

# LES ONDES DANS LA MAGNÉTOSPHÈRE TERRESTRE: PLUS DE 10 ANS D'OBSERVATION À L'AIDE DES "SEARCH COILS" DE CLUSTER



Laboratoire de Physique des Plasmas

Magnétosphères comparées

4-6 Fév. 2015 Meudon

N. Cornilleau-Wehrlin, P. Canu, O. Santolik, B. Grison, E. Marcusova ,  
I.Kolmasova, F. Nemec, J. Pickett, Z. Hrbackova



# Introduction



- Les mesures d'ondes de Cluster
  - En fonctionnement depuis 2000; 4 satellites identiques
  - 5 instruments « ondes » complémentaires, toujours opérationnels
    - 3 composantes magnétiques « search coils » 0.1-Hz – 4 kHz, 2 composantes électriques
    - Ondes électromagnétiques : forme d'onde  $\rightarrow$  10 ou 180 Hz; matrice spectrale 5 composantes; « snapshots » jusqu'à 4 kHz (1 composante)
- Objectifs
  - Rôle des ondes dans la dynamique des particules dans les régions d'interface
- Exemples de résultats dans la Magnétosphère interne

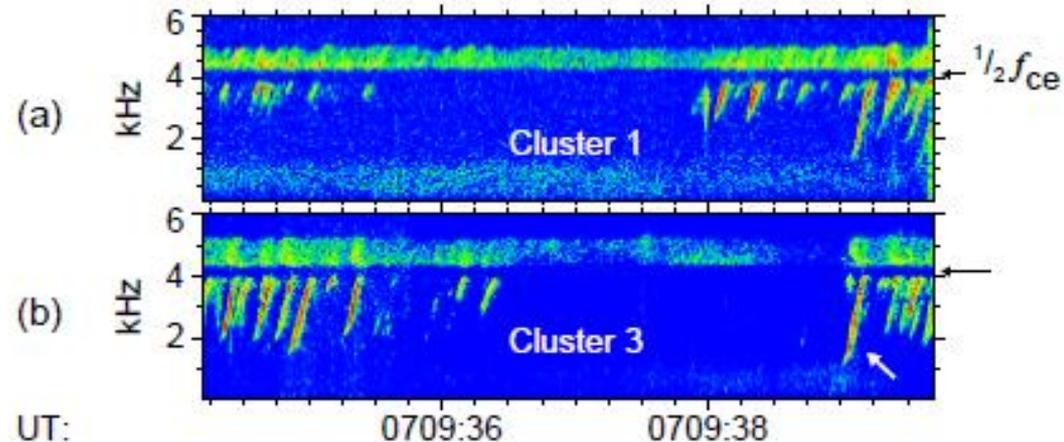
# La magnétosphère interne – les ondes de type choeur



## Exemple d'évènement de type choeur

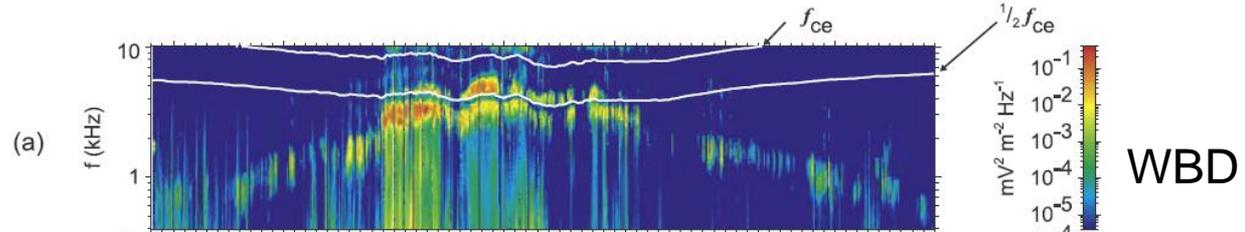
Rôle dans la dynamique des ceintures de radiation :  
diffusion et accélération des électrons

- Tons montants (ou descendants)
- Mode droit (sifflement)
- Génération phase linéaire par anisotropie de température électrons  $\sim 1-10$  keV – fréquence variable: non linéaire
- Accélération  $\rightarrow 1$  MeV
- E.g, revue par Sprits et al, 2008

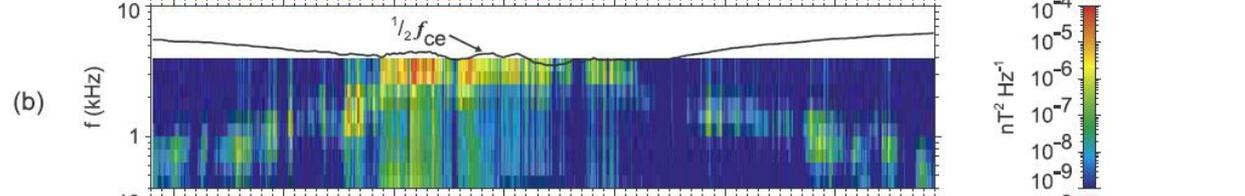


# Éléments pour les études statistiques

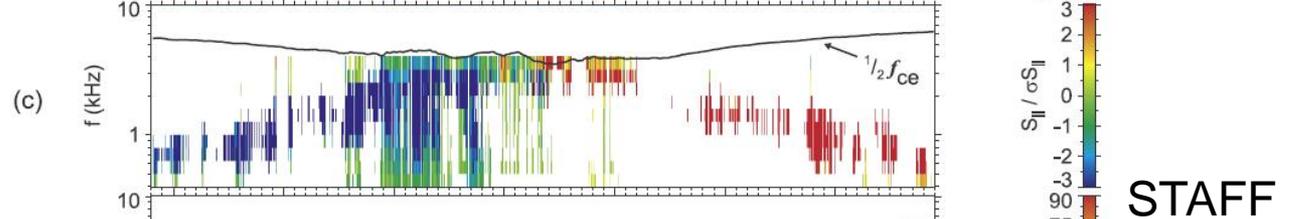
E



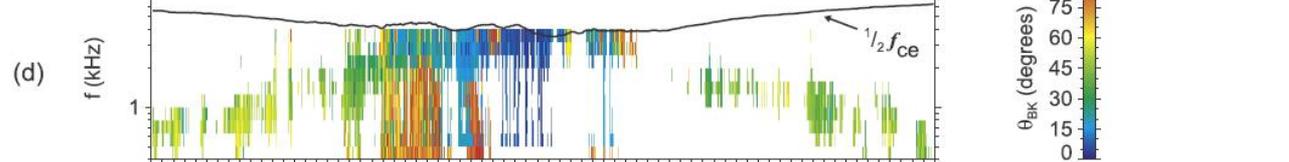
B



$P//B_0$



Theta=  
k, B<sub>0</sub>



UT:	0820	0830	0840	0850	0900	0910	0920
R (R <sub>E</sub> ):	4.51	4.45	4.40	4.37	4.35	4.36	4.38
MLat (deg):	-15.91	-10.76	-5.45	-0.04	5.45	10.95	16.42
MLT (h):	21.20	21.14	21.08	21.01	20.95	20.89	20.83

Latitude(degrés)

-15

0

15

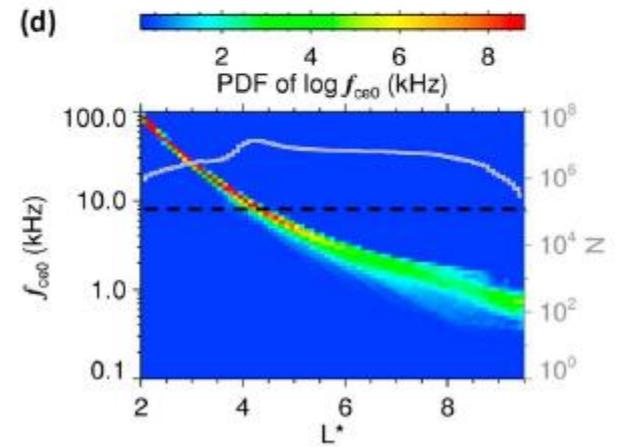
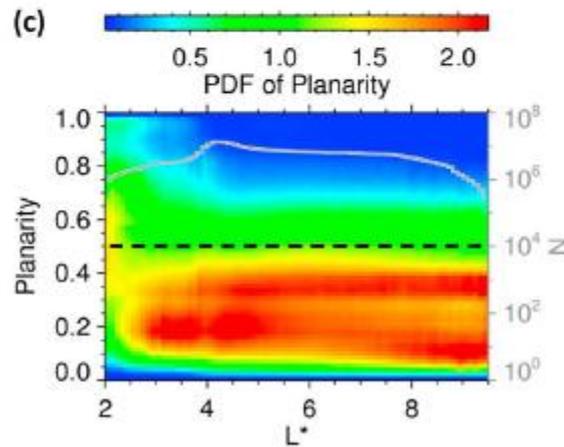
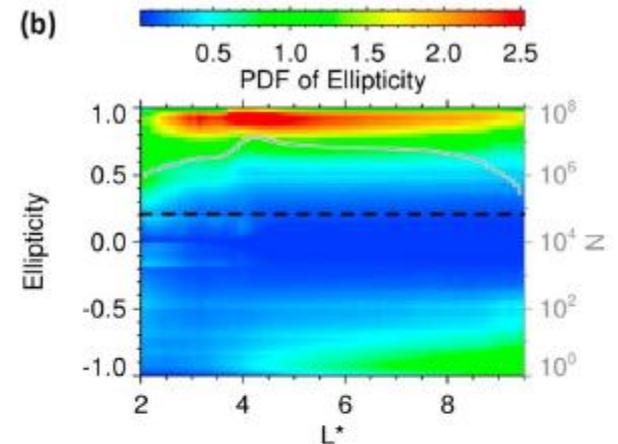
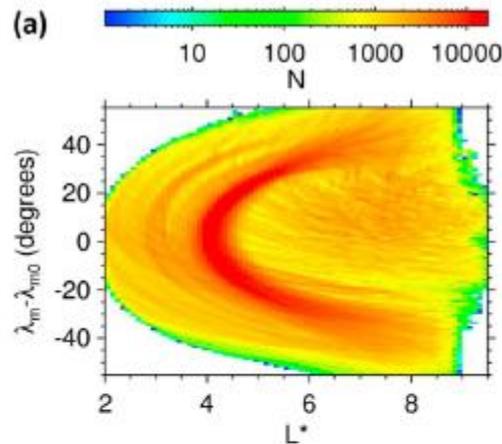
# Base statistique pour les chœurs

11 ans de données

Couverture orbitale

Différents seuils

→ 16 millions de spectres

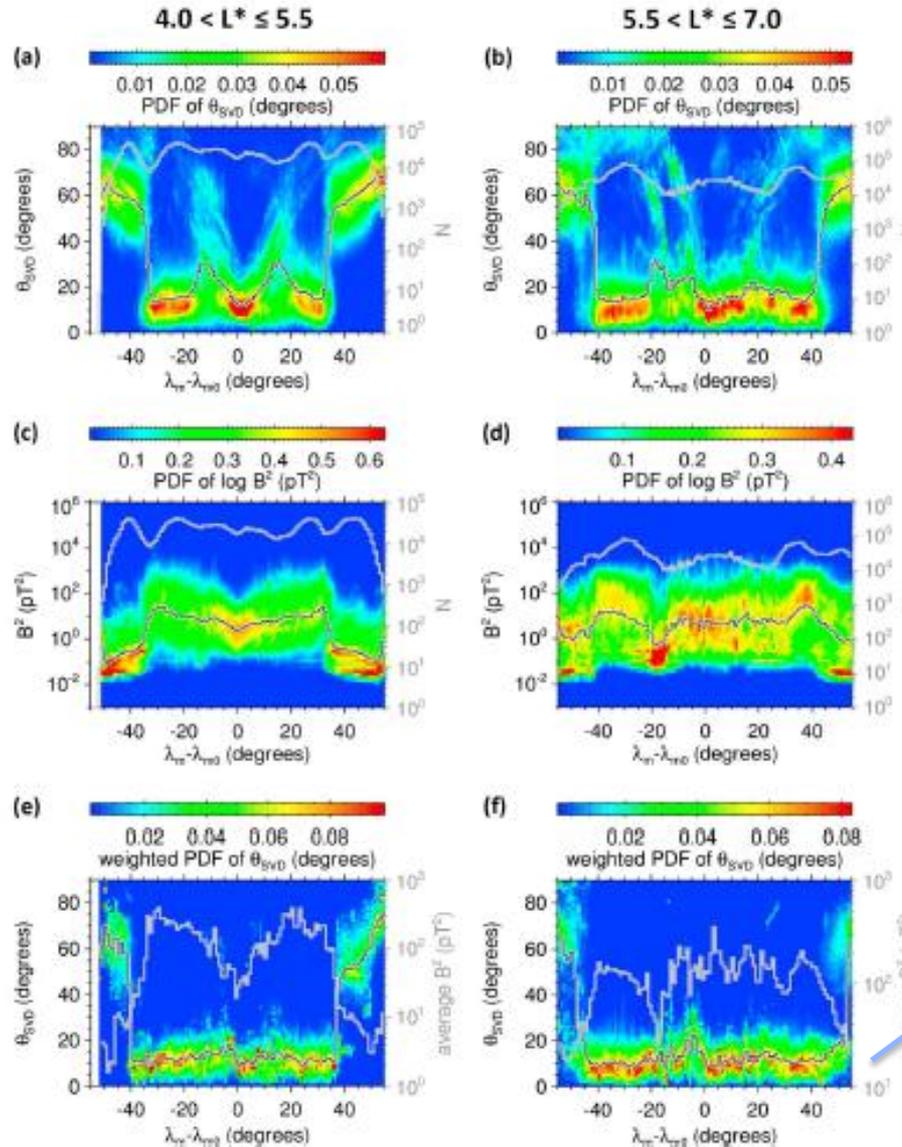


# Résultats statistiques

Propagation

Puissance

Angle de propagation pondéré par la puissance des ondes



—  
Nombre d'évènements  
—  
Valeur médiane

$\langle B \rangle$

Santolik et al, 2014

# La magnétosphère interne – le bruit équatorial



Ondes magnétosonores

Harmoniques de  $F_{ci}$

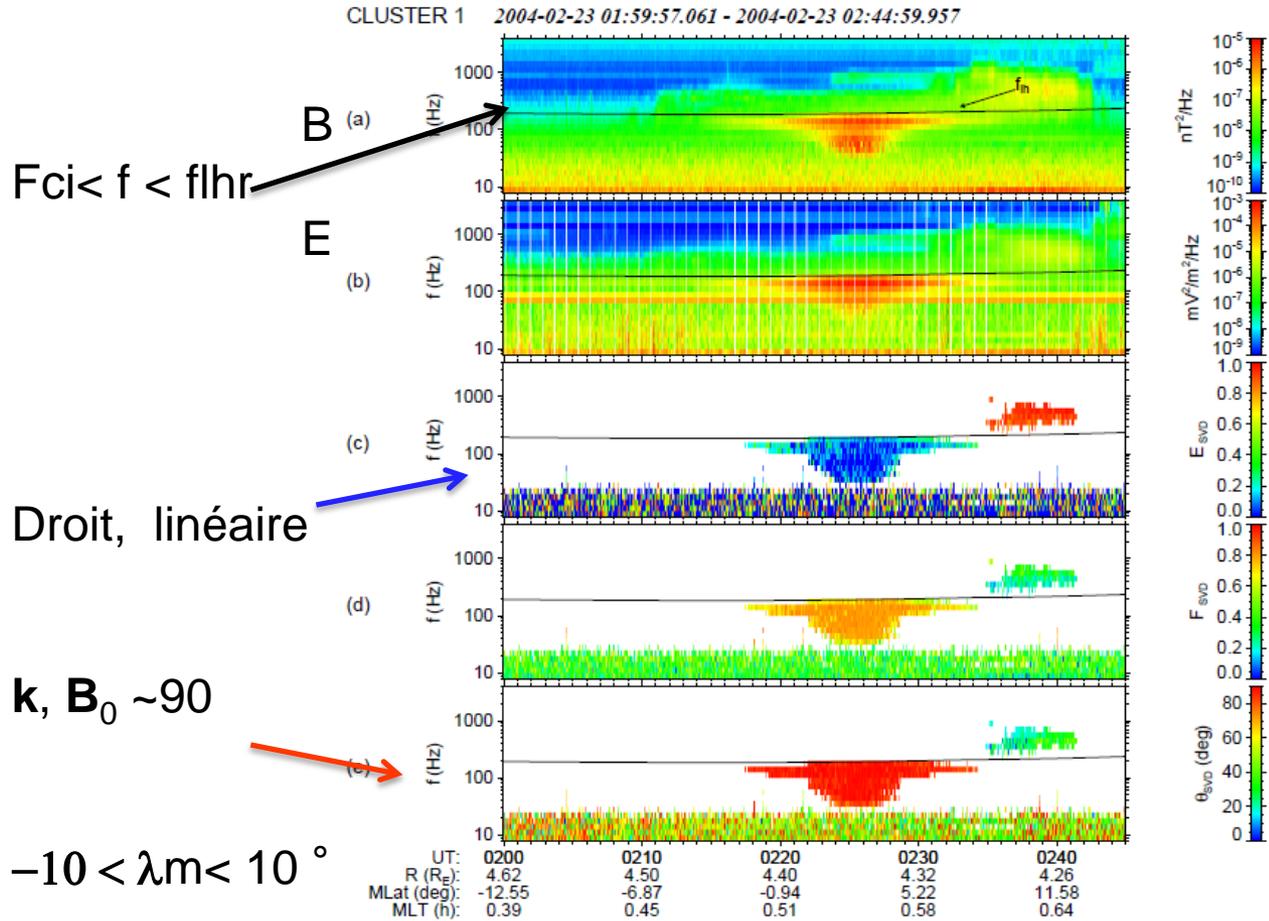
Protons  $\sim 10$  keV  
« ring like »  
distribution  $\sim 90^\circ$

Perraut et al 1982

Accélèrent électrons

$\rightarrow$  MeV

Horne et al, 2007

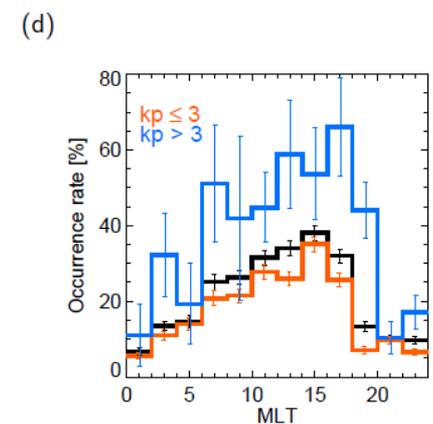
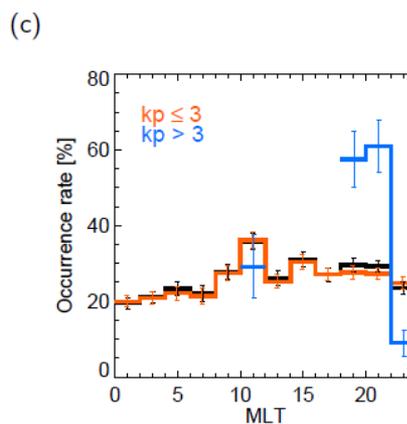
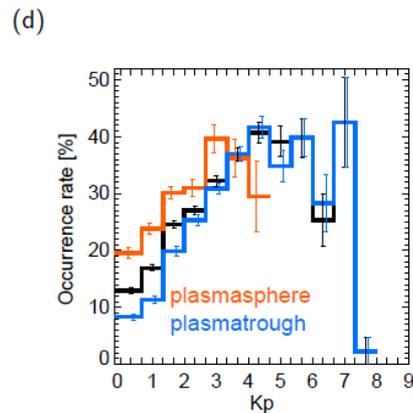
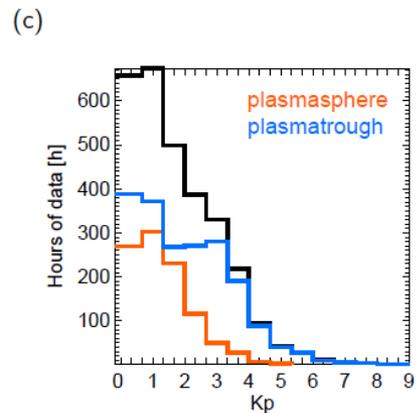
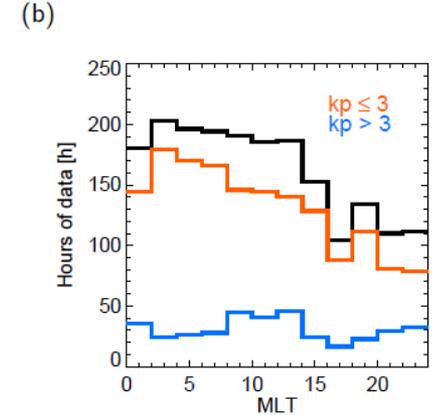
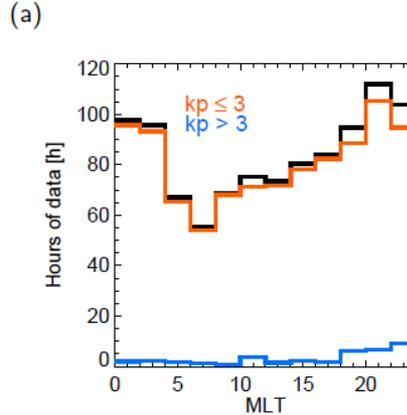
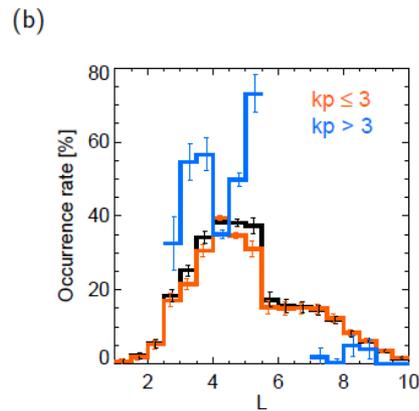
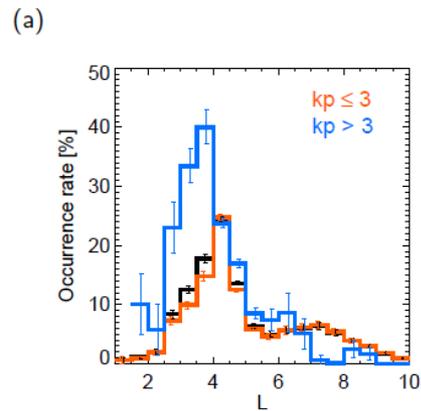


# Etudes statistiques

- Même base de données que pour les chœur du point de vue orbital
- Sélection sur des critères; seuil minimum sur B et E, maximum intensité pour  $\lambda_m < 7^\circ$  , ellipticité  $< 0.2$ , planarité
- Evite confusion avec d'autres types d'ondes
- 2000 évènements

# Résultats statistiques

## occurrence en fonction de L, MLT, Kp, % plasmopause



Hrbackova et al., 2015

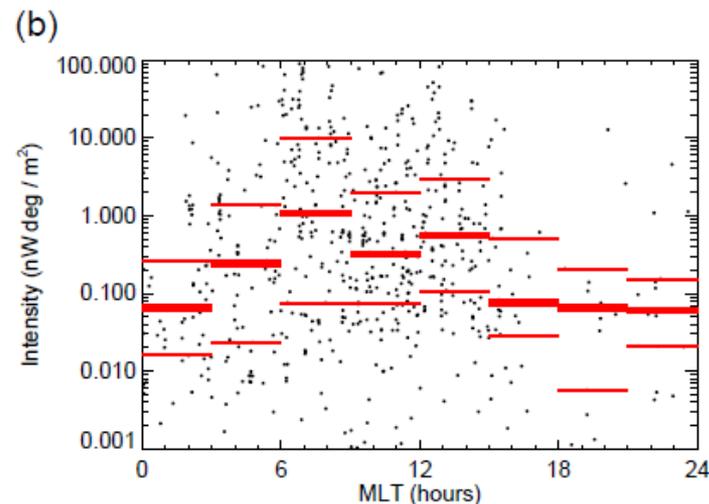
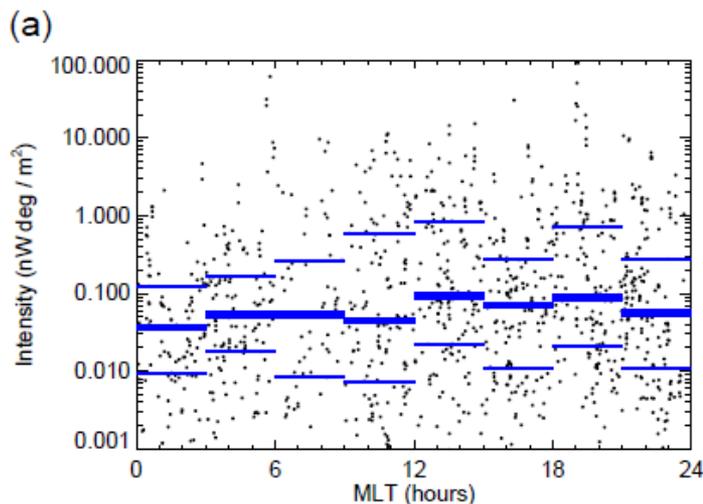
# Résultats statistiques

## occurrence en fonction de MLT et de l'activité

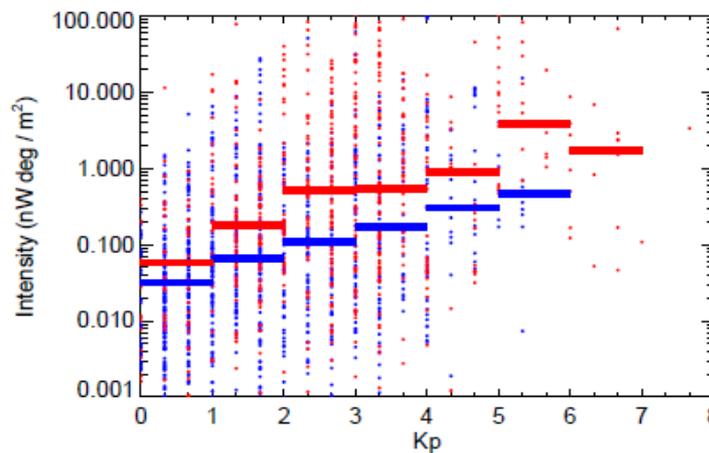
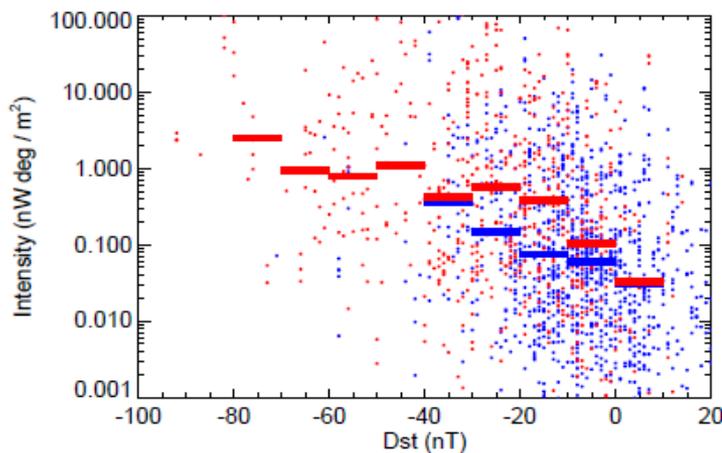
Plasmasphère:

Dedans —

à l'extérieur —



Intensité



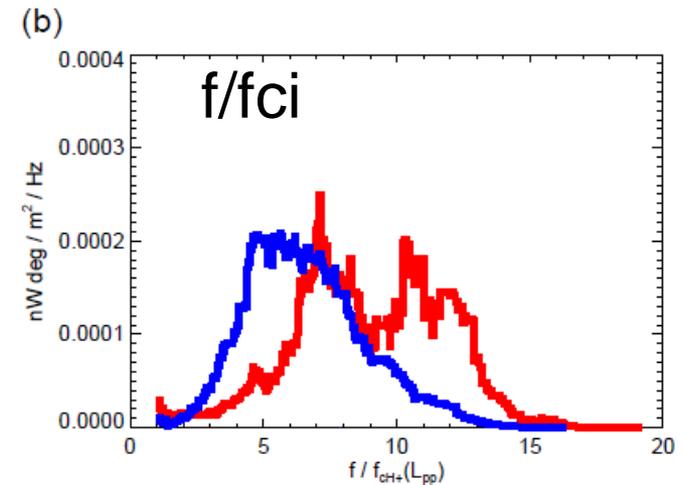
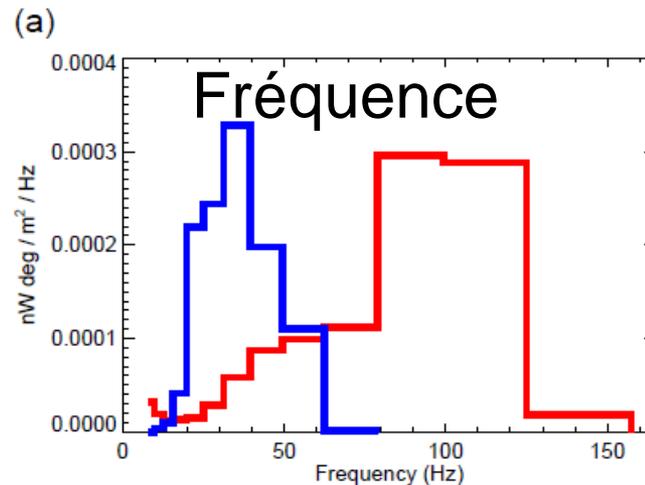
# Résultats statistiques

## occurrence en fonction de l'activité

Plasmasphère:

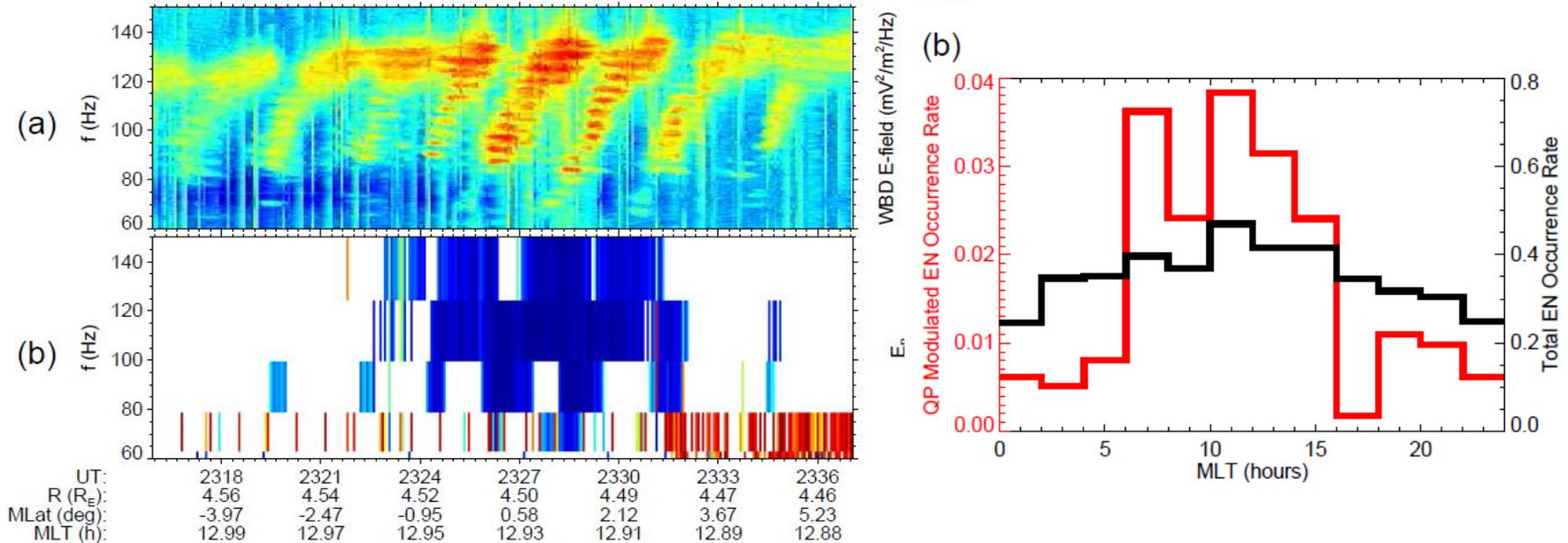
Dedans

à l'extérieur



Pose la question de la région de génération  
 $f > 30 f_{ci}$  si  $V_r > V_a$  et  $f < 30 f_{ci}$  si  $V_r < V_a$  (Horne et al, 2000) Mais  $f < 15 f_{ci}$

# modulation quasi périodique à interpréter - semblable aux QP VLF



10% du temps – en période d’activité – modulation B0 et

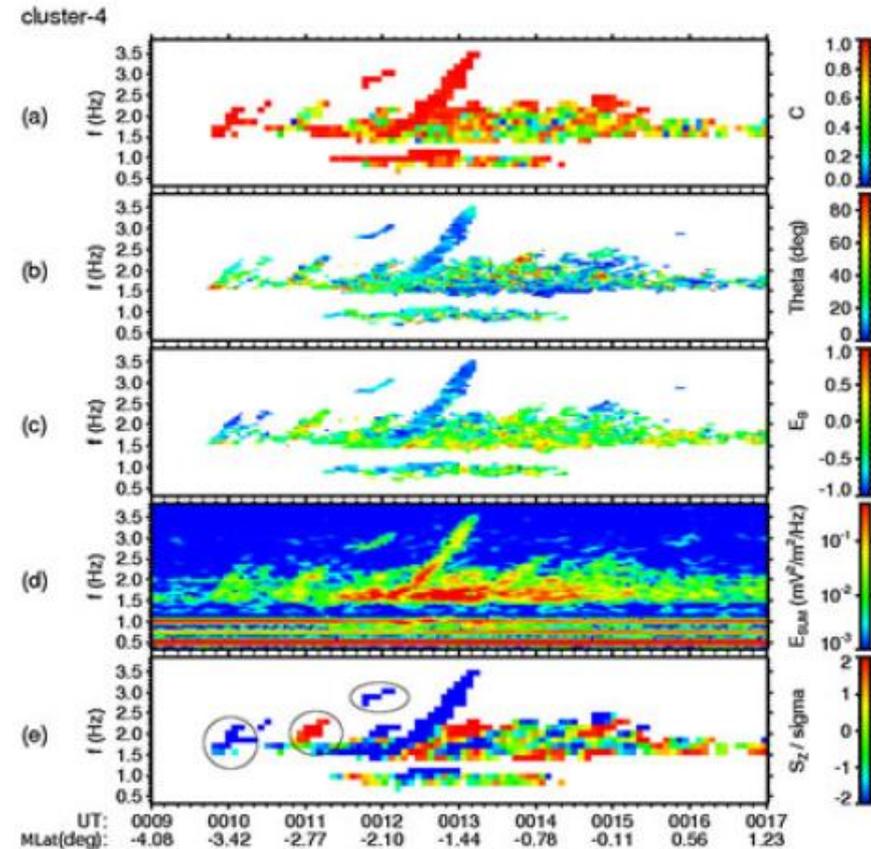
EN: entre 1 et 4

Rôle sur l’accélération des électrons ?

# La magnétosphère interne : ondes déclenchées par les EMIC



- EMIC : courant
- Triggered : première observation dans l'espace (Pickett et al, 2010)
- 8 ans d'observation: 4 évènements (Grison et al, 2013)
  - A la plasmopause,  $22 < LT < 24$
  - $-15 < \lambda_m < 15^\circ$
- Protons  $\sim 10$  keV



# Conclusions



- Etudes dans la magnétosphère interne près de l'équateur : loin des objectifs initiaux de Cluster
- De nombreux résultats
- Permet de voir l'évolution des ondes avec la latitude
- Outils de diagnostic permettant de faire des statistiques avec de meilleurs critères de sélection que les études reposant uniquement sur les mesures d'une ou 2 composantes électriques