

## Perturbations ionosphériques observées par DEMETER Ionospheric perturbations observed by DEMETER

---

**M. Parrot\***

\*LPC2E/CNRS, [mparrot@cnrs-orleans.fr](mailto:mparrot@cnrs-orleans.fr)

---

### Résumés

DEMETER est le premier des micro-satellites développés par le CNES. Ses objectifs scientifiques sont la détection et la caractérisation des signaux électromagnétiques associés à des phénomènes naturels (tels que les tremblements de Terre, éruptions volcaniques, tsunamis) ou à l'activité anthropique. Pour atteindre ces objectifs, la mission comporte des capteurs destinés à la mesure des 6 composantes du champ électromagnétique dans une large gamme de fréquence, et des capteurs destinés à l'analyse du milieu ionisé (détecteurs de particules, analyseur de plasma et sonde de Langmuir). La masse totale du satellite, incluant charges utiles scientifique et technologique, est de l'ordre de 130 kg. Le lancement a eu lieu le 29 Juin 2004. Le satellite a été placé sur une orbite polaire, héliosynchrone, circulaire d'altitude 710 km. Ce papier présentera des exemples de perturbations ionosphériques associées d'une part à l'activité sismique et d'autre part à l'activité humaine.

DEMETER is the first micro-satellite developed by CNES. Its scientific objectives are the detection and the characterisation of electromagnetic signals associated with natural phenomena (earthquakes, volcanic eruptions, tsunamis) or with anthropogenic activity. The scientific payload includes sensors to measure the 6 components of the electromagnetic field in a large frequency band, and sensors to analyze the plasma (detector of particles, plasma analyzer, and Langmuir probe). The total weight of the satellite is 130 kg. The launch was on June 29, 2004. The orbit is polar, circular and nearly sun synchronous with an altitude of 710 km. This paper will show examples of ionospheric perturbations associated with either the seismic activity or the anthropogenic activity.

Mots clés: Ionosphère, activité sismique, activité humaine, ionosphere, seismic activity, anthropogenic activity

---

### Introduction

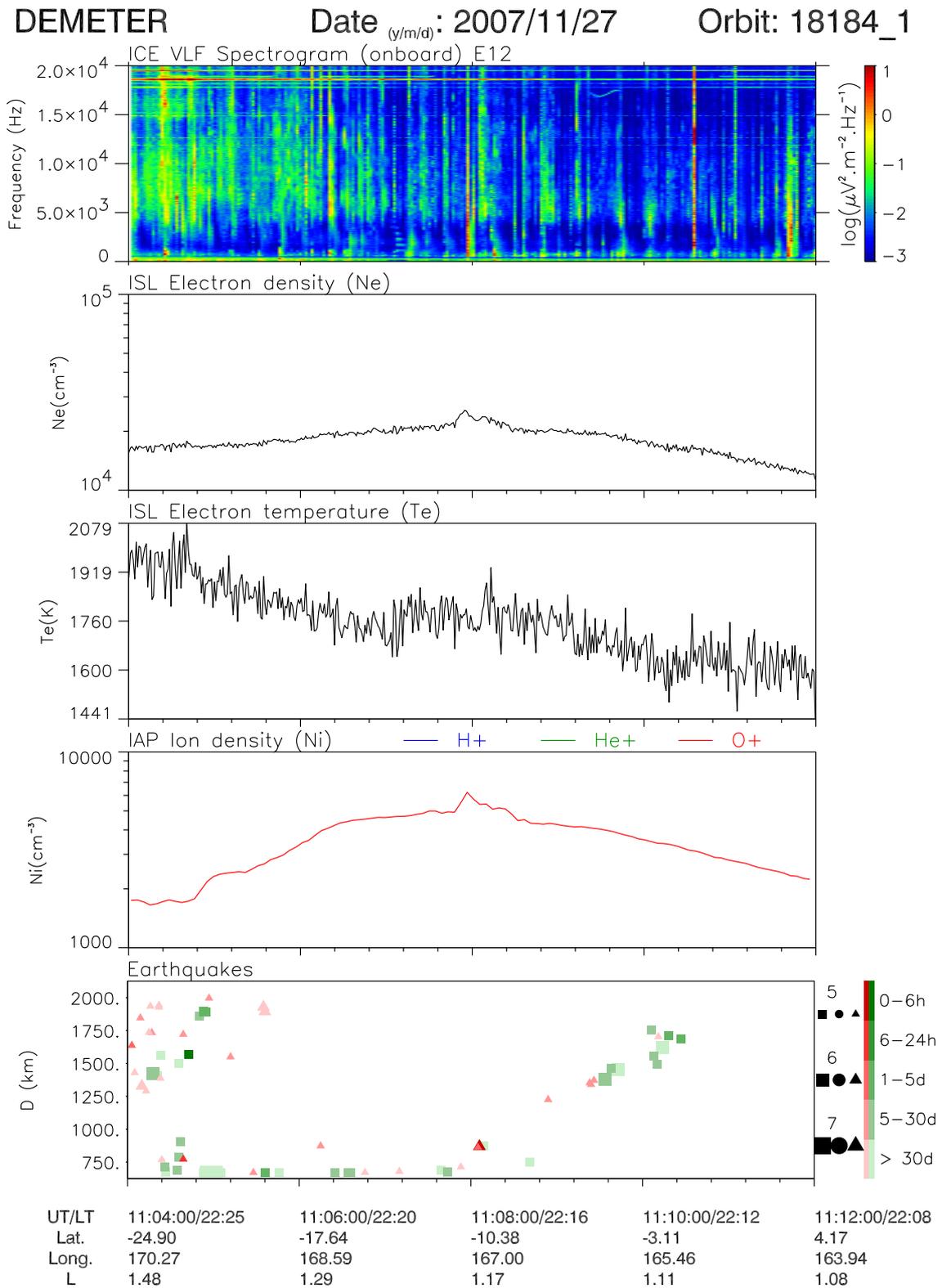
Le présent papier présente les principaux résultats scientifiques obtenus par DEMETER après plus de 5 ans en orbite. Ils sont classés suivant les objectifs scientifiques de la mission :

- Etude des perturbations ionosphériques en liaison avec l'activité sismique,
- Etude des perturbations ionosphériques en liaison avec l'activité humaine.

D'autres sujets importants ont été abordés car au début de mission nous étions dans la partie descendante du cycle solaire et DEMETER a pu observer les effets dus aux orages magnétiques très intenses. Pour faire une passerelle avec le futur micro-satellite TARANIS qui va étudier les décharges électrostatiques qui se produisent entre le haut des nuages d'orage et le bas de l'ionosphère, les données de DEMETER ont été utilisées pour valider les modes de fonctionnement des futures expériences. Cela a permis d'obtenir des résultats nouveaux concernant les orages atmosphériques.

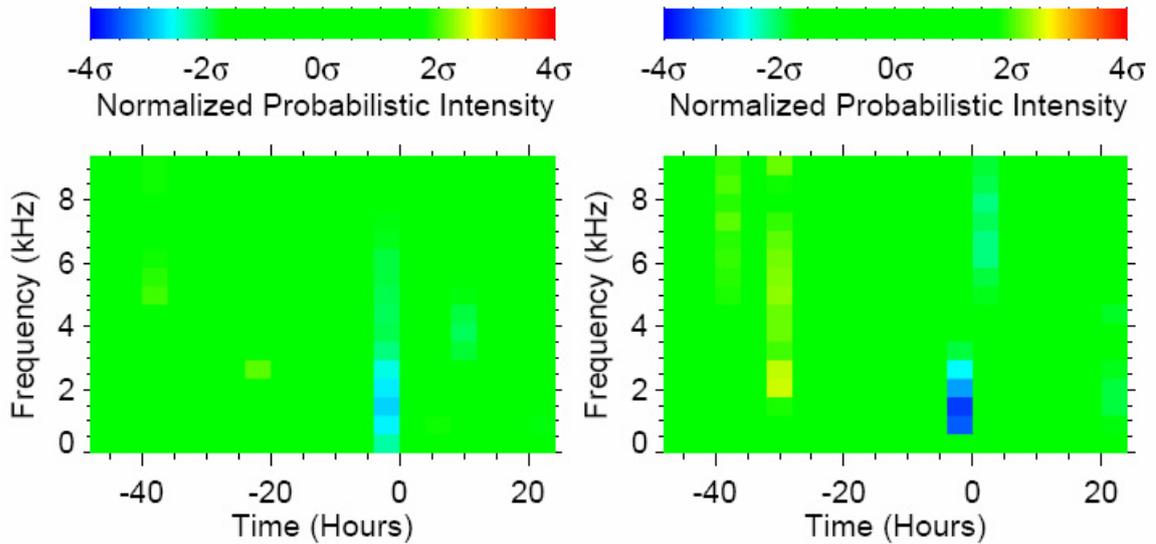
### 1. Activité sismique

Plusieurs études ont été faites pour présenter des exemples de perturbations des paramètres ionosphériques en liaison avec des séismes [1]. Ces perturbations sont détectables uniquement la nuit (voir Figure 1). Il faut noter aussi une autre série de travaux qui concerne le changement d'intensité des signaux émis par les émetteurs TBF au sol et reçus à bord de DEMETER [2, 3, 4].

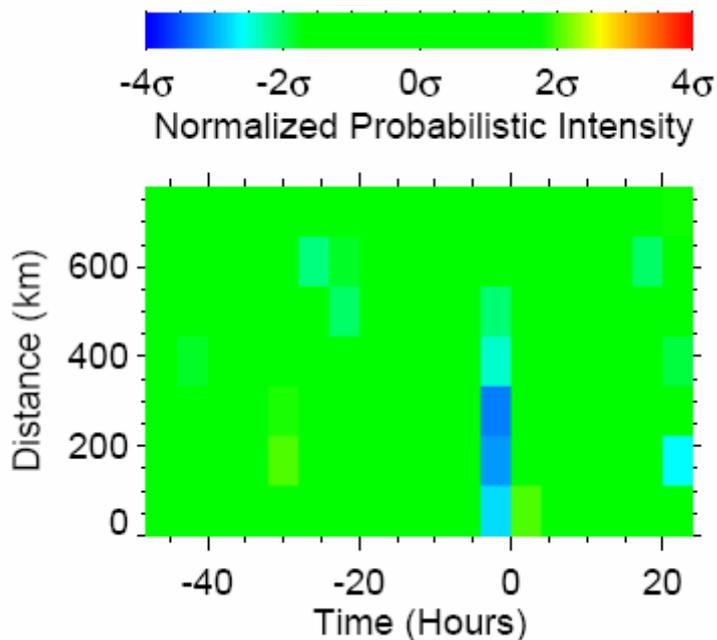


**Figure 1 :** Exemple de perturbation de densités électronique et ionique observée le 27 Novembre 2007 à 11:08 TU quand le satellite est au plus près de l'épicentre d'un séisme (triangle rouge dans le panneau du bas) de magnitude 6.6 qui a lieu 42 minutes après. On notera aussi dans le panneau du haut une augmentation de l'intensité d'un whistler au dessus du futur épicentre.

Mais le plus important est l'étude statistique sur l'intensité des ondes mesurées par les antennes électriques de DEMETER en fonction de l'activité sismique effectuée avec la méthode des époques superposées [5]. Dans cette méthode, toutes les occurrences de séismes sont ramenées à un temps zéro. Les résultats sont présentés en fonction de la fréquence sous forme d'intensité relative normalisée par la déviation standard. La Figure 2 correspond au champ électrique mesuré de nuit pour des tremblements de terre de magnitude supérieure à 4.8 (à gauche) et à 5 (à droite), de profondeur inférieure à 40 km, et une distance avec l'épicentre inférieure à 3° (les répliques n'ont pas été prises en compte). Les figures montrent une diminution de l'intensité des ondes mesurées par DEMETER (d'autant plus forte que la magnitude est plus grande) dans une gamme de fréquence entre 1 et 2 kHz qui commence à avoir lieu quelques heures avant les séismes. La Figure 3 présente les mêmes résultats mais en fonction de la distance avec l'épicentre.



**Figure 2 :** - (gauche) Spectrogramme fréquence temps de la densité de probabilité normalisée obtenu avec les mesures d'une antenne électrique effectuées de nuit jusqu'à 330 km de tremblements de terre ayant une magnitude plus grande que 4.8.- (droite) Même spectrogramme mais pour des tremblements de terre ayant une magnitude plus grande que 5.



**Figure 3 :** Les résultats de la Figure 2 (droite) sont maintenant montrés en fonction de la distance pour la gamme de fréquence 1055 – 2383 Hz.

## 2. Activité humaine

Le terme utilisé en anglais pour désigner ces émissions dues à l'activité humaine est PLHR (Power Line Harmonic Radiation), c'est-à-dire littéralement les radiations émises par les lignes haute tension aux harmoniques du 50 Hz (ou du 60 Hz aux Etats-Unis). Mais ces lignes ne sont pas les seules à rayonner des harmoniques. Il faut considérer aussi certaines industries lourdes qui peuvent générer de nombreuses harmoniques quand elles convertissent le courant alternatif en continu. Une recherche systématique de ces lignes a été effectuée sur toutes les données burst de DEMETER. On retrouve bien à l'altitude du satellite des lignes espacées de 50 Hz en Europe et de 60 Hz aux Etats-Unis [6, 7, 8, 9]. Un exemple de PLHR est montré dans la Figure 4. La Figure 5 présente un spectrogramme TBF du bruit provenant de la pollution industrielle qui est enregistré au dessus de l'Allemagne.

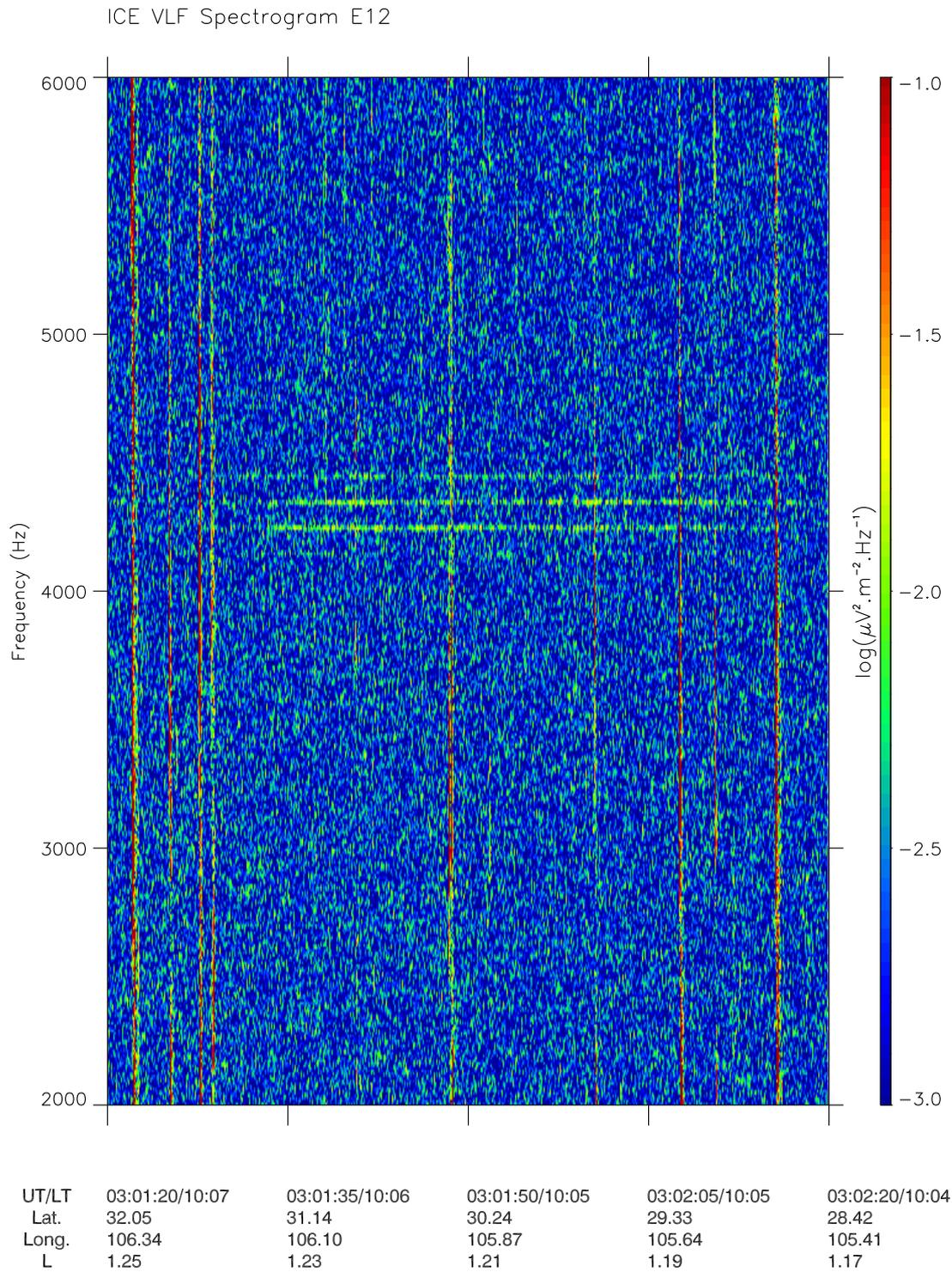
Lors d'une campagne de mesure effectuée en Finlande en commun avec DEMETER, un événement remarquable a été enregistré simultanément au sol et à bord du satellite [10]. Des émissions de type PLHR et MLR (Magnetospheric Line Radiation) ont été observées pendant 2 heures et les enregistrements du satellite ont permis de montrer que ces émissions s'étendaient aussi sur une très vaste région y compris dans l'hémisphère opposé. Les MLR sont des lignes qui ne sont pas aux harmoniques exactes du 50 Hz (ou du 60 Hz) et dont les fréquences dérivent en fonction du temps [11]. On peut observer une parfaite correspondance entre les fréquences des lignes au sol et à bord de DEMETER ce qui montre que la traversée de l'ionosphère n'affecte pas ces émissions.

Les émetteurs TBF au sol sont principalement utilisés pour les communications par les militaires. Ils émettent à des fréquences fixes et leurs ondes se propagent par rebond dans la guide Terre-ionosphère. Mais l'ionosphère n'est pas régulière et ces ondes peuvent aussi traverser l'ionosphère et être observées par un satellite [12]. DEMETER a montré que l'émetteur le plus puissant NWC en Australie perturbe l'ionosphère en la chauffant sur une grande échelle [13]. La Figure 6 montre un exemple de ces perturbations induites par NWC. Au point conjugué de l'émetteur à l'altitude du satellite dans le même hémisphère, elles couvrent une surface équivalente à la surface de la France. Ces perturbations ionosphériques ne se produisent pas au même endroit que les précipitations des particules induites par l'émetteur (voir Figure 7) car ces particules se trouvent dans la ceinture de radiation interne à une plus grande valeur de L.

DEMETER

Date <sub>(y/m/d)</sub>: 2010/01/06

Orbit: 29507\_0

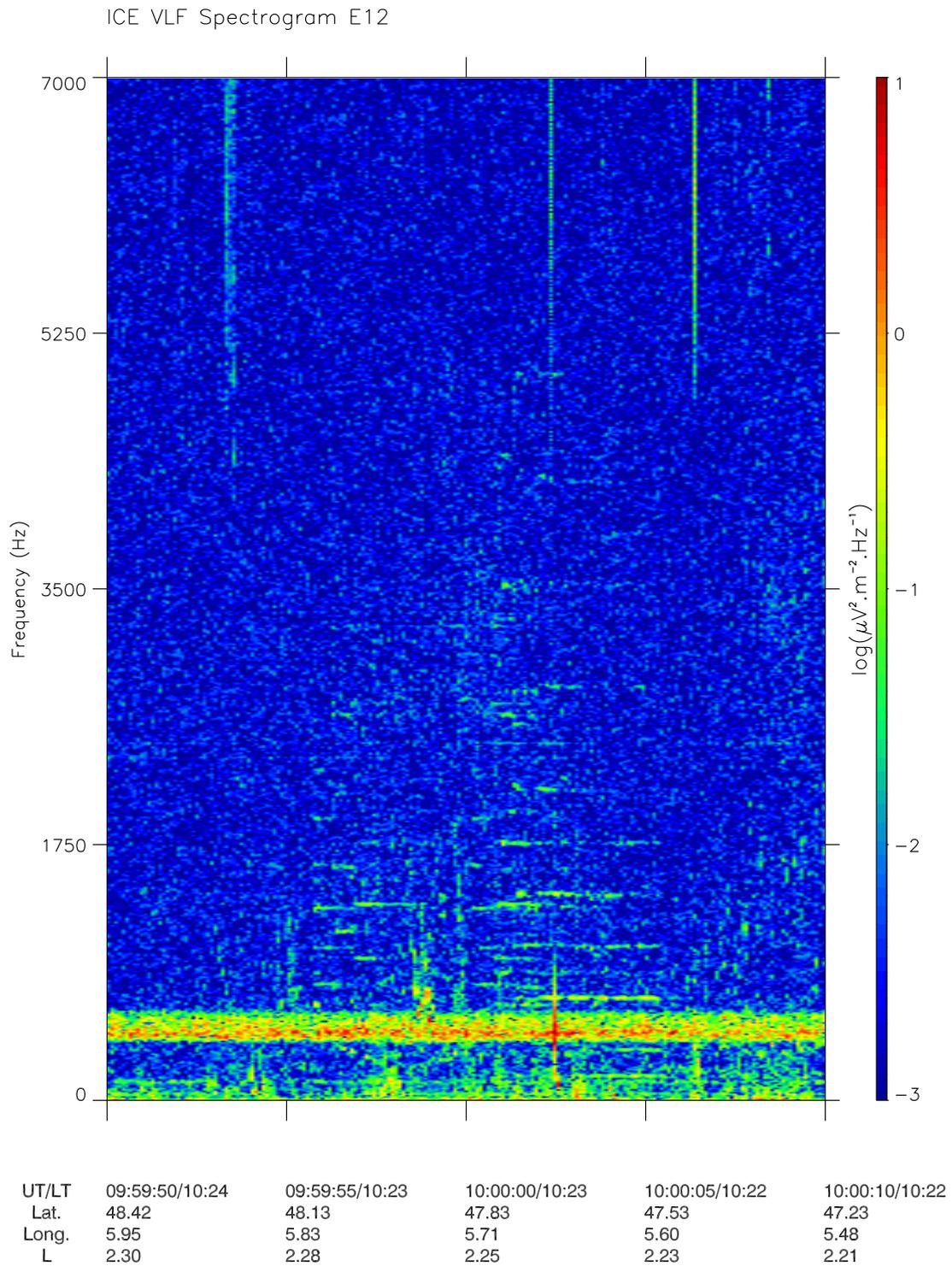


**Figure 4** : Exemple de PLHR observé au dessus de la Chine. Les traits verticaux sont des whistlers.

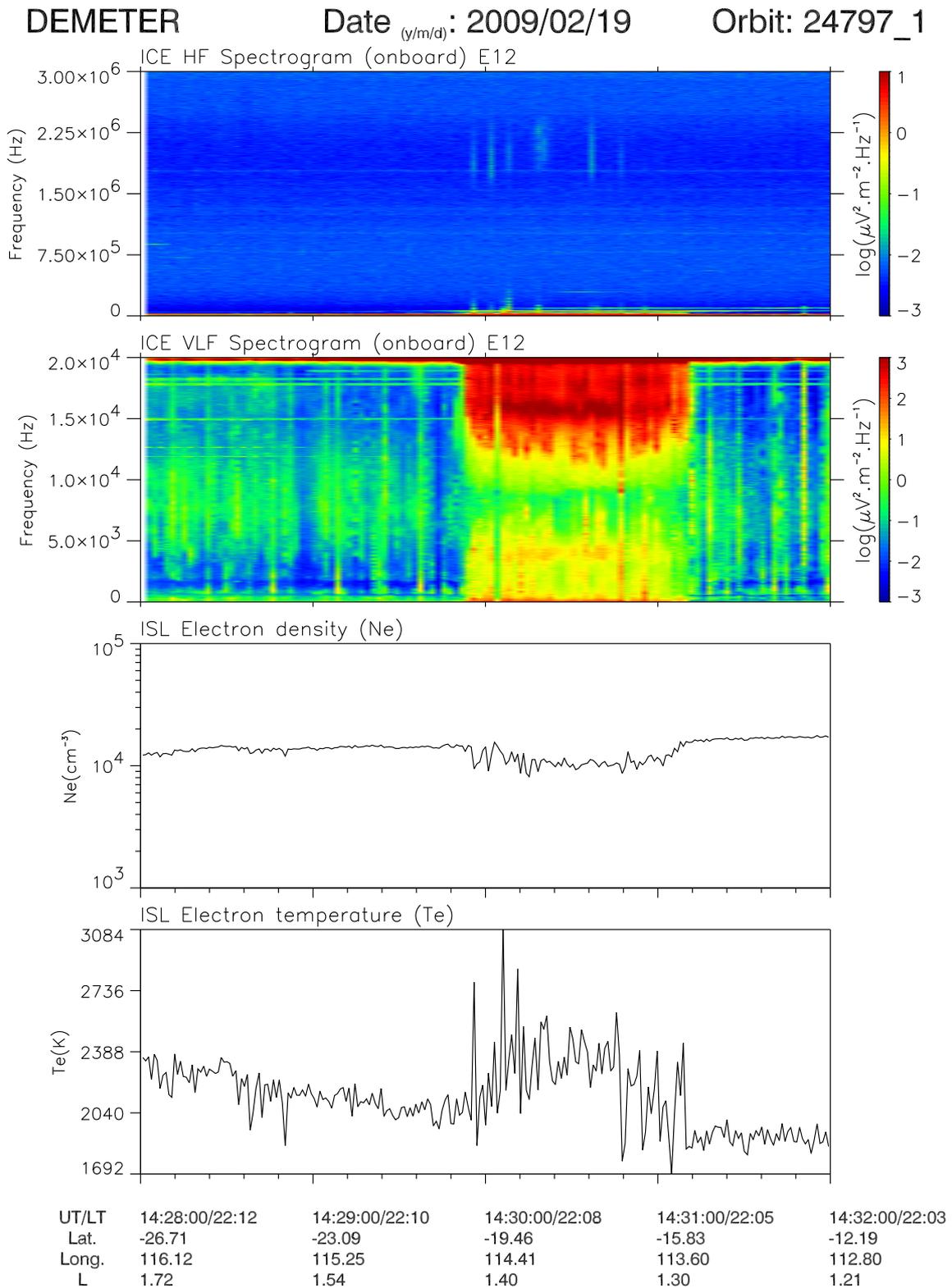
DEMETER

Date <sub>(y/m/d)</sub>: 2009/12/12

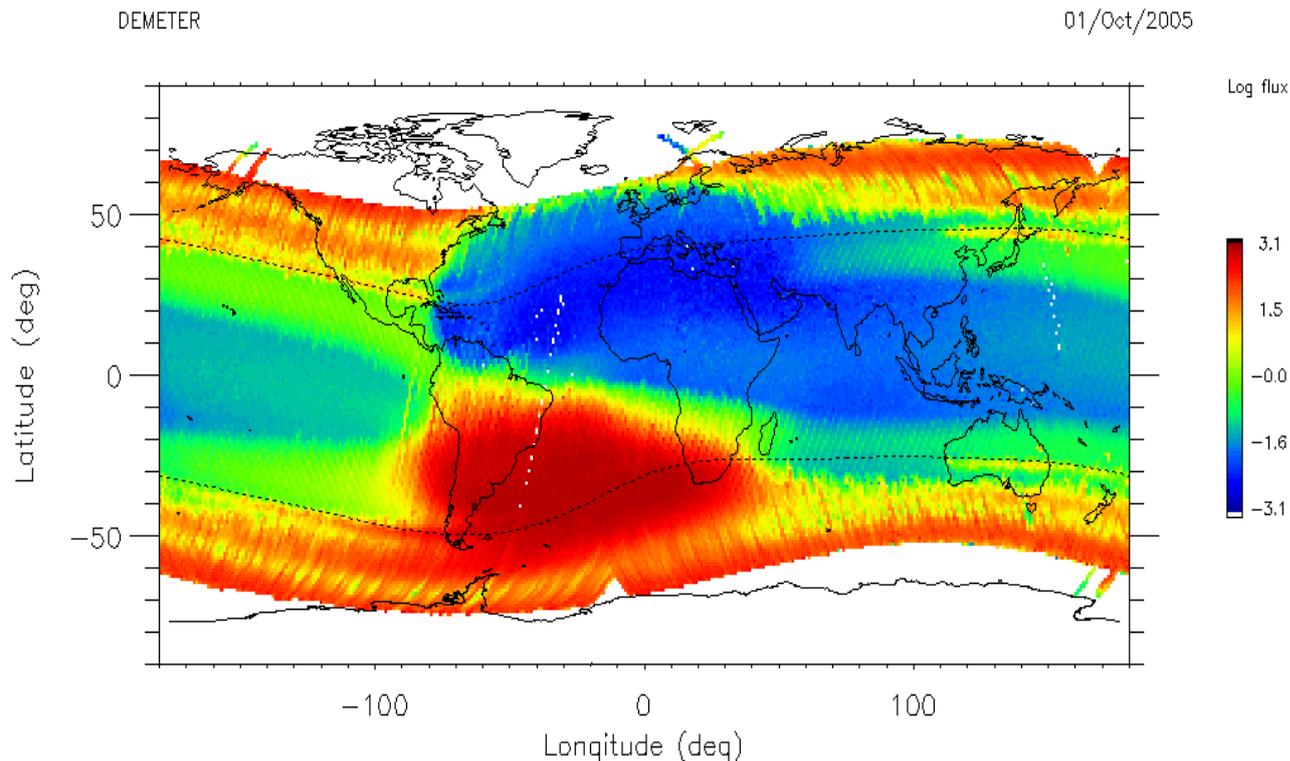
Orbit: 29144\_0



**Figure 5 :** Spectrogramme montrant le bruit industriel quand le satellite passe au point conjugué de la Ruhr à 660 km d'altitude dans le même hémisphère. La large bande de fréquence autour de 500 Hz est un bruit naturel. Les lignes verticales en haut du spectrogramme sont des whistlers.



**Figure 6** : Perturbation induite par l'émetteur NWC. Du haut vers le bas : - spectrogrammes HF et VLF du champ électrique, - densité et température des électrons. Voir [13] pour les explications.



**Figure 7 :** Carte globale des particules énergétiques à 200 keV. En dehors de l'anomalie de l'Atlantique Sud on remarque les particules précipitées par l'émetteur NWC en Australie qui dérivent vers l'Est et qui suivent la ligne L=1.7 dans l'hémisphère Sud comme dans l'hémisphère Nord. Voir [14] pour les explications.

### 3. Conclusions

La mission doit se poursuivre jusqu'à fin 2010. Ensuite le centre de mission scientifique s'arrêtera fin 2011 et les données seront transférées au CDPP. Tous les papiers publiés sur les données DEMETER sont listés sur le site de la mission <http://demeter.cnrs-orleans.fr>

**Remerciements :** L'auteur remercie les principaux expérimentateurs des expériences à bord de DEMETER (J.J. Berthelier pour la mesure du champ électrique et des ions, J.A. Sauvaud pour la mesure des particules énergétiques, J.P. Lebreton pour la mesure de la densité et de la température électronique, et J.L. Pinçon pour le réseau de neurones) ainsi que les participants du CNES à la mission.

### Références bibliographiques

1. M. Parrot, J.J. Berthelier, J.P. Lebreton, J.A. Sauvaud, O. Santolík, J. Blecki, Examples of unusual ionospheric observations made by the DEMETER satellite over seismic regions, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 486-495, doi:10.1016/j.pce.2006.02.011, 2006.
2. A. Rozhnoi, O. Molchanov, M. Solovieva, V. Gladyshev, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, F. Lefeuvre, M. Hayakawa, L. Castellana, and P. F. Biagi, Possible seismo-ionosphere perturbations revealed by VLF signals collected on ground and on a satellite, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 617624, 2007.
3. E. Slominska, J. Blecki, M. Parrot and J. Slominski, Satellite study of VLF ground-based transmitter signals during seismic activity in Honshu Island, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, doi:10.1016/j.pce.2008.06.016, 2008.

4. Rozhnoi, A., Solovieva, M., Molchanov, O., Akentieva, O., Berthelier, J.J., Parrot, M., Biagi, P.F., and Hayakawa, M.: Statistical correlation of spectral broadening in VLF transmitter signal and low-frequency ionospheric turbulence from observation on DEMETER satellite, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1105-1111, 2008.
5. Nemeč, F., O. Santolík, M. Parrot, and J. J. Berthelier (2008), Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L05109, doi:10.1029/2007GL032517.
6. M. Parrot, F. Němec, O. Santolík, J.J. Berthelier, ELF magnetospheric lines observed by DEMETER, *Annales Geophysicae*, 23, 3301-3311, 2005.
7. Nemeč, F., O. Santolík, M. Parrot, and J. J. Berthelier (2007), Comparison of magnetospheric line radiation and power line harmonic radiation: A systematic survey using the DEMETER spacecraft, *J. Geophys. Res.*, 112, A04301, doi:10.1029/2006JA012134.
8. Nemeč, F., O. Santolík, M. Parrot, and J. J. Berthelier, Power line harmonic radiation: A systematic study using DEMETER spacecraft, *Adv. Space Res.*, 40, 398-403, 2007.
9. Němec, F., Santolík, O., Parrot, M., Bortnik, J., Power line harmonic radiation observed by satellite: Properties and propagation through the ionosphere. *J. Geophys. Res.*, 113, A08317, doi:10.1029/2008JA013184, 2008.
10. Parrot, M., J. Manninen, O. Santolík, F. Němec, T. Turunen, T. Raita, and E. Macúšová (2007), Simultaneous observation on board a satellite and on the ground of large-scale magnetospheric line radiation, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L19102, doi:10.1029/2007GL030630.
11. Němec, F., M. Parrot, O. Santolík, C. J. Rodger, M. J. Rycroft, M. Hayosh, D. Shklyar, and A. Demekhov (2009), Survey of magnetospheric line radiation events observed by the DEMETER spacecraft, *J. Geophys. Res.*, 114, A05203, doi:10.1029/2008JA014016.
12. Fullekrug, M., M. Parrot, M. Ash, I. Astin, P. Williams, and R. Talhi (2009), Transionospheric attenuation of 100 kHz radio waves inferred from satellite and ground based observations, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06104, doi:10.1029/2008GL036988.
13. Parrot, M., J. A. Sauvaud, J. J. Berthelier, and J. P. Lebreton (2007), First in-situ observations of strong ionospheric perturbations generated by a powerful VLF ground-based transmitter, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L11111, doi:10.1029/2007GL029368.
14. Sauvaud, J.-A., R. Maggiolo, C. Jacquy, M. Parrot, J.-J. Berthelier, R. J. Gamble, and C. J. Rodger (2008), Radiation belt electron precipitation due to VLF transmitters: Satellite observations, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L09101, doi:10.1029/2008GL033194.