

Ondes dans les plasmas

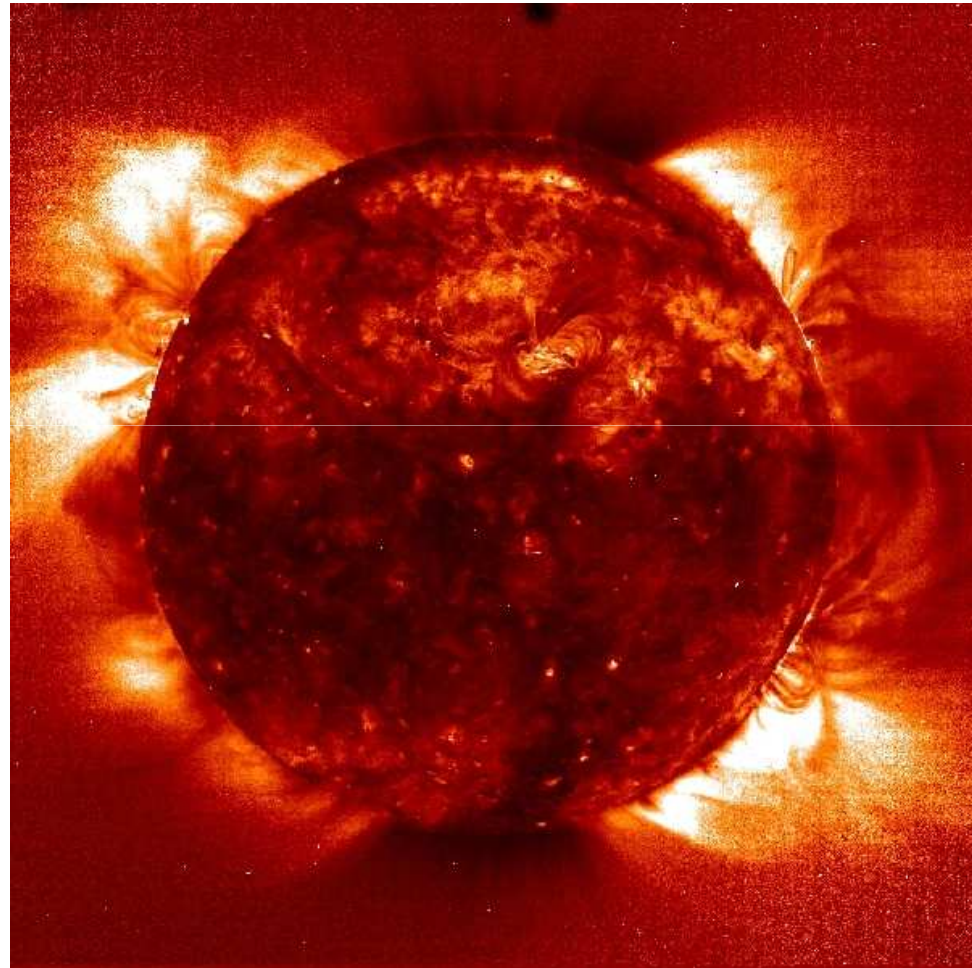
cours d'introduction

Les différents types de plasma

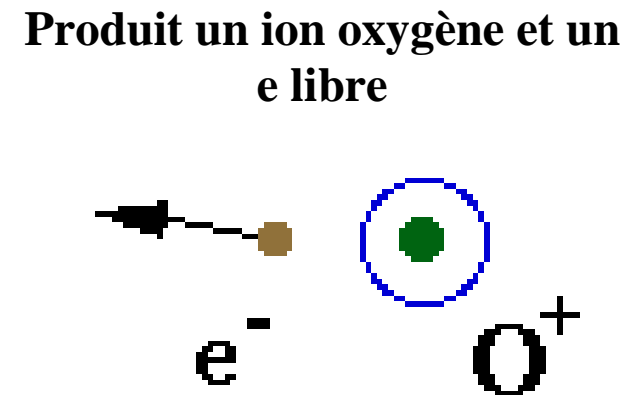
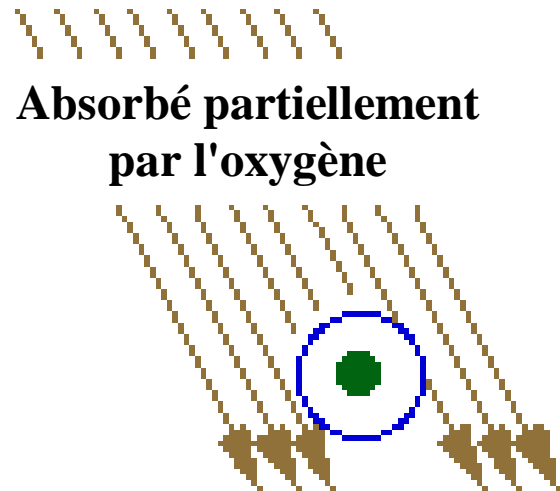
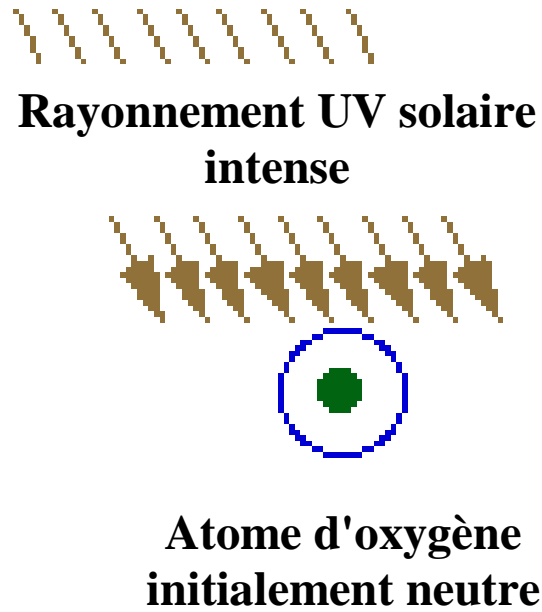
Ionisation par chauffage

Raie du Fer XII 195 A

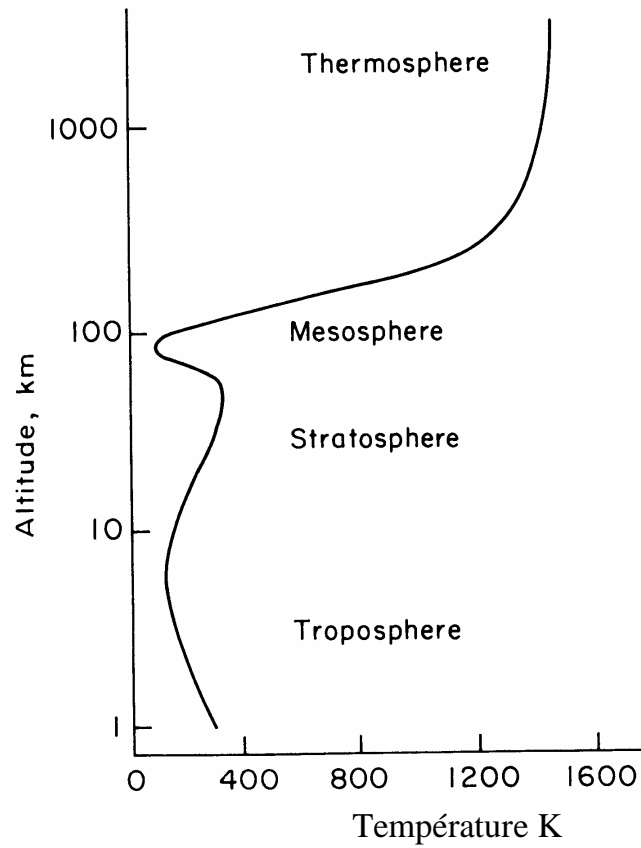
Température 10^6 K



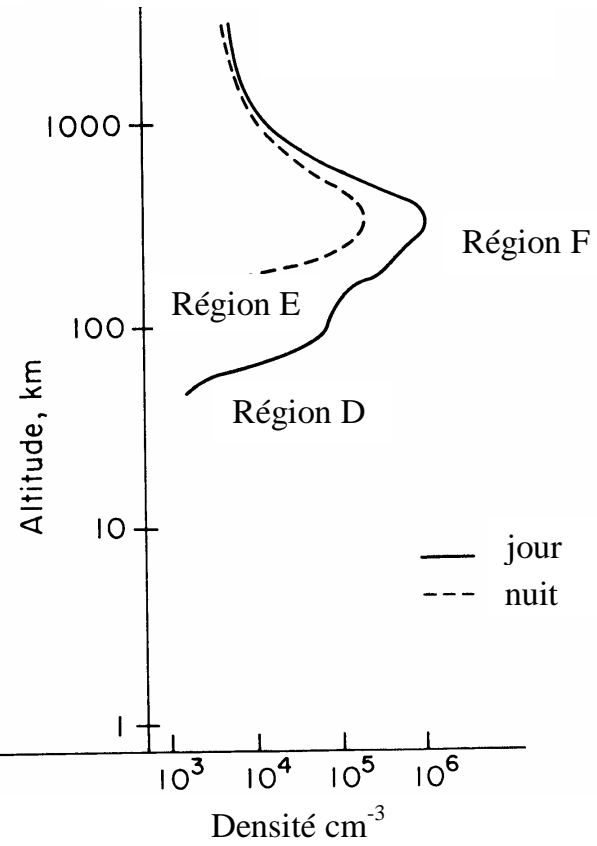
Ionisation par absorption de rayonnement



Gaz neutre



Gaz ionisé

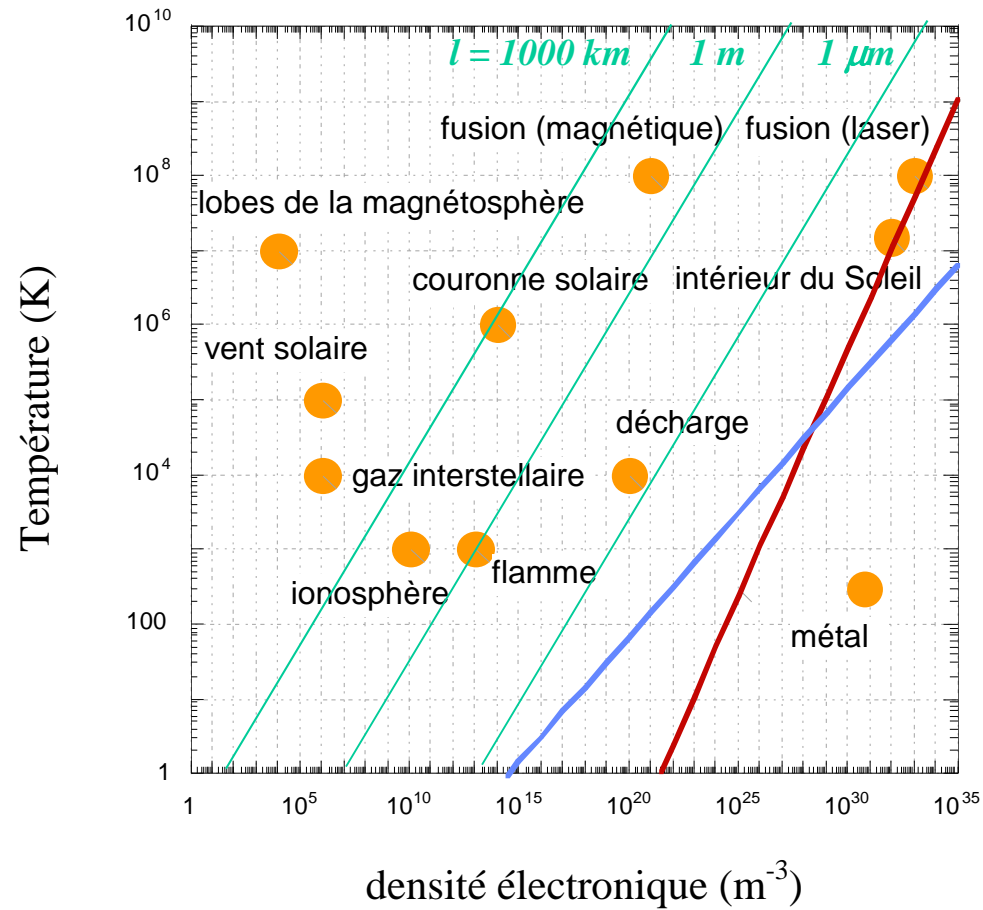


Ionisation par décharge électrique



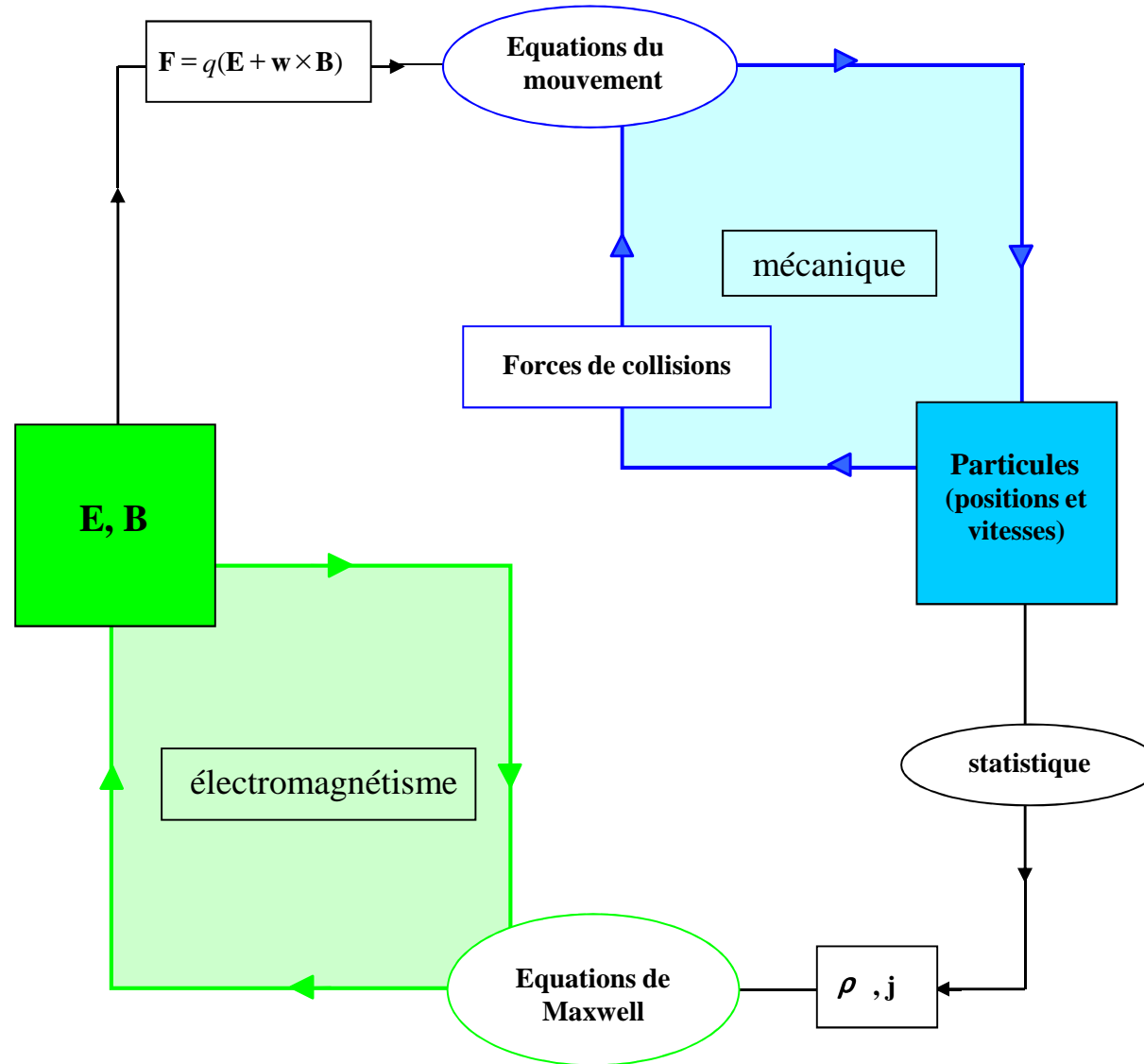
libre parcours moyen

interactions proches vs lointaines
effets quantiques vs effets classiques



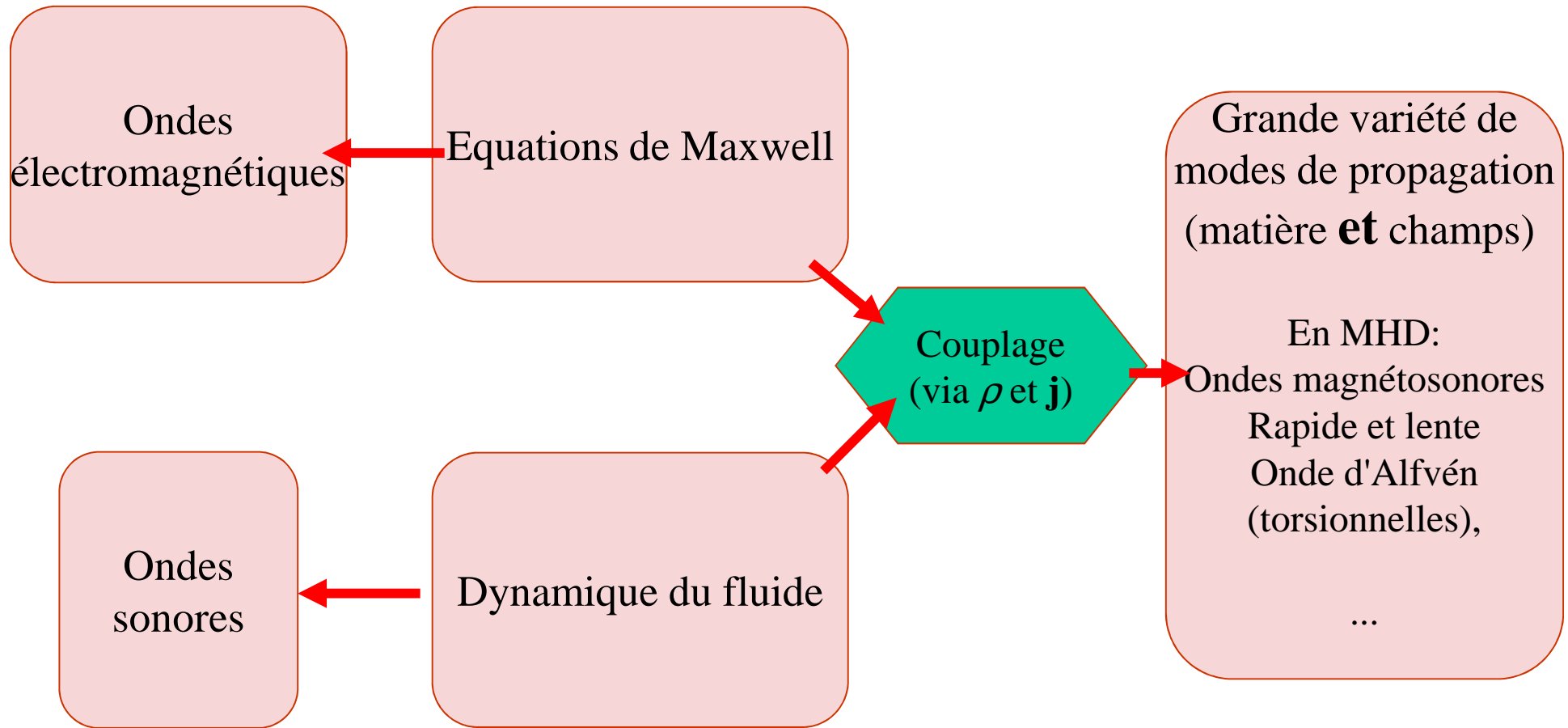
Systeme couplé champs-particules

Systeme couplé champs/particules



Fluide neutre

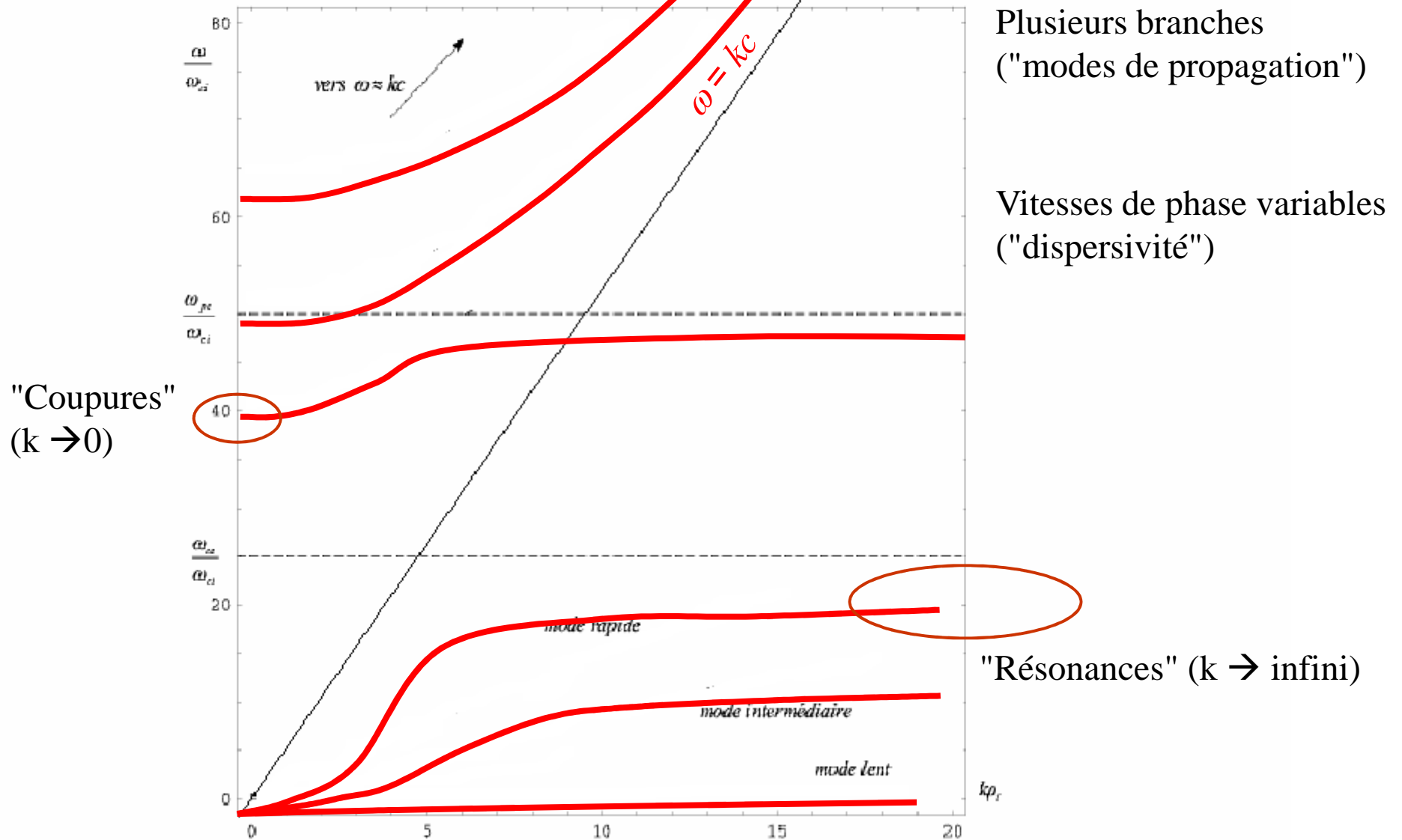
Plasma



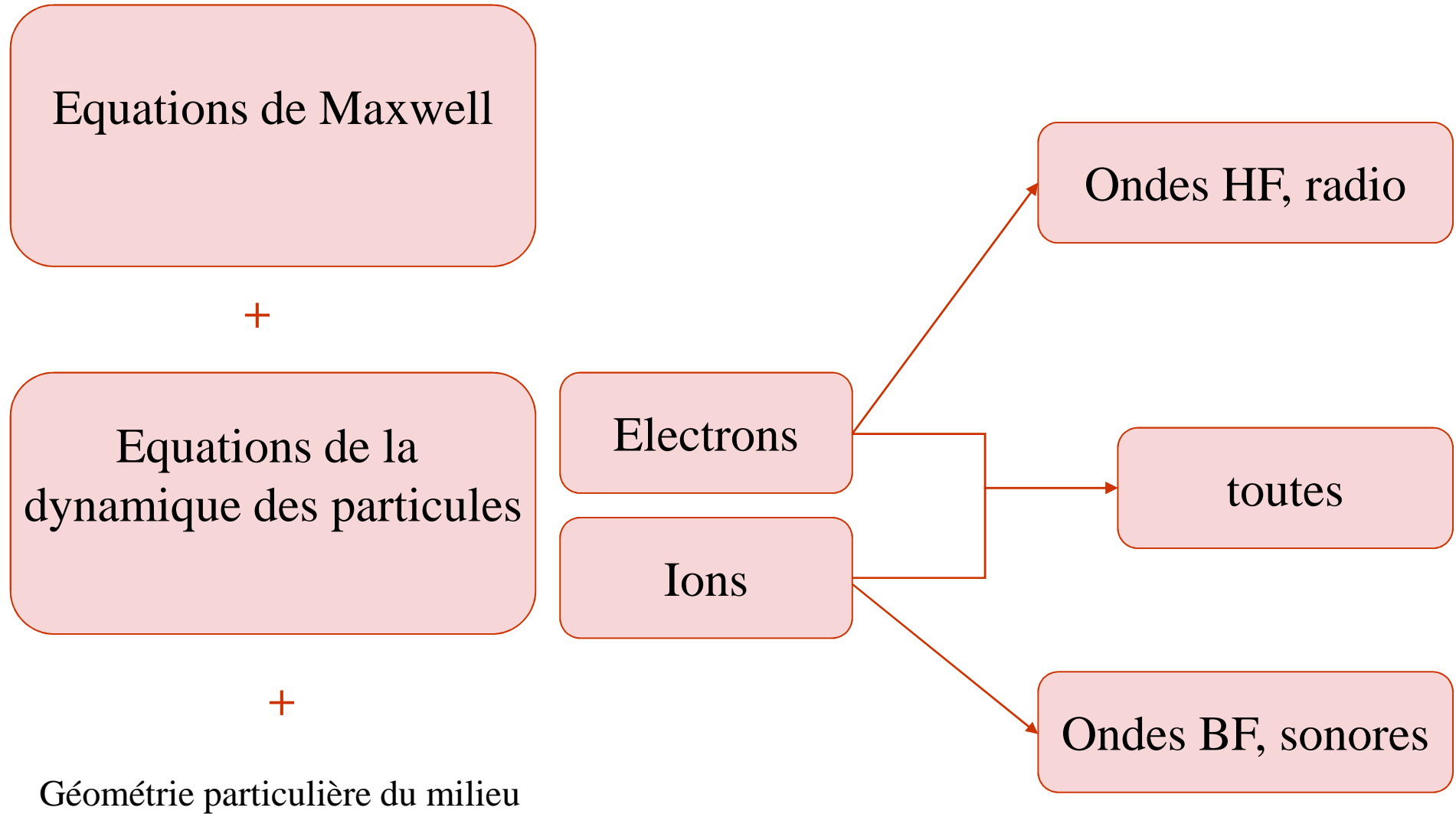
Propagation isotrope

Propagation généralement anisotrope (\mathbf{B}_0)

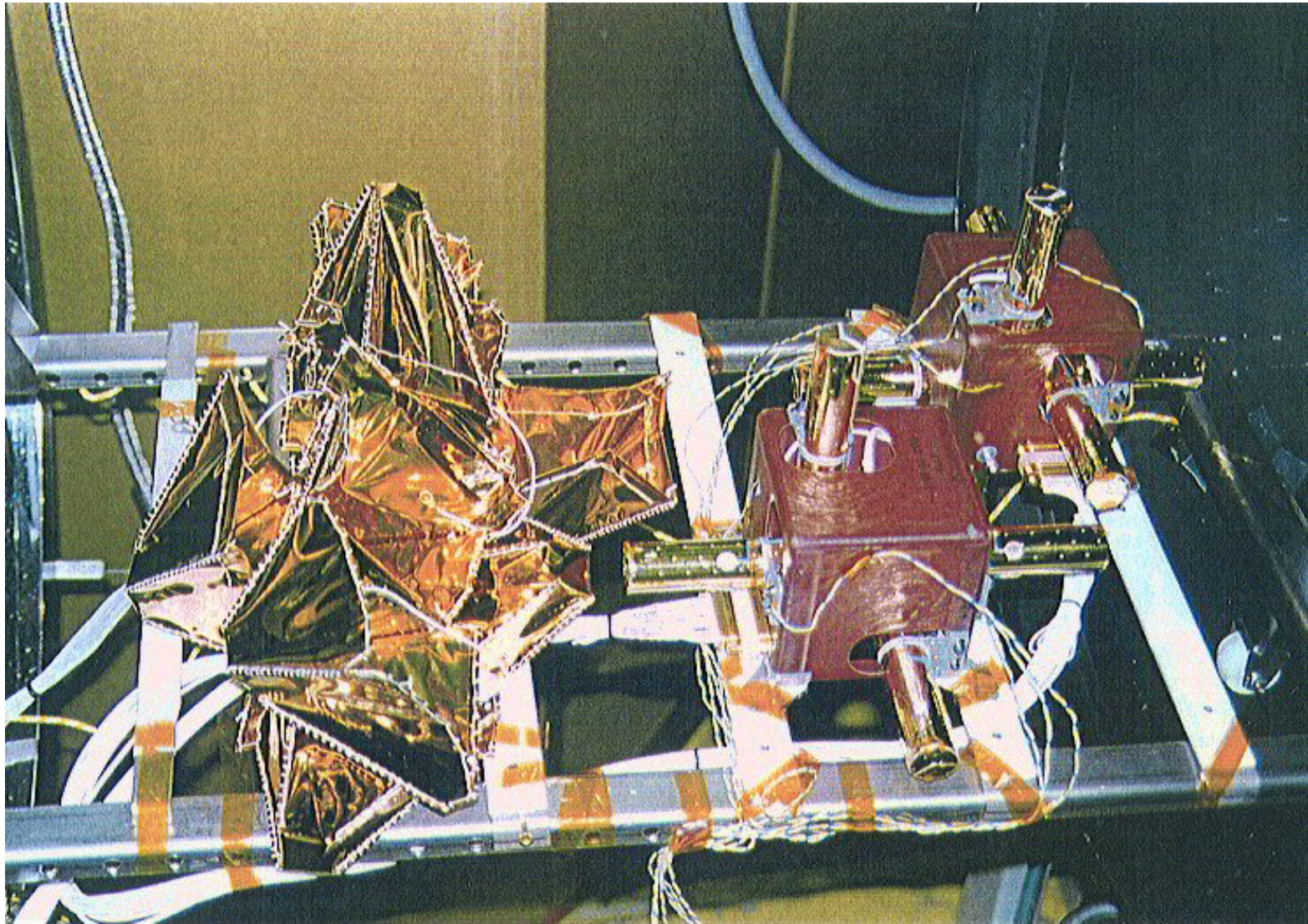
Propagation des ondes dans les plasmas : des propriétés variées



Comment trouver les différents modes qui peuvent se propager dans un plasma ?



Où trouve-t-on des ondes dans les
plasmas ?



**Les antennes magnétiques STAFF de Cluster
(LPP/CNRS)**

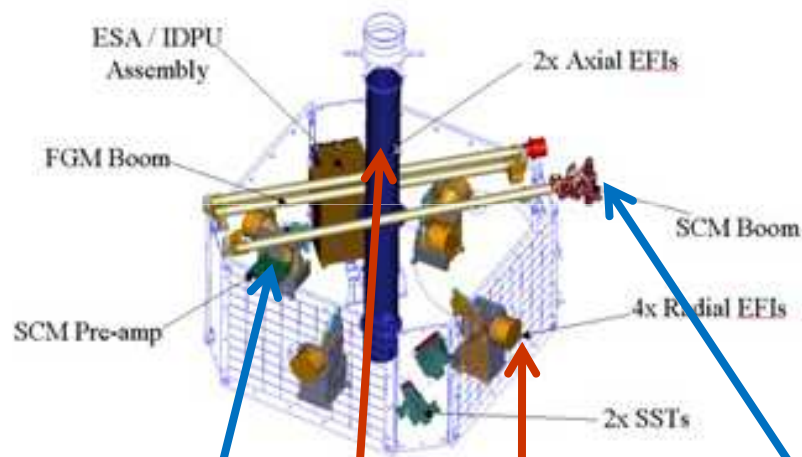
Sonde de
Langmuir du
satellite
DEMETER



Instrumentation Ondes à bord d'un des satellites

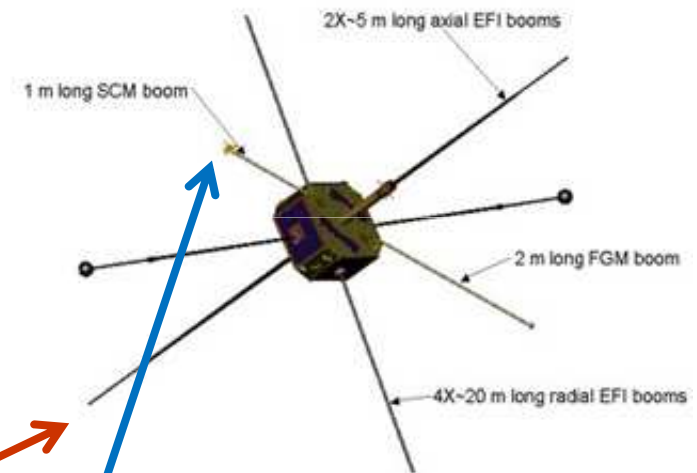
THEMIS (Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms)

Avant le lancement



Mesure du champ électrique

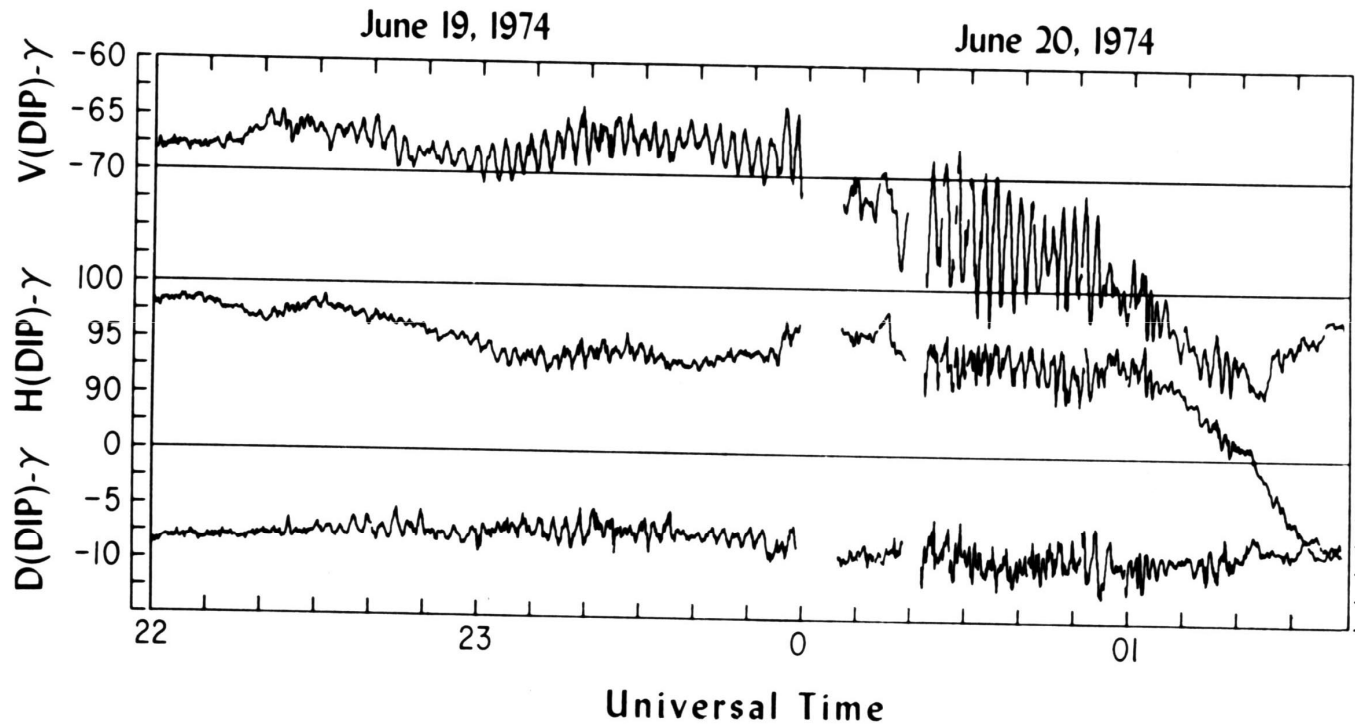
Après le lancement



Mesure du champ magnétique variable (SCM fabriqué au LPP)

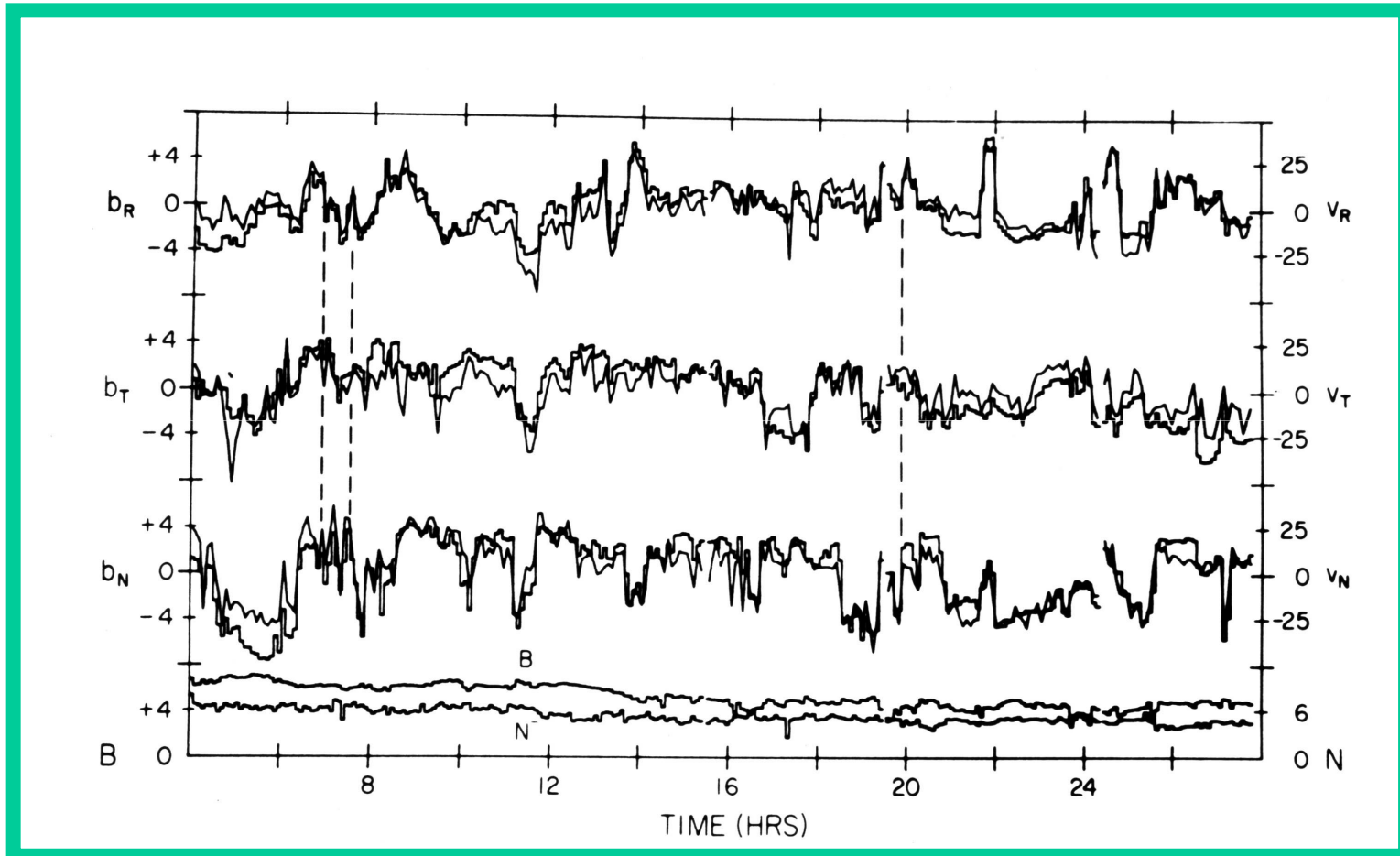
Oscillations MHD de la magnétosphère

Pc4 MAGNETIC PULSATIONS UCLA Fluxgate Magnetometer ATS-6

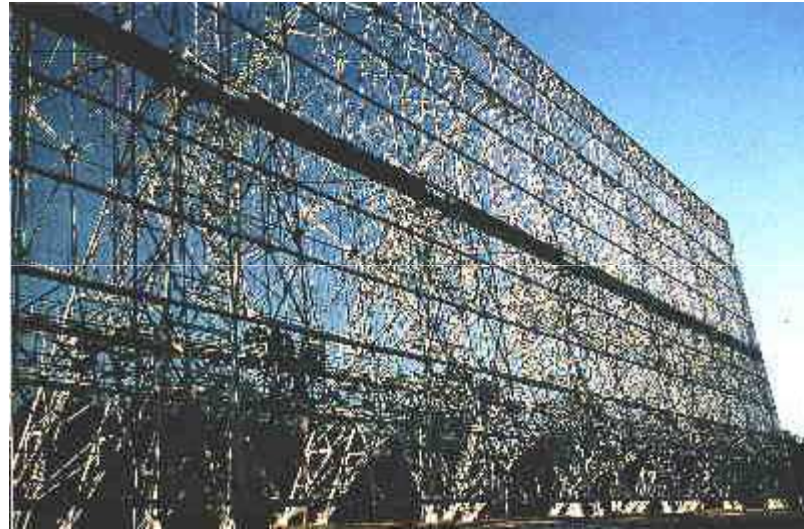


Pulsations magnétiques (PC 4-5) observées à l'orbite géostationnaire par le satellite ATS-6 Les composantes H, D, V sont respectivement vers le Sud, l'Est et radiale

Ondes d'Alfvén dans le vent solaire

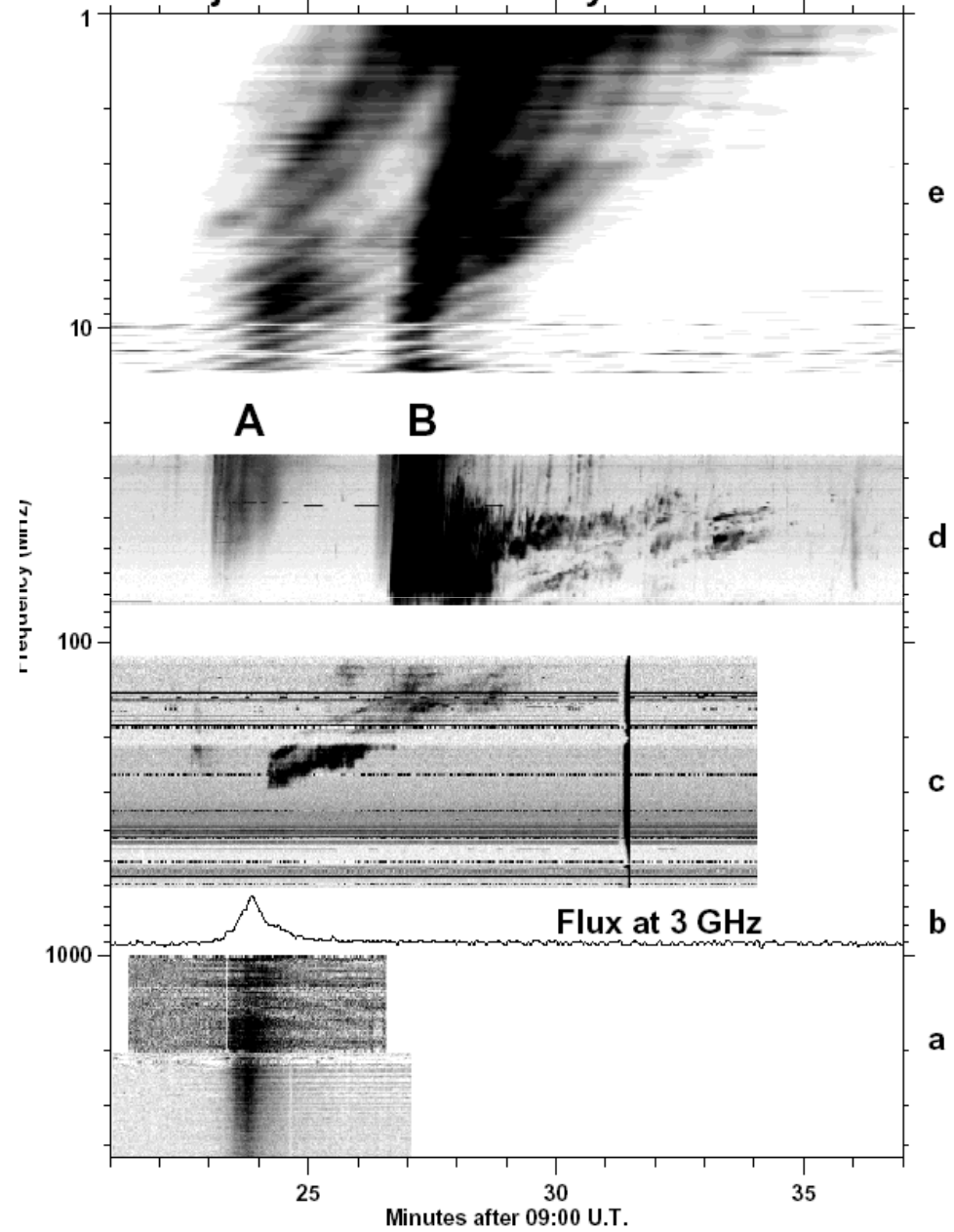


Champ magnétique, vitesse et densité des protons observées dans le vent solaire par la sonde Mariner 5. Les valeurs sont des moyennes sur 5 minutes.



Radiotélescopes de Nançay

Ondrejov / Artemis / Nancay / Wind - 96/05/06

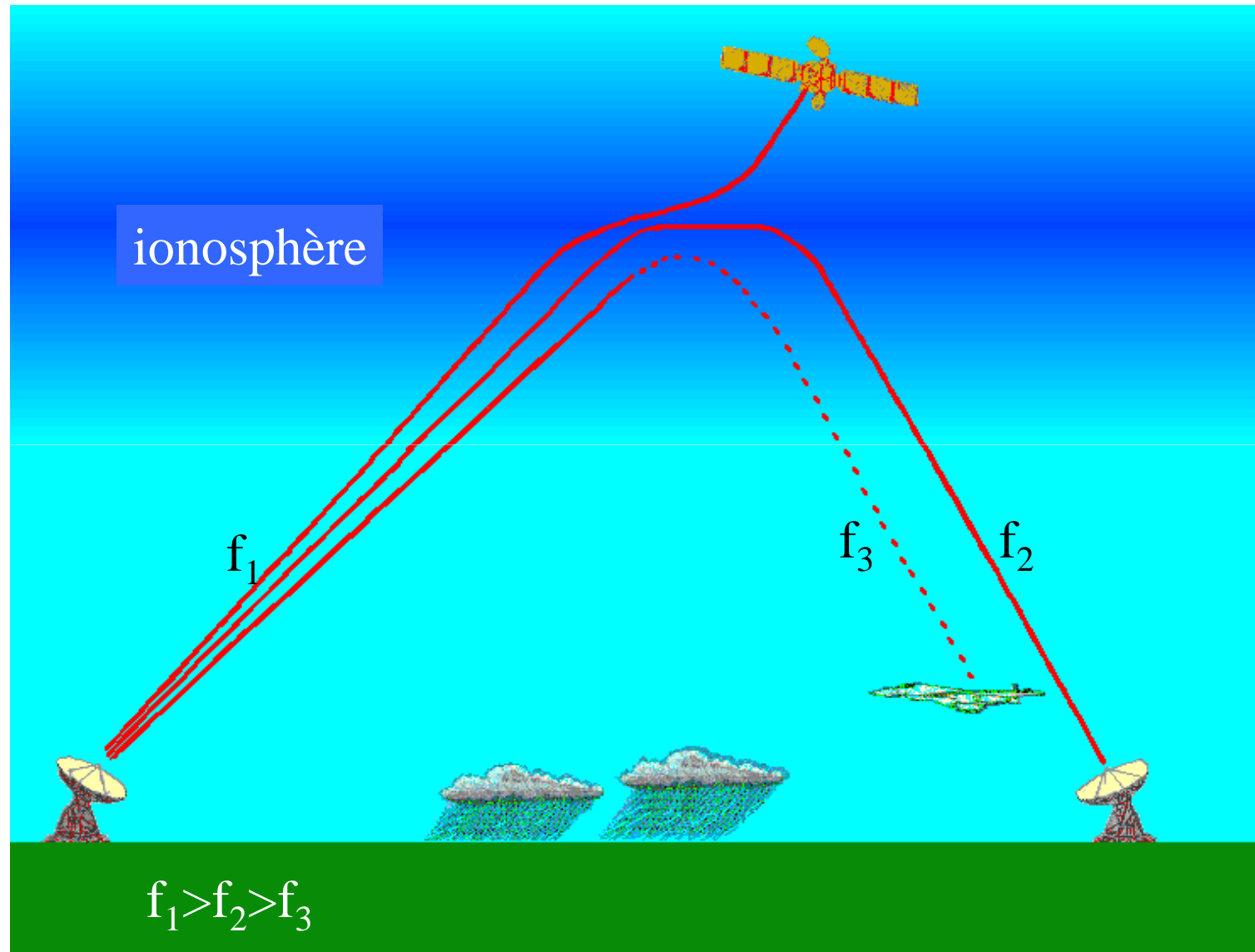




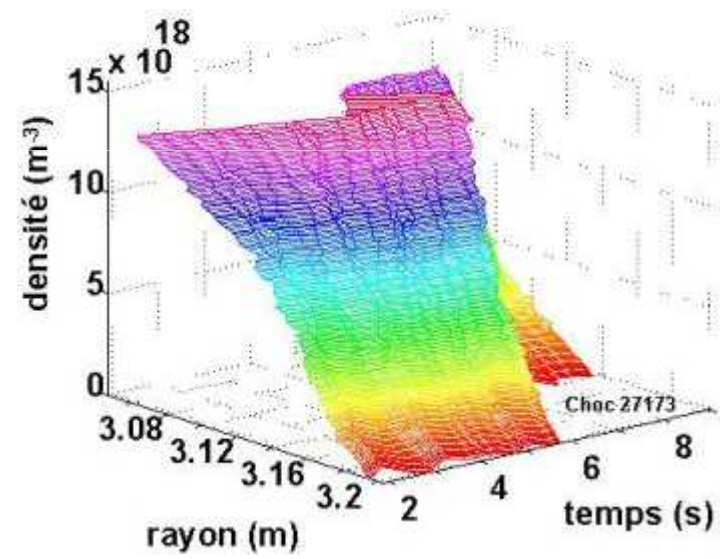
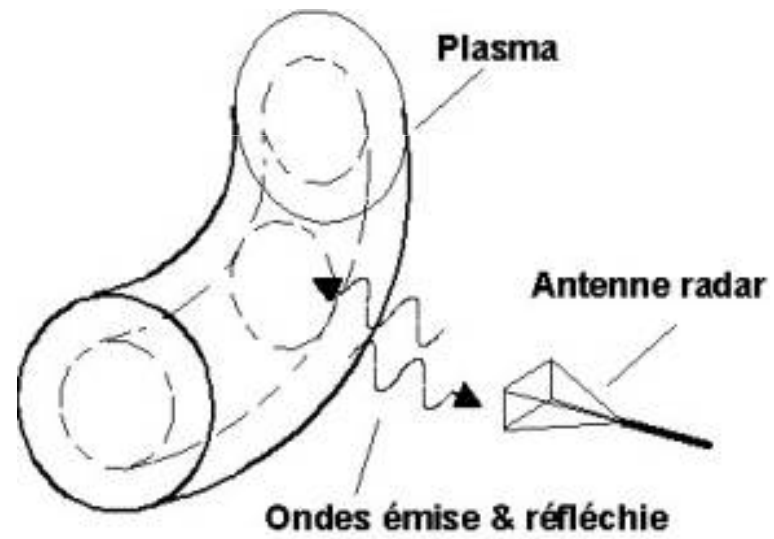
Rayonnement émis par le plasma de Tore-Supra

Utilisation des ondes comme outil de diagnostic

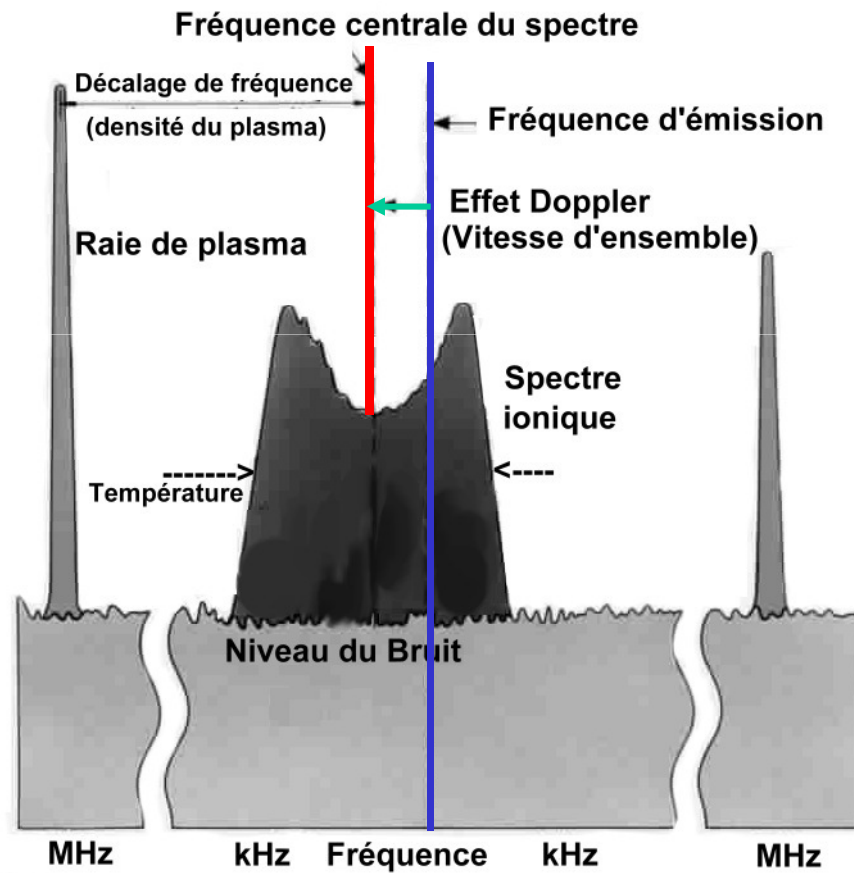
Propagation HF ionosphérique



Mesure de la densité dans un tokamak



La diffusion incohérente ou collective



Lorsque la longueur d'onde incidente est supérieure à la longueur de Debye, les fluctuations des particules du milieu sont fortement corrélées. Ce régime de diffusion est intéressant car l'énergie diffusée se concentre dans une bande de fréquence étroite, la raie ionique, (dont la largeur est donnée par la vitesse thermique des ions et non par celle des électrons comme dans le cas contraire), à laquelle s'ajoutent deux raies fines décalées de la fréquence incidente par la fréquence plasma du milieu. L'analyse du spectre diffusé renseigne sur les paramètres du plasma.

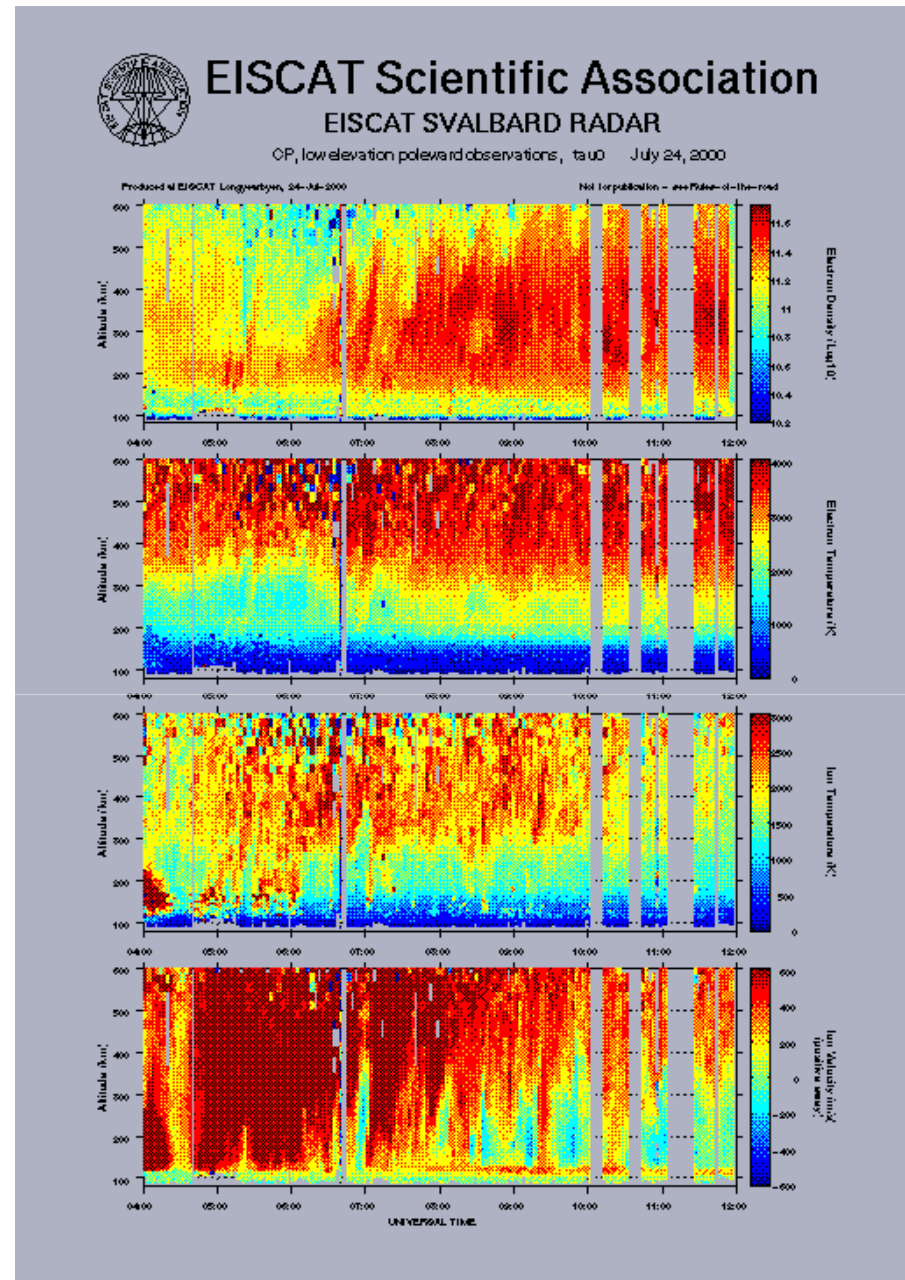
EISCAT (European Incoherent SCATter)



Sondage de l'ionosphère polaire par diffusion incohérente

Diagrammes temps-altitude des principaux paramètres de l'ionosphère :

- Densité électronique
- Température électronique
- Température ionique
- Vitesse ionique



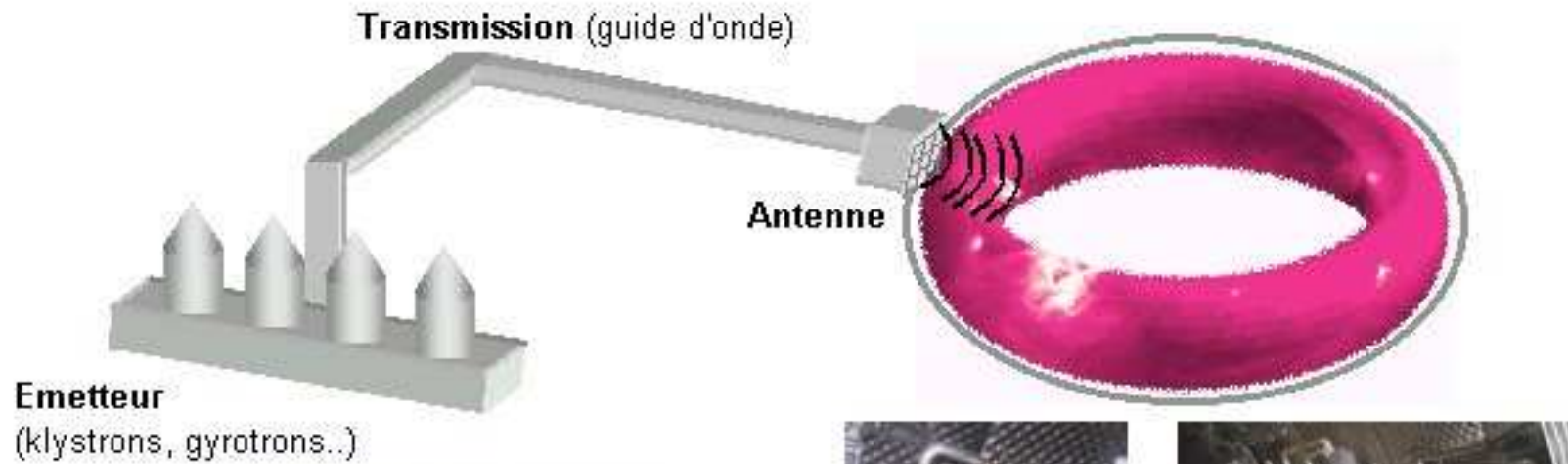
Diffusion collective



Photo: Philippe Lavalie Ecole Polytechnique

Diagnostic des fluctuations de densité de plasma par diffusion collective de la lumière : la source est un laser CO₂. Ce banc est actuellement implanté sur le tokamak Tore Supra au CEA Cadarache.

Utilisation des ondes comme source d'énergie



8 klystrons et leur équipement
(Tore supra)



Antenne pour le chauffage
cyclotronique ionique
(Tore Surpa)



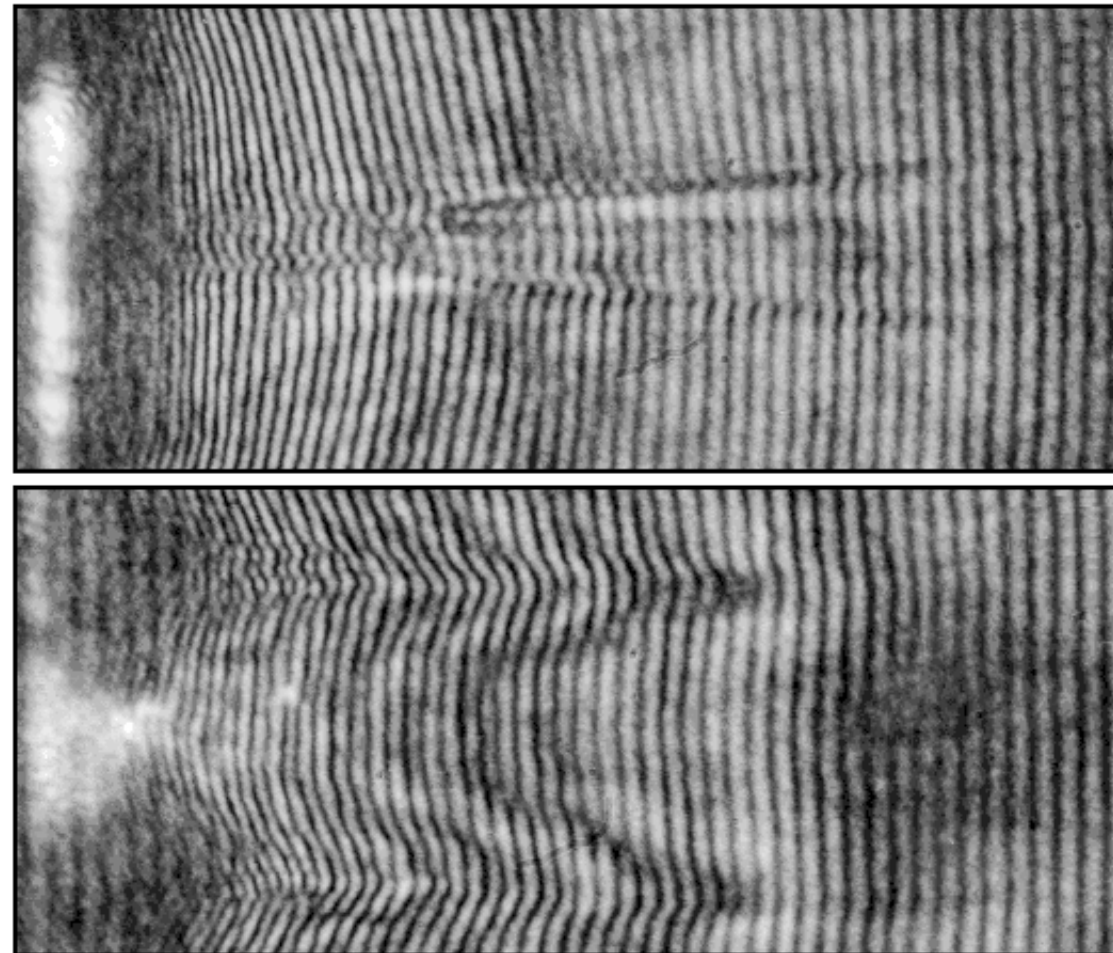
Antennes pour le
chauffage hybride
(Tore Surpa)

Chauffage du plasma de Tore-Supra par des ondes

Interaction laser-plasma

*Interférogrammes montrant le canal de densité formé par l'interaction d'une impulsion laser 1ps d'intensité $I = 10^{19} \text{Wcm}^{-2}$ avec un plasma.
(a) 5ps et (b) 65ps après le passage de l'impulsion.*

Cliché: Plasma Physics Group, Imperial College, Londres



(a)
 $t = +5 \text{ps}$

←
Laser

50
 μm

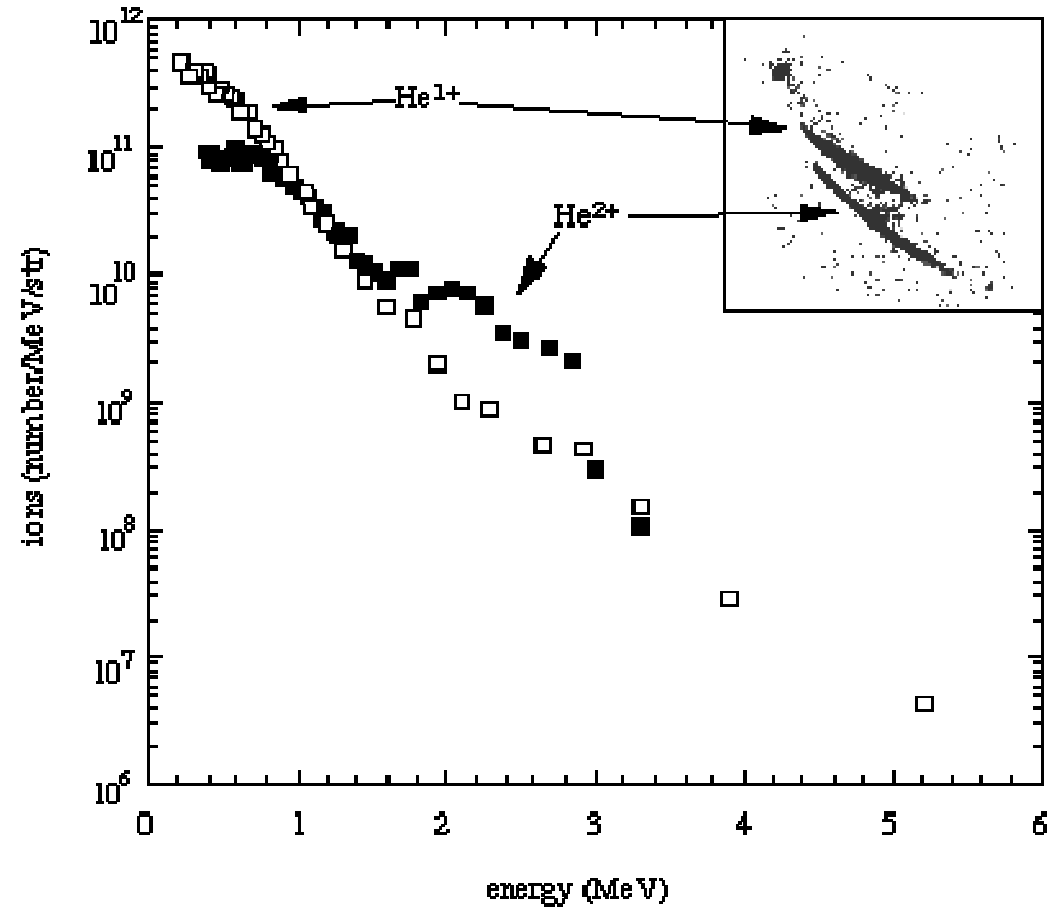
(b)
 $t = +65 \text{ps}$

Accélération laser

Spectre d'énergie des ions Helium résultant de l'interaction laser-plasma.

Intensité laser $I = 10^{19}$ W/cm².

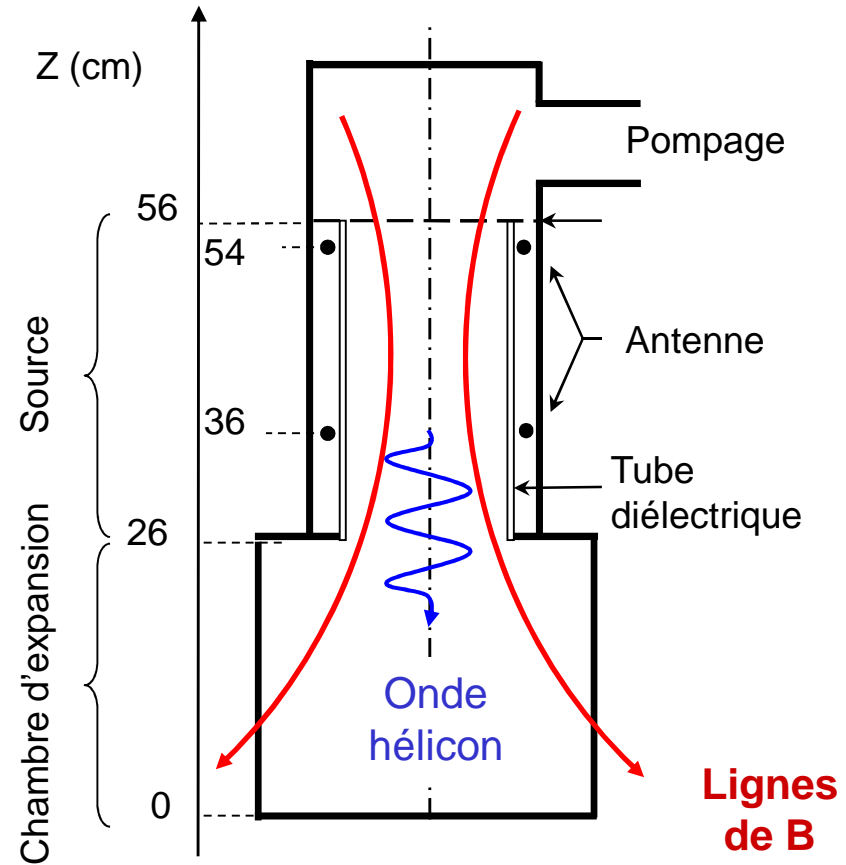
Cliché: Plasma Physics Group, Imperial College, Londres



**Réacteur hélicon (radiofréquence à 13.56 MHz):
application à la propulsion spatiale
et à la gravure de motifs à l'échelle micrométrique**



Photo LPP



Réacteur capacitif radiofréquence (13.56-200 MHz):
application à la gravure de structure nanométrique en
microélectronique



Photo LPP

