements lunaires et martiens (R&T CNES 2011-2013 "Sup-SDA")

- **Campagnes d'observations**

  - Deux vols de LDLE dans la stratosphère aurorale (février -mars 2011, Esrange)
    - tests des performances des instruments dans des conditions de champ électrique faible et variable,
    - tests de l'accommodation des instruments sur la nacelle: influence du chargement électrique de la nacelle sur les mesures du champ électrique,
    - tests de compatibilité électrique des instruments,
    - tests environnementaux (thermique, mécanique, impact d'électrons énergétiques)
  - Campagnes de mesures de tornades et de lévitation de poussières dans le désert du Nevada (juillet 2011) et Owens lake (Novembre 2012)
    - tests du concept de l'instrument SDA "mesures dans un champ électrique fort"
    - estimation de la conductivité électrique de l'air à partir de mesures de SDA et FM
    - estimation de la distribution spatiale de la densité et de la charge des poussières

- **Modélisation**

  - Chargement électrique des poussières dans les tornades et dans les conditions "calmes"
  - Bruit électrostatique engendré par le mouvement des poussières
  - Distribution spatiale de la densité et de la charge des poussières

Ces travaux ont permis d'approfondir notre compréhension des mécanismes du chargement électrique de matières (aérosols stratosphériques, poussières désertiques) et de consolider notre proposition du package LDLE.

Le projet Lander Lunaire a été arrêté par l'ESA en 2012 en phase B (faute du financement européen).

L'instrument SDA est proposé pour la Charge Utile des Landers russes:

• Landers Lunaires "Luna- 25" et "Luna-27" (2016-2018) (collaboration de ROSCOSMOS et l'ESA). PI: A. Zakharov (IKI)

• **Package PML:** instruments de mesure des propretés mécaniques et électriques des poussières sur la surface lunaire.

• Lander Martien de la mission "Exomars-2018" (collaboration de ROSCOSMOS et de l'ESA). PI: A. Zakharov (IKI)

• **Package PC:** instruments de mesure des poussières (taille, vitesse, densité, propriétés électriques) sur la surface martienne.

Références

Seran, E., M. Godefroy, N. Renno, H. Elliott, Variations of electric field and electric resistivity of air caused by dust motion, JGR, Space Physics, 118, 5358-5368, doi:10.1002/jgra.50478, **2013**.

Seran, E. and M. Godefroy, From ionosphere to dust … from micro-satellite to lander … scientific & technical approach, invited talk, NASA/GRC Innovation forum, 2012.

Seran, E., M. Godefroy, N. Renno, P.-Y. Meslin, T. Kremic, Dust Lifiting Experiment for ESA Lunar Lander, Scientific preparations for lunar exploration, ESA/ESTEC, Noordwijk, 2012.

Seran, E. and M. Godefroy, Results of the LDLE balloon flight in stratosphere, Kiruna 2011, NASA GRC meeting, 2011.

Seran, E. and M. Godefroy, LDLEGO: electric field measurements in the auroral stratosphere during magnetospheric storms, ISSI team "Coupling of Atmosphere Regions with Near Earth Space (CARNES)", Bern, 2010.

Seran, E, M. Godefroy, N. Renno, B. Block, Lunar Dust Lifting Experiment (LDLE) for the ESA Lunar Lander, Lunar Dust, Plasma & Atmosphere: the next steps, Boulder, 2010.

Seran, E, N. Renno, M. Godefroy, B. Block, S. Ragacki, P.-Y. Meslin, F. Montmessin, J.-C. Sabroux, Lunar Dust Lifting Experiment (LDLE) for the ESA Lunar Lander, ESA RFI, 2009.

Godefroy, M., **E. Seran**, R&T CNES Sup-SDA (Light Bras for the Short Dipole Antenna), 2011-2013

Zakharov, A.V. et al., Proposal of the Dust Complex for the ExoMars-2018, 4MS3 Planetary conference, poster presentation, Moscow, 2013

Zakharov, A et al., Définition Design of PK Dust Package for ExoMars-2018 Lander scientific payload, NRDK.411739.020II3, IKI, Moscow, 2013.

Zakharov, A et al., Définition Design of PML dust analyser for Lunar-Resource Lander scientific payload, NRDK.411739.007, IKI, Moscow, 2010.

Godefroy, M and **E. Seran**, Lunar Dust Lifting Experiment-Short Dipole Antenna for Luna-R & Luna-G Landers: Definition Document, LDLE-SDA-PDD-01, 2010

Godefroy, M and **E. Seran**, Lunar Dust Lifting Experiment-Short Dipole Antenna for Luna-R & Luna-G Landers: Technical Request, LDLE-SDA-TR-01, 2010

3.2.2 Sous ballon

3.2.2.1 LDLE-GO (**L**unar **D**ust **L**ifting **E**xperiment **GO**ndola**):**

- Validation du package d'instruments de mesures du champ électrique (SDA/ LATMOS + FM/SPRL) proposé pour le Lander Lunaire de l'ESA (voir 3.2.1.2)
- Validation de la R&T CNES "ELMIG" Embedded and Light Multi-Instruments Gondola (voir 3.2.4.1)

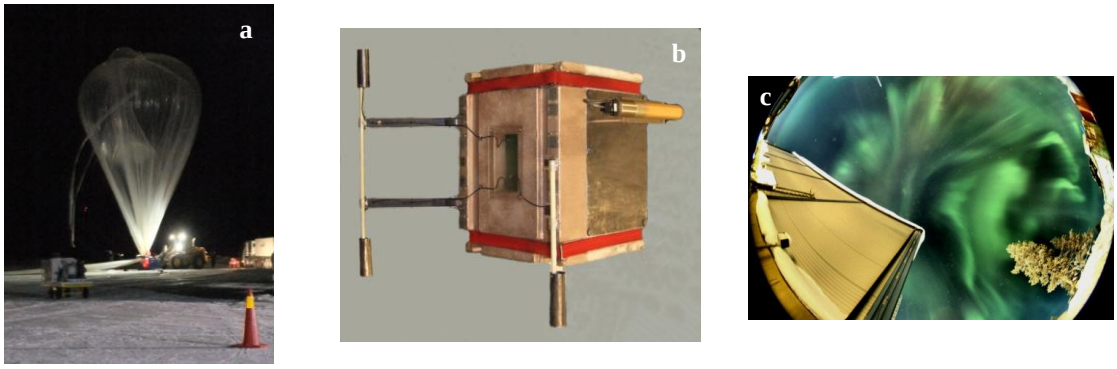

Fig.3.2.4.2 **(a)** Préparation du lancement du ballon stratosphérique « Zero- Pressure », Esrange, 2011; **(b)** Nacelle LDLE-GO avec deux instruments, i.e. SDA et FM. **(c)** Image de l'activité aurorale effectuée par la camera ALFA pendant le vol LDLE-GO, Mars 2011

3.2.3 Au sol

3.2.3.1 Instrument ALFA: Camera optique du type "plein ciel"

Le projet ALFA (Auroral Light Fine Analysis) avait comme objectif la mise en oeuvre d'un instrument optique pour effectuer des mesures fines des émissions lumineuses dans le visible engendrées dans l'ionosphère lors d'orages magnétosphériques. L'instrument de type « plein-ciel » dans sa version « mobile » a été réalisé en 2006-2007 et utilisé lors de campagnes multi-instruments en Arctique en 2006-2011.

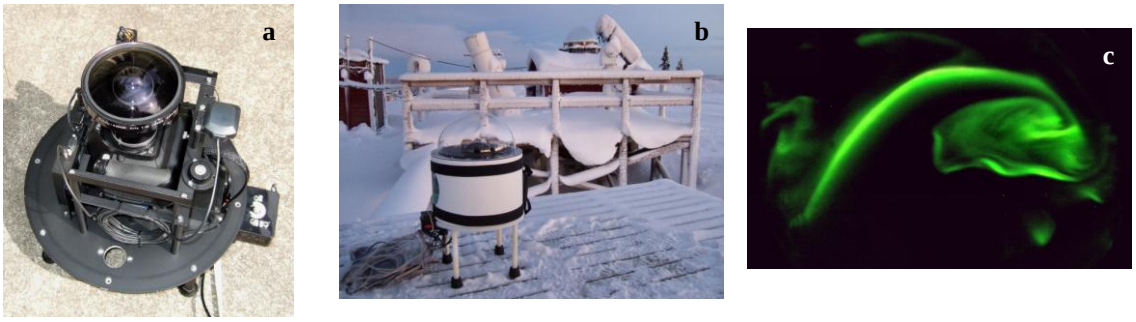

Fig.3.2.3.1 **(a)** Instrument ALFA; **(b)** ALFA installé sur le site KEOPS/ESRANGE, décembre, 2006; **(c)** image d'aurores faite par ALFA, KEOPS, décembre 2006.

L'instrument est opérationnel.

Références

http://taranis.latmos.ipsl.fr/ALFA_web/index.html

Séran, E., M. Godefroy, K. Kauristie, J.-C. Cerisier, J.-J. Berthelier, M. Lester, L.-E. Sarri, What can we learn from HF signal scattered from a discrete arc? Annales Geophysicae, 27, 1887-1896, 2009

Séran, E., M. Godefroy, J.-C. Cerisier, K. Kauristie, L. Juusola, H. Yang, Z. Qinghe, Z. Hu, M. Lester, H. Frey, J.-J. Berthelier, M. Parrot, D. Lagoutte, J.-Y. Brochot, J. Lilensten, L.-E. Sarri, U. Braendsroem, F. Sigernes, An overview of Auroral Light Fine Analysis multi-instrumental campaigns carried out from Scandinavia in December 2006 and 2007, EGU, Vienna, 2008.

Séran, E., H.U. Frey, M. Fillingim, G. Parks, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, Plasma modification in the mid-night auroral ionosphere during the magnetic storm of November 2004, EGU, Vienna, 2008.
Séran E., H. Frey, M. Fillingim, G.Parks, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, Plasma modification in the mid-night auroral ionosphere during the magnetic storm of November 2004, Demeter-Image-Polar simultaneous observations, KuaFu meeting, Sanya, 2007.
Séran E., M. Godefroy, U. Braendstroem, Mobile all-sky camera of the ALFA project, 33 AM, Kiruna, 2006.
Séran E., M. Godefroy, All-sky camera of the ALFA project: common points and interests with the Wide Field Astronomical observations, Wide field imaging at Dôme C, Paris, 2006.

3.2.3.2 SDA & OwensCam: package d'instruments de mesure du champ électrique et d'imagerie

L'architecture de l'électronique et du logiciel embarqué a été développée dans le cadre de la R&T CNES ELMIG (voir 3.2.4.1). Elle est utilisée dans le design des instruments SDA et OwensCam. Le concept de l'instrument de mesure du champ électrique SDA est développé dans le cadre de la préparation de missions martiennes et lunaires (voir 3.2.1.2)

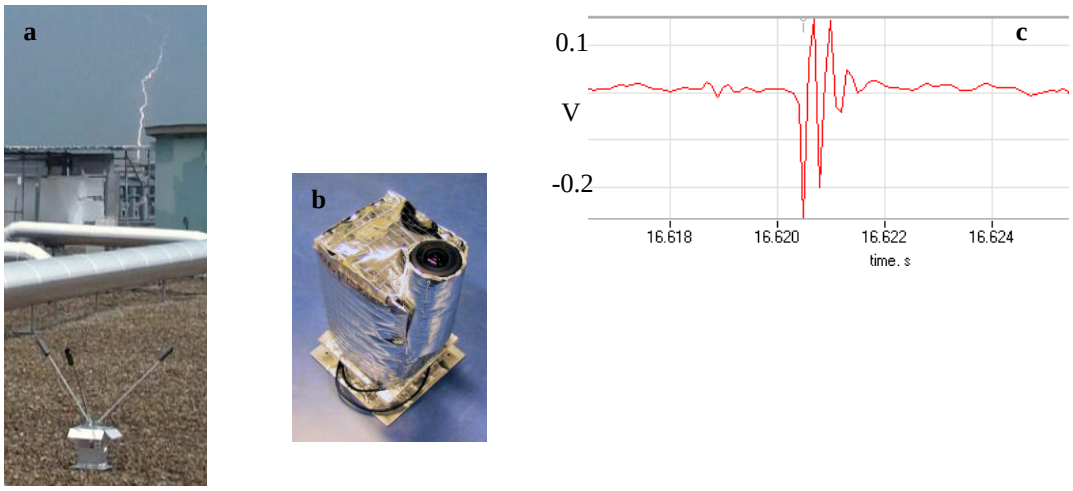

Fig.3.2.3.2 **(a)** instrument de mesures du champ électrique SDA sur la toit de l'UPMC; **(b)** instrument optique OwensCam; **(c)** les variations du potentiel électrique observé par SDA et générées par un éclair d'orage à 90 km

Le package SDA & OwensCam est opérationnel.

Il a été utilisé en 2012 lors des campagnes d'observations des tornades des poussières dans les déserts du Nevada et d'Owens Lake. Le package sera utilisé lors des campagnes conjuguées avec le satellite Taranis (voir 3.2.1.1) en 2016-2018

3.2.4 R&T CNES

3.2.4.1 ELMIG: Etude et réalisation d'une nacelle multi- instruments pour les vols sous ballon dans la stratosphère, 2010-2012:

- Etude/définition d'une architecture électronique et mécanique qui remplisse les objectifs du nouveau concept de nacelle : faible coût, faible volume, faible consommation, haute cadence/résolution des données instruments et pouvant s'adapter au maximum de types d'instruments scientifiques (dans une gamme de poids et de consommation limitée).

- Etude/définition d'une architecture logicielle qui permette de s'adapter simplement au maximum de types d'instruments scientifiques en prenant en charge les fonctions communes à tous les instruments (acquisition des données, sauvegarde des données, datation des données, restitution des paramètres altitude, latitude, longitude et attitude de la nacelle).

Le prototype d'ELMIG a été réalisé et testé avec succès avec 2 instruments scientifiques du projet LDLE lors des vols à l'Esrange en 2011 (voir 3.2.2).

Les architectures électroniques et logicielles d'ELMIG sont utilisées dans le design des instruments SDA et OwensCam (voir 3.2.3.2).

3.2.4.2 Sup-SDA: Etude et réalisation d'un système léger et déployable du support d'électrodes de l'instrument de mesures du champ électrique à la surface de la Lune et de planètes (Mars, Venus etc.), 2011-2013

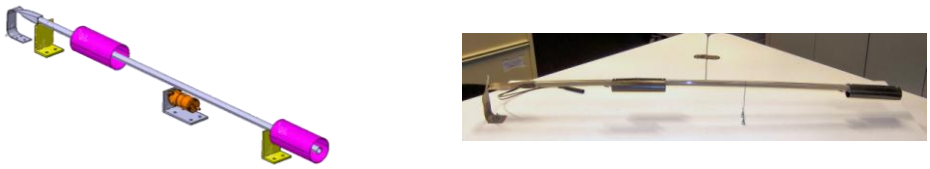

Fig.3.2.4.2 (à gauche) Design de SupSDA, **(à droite)** Prototype équipé d'électrodes, réalisé en 2013

Le bras Sup-SDA est proposé pour les missions des Landers lunaire et martien de ROSCOSMOS et de l'ESA (voir 3.2.1.2)

3.2.4.3 Etude des perturbations électriques dues à la connexion du plasma ionosphérique avec les structures et matériaux externes du satellite TARANIS (proposition R&T CNES et thèse pour 2015-2017)

Les mesures du champ électrique sont sensibles aux asymétries des structures externes du satellite, à la distribution des charges électriques à la surface du satellite et donc aux propriétés électriques des matériaux en contact avec le plasma ionosphérique (essentiellement électrons et ions O^+, H^+ thermiques, photoélectrons émis des surfaces externes du satellite exposées au soleil).

En plus du chargement électrique non- uniforme du satellite, l'asymétrie des structures du satellite par rapport au vecteur de la vitesse relative satellite - plasma et/ou par rapport à la direction satellite - soleil et/ou par rapport au champ magnétique et électrique peut également induire une non- homogénéité du plasma autour du satellite (régions du sillage, ombre/pré-ombre, etc.). Dans les conditions où le plasma autour des senseurs de mesure du champ électrique est différent pour chacun, les mesures du champ électrique seront perturbées.

Lorsqu'on est en présence d'événements de haute énergie engendrés par les orages atmosphériques, les orages magnétosphèriques ou le passage du satellite dans les régions de l'anomalie Atlantique sud, les électrons/protons énergétiques générés par ces phénomènes peuvent également modifier les propriétés électriques de certains matériaux de la structure externe du satellite.

En conséquence, deux conditions d'interaction du plasma- satellite doivent être analysées, i.e. (a) sans événements énergétiques et (b) avec événements énergétiques.

Le champ électrique continu à bord de TARANIS est mesuré par l'instrument IME-BF (Fig. 3.2.4.3.a). Les deux senseurs d'IME-BF sont montés sur des bras de 4 m de longueur chacun.

Chaque senseur de l'IME-BF mesure le potentiel électrique continu de -10V à +10V. La sensibilité des mesures est de 0.5 mV et nous voulons connaître chaque potentiel avec une précision de ± 10 mV. Ces mesures sont faites dans la référence du satellite. Si la distribution de charges électriques sur les surfaces externes du satellite donne la même contribution dans les potentiels électriques mesurés par les deux senseurs de l'IME-BF, alors la différence des potentiels mesurés par les senseurs est directement proportionnelle au champ électrique dans le milieu. Si ce n'est pas le cas, la distribution des charges électriques du satellite doit être modélisée et utilisée ensuite pour calculer le champ électrique. En prenant en compte que l'amplitude du champ électrique continu dans l'ionosphère varie entre quelques dizaines à quelques centaines de mV/m, une asymétrie des charges de quelques dizaines de pC devra être prise en considération.

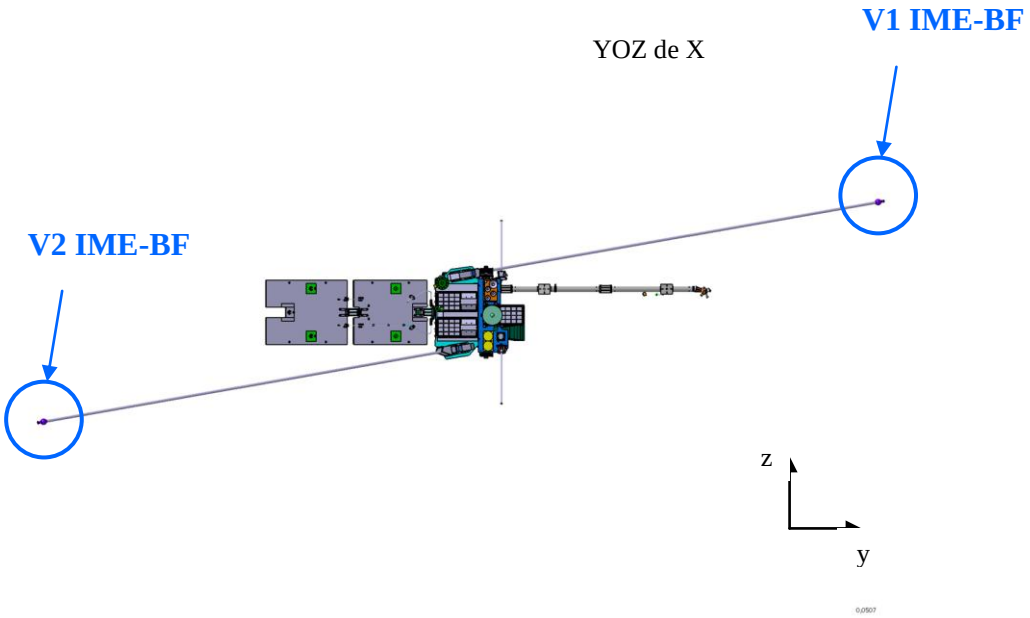

Fig. 3.2.4.3a La position de chaque senseur V1 et V2 de l'IME-BF dans les coordonnées du satellite (X vers la terre, Z parallèle et opposé au vecteur de la vitesse du satellite).

- Résultats attendus du modèle

  - Déterminer et quantifier l'influence des charges électriques des éléments externes du satellite sur les performances de l'instrument IMEBF

  - Définir d'éventuelles actions en réduction des sources de perturbations

Références

Seran, E. and M. Godefroy, Etude des perturbations électriques dues à la connexion du plasma ionosphérique avec les structures et matériaux externes du satellite TARANIS, Proposition de thèse CNES 2015-2017, 2014

Seran, E., et al., The spherical segmented Langmuir probe in a flowing thermal plasma: numerical model of the current collection, *Annales Geophysicae*, 23, 1723- 1733, 2005.

Annexe: Publications les plus significatives (texte intégral)

Titre	Pages
Séran, E., M. Godefroy, N. Renno, H. Elliott *Variations of electric field and electric resistivity of air caused by dust motion* JGR, Space Physics, 118, 5358-5368, doi:10.1002/jgra.50478, **2013**	39-49
Séran, E., M. Godefroy, K. Kauristie, J.-C. Cerisier, J.-J. Berthelier, M. Lester, L.-E. Sarri *What can we learn from HF signal scattered from a discrete arc?* Annales Geophysicae, 27, 1887-1896, **2009**	50-59
Séran, E., H.U. Frey, M. Fillingim, J.-J. Berthelier, R. Pottelette, G. Parks *Demeter high resolution observations of the ionospheric thermal plasma response to magnetospheric energy input during the magnetic storm of November 2004* Annales Geophysicae, 25, 2503-2511, **2007**	60-68
Séran, E., J.-J. Berthelier, F.Z. Saouri, J.-P. Lebreton *The spherical segmented Langmuir probe in a flowing thermal plasma: numerical model of the current collection* Annales Geophysicae, 23, 1723- 1733, **2005a**	69-79
Séran, E. *Reconstruction of the ion plasma parameters from the current measurements: Mathematical tool* *Annales Geophysicae*, 21, 1159-1166, **2003**	80-87
Séran, E.*, T.R. Robinson, J.A. Davies**,** D.M. Wright, M. Lester *Excitation of Alfvén waves by modulated HF heating of the ionosphere, with application to FAST observations* Annales Geophysicae, 20, 57-67, **2002a**	88-98