

# La mission Alfvén+



Lead : M. Berthomier, LPP

Co-Lead : A. Fazakerley, MSSL, University College London

Consortium instruments : LPP, IRAP, LPC2E, LESIA, MSSL, CSL Liège, U. Leicester, SSL Berkeley, U. Calgary, IAP Prague, U. Varsovie, KTH Stockholm, IRF Uppsala, LASP Boulder, IC Londres, U. Sheffield, UCLA, U. Alberta

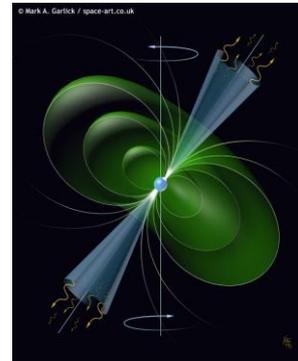
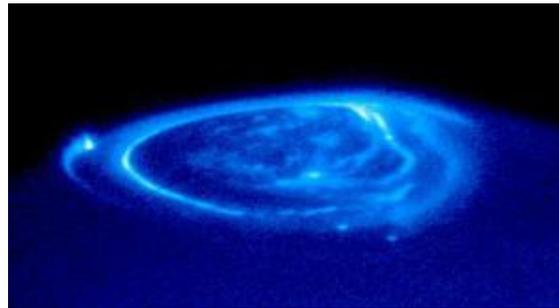
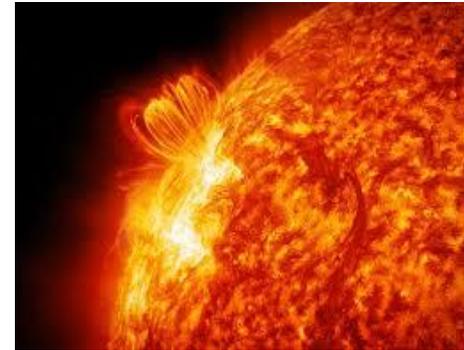
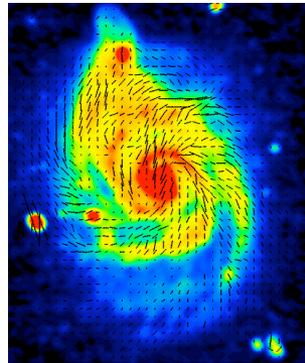
Design mission : CNES, Thalès Alenia Space

<http://www.alfvenm4.org>



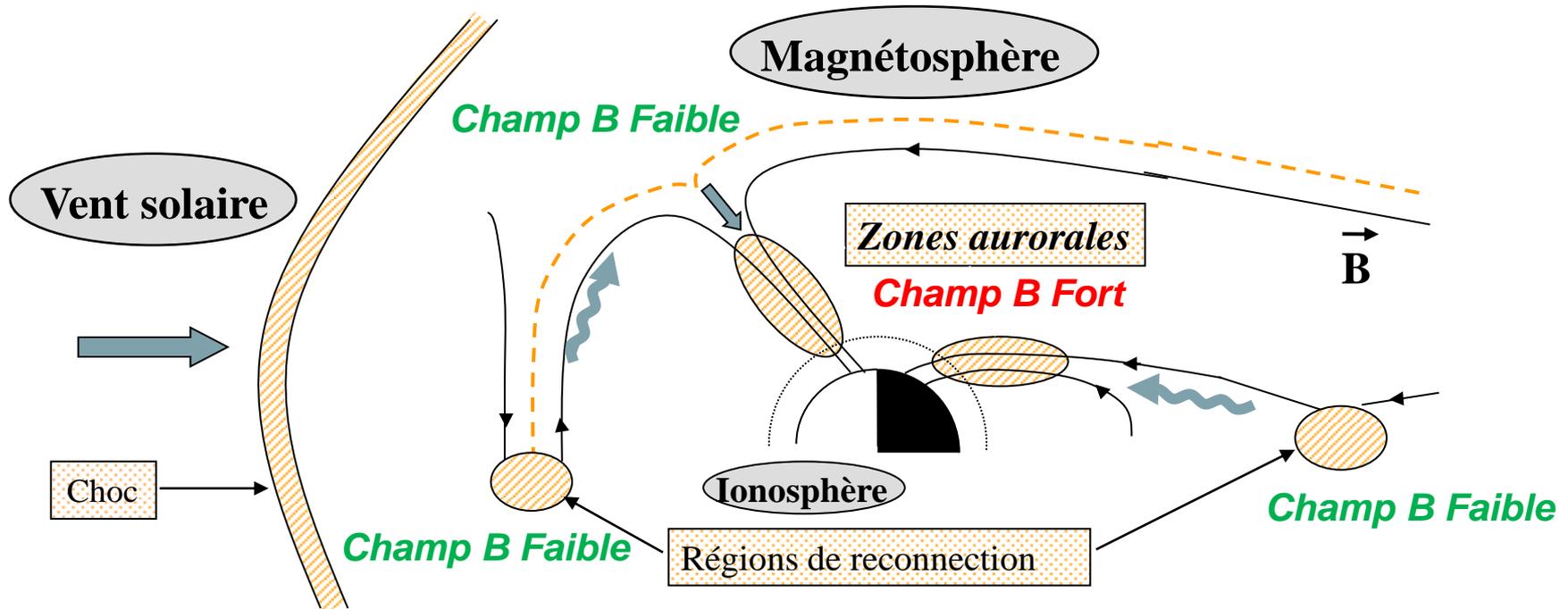
**Le champ magnétique** joue un rôle essentiel dans la structure interne et la dynamique de multiples objets astrophysiques: planètes, étoiles, galaxies, disques d'accrétion,...

En présence de champs forts, l'**accélération de particules** induit l'émission de rayonnements non-thermiques intenses qui nous permettent d'observer ces objets lointains et inaccessibles.



**Alfvén+** élucidera les mécanismes d'accélération de particules dans le seul milieu fortement magnétisé et aisément accessible à la mesure *in situ*, les régions aurorales de notre Planète.

Les aurores sont des phénomènes spectaculaires qui fascinent le grand public et dont le mystère reste entier. Elles sont la conséquence directe de l'accélération des particules à l'interface entre l'ionosphère et la Magnétosphère terrestre.

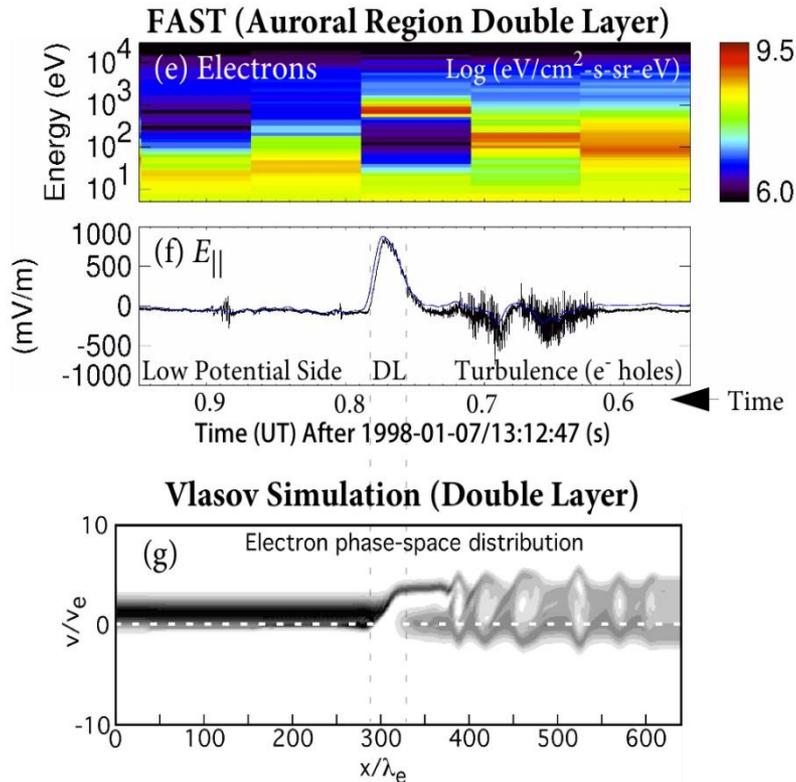


*des processus fondamentaux  
au sein d'interfaces dynamiques  
→ priorité SPS La Rochelle*

- Quels mécanismes d'accélération en champ magnétique fort ?
- Conséquences locales: rayonnement, turbulence, chauffage,...
- Conséquences globales: couplage magnétosphère-ionosphère

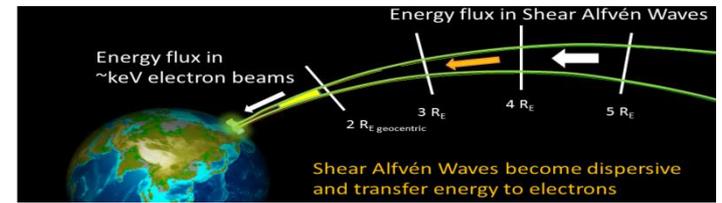
# Les deux modèles d'accélération en champ fort

## 1. Structures quasi-statiques à petite échelle

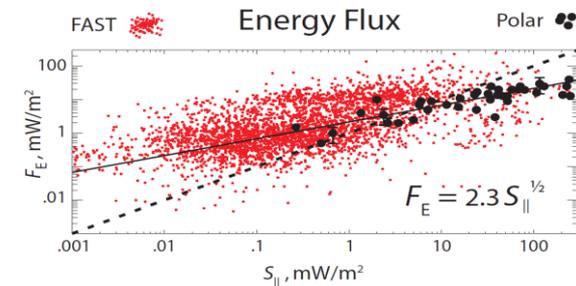
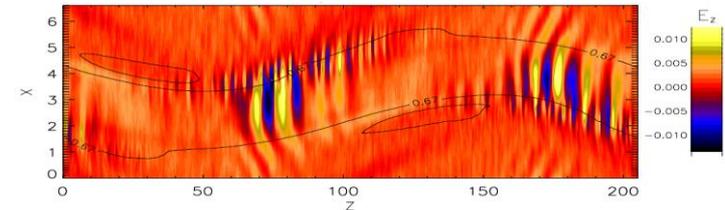


Accélération localisée sur quelques km ?

## 2. Ondes d'Alfvén à grande échelle



Simulation de la filamentation des ondes d'Alfvén

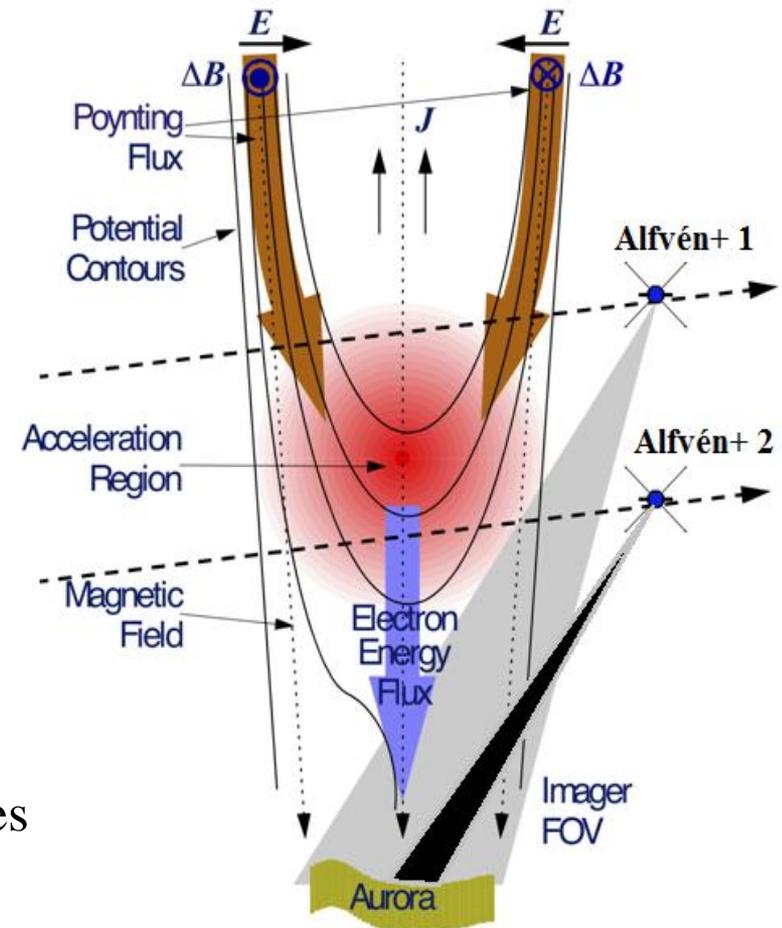


Accélération à l'échelle de 100's km ?

*Intercepter un tube de flux en 2 points permettra de déterminer comment l'énergie EM est convertie en énergie cinétique à l'interface Magnétosphère-Ionosphère*

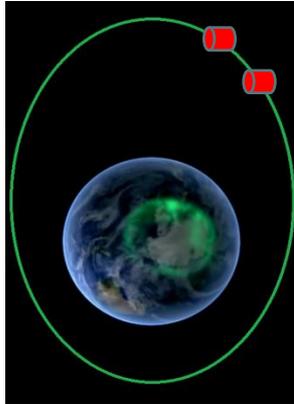
# Le concept de mission

- 2 satellites interceptent une ligne de champ B dans les régions d'accélération aurorales
- Distances de séparation variables le long de B
- Bilan d'énergie le long de B par la mesure *in situ* et l'observation simultanée des aurores
  - Mesure des champs électromagnétiques
  - Mesure des particules accélérées
  - Imagerie UV *multi-échelles* des aurores
- 2 satellites décalés sur la même orbite
  - variabilité spatio-temporelle des phénomènes
  - variabilité Nord-Sud du couplage M-I



# Un concept de mission en 3 phases

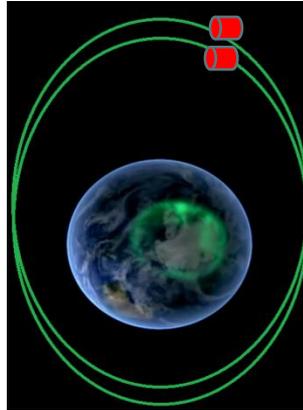
Phase transverse



- Satellites en mode poursuite
- Variations spatio-temporelles
- Distances variables 5 -1000km

Durée : commissioning + 6 mois

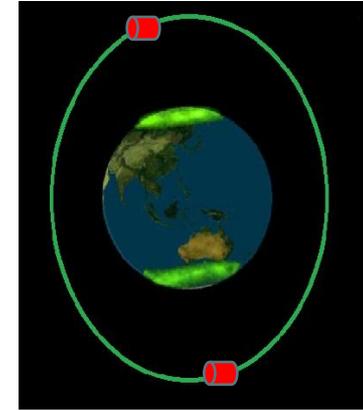
Phase parallèle



- Satellites alignés le long de B
- Bilan d'énergie EM et cinétique
- Distances variables 5 -1000km

Durée < 2 ans

Phase bipolaire



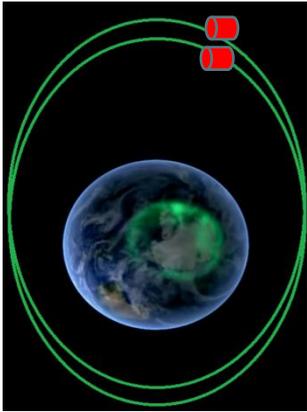
- Satellites déphasés de 180°
- Asymétrie du couplage M-I
- Variabilité Soleil-Planète

Durée : 1 an



Mesures avec une suite d'instruments *in situ* identiques sur chaque satellite

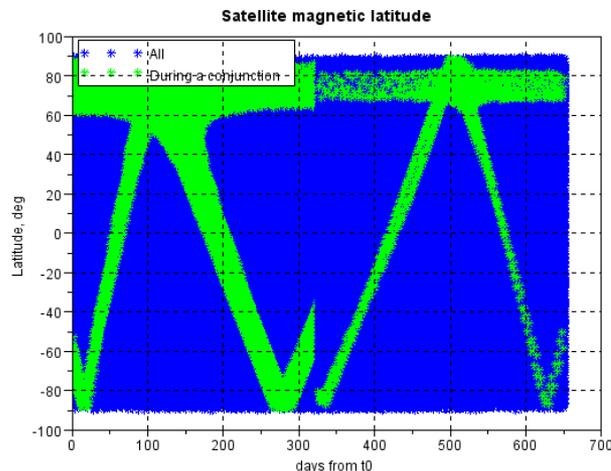
# Alfvén+ – Phase 2: Phase Parallèle



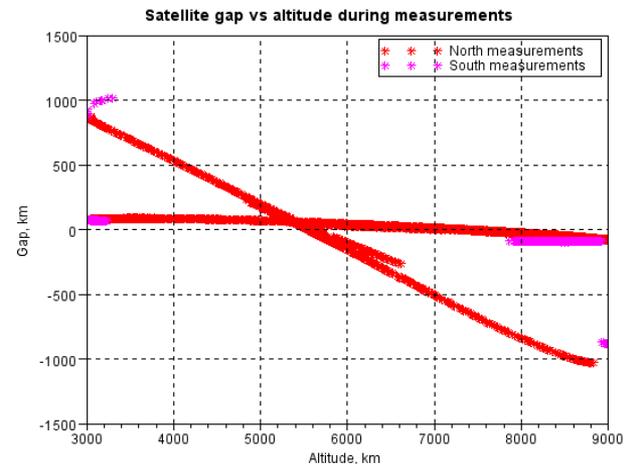
Orbite polaire 3,000 x 9,000 km

**OR4.** *Maneuvers shall provide high-accuracy magnetic conjunctions between the S/C with separation distances ranging from 5 to 1,000 km. A scan of the initial orbit altitudes shall be performed during this Phase, both at low separation distance (<100 km) and at high separation distance (>100 km) → 650 days (period of rotation of line of apsides)*

“This can be achieved by modifying the eccentricity of the orbit of one S/C without changing the semi-major axis. A differential drift of the argument of perigees produces a tilt between the lines of apsides of the S/C orbits, leading to frequent magnetic conjunctions. “



Couverture des latitudes magnétiques



Scan des altitudes à différentes échelles

# Consortium instrumental

## ➤ 3 sous-ensembles

- Instruments Particules

- Imageur UV

- Instruments Ondes

## ➤ Rôle de la France

- Lead Proposer

- 20% du payload en masse

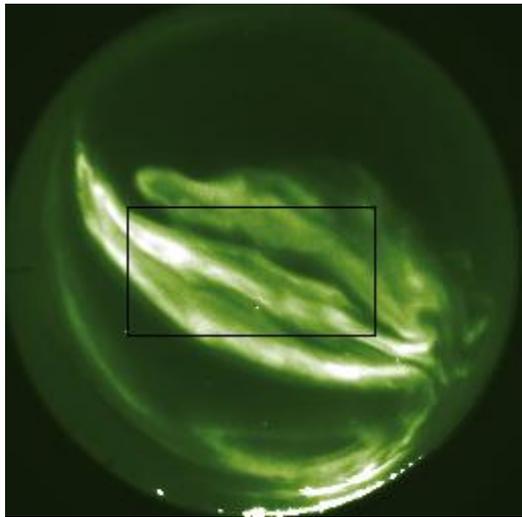
- Spectros ions (LPP/IRAP)

- Magnétomètre AC (LPC2E)

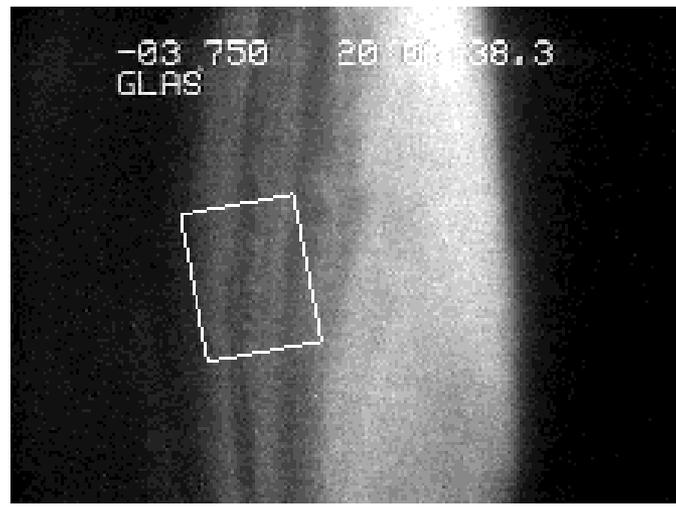
- Contribution à l'analyseur (LESIA)

Core payload elements	Institutions	Measurements/Observations
PSCU: Particles DPU	MSSL, UK	Particles Data
EESA: Electron Spectrometer	MSSL, UK	Pitch-angle distribution, few eV to 25keV
<b>IMS: Ion Mass Spectrometer</b>	<b>LPP, France</b>	<b>Ion mass distribution, few eV to 10keV</b>
<b>IESA: Ion Spectrometer</b>	<b>IRAP, France</b> IASB, Belgium	<b>Pitch-angle distribution, few eV - 25keV</b>
WIFSI/HIRIS UV Multi-Scale Imaging	<u>CSL, Belgium</u> Leicester, UK SSL, USA Calgary, Canada	Wide/Narrow FOV UV Images
FDPU: Fields DPU	Warsaw, Pologne	Fields Data
E3D: 3D Electric Field	KTH, Sweden LASP, USA	<b>3D E-field, DC to 1MHz</b>
WA: Wave Analyzer	<u>IAP, Czech Republic</u> <b>LESIA, France</b>	Processing of E&B Fields data,
MAG: DC Magnetometer	Imperial College, UK	3D B-Field, DC to 30Hz
EDEN: Sounder	Sheffield, UK	Electron Density
<b>SCM: AC Magnetometer</b>	<b>LPC2E, France</b>	<b>3D B-Field, few Hz to 1MHz</b>

Optional payload	Institutions	Measurements/Observations
Energetic Particles	UCLA, USA	Energetic particles(e-<1MeV, p< 500keV)
High Energetic Particles	Alberta, Canada	Energetic particles(e-<3MeV, p<30MeV)



~1000 km

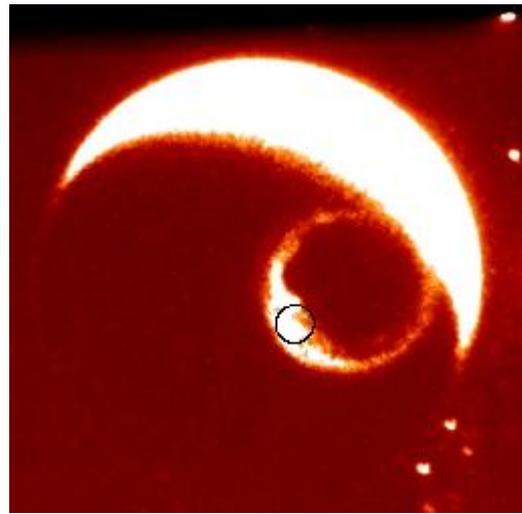


220 km

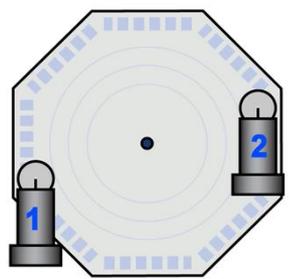


40 km

Film : 20 msec exposures in N2-1P light



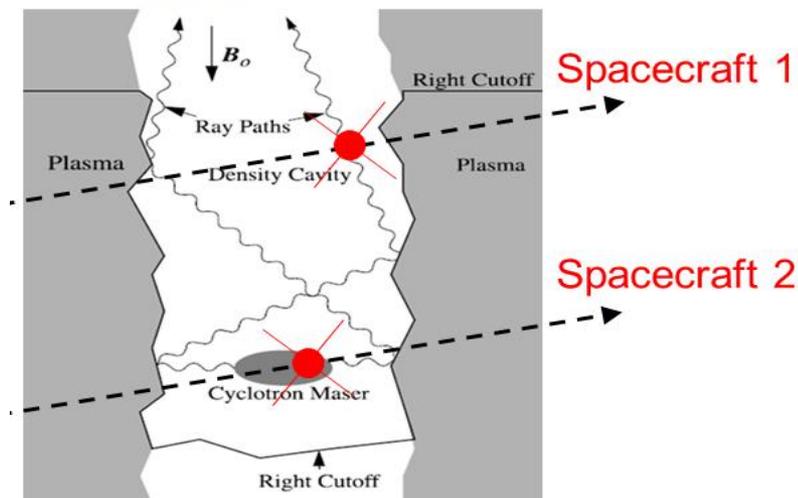
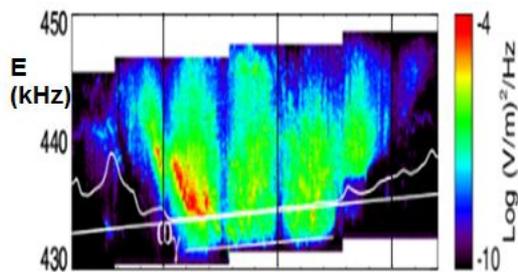
Imagerie globale



- Imageur grand champ, 10 sec, meso-scale, LBH short/long → Electron Flux +  $\langle E \rangle$
- Caméras CMOS rapides, km-scale, 100 msec
- Flux de données de 12 Mbps !

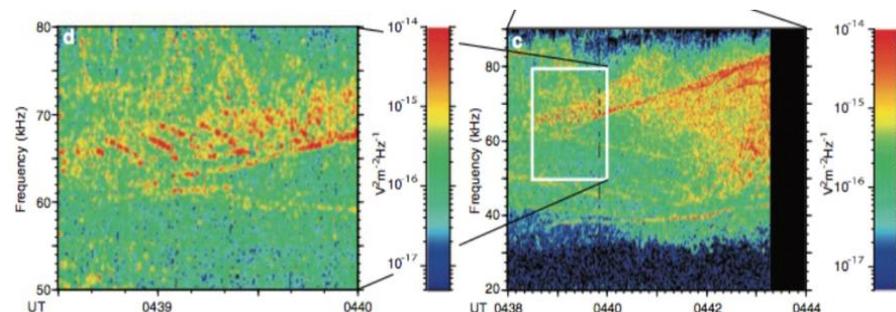
- How does the acceleration vary spatially and temporally ?
- Are spatio-temporal variations in electron NRJ or flux ?
- How stationary are QS field-aligned potential structures ?
- Correspondance point à point des observations UV et in situ
- .....

# Alfvén+ – Comprendre la propagation et la structure fine de l'AKR



Polarisation du rayonnement en 2 points  
 → Conversion de mode de propagation ?

- Le rayonnement, un outil de diagnostic des régions d'accélération de particules
- Problématique de l'échappement du rayonnement
- Rôle de la turbulence dans sa structure fine



Observations SKR

Evolution le long du champ des émissions  
 → Rôle des structures localisées ?

**WA-HFR (LESIA, Meudon):** Wave Analyzer – High Frequency Receiver

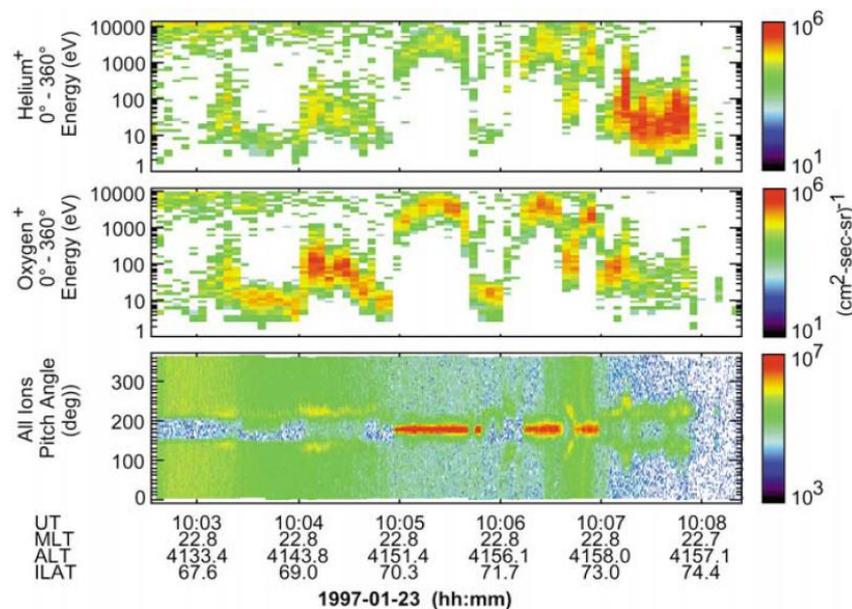
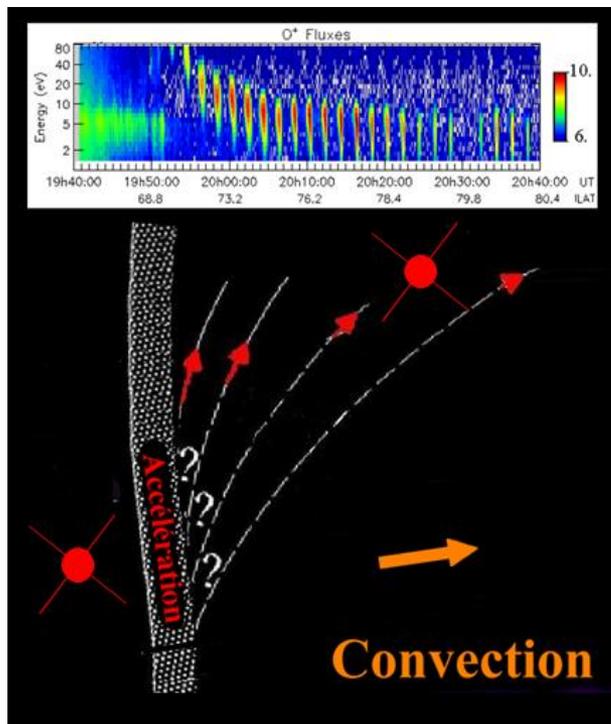
**IR11.** WA shall digitize 3 **E** and 3 **B** with dynamic range >90 dB up to 1.2 Msps and compute the averaged **E** and **B** cross-spectral matrix **every 100 ms with 100 Hz resolution** around  $f_{ce}$ .

# Alfvén+ – Découvrir les relations de transport du couplage M-I

➤ L'impact de l'échappement ionosphérique sur le couplage Magnétosphère-Ionosphère (MI) dépend de son flux en énergie

→ Taux d'énergisation des ions le long du champ

→ Relations de transport décrivant le couplage MI



**IMS (LPP, Paris):** Ion Mass Spectrometer

**IR6.** IMS shall provide ion mass resolved 5eV-10keV PAD every **200 ms** with <15% energy and <15° angular resolution.

➤ Quelques heures de données jusqu'à présent

➤ Pas de mesures *in situ* simultanées

→ Alfvén+ ouvrira un nouveau champ de recherche sur l'interaction Soleil-Planète en fournissant des mesures systématiques de l'assymétrie aurorale

➤ Origines possibles de l'assymétrie:

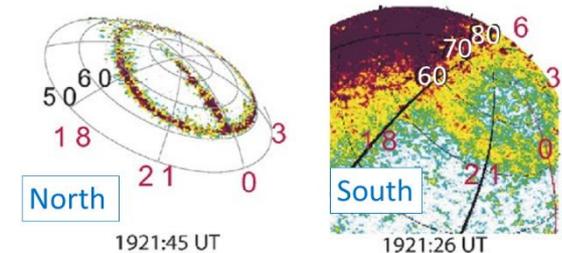
- Rôle de l'IMF  $B_x$  sur la dynamo magnétosphérique avec une assymétrie des courants de région 1 [Cowley, 1981]

- Variation saisonnière de l'illumination ionosphérique dû au tilt du dipôle terrestre → courants inter-hémisphériques près du terminateur [Benkevich et al., 2000; Lyatskaya et al., 2009]

- Pénétration de l'IMF  $B_y$  dans la magnétosphère qui induirait un courant inter-hemisphérique [Stenbaek-Nielsen and Otto, 1997].



*Laundal, 2009*



*Trans-polar cap arc assymétrique*

# En résumé

- Alfvén+ élucidera les **mécanismes d'accélération de particules et leurs conséquences** dans les milieux fortement magnétisés (rayonnement, turbulence, chauffage).
- Alfvén+ explorera le **couplage Magnétosphère – Ionosphère** avec des mesures in situ et une imagerie UV à haute résolution spatio-temporelle
- Ce concept de mission fait l'objet d'un **consensus** car il permet de répondre à des questions fondamentales sur l'interaction Soleil-Planète.
- **La communauté française** a initié ce projet et ses équipes possèdent les compétences techniques et scientifiques pour y participer.