

LE MICRO-SATELLITE DEMETER

Michel Parrot
LPCE/CNRS, 3A Avenue de la Recherche, 45071 Orléans Cedex 2, France.
e-mail: mparrot@cnrs-orleans.fr

Résumé

Les objectifs scientifiques de DEMETER sont liés à la recherche sur les perturbations ionosphériques dues à l'activité sismique, et de l'étude globale de l'environnement électromagnétique de la terre. La charge utile scientifique se compose de plusieurs sondes : - trois sondes électriques et trois magnétiques (6 composants du champ électromagnétique pour étudier du DC jusqu'à 3.5 mégahertz), - une sonde de Langmuir, - un spectromètre d'ion, et, - un analyseur énergétique de particules. Ils sont associés à deux équipements spéciaux : A bord une importante capacité de mémoire (8Gbits) afin d'enregistrer des données tout autour de la terre, et un système de relevé de télémétrie des débits binaires dans la bande de X (18 Mb/s). Il y a deux modes de fonctionnement : (i) un mode d'aperçu pour enregistrer les basses données de débit binaire, et (ii) un mode continu pour enregistrer les données élevées de débit binaire au-dessus des régions sismiques. En mode d'aperçu la télémétrie est de l'ordre de 950 Mb/day, et en mode continu, elle est plus grande que 1 Gb/orbit. Le lancement par CNES (agence nationale française de l'espace) a eu lieu en 2003, et la durée de la mission est de 2 ans. DEMETER est un microsatellite (110 kilogrammes) avec un de faible altitude (inférieur 710 kilomètres) et une orbite presque polaire.

1. Introduction

Parmi tous les signes précurseurs des tremblements de terre, ceux liés aux champs électromagnétiques sont un des éléments essentiels, et les nombreuses sources possibles d'effets sont cause de controverses. Un grand nombre d'expériences de laboratoire suggèrent clairement que la microfissuration soit associée à la suite de l'apparition de la production spontanée des charges (électriques) et d'émission électrique ou de Champs Electromagnétiques. Beaucoup d'effets électriques et magnétiques près sismiques et co-sismiques ont été rapportés dans le passé aussi bien que des perturbations ionosphériques. Les données des satellites montrent également des coupures d'émissions électromagnétiques liées à l'activité sismique mais jusqu'ici, aucune étude et expérience n'ont été effectuées sur ces observations. Les objectifs scientifiques de DEMETER sont liés à la recherche relatives à ces perturbations ionosphériques dues à l'activité sismique, et également de l'étude globale de l'environnement électromagnétique de la terre. Un groupe de scientifiques impliqué en géophysique externe et interne travaille à cette expérience réalisée à bord du microsatellite de DEMETER. La liste est donnée dans le tableau 1.

TABLE 1. List of DEMETER experimenters.	
Institutes	Experimenters
LPCE (France)	D. Lagoutte, F. Lefevre, M. Parrot, B. Poirier, J.L. Pinçon
CESR (France)	J.-A. Sauvaud, A. Cros
CETP (France)	J.J. Berthelier, M. Menvielle
IPGP (France)	J. Artru, P. Bernard, Y. Cohen, G. Hulot, J.F. Karcewzski, J.L. Le Mouél, P. Lognonné, J.P. Montagner
DESPA (France)	M.Maksimovic
LDG/CEA (France)	E. Blanc, J.L. Plantet
OPGC	J. Zlotnicki

LPSH (France)	A. Kerdraon
Univ. of Electro-Comm. (Japan)	M. Hayakawa
SSD/ESTEC (ESA)	J.P. Lebreton
CBK (Poland)	J. Blecki, J. Juchniewicz

Les scientifiques travaillent suivant la table des matières qui sont décrites dans la section 2. Ils ont la volonté de procéder aux études scientifiques qui sont décrites dans la section 3 et elles définiront les opérations (section 4). La section 5 donnera une vue d'ensemble courte sur l'informatique. La plateforme du microsatellite sera établie sous la responsabilité de CNES (agence nationale française de l'espace).

2. Les objectifs scientifiques

Les objectifs scientifiques principaux de l'expérience de DEMETER sont d'étudier les perturbations de l'ionosphère dues aux effets seismo-électromagnétiques engendrés par les activités anthropogènes (rayonnement harmonique des lignes électriques, des émetteurs en très basses fréquences, de toutes les stations de radiodiffusions en hautes fréquences). Les effets seismo-électromagnétiques sont des perturbations électriques et magnétiques provoquées par activité géophysique normale telle que des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. Elle inclut : Les émissions électromagnétiques dans une gamme étendue de fréquences, les perturbations des couches ionosphériques, les anomalies sur les disques des signaux d'émetteurs de très basses fréquences, et l'observations des lueurs dans l'air la nuit [1]. De tels phénomènes sont des grands intérêts, parce qu'ils commencent quelques heures avant le choc et peuvent être considérés comme des éléments précurseurs.

Les émissions électromagnétiques dans la gamme des ULF/Elf/VLF qui sont liées à l'activité séismique ou l'activité volcanique sont connues depuis longtemps mais les mécanismes qui les génèrent ne sont pas encore bien compris. Beaucoup d'études ont présenté des observations au sol des émissions d'ondes pendant les événements séismiques [2]. Des exemples peuvent être trouvés ici [3]. Deux types d'émissions peuvent être considérées. D'abord, les émissions des signes précurseurs qui se produisent quelques heures avant des tremblements de terre, dans une gamme étendue de fréquences d'un centième d'Hertz jusqu'à plusieurs mégahertz. Les deuxièmes émissions observées après que le choc généralement soient attribués à la propagation de l'ondulation acoustique issue du centre de gravité [4]. Cependant, toutes les hypothèses au sujet du mécanisme de génération des émissions des signes précurseurs sont également validées après le choc, quand la croûte de la terre revient à un état d'équilibre. Les émissions se peuvent propager jusqu'à l'ionosphère, et les observations faites avec des satellites en basse altitude ont montré des augmentations d'ondes en ULF/Elf/VLF au-dessus des régions séismiques. Contrairement aux expériences au sol, les expériences satellites couvrent la plupart des zones séismiques de la terre, et les études statistiques deviennent donc significatives en raison du nombre beaucoup plus grand d'événements enregistrés. Depuis le grand tremblement de terre d'Alaska en 1964, il a été rapporté beaucoup d'évidences de perturbations de la densité des électrons dans l'ionosphère après que des tremblements de terre de fortes intensités. On a aussi observé des perturbations ionosphériques quelques jours avant au-dessus de la zone séismique. Elles sont mieux détectées pendant la nuit où l'ionosphère est calme. Les augmentations comme les diminutions des fréquences critiques sont observées dans différentes régions de l'ionosphère avant des tremblements de terre. L'information additionnelle est fournie par GPS ainsi que les mesures de telles ou telles données TECHNIQUES (comme le contenu total d'électron). Des émissions d'ondes et les perturbations de densité d'électrons peuvent être liées par rapport aux divers mécanismes dans l'ionosphère et les mêmes hypothèses du mécanisme de génération des signes précurseurs sont valides pour les deux perturbations. Ces hypothèses sont principalement liées à : une ondulation produite par la compression des roches, la diffusion de l'eau dans le secteur épical, et la redistribution des charges électriques à la surface de la terre et puis dans le système atmosphérique de la terre.

L'ensemble des études statistiques sur ces événements montrera le comportement général de telles perturbations ionosphériques et aidera à définir la signature des perturbations ionosphériques avant les tremblements de terre [5]. Ceci sera réalisé avec les données de

l'expérience des ondes. Dans l'interaction entre le vent solaire et le champ magnétique de la terre, l'ionosphère est la première couche protectrice autour de la terre. Par conséquent l'étude de son évolution et ses perturbations sont d'un grand intérêt. Le deuxième objectif de l'expérience de DEMETER est lié aux perturbations venant de la surface de la terre et dues aux ondes générées par l'activité humaine (des émetteurs de la PLHR, de très basse fréquence, des stations de radiodiffusions à hautes fréquences)

La Résonance harmonique des lignes électriques (PLHR : Power Line Harmonic Résonance PLHR) est les ondes d'ELF et VLF (de très basses fréquences) rayonnées par les systèmes d'énergie électrique aux fréquences harmoniques de 50 ou 60 hertz. On a observé pour la première fois l'évidence de la propagation de la PLHR dans la magnétosphère sur la terre. Les observations de manières directes par des satellites sont plutôt rares [6] et il y a eu peu de rapports (des effets indirects sont le plus souvent rapportés). Les observations prouvent que les lignes dérivent dans les fréquences, cela est dû probablement à une interaction non linéaire entre les électrons et les ondes générés. Toutes les observations indiquent que la PLHR influence l'accouplement d'atmosphère entre l'ionosphère et la magnétosphère. D'une part, les interactions non linéaires entre les électrons et la PLHR peuvent participer à la précipitation des électrons dans la zone de ceinture des rayonnements de la région du séisme, d'autre part, la partie principale de l'énergie de la PLHR absorbée dans l'ionosphère inférieure modifie les courants ionosphériques. Ce problème exige maintenant une attention sérieuse parce que la consommation de courant électrique augmente toujours dans le monde. Aux très basses fréquences entre 10 et 20 kilohertz, les émetteurs au sol sont employés pour la radio-navigation et les communications. Leurs perturbations ionosphériques incluent : le déclenchement de nouvelles ondes qui produisent un réchauffement ionosphérique, une interactions d'ondes électrons, et des précipitations de particules. Aux hautes fréquences, les stations de radiodiffusion utilisent des émetteurs puissants qui peuvent chauffer l'ionosphère et changer la température ainsi que la densité. Toutes ces ondes qui se dissipent dans l'ionosphère pourraient participer au réchauffement global de la terre parce que le changement de la température globale augmente ainsi que le nombre de décharges normales de foudre dans l'atmosphère. Ces décharges supplémentaires de foudre produisent des alertes magnétosphériques qui pourraient produire le réchauffement et l'ionisation dans l'ionosphère inférieure.

En outre, il existe un mécanisme de rétroaction qui pourrait impliquer les deux processus différents. D'abord, la foudre est une source de NOx, (*ndlr : Oxyde d'azote NO+NO2 exprimé en équivalent NO2, dans l'atmosphère le NO devient NO2 par oxydation*)) et le NOx affecte la concentration de l'ozone dans l'atmosphère qui contribue à l'effet de serre et au réchauffement.

En second lieu, la précipitation de l'énergie des électrons par les ondes produites par les hommes peuvent déclencher d'autres décharges de foudre. Ceci explique l'importance des études concernant pareillement les ondes produites par les installations humaines [7]. Des perturbations ionosphériques par des activités géophysiques normales ont été rendues évidentes par deux méthodes : l'étude des ondes électromagnétiques, et la mesure de la densité des électrons.

3. Charge scientifique utile

la charge utile scientifique du microsatellite de DEMETER (voyez que le schéma 1) se compose de plusieurs sondes :

- quatre sondes électriques afin de mesurer les trois composants du champ électrique. La distance entre chaque sonde est de l'ordre de 9 mètres de bout à bout.
- un magnétomètre search-coil à 3 composantes pour la mesure des champs magnétiques. Ce magnétomètre sera situé à l'extrémité d'une perche de 1m.
- une sonde de Langmuir, qui effectuera les mesures des paramètres suivants : densité totale du plasma (électrons + ions), températures, les potentialités du satellites, et les directions du flux d'ions.
- un spectromètre d'ions,
- un détecteur analyseur d'énergie de particules.

Ils sont associés à deux équipements spéciaux à bord : une mémoire de masse de capacité (8Gbits), et relevé télémétrique à débit binaire transmis par bande de X de haut débit de (18 Mbit/s) qui a été construit sous la responsabilité de CNES. Les possibilités d'expérience sont données dans le tableau 2. La puissance énergétique de la charge utile scientifique est de l'ordre de 15 W.

4. Les données informatiques et techniques à bord

il y a deux modes de fonctionnement : (i) un mode d'aperçu pour enregistrer les basses données en débit binaire tout autour de la terre, et (ii) un mode continu pour enregistrer des données élevées en débit binaire au-dessus des régions sismiques (voir le schéma 2). Dans l'aperçu

TABLE 2. Experiment capabilities	
Institutes	Experimenters
Frequency range, B	10 Hz - 17 kHz
Frequency range, E	DC - 3.5 MHz
Sensibility B :	$2 \cdot 10^{-5}$ nT Hz ^{-1/2} at 1 kHz
Sensibility E :	0.2 mγ Hz ^{-1/2} at 500 kHz
Particles: electrons	30 keV - 10 MeV
Particles: ions	90 keV - 300 MeV
Ionic density:	$5 \cdot 10^2$ - $5 \cdot 10^6$ ions/cm ³
Ionic temperature:	1000 K - 5000 K
Ionic composition:	H+, He+, O+, NO+
Electron density:	10^2 - $5 \cdot 10^6$ cm ⁻³
Electron temperature:	500 K - 3000 K

Le mode en télémétrie est de l'ordre de 950 Mb/day, et en mode continu, il est plus grand que 1 Gb/orbit. Pour l'expérience sur les ondes les données suivantes seront enregistrées :

Pendant le mode continu

- formes d'onde de 3 composants électriques jusqu'à 15 hertz,
- formes d'onde des 6 composants du champ électromagnétique jusqu'à 1 kilohertz,
- formes d'onde de 2 composants (1b + 1E) jusqu'à 17 kilohertz,
- spectre d'un composant électrique jusqu'à 3.5 mégahertz
- forme d'onde d'un composant électrique jusqu'à 3.5 mégahertz (instantanés).

Pendant le mode d'aperçu

- formes d'onde de 3 composants électriques jusqu'à 15 hertz,
- spectre de 2 composants (1b + 1E) jusqu'à 17 kilohertz,
- spectre d'un composant électrique jusqu'à 3.5 mégahertz,
- résultats d'un réseau de neurone pour détecter les alertes.

Pour les autres expériences, les différents modes d'aperçus concernent seulement la résolution des données. On estime que le nombre de télécommandes est de l'ordre de 600 octets/3jours.

L'orbite de DEMETER est polaire, et avec une altitude d'environ 710 kilomètres. Le lancement a eu lieu le 29 juin 2004 pour une durée de mission de plusieurs années.

5. Base informatique au sol

La télémétrie sera reçue à Toulouse. Le centre informatique sera situé dans le LPCE d'Orléans. LPCE: [Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement](#)

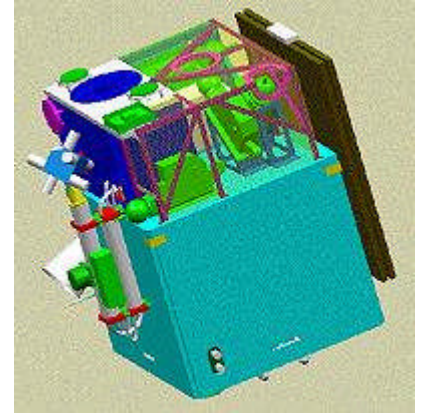
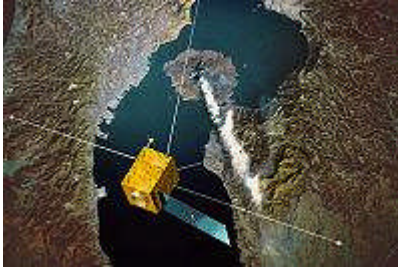
Nous exécuterons la corrélation avec l'activité sismique en utilisant des données du réseau de GEOSCOPE. Une place pour des données sera disponible avec un libre accès sur un emplacement du WEB consacré à l'expérience. Le centre informatique sera également en relation avec le centre des expériences au sol. On s'attend à ce qu'il y ait une étroite collaboration avec des expériences au sol effectuant des mesures sur les champs électromagnétiques dans diverses bandes de fréquences, paramètres ionosphériques, paramètres optiques.... les données satellites donneront une vue d'ensemble des paramètres ionosphériques au-dessus des régions où ces mesures au sol sont effectuées. La comparaison mutuelle de tous les paramètres (au sol et satellite enregistrés)

permettra de comprendre le mécanisme de génération des perturbations des champs électromagnétiques sur des supports enregistrées pendant l'activité séismique.

Un appel pour des investigateurs invité sera émis par CNES afin de formaliser la collaboration et l'échange des données entre les scientifiques intéressés par la mission de DEMETER.

[the Scientific Mission Center of DEMETER Microsatellite](#) / [le Centre de Mission Scientifique du Microsatellite DEMETER](#)

<<< [présentation](#)



The micro-satellite DEMETER in launch configuration (CNES document). The dimensions are 60 x 60 x 80 cm3 and the weight is around 110 kg. The solar panel in black can be seen on the right. The scientific payload is located in the upper part. On the left there is a boom supporting the three magnetic sensors and the Langmuir probe. Three of the four spheres for the electric sensors can be seen in green.

References

- [1] Parrot, M., et al., "High-frequency seismo-electromagnetic effects", Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.77, pp.65-83, 1993.
- [2] Parrot, M., "Electromagnetic noise due to earthquakes" in Handbook of Atmospheric Electrodynamics, v.II, Ed. by H. Volland, CRC Press, Boca Raton, pp. 95-116, 1995.
- [3] Serebryakova, O.N., et al., "Electromagnetic ELF radiation from earthquake regions as observed by low?altitude satellites", Geophysical Research Letters, Vol.19, pp.91-95, 1992.
- [4] Pokhotelov , O.A., et al., "Response of the ionosphere to natural and man made acoustic sources", Annales Geophysicae, Vol.13, pp.1197?1210, 1995.
- [5] Parrot, M., "Statistical study of ELF/VLF emissions recorded by a low altitude satellite during seismic events", Journal of Geophysical Research, Vol.99, pp.23,339?23,347, 1994.
- [6] Parrot, M., "Observations of **PLHR** by the low-altitude AUREOL-3 satellite", Journal of Geophysical Research, Vol.99, pp.3961-3969, 1994.
- [7] Parrot, M. and Zaslavski, Y., "Physical mechanisms of man made influences on the magnetosphere", Surveys in Geophysics, Vol.17, pp.67-100, 1996.