

Journée scientifique d'hommage à Catherine Lacombe

Lundi 9 septembre 2024, 9h30-17h30

Salle de conférence du château, Observatoire de Paris, site de Meudon



Olga Alexandrova

LESIA, Observatoire de Paris, Meudon, France

olga.alexandrova@obspm.fr

30 nov. 2005

Soutenance de thèse (d'Olga)



Septembre 2007

Pot de départ pour Cologne





Conférence pour 70 ans d'André
Septembre 2007



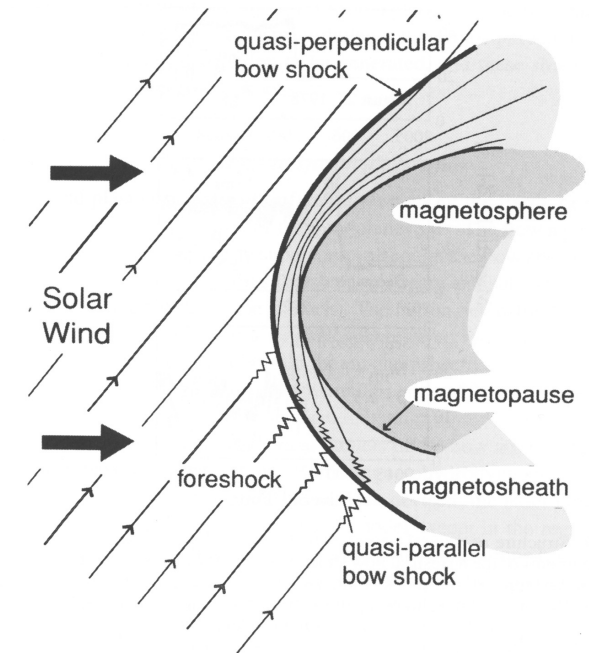
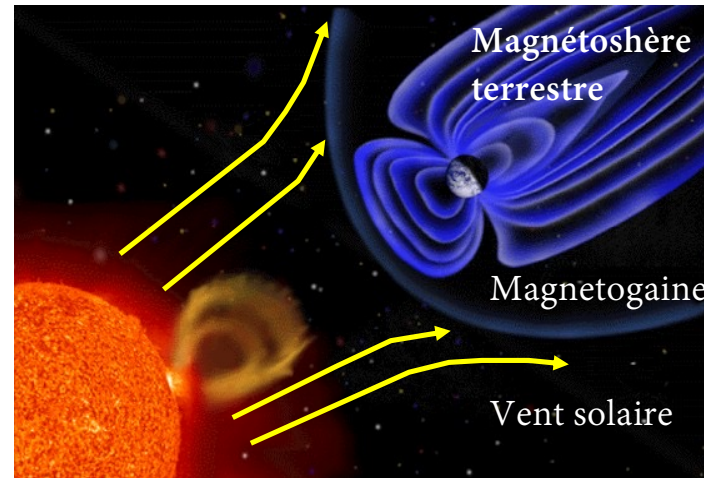


Chez André 05/09/2015

24/01/2017 Anniversaires de janvier



Cadre, thèmes de recherches et qqs résultats



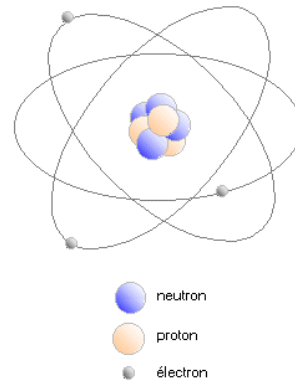
Thèmes de recherche:

- Plasmas spatiaux
- Soleil, vent solaire, magnétosphère de la Terre, choc
- Ondes et turbulence dans le vent solaire et dans la magnetogaine terrestre

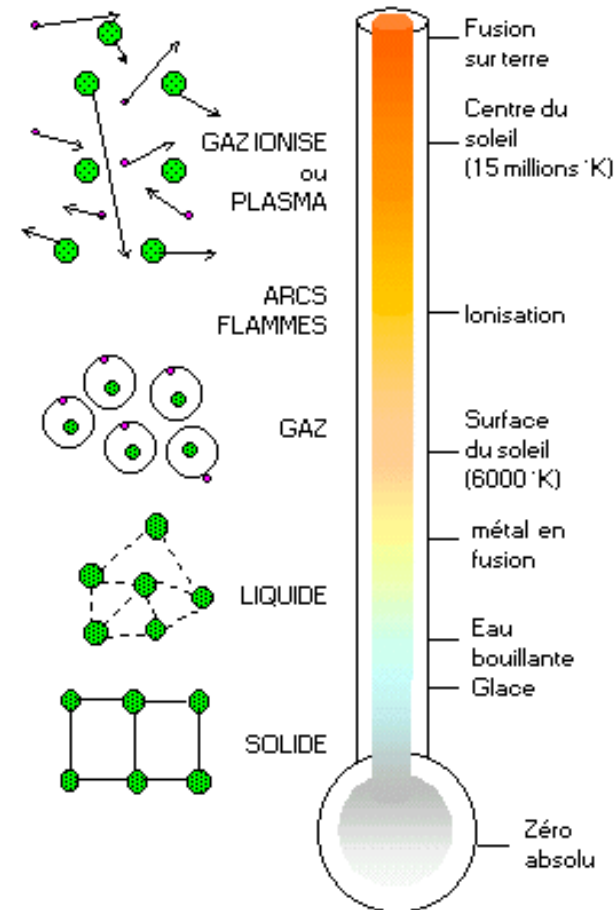
Le plasma : le quatrième état de la matière

Tous les corps de la nature sont constitués à partir d'atomes (ou d'assemblages d'atomes, appelés molécules).

Un atome = un noyau central + un nuage des électrons.

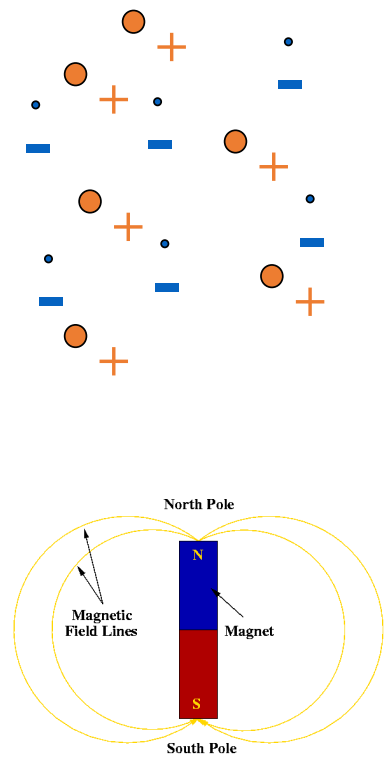
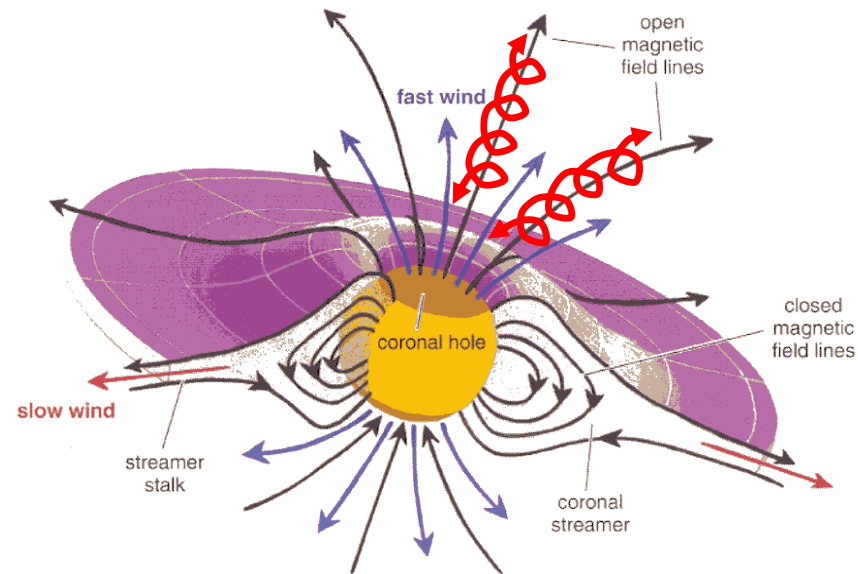


Un plasma peut donc être considéré comme un mélange d'ions chargés positivement et d'électrons chargés négativement (coexistant éventuellement avec des atomes et des molécules neutres).



Vent solaire

- Expansion de la couronne solaire dans l'espace interplanétaire
- Plasma : gaz ionisé, composé essentiellement d'électrons et de protons

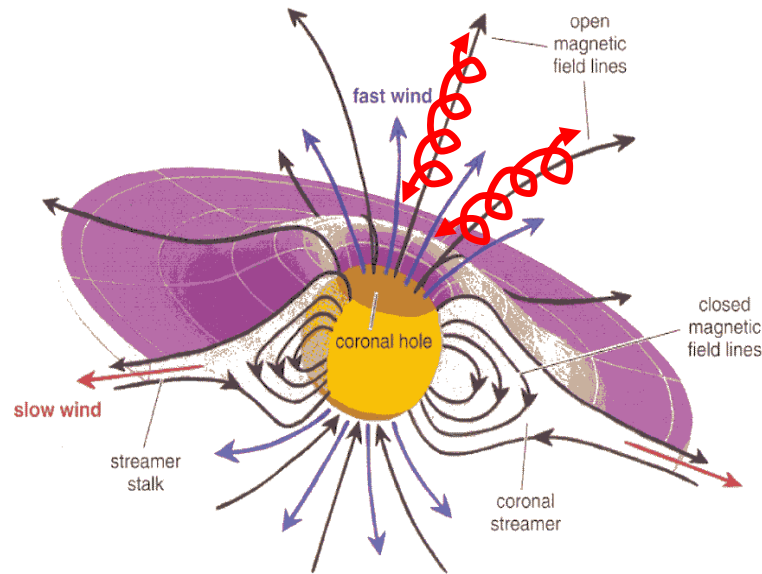
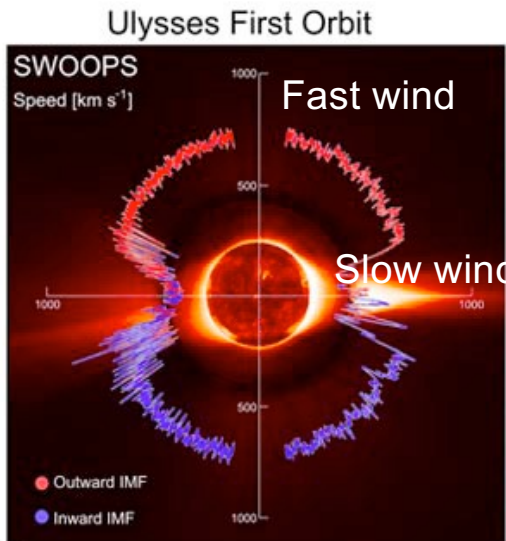


Vitesse du vent lent $V = 300-400 \text{ km/s}$, vent rapide $V = 600-800 \text{ km/s}$
température : $T=2-3 \cdot 10^5 \text{ K}$, densité : $n=3-10 \text{ cm}^{-3}$

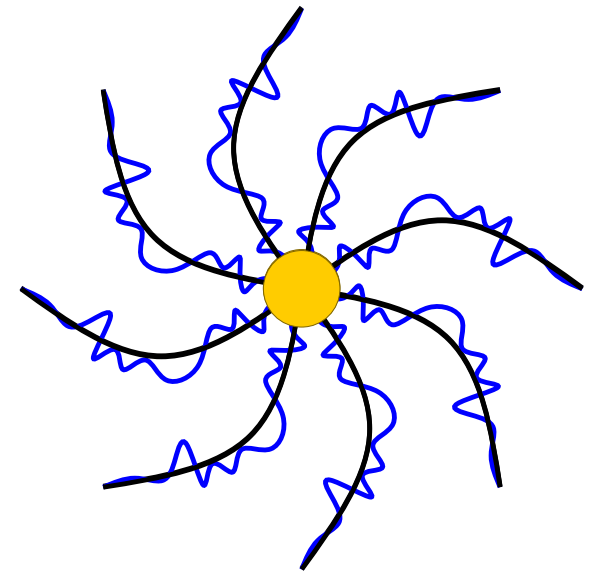
Libre parcours moyen $\sim 1 \text{ UA}$ (1 UA = distance Soleil-Terre)

Vent solaire est un plasma \sim 'sans-collisions' => physique des chocs, turbulence... ?

Champ magnétique interplanétaire



Parker Spiral

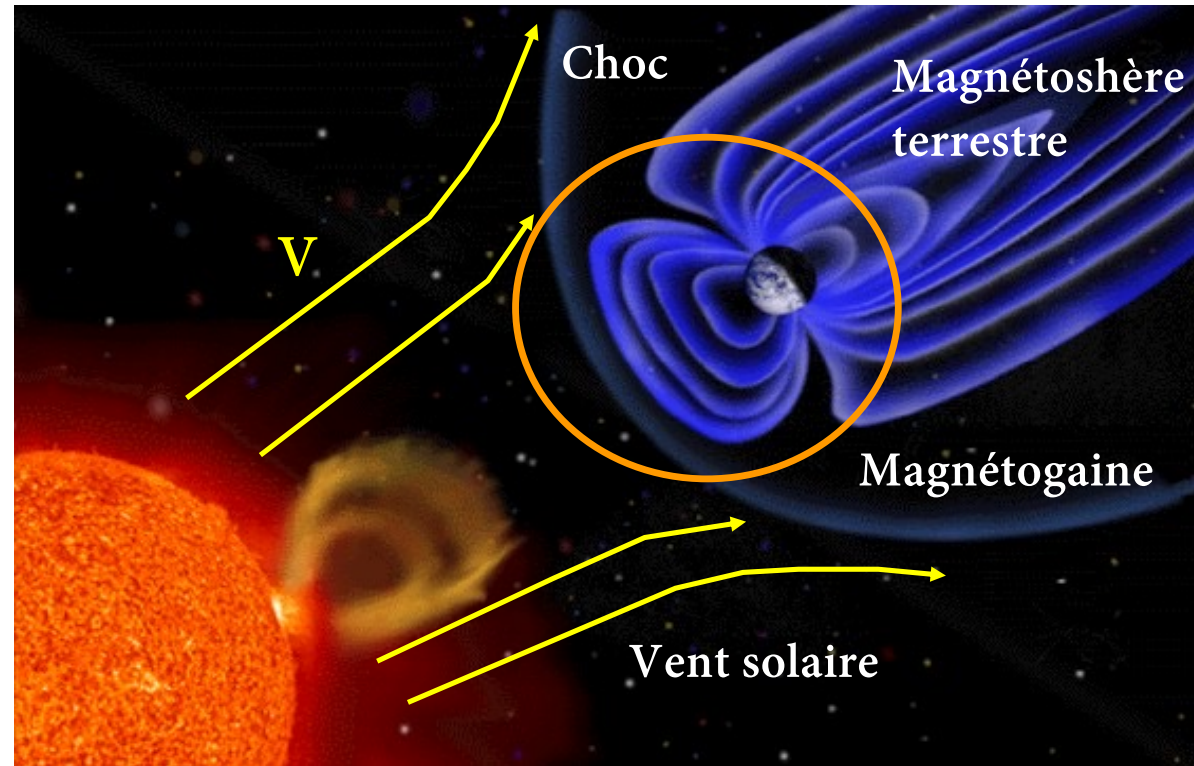


Le champ magnétique est turbulent

Vent solaire et la magnétosphère terrestre

$V = 300-800 \text{ km/s}$
 $V_{\text{son}} \sim 100 \text{ km/s}$

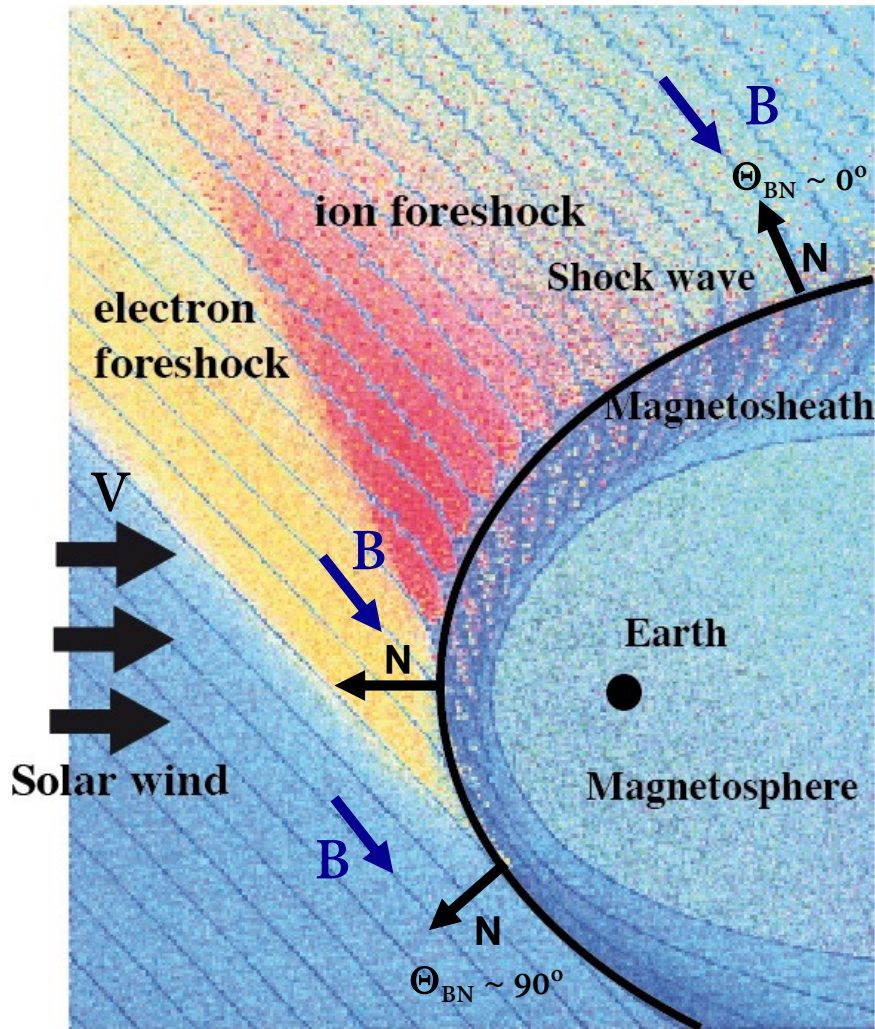
$V > V_{\text{son}}$
écoulement
super-sonique



Interaction du vent solaire supersonique avec le champ magnétique de la Terre =>

- Formation de la magnétosphère
- Génération de l'onde de choc devant la magnétosphère

Géométrie du choc et du 'foreshock'



L'orientation du champ magnétique B dans le vent solaire définit la géométrie locale du choc :

Choc perpendiculaire : $\Theta_{BN} \sim 90^\circ$

Choc parallèle : $\Theta_{BN} \sim 0^\circ$,

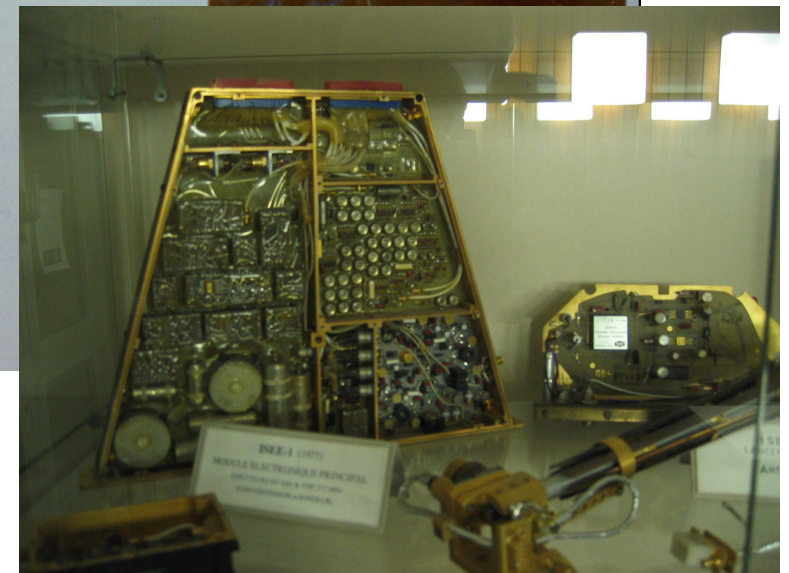
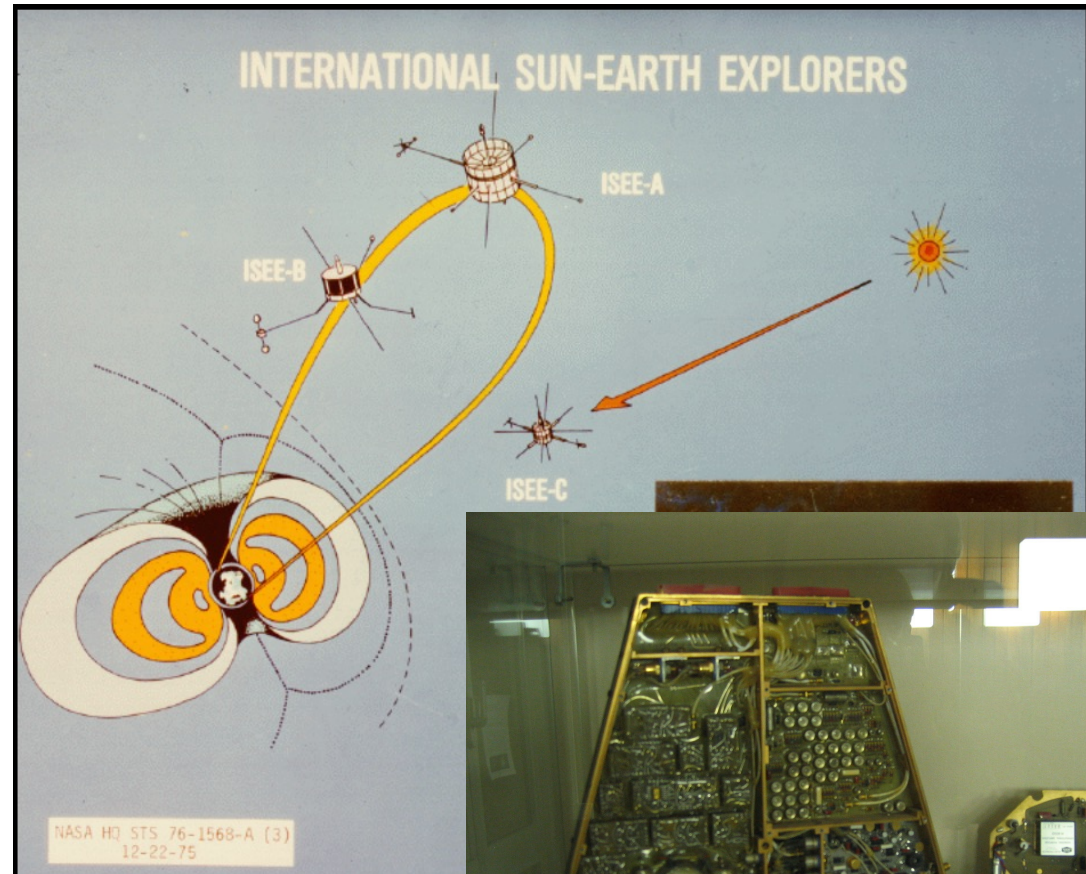
Choc oblique et quasi-parallèle $\Theta_{BN} < 45^\circ$:
particules (e & ions) réfléchis sur le choc =>
formation d'un 'foreshock'

physique des chocs sans collisions

Le programme ISEE International Sun-Earth Explorer (NASA/ESA)

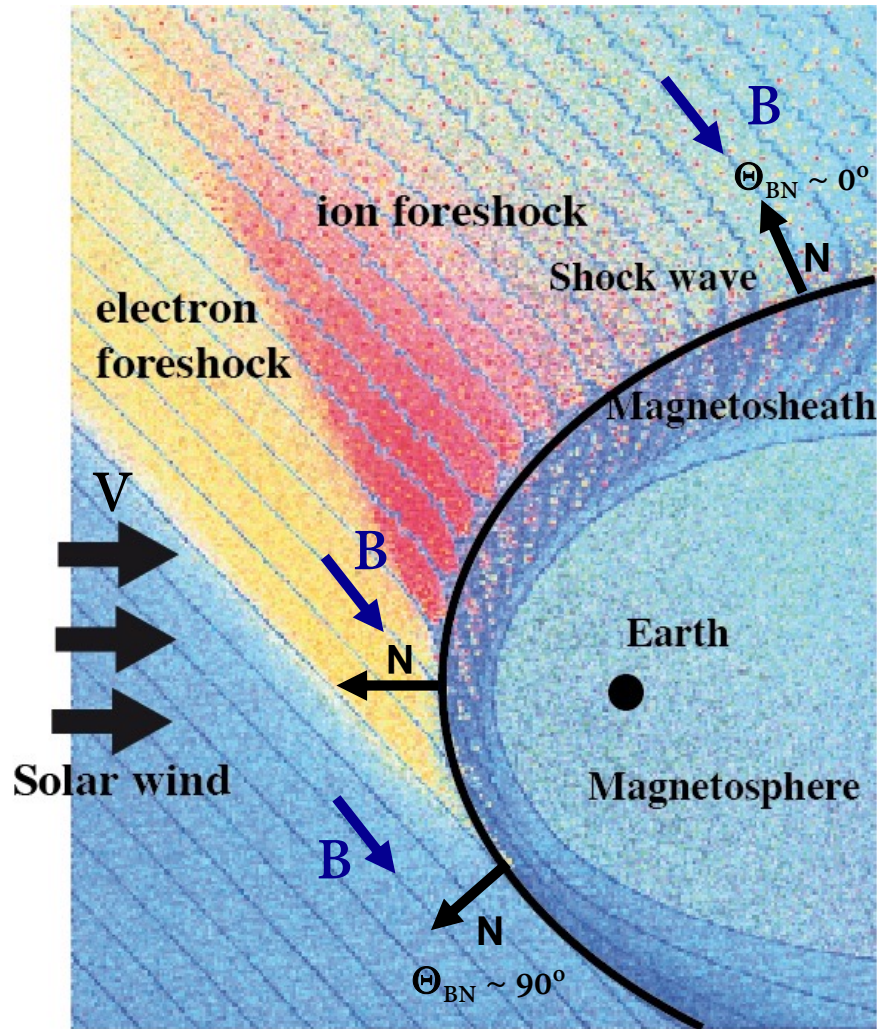
est une série de trois satellites scientifiques, lancés en 1977/1978 pour étudier les interactions entre le vent solaire et la magnétosphère terrestre. ISEE 1 et 2, en circulant sur une orbite commune à très faible distance l'un de l'autre, inaugurent une nouvelle technique d'étude de la magnétosphère permettant de lever l'ambiguïté entre variation spatiale et temporelle des phénomènes observés aux limites de cette région de l'espace. ISEE-3 est le premier satellite placé en orbite autour du point de Lagrange L1. Rebaptisé ICE il survole la comète de Giacobini-Zinner en 1985 puis la comète de Halley en 1986.

[Wikipedia]



Instrument Radio (LESIA)

Emissions fp & 2fp dans le foreshock



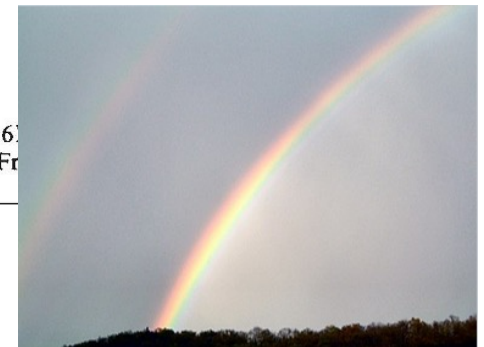
Letters to Nature, 1987

Simultaneous observation of fundamental and second harmonic radio emission from the terrestrial foreshock

D. Burgess*, C. C. Harvey†, J.-L. Steinberg† & C. Lacombe†

* Mullard Space Science Laboratory, Dorking, Surrey RH5 6TP, UK
 † DESPA, Observatoire de Paris-Meudon, 92195 Meudon, France

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n e^2}{m \epsilon_0}}$$



[Lacombe et al. 1988] « ... il y a un rayonnement à 2 fp à 20 R_T et 200 R_T de la Terre. La source de ce rayonnement électromagnétique se trouve près de la limite amont de l'onde de choc, la surface où les lignes de champ magnétique sont tangentes à l'onde de choc. »

En aval du choc: la magnétogaine terrestre avec ISEE

1ère observation d'ondes miroirs [Hubert et al. 1989] et études des ondes Alfvén Ion Cyclotron (AIC) et mode miroir [Lacombe et al. 1990, 1992, 1995; Lacombe & Belmont 1995].

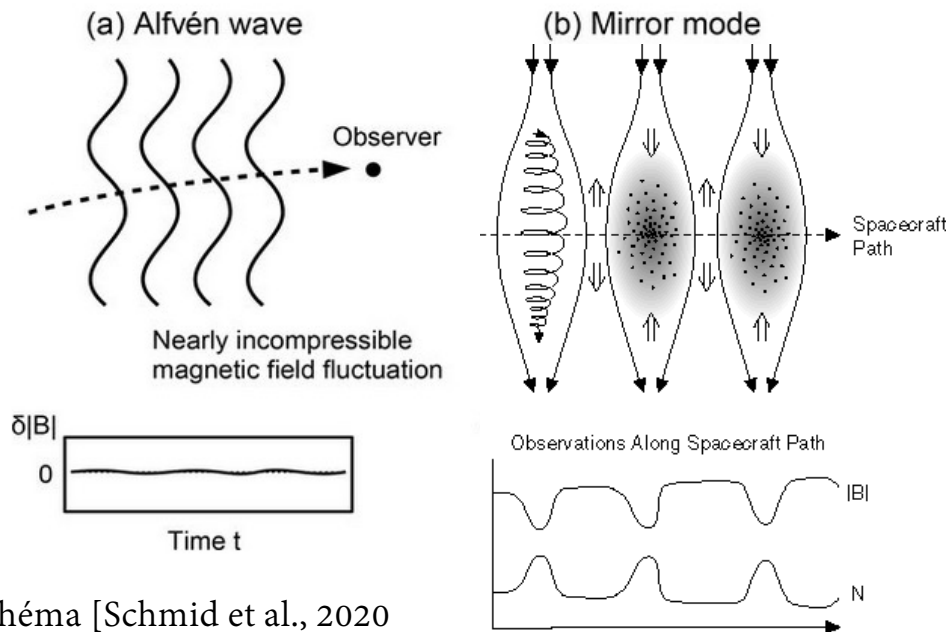
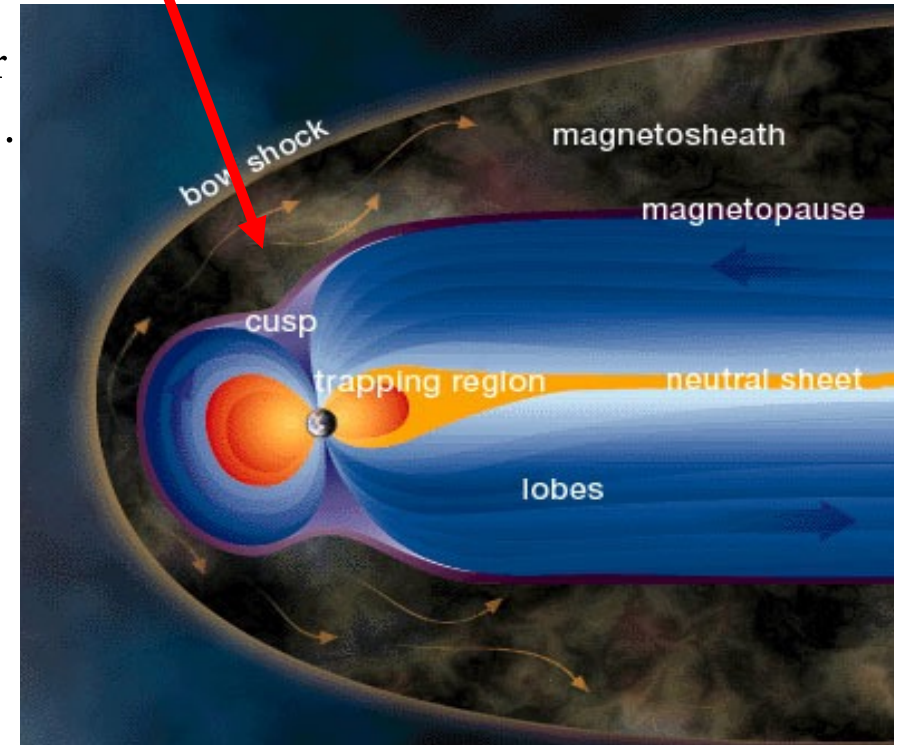
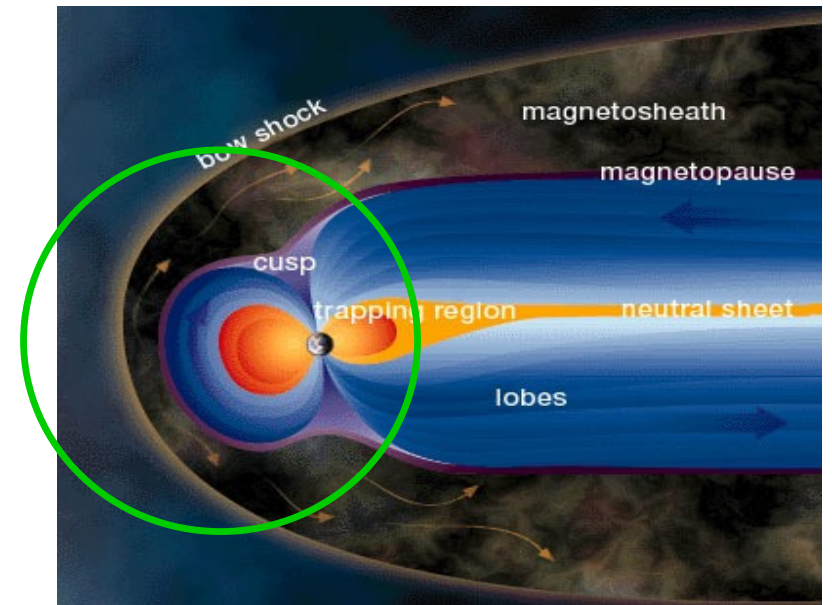


Schéma [Schmid et al., 2020
Treumann and Baumjohann, 1996; Kivelson and Southwood, 1996]



Mission Cluster [2000-2024]

Interaction du vent solaire avec la magnétosphère de la Terre: mesures en 3D, temps/espace

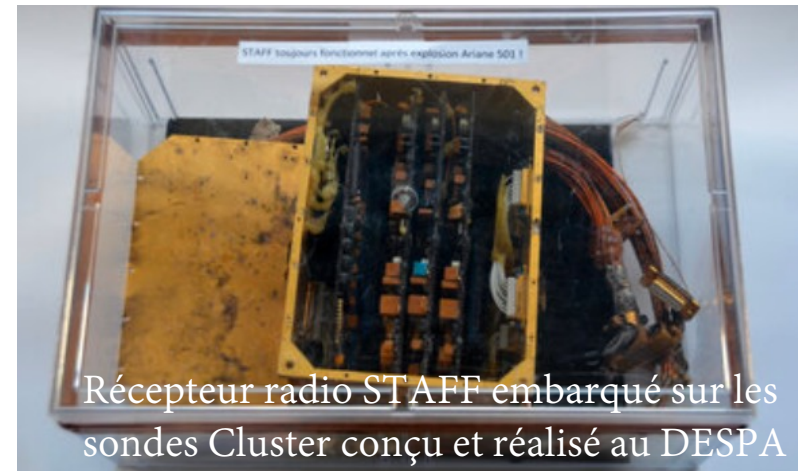


Cluster était la charge utile de la toute première Ariane 5 qui a explosé au décollage le 4 juin 1996.

Les militaires ont pu récupérer dans la mangrove guyanaise un des analyseurs STAFF-SA construit à Meudon et qui, après nettoyage, était encore fonctionnel (il est exposé dans une vitrine au bâtiment Jean-Louis Steinberg, bat.16).

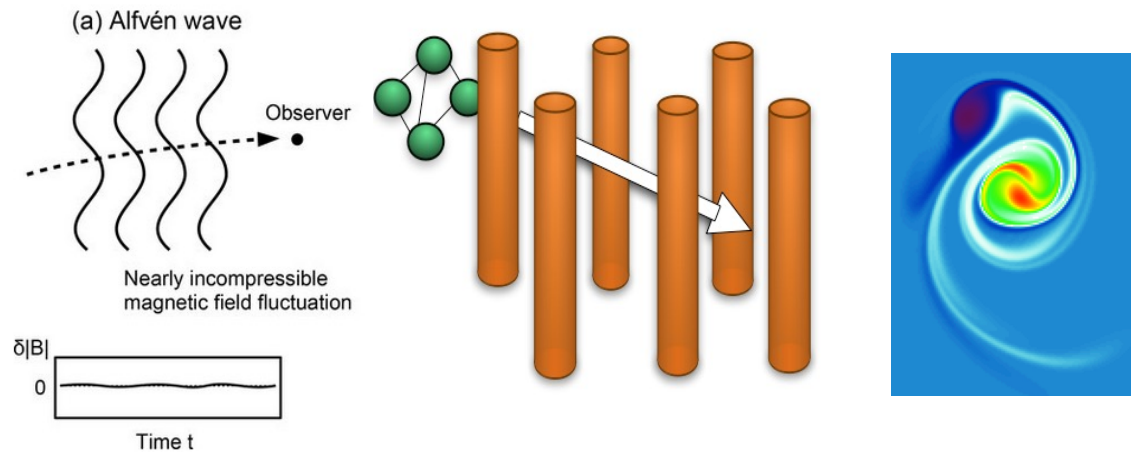
Un pot mémorable de consolation fut organisé au laboratoire, où l'instrument trônait au milieu d'un grand plateau de fruits de mer...

Cluster II a été lancé par deux Soyouz successifs en juillet et aout 2000.



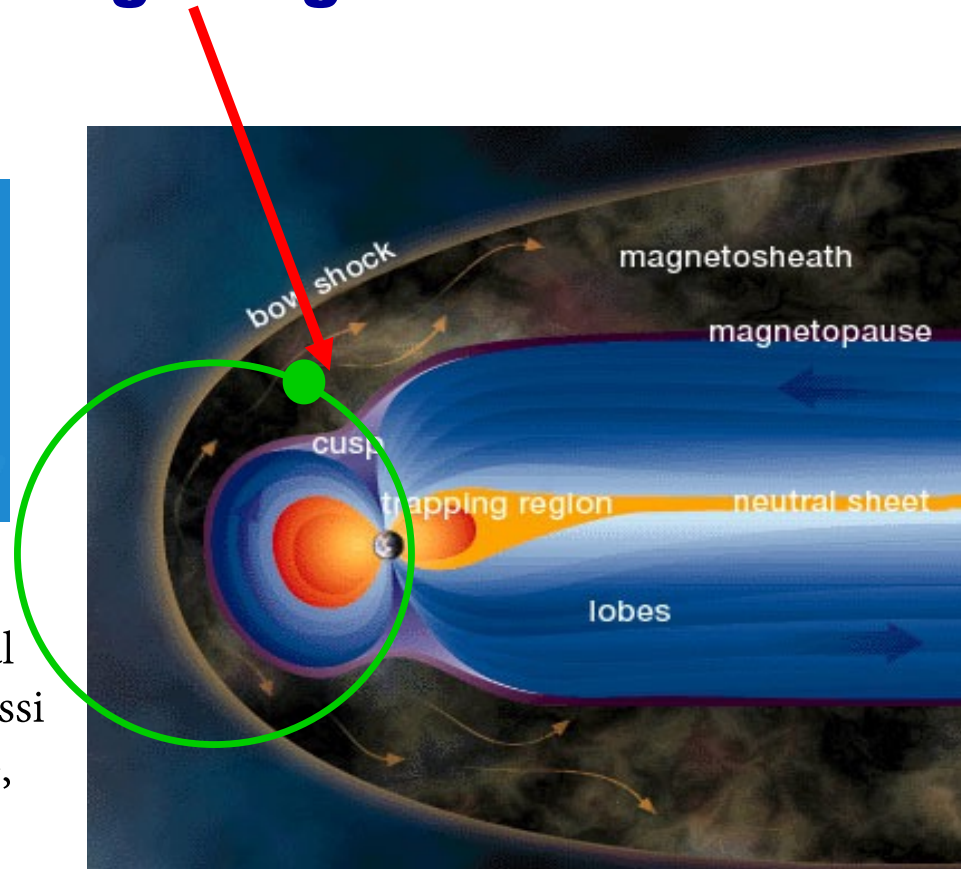
Récepteur radio STAFF embarqué sur les sondes Cluster conçu et réalisé au DESPA

Mission Cluster [2000-2024] et magnétogaine terrestre



Grace aux 4 satellites de Cluster, on a pu montrer que en aval du choc, il n'y a pas que des ondes AIC and Mirror mais aussi les filaments de courant alignés avec le champ magnétique, vortex d'Alfvén [Alexandrova et al. 2004, 2006].

Statistiques des fluctuations non-Gaussiennes => intermittence de la turbulence !



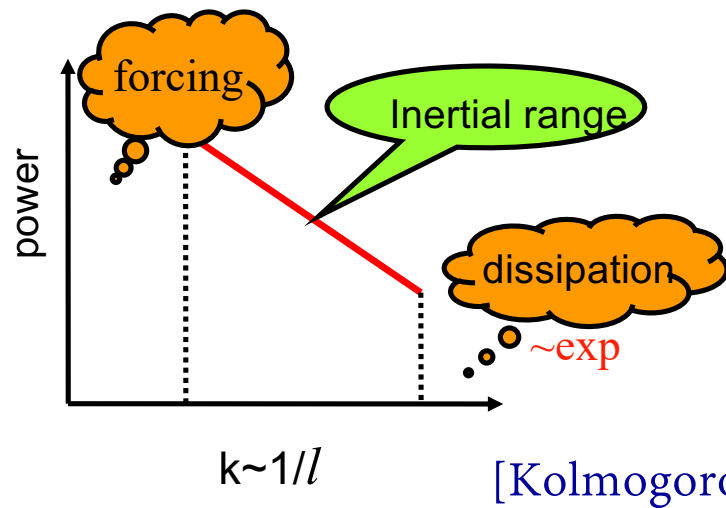
Turbulence

Léonard de Vinci, études sur l'eau (1510-1512), chute d'un courant d'eau d'une écluse dans un bassin.

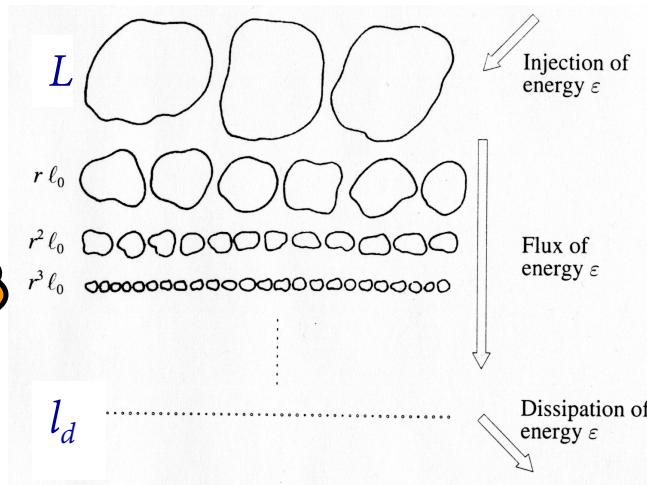


Localement imprévisible, mais les **propriétés statistiques sont universelles**

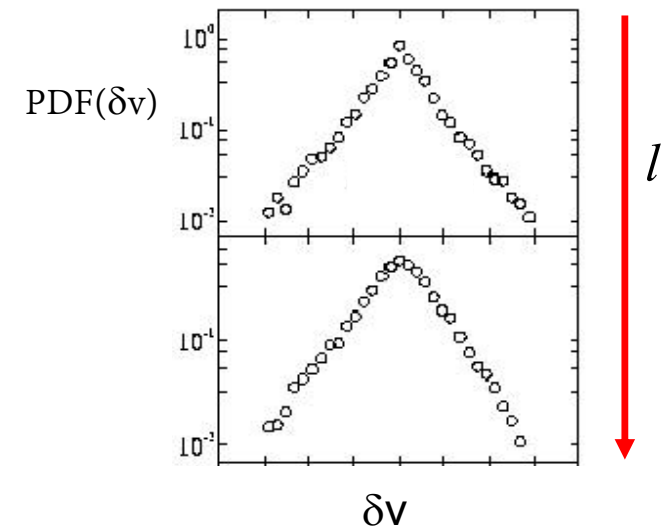
1) Spectre d'énergie de champ de vitesse $\sim k^{-5/3}$



“Turbulent cascade”



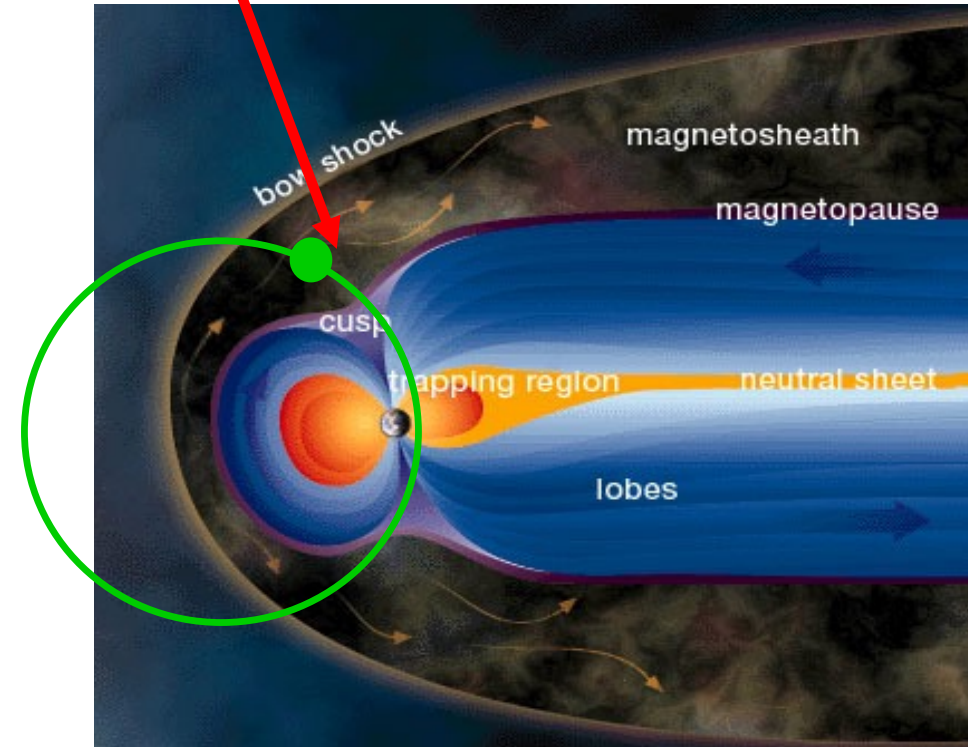
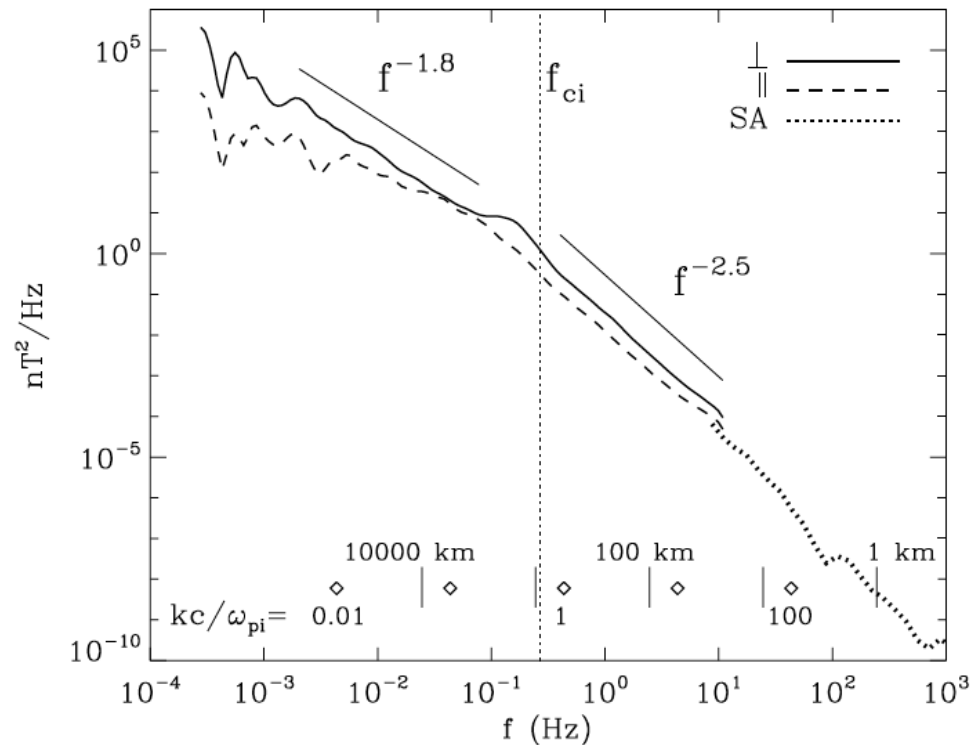
2) intermittence : écart par rapport à la gaussianité au petites échelles



Turbulence dans magnétogaine terrestre: spectres

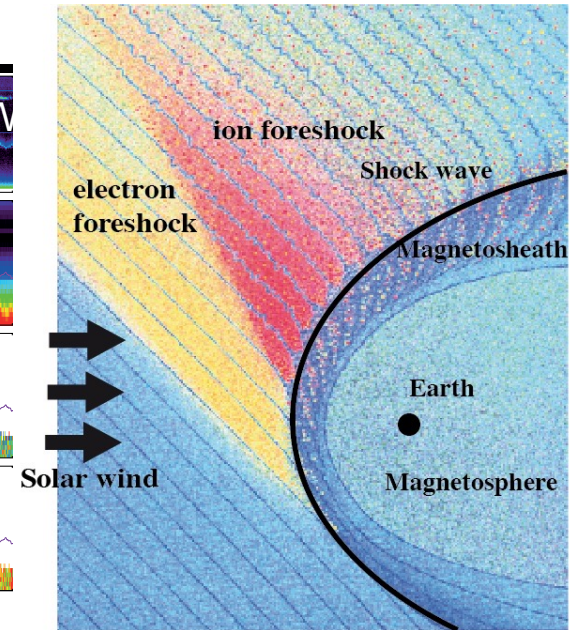
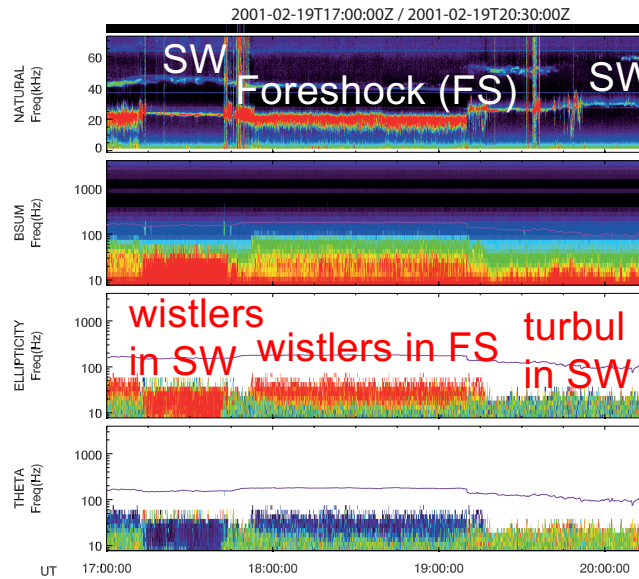
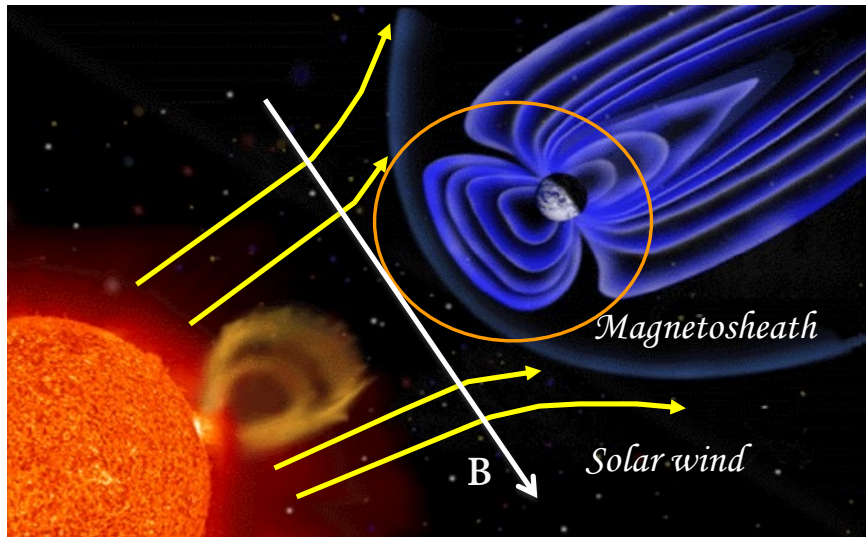
Cluster/FGM (UK) + STAFF (LPP/LESIA)

[Alexandrova, Lacombe, and Mangeney, 2008, AnGeo]



- Spectre turbulent dans la magnétogaine des très grandes échelles (10^6 km) et jusqu'aux échelles < 1 km.
- STAFF est l'instrument le plus sensible à ce jour pour mesurer les échelles cinétiques du plasma.

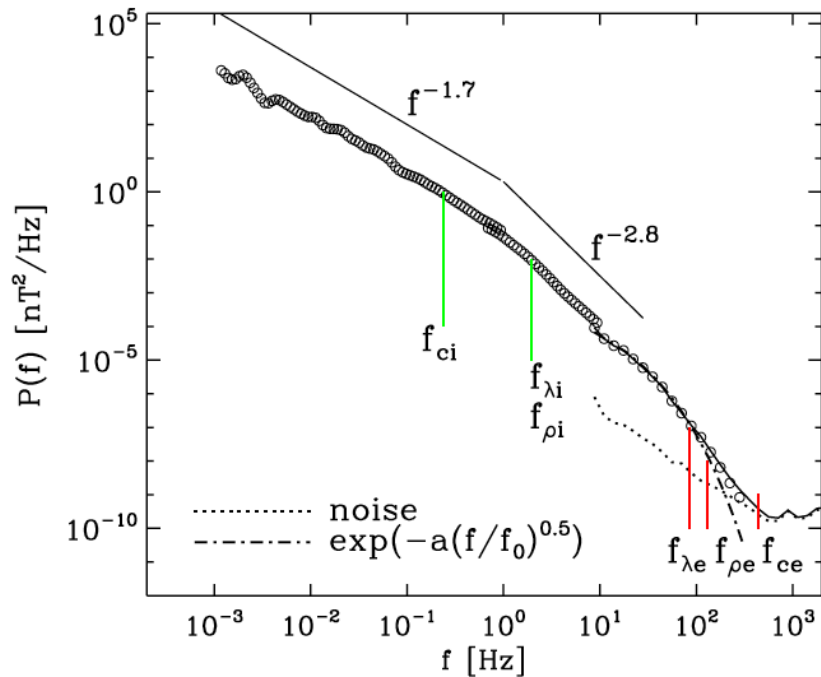
Etude de la turbulence dans le vent solaire avec Cluster



- Cluster se trouve dans le vent solaire libre lorsque l'angle champ/écoulement est quasi-perpendiculaire ($Q_{BV} > 65^\circ$).
- Sinon, Cluster est dans le fore-choc...

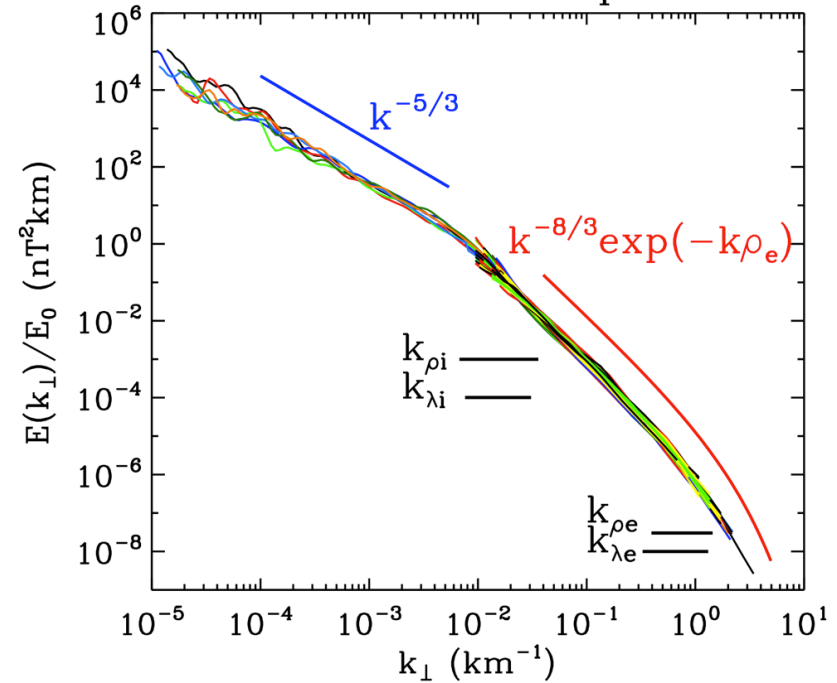
Etude de la turbulence dans le vent solaire avec Cluster

[Alexandrova et al. 2009 PRL]



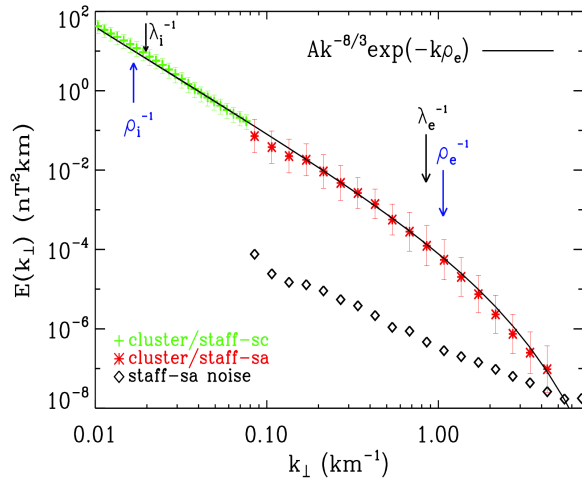
- Premières observations de roulement spectral aux échelles d'électrons => Signature de la dissipation de la cascade turbulente.

107 solar wind spectra

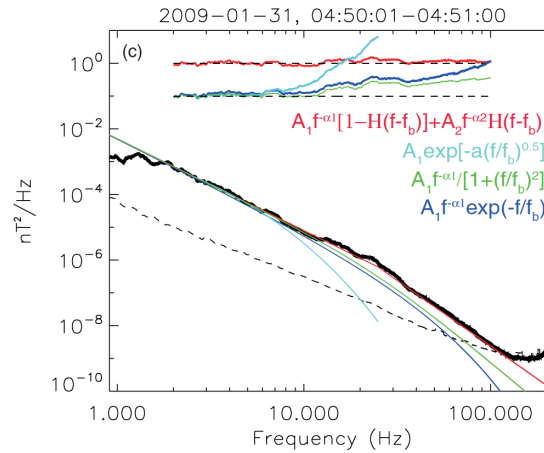


- Forme \sim universelle de spectre turbulent aux petites échelles [Alexandrova et al. 2012].

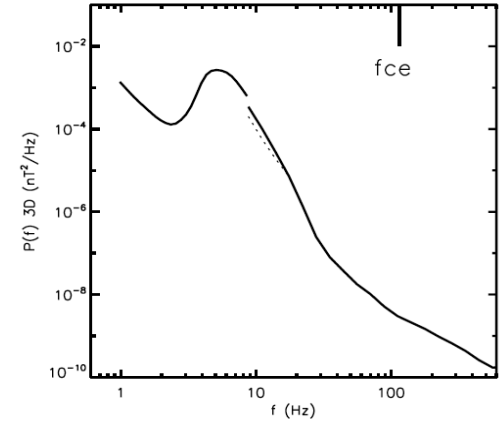
Ondes Whistlers dans le vent solaire (Cluster)



[Alexandrova et al. 2009, 2012]

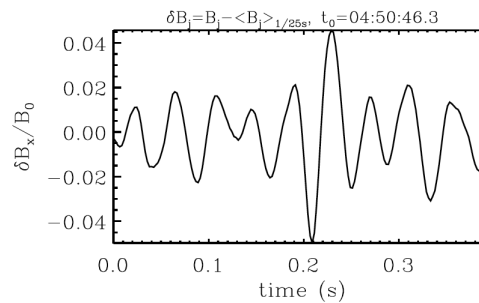


[Sahraoui et al., 2009, 2013]

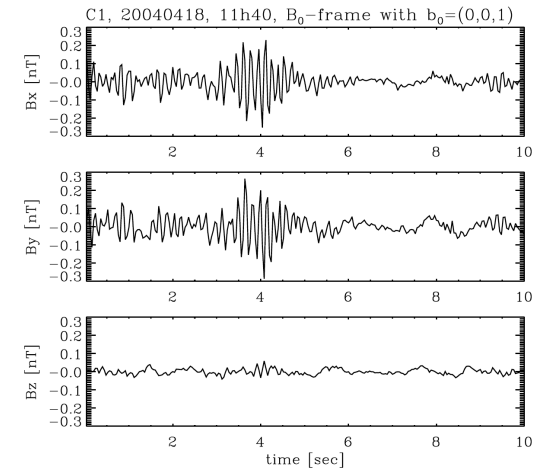


[Lacombe et al. 2014]

Turbulence de fond avec $k \perp B$ et $f \sim 0$ [Lacombe et al. 2017]

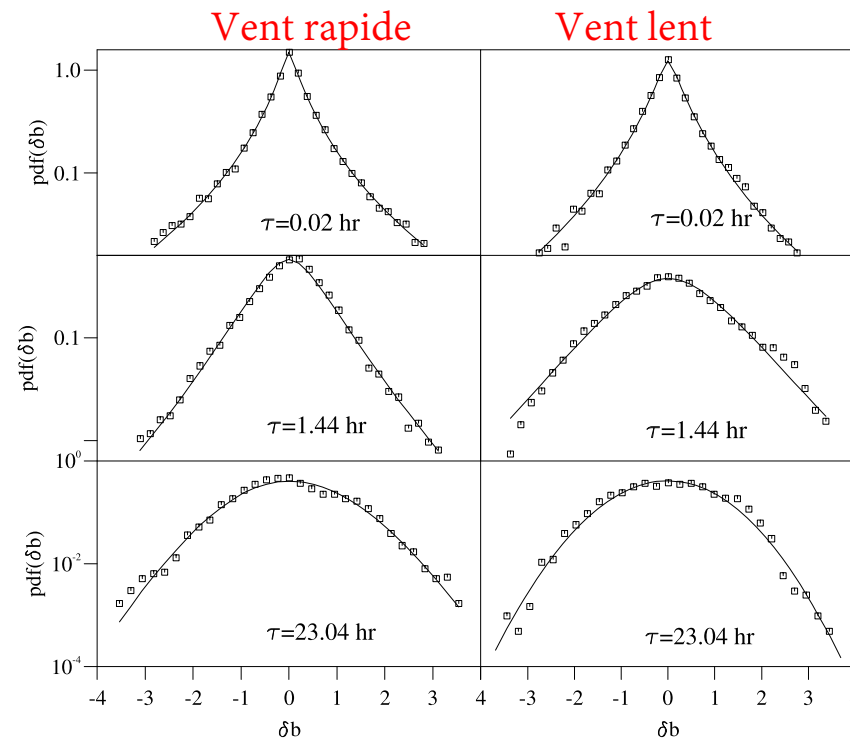
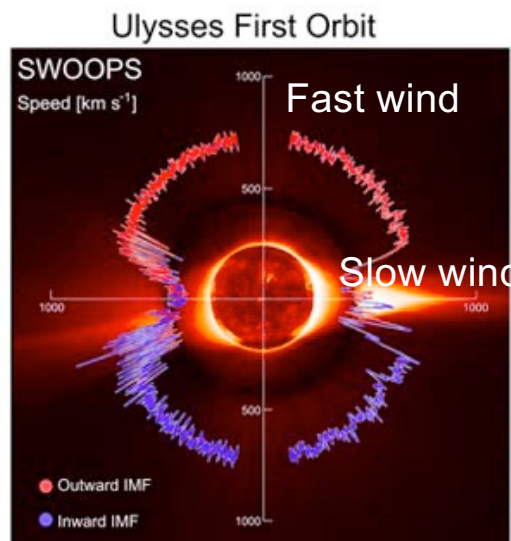


Whistlers with $k \parallel B$, $f \sim$ fraction of f_{ce} [Lacombe 2014]



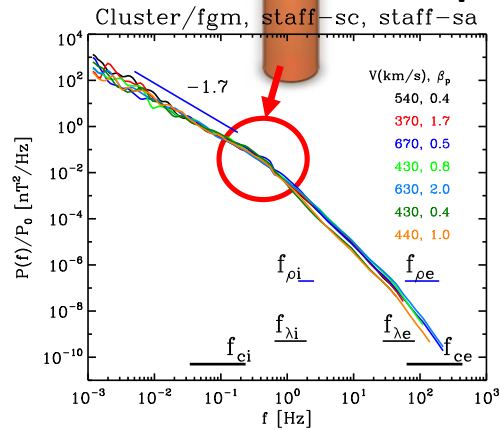
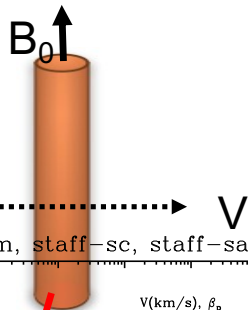
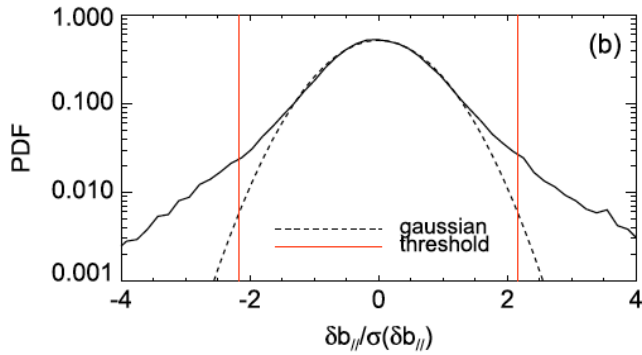
Intermittence dans la turbulence du vent solaire

[Sorriso-Valvo et al. 1999] $|\Delta \mathbf{b}| = |\mathbf{b}(s + \Delta s) - \mathbf{b}(s)|$

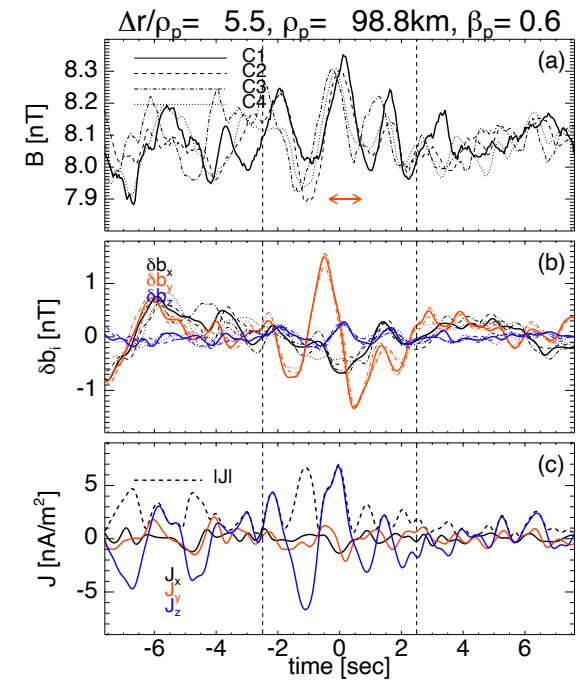
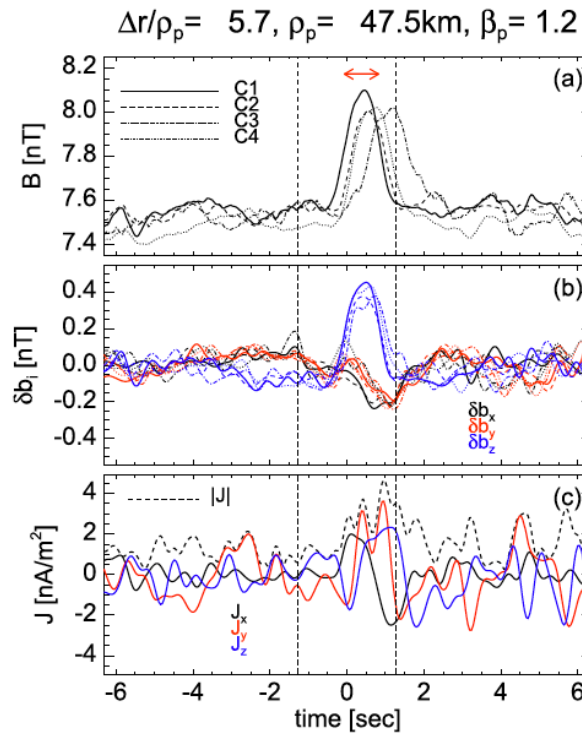


L'intermittence est due à l'apparition de structures cohérentes en forme des couches des courants.

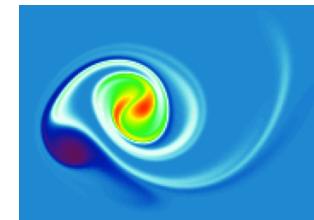
Intermittence dans la turbulence du vent solaire (Cluster)



Solitons et vortex magnétiques



[Perrone et al. 2016, 2017]





Merci Catherine