

Plan

- Notions générales: radioastronomie, radiotélescopes
- Emissions radio solaires
- Exemples
- Radioastronomie solaire amateur (B. Flouret, Observatoire de Paris)

Radioastronomie

- Ondes radio: mêmes ondes que la lumière et les rayons X, UV ou IR, mais à des fréquences beaucoup plus basses (par exemple la lumière a une fréquence de 1million de GHz)
- Fenêtre radio: 10 MHz (30 m) - 300 GHz (1 mm)
- Hors fenêtre: il faut observer à partir de l'espace
- Problème principal en imagerie: à pouvoir séparateur donné, la taille du télescope est proportionnelle à la longueur d'onde. Un taille de 1 cm en optique équivaut à 20 km à 300 MHz.

Interférométrie

- Seule solution pour des instruments de grande taille
 - Antennes petites (1 à 30 m) reliées à un corrélateur qui produit des « visibilités ».
 - Le calcul de l'image à partir de celles ci est complexe et produit de nombreux artefacts.
 - La disposition et le nombre d'antennes est étudiée pour réduire ces derniers.
 - Dans le cas de l'observation des objets célestes constants, on peut profiter de la rotation de la terre qui modifie la disposition des antennes par rapport au ciel. C'est la synthèse d'ouverture (ou encore, beaucoup d'antennes gratuites en plus). Le soleil n'est hélas pas constant.

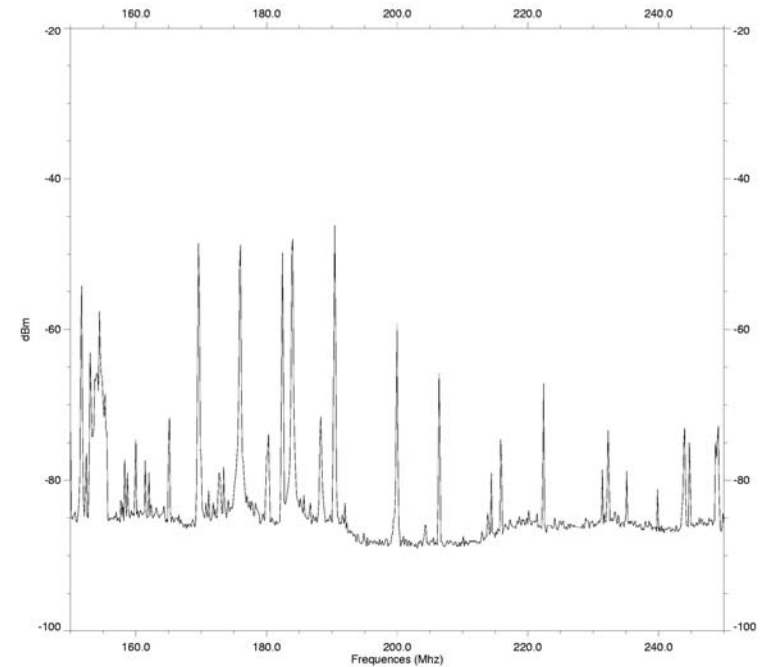
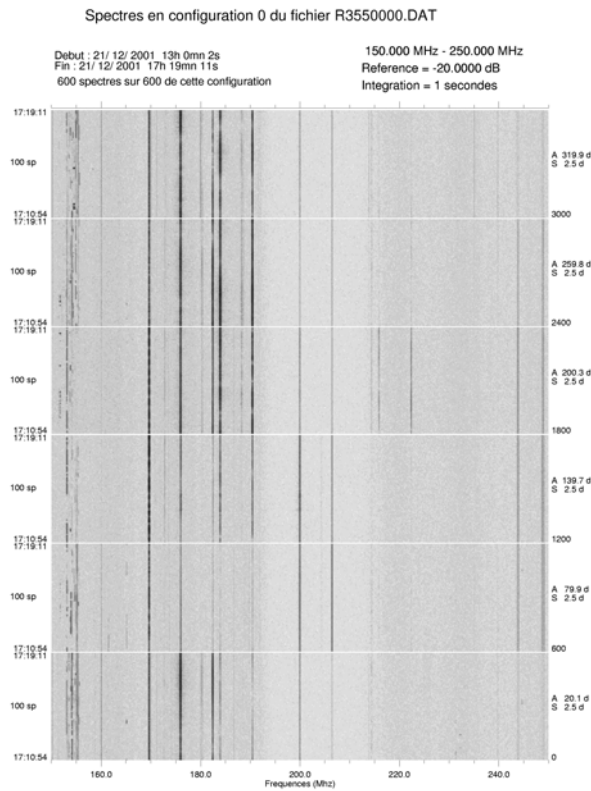
Radiotélescopes solaires

- Deux Radiohéliographes dans le monde:
 - Nobeyama (Japon): ~100 antennes à 17 et 34 GHz
 - Nançay (France): 48 antennes (150 - 450 MHz)
- Couverture en fréquence limitée
- Impossibilité d'observations simultanées
- -> projet américain d'imageur très large bande (100 MHz - 30 GHz) pour 2010.
- Plus de nombreux spectrographes (pas de résolution spatiale sur le soleil).
- Plus l'utilisation épisodique de radiotélescopes généralistes.

Problème: les émissions radio parasites

- La radio astronomie n'a qu'une fréquence exclusive (la raie 21 cm de l'hydrogène), et un nombre très limité de fréquences à partager avec d'autres usages.
- La « civilisation » fait beaucoup de bruit:
 - Émetteurs de très grande puissance (TV, FM, radars)
 - Émissions satellitaires très nuisibles
 - Encombrement des fréquences par des télécoms plus ou moins utiles.
 - Bruit généré par les équipements numériques et de nombreux gadgets.
- La situation est très mauvaise, le ciel pourrait devenir impossible à observer à partir de la Terre.

Problème: les émissions parasites



- 150 - 250 MHz band Nançay (interference survey antenna)
 - Wide band example

Perturbation des observations par l'ionosphère terrestre

- Problème propre aux basses fréquences (< 300 MHz)
- Plutôt quand le soleil est bas
- Les spectres en dessous de 100 MHz sont aussi affectés (scintillations)
- Le cas présenté est tout de même exceptionnel !

QuickTime™ et un décompresseur
sont requis pour visualiser
cette image.

Exemple de radiohéliographe: Nobeyama (Japon)



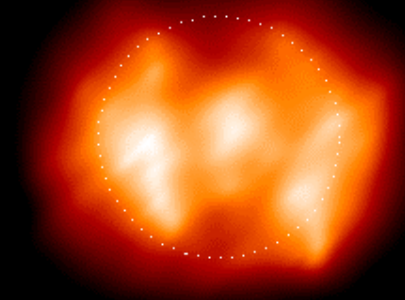
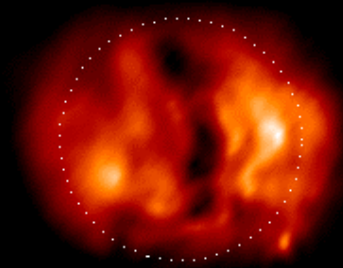
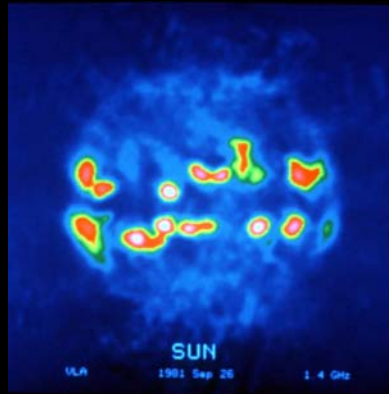
Nançay Radioheliograph: 5m antennas (north-south array)



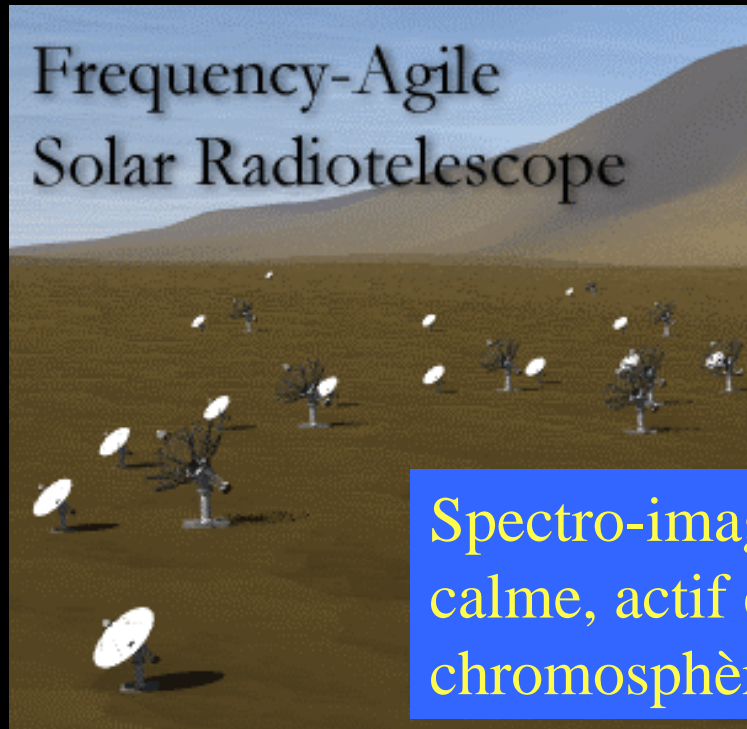
Nançay Radioheliograph: East - west array flat antennas



- Low gain antennas:
(~wide band dipoles)
- Severe sensitivity
limitation at high
frequency
- One linear polarization



Frequency-Agile Solar Radiotelescope



Spectro-imagerie du Soleil
calme, actif et éruptif de la
chromosphère à $1 R_{\odot}$

FASR

FREQUENCY-AGILE SOLAR RADIOTELESCOPE

Fasr: radiohéliographe du futur

Vue d'artiste du réseau d'antennes

QuickTime™ et un
décompresseur Cinepak
sont requis pour visionner cette image.

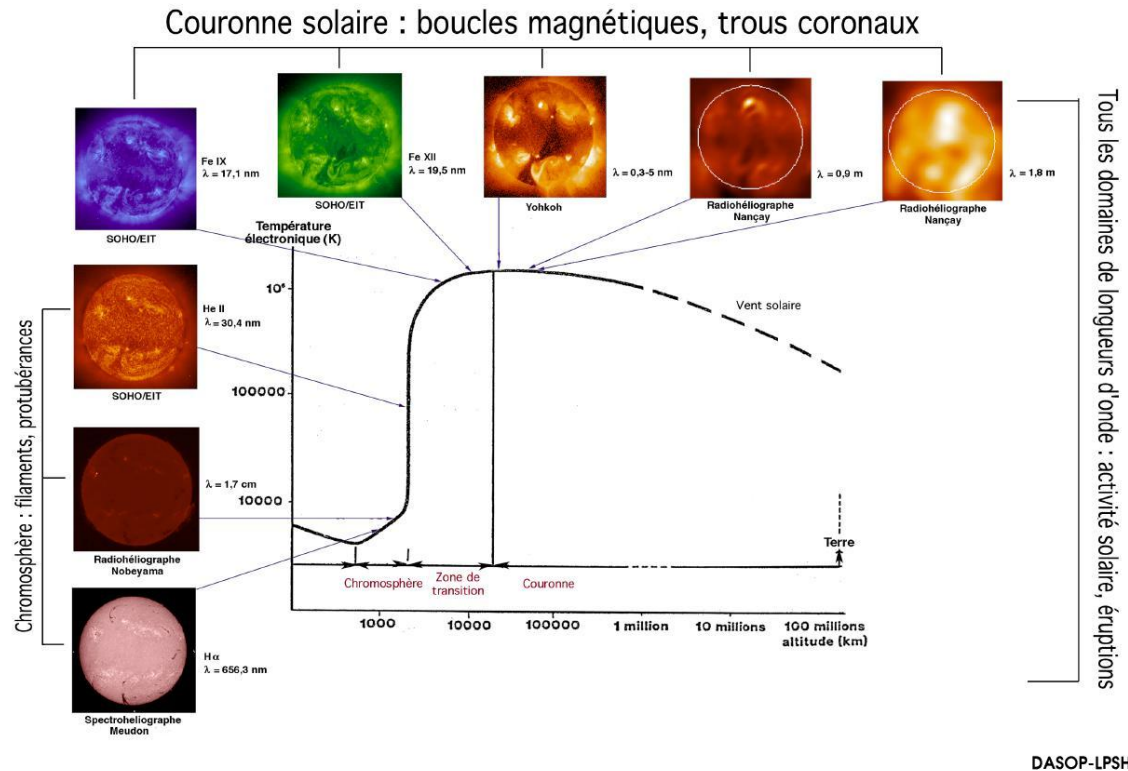
D'où proviennent les émissions radio solaires ?

- Emission thermique de l'atmosphère solaire (plasma)
 - Images de la couronne en densité.
 - Possibilité de mesure des champs magnétiques au dessus des taches.
 - Mesures très complémentaires des observations faites dans des raies d'émissions (visible, UV) et de l'émission en rayons X

D'où proviennent les émissions radio solaires ?

- Émission des électrons accélérés par des instabilités magnétiques (i.e. activité solaire: éruptions, CME etc.)
 - Émission gyromagnétique (dans un champ magnétique): spectre dépendant de l'énergie des électrons et de la valeur du champ.
 - Émission collective d'un ensemble d'électrons accélérés: les électrons (surtout en cas de distribution anisotrope) excitent des ondes dans le plasma coronal. A des niveaux élevés, ces ondes interagissent entre elles et produisent des ondes radio qui peuvent nous parvenir. Très difficilement modélisable de façon quantitative.
- En général, la fréquence d'émission correspond au tandem densité/champ magnétique. Plus ces 2 paramètres sont faibles, plus la fréquence est basse. Comme ils diminuent avec la distance au soleil, on fait équivalence approximative fréquence - altitude.
 - 30 GHz: chromosphère
 - 100 MHz: 0,5 rayon solaire
 - 10 KHz: orbite terrestre

Radio: Notions générales



$$f_p = 9 \sqrt{N_e}$$

kHz cm⁻³

Cm, 10 GHz basse couronne
1MHz~10Rs

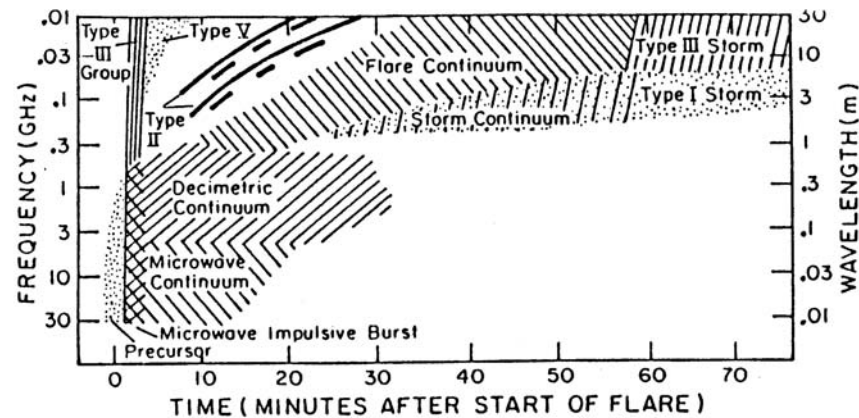
Radio sensible Densité
Nobeyama 17 et 34 GHz
Nancay 450-150 MHz

Aspect différent selon la fréquence

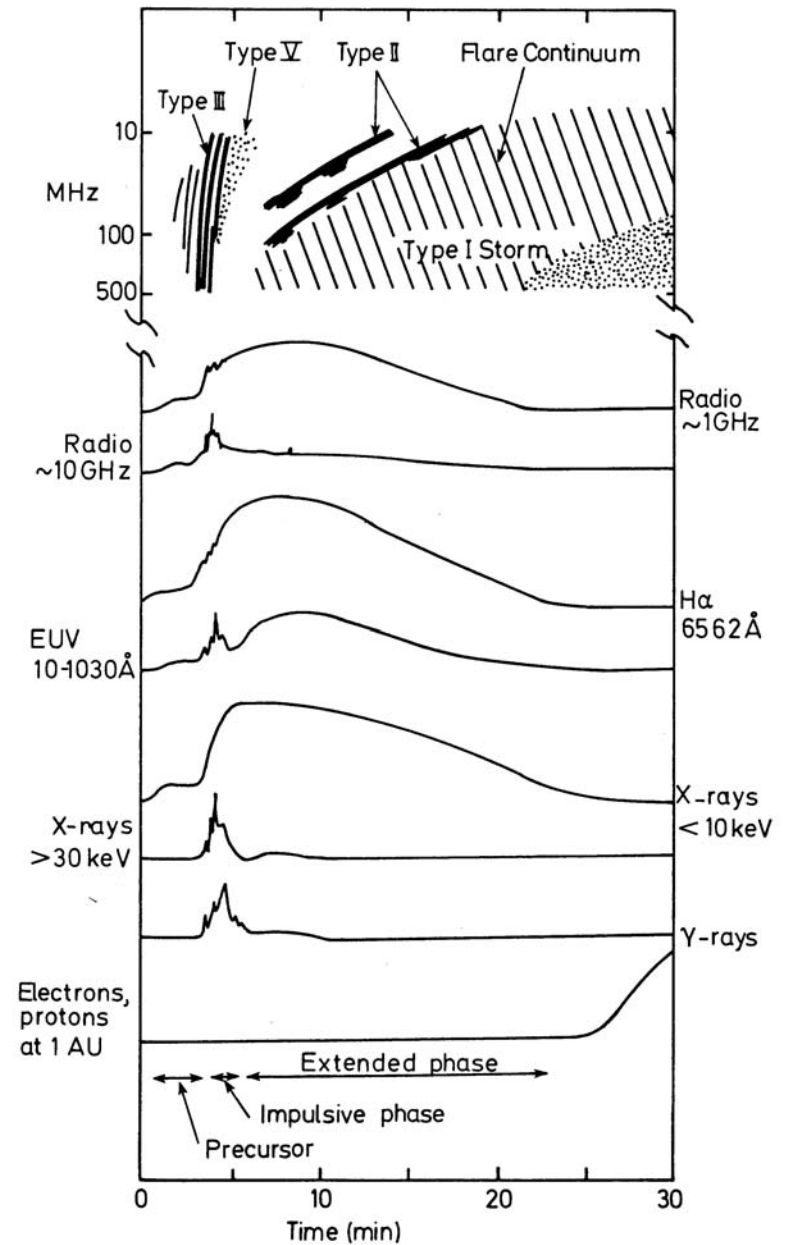
Les sursauts radioélectriques: émissions non thermiques

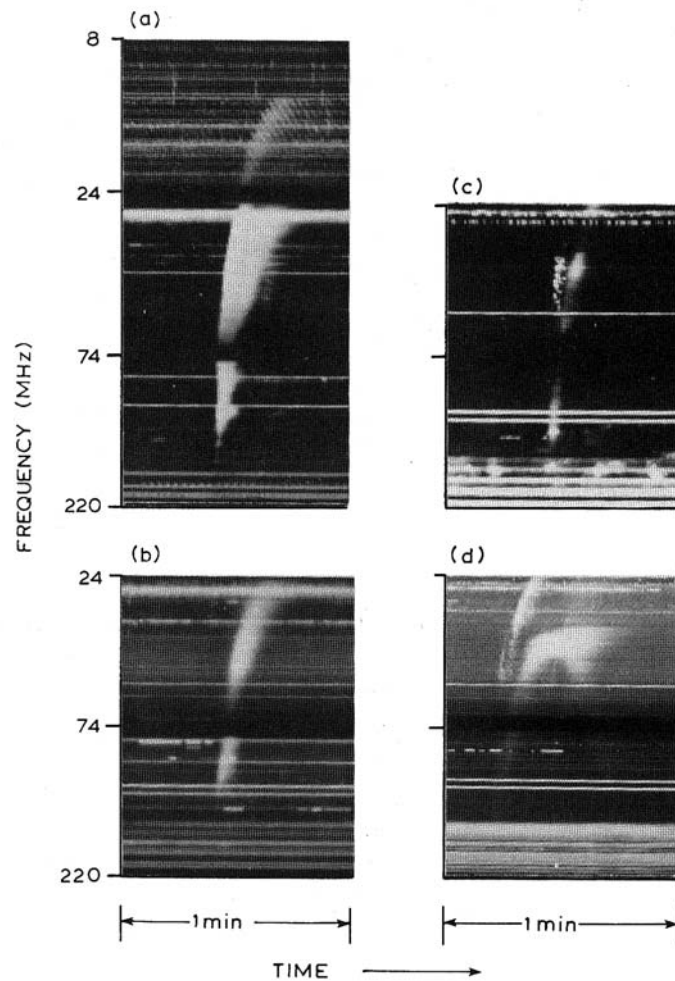
- Sursauts radio: caractéristiques variées (f,t): <1sec. à heures
- Historiquement classés selon leur morphologie
- Association ou non avec éruptions solaires
- 10^{37} electrons/sec > 20 keV

Les différents sursauts

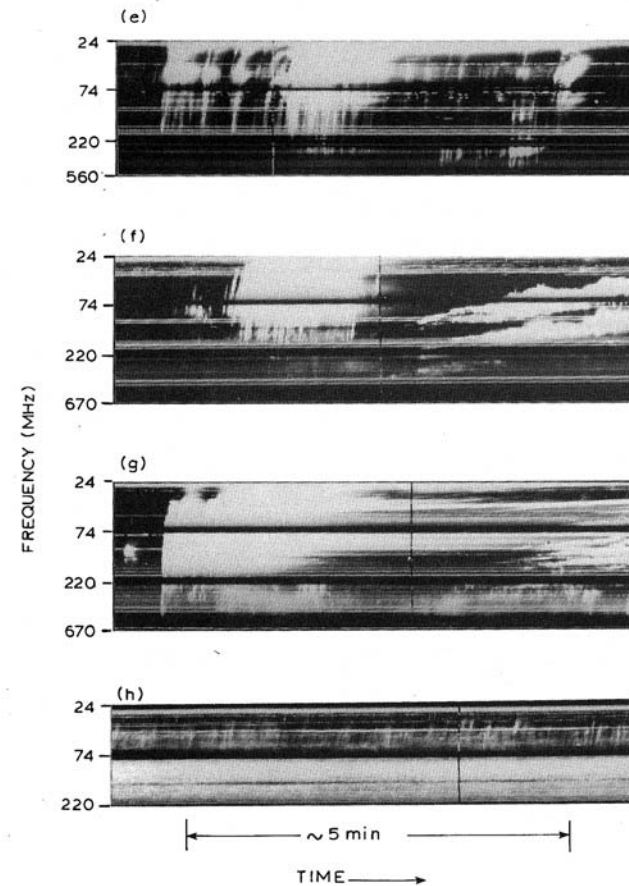


- Faisceaux d'électrons
- Chocs
- Populations trappées dans boucles du Champs magnétiques
- Ejecta, plasmoides



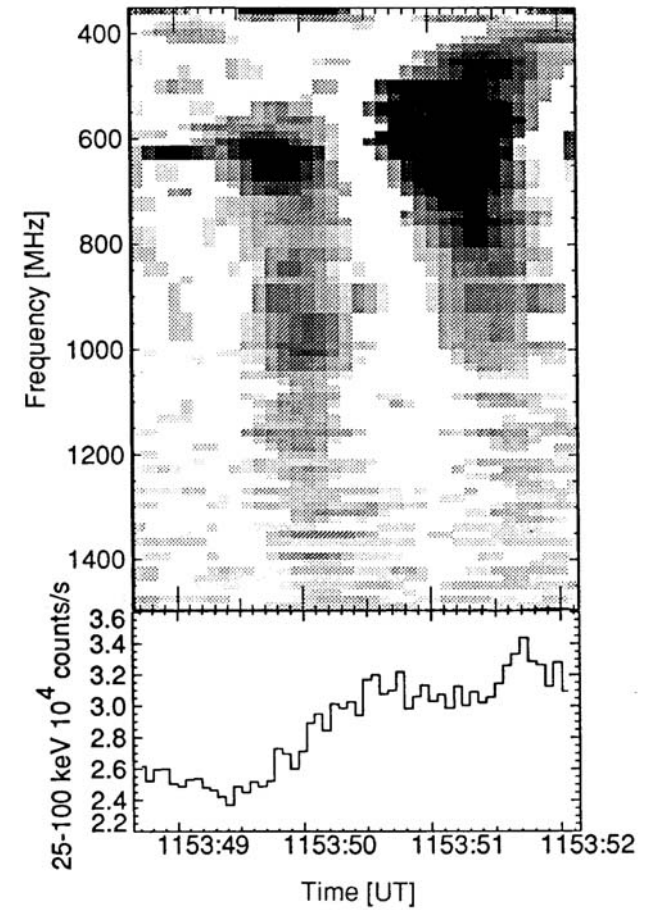
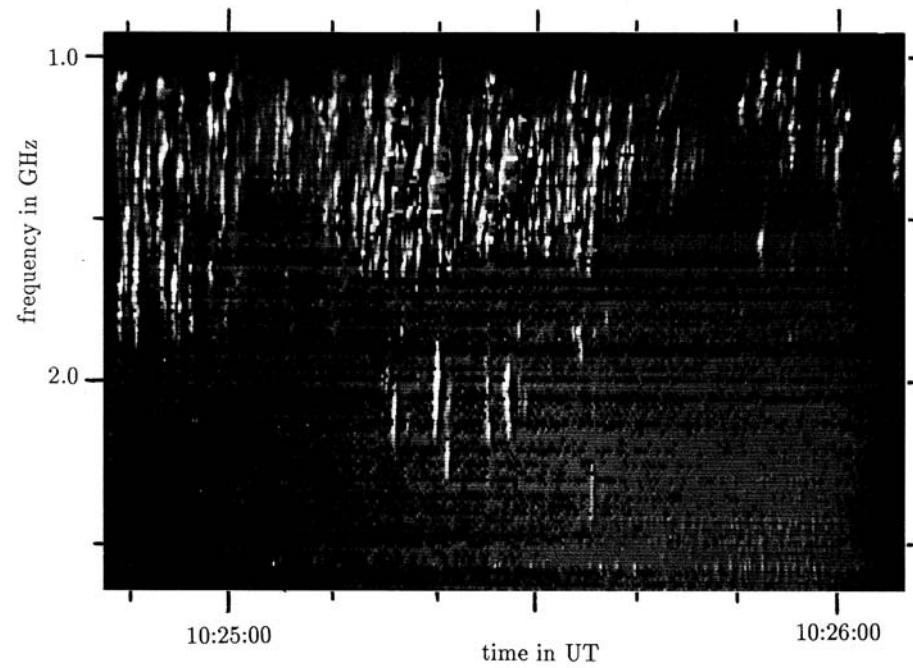


Faisceaux d'électrons
Sursauts de type III, J, U

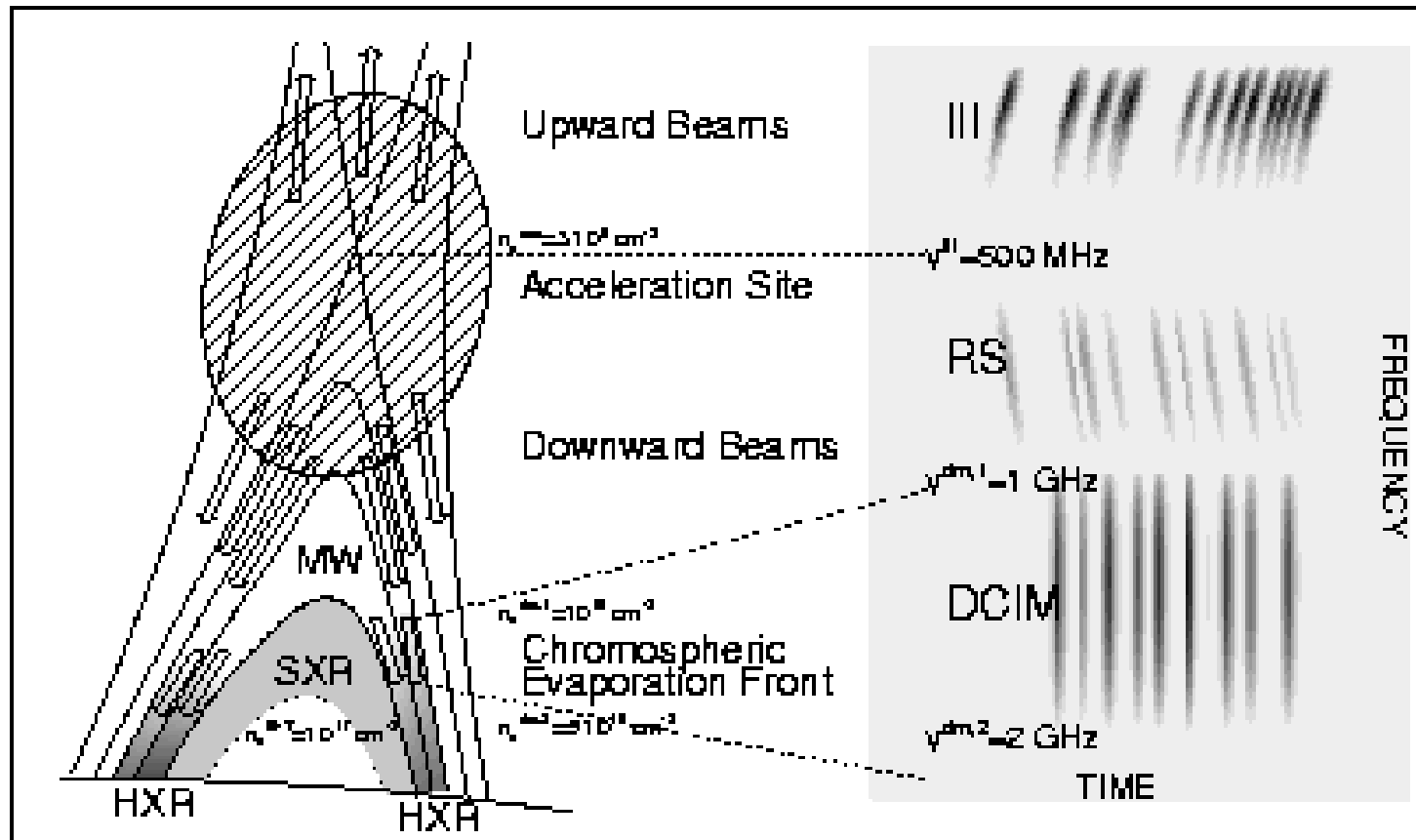


Faisceaux d'électrons
Ondes de choc
Sursauts type III/IV
Sursauts de type II

Sursauts radio et source d'accélération



Sursauts radio et source d'accélération

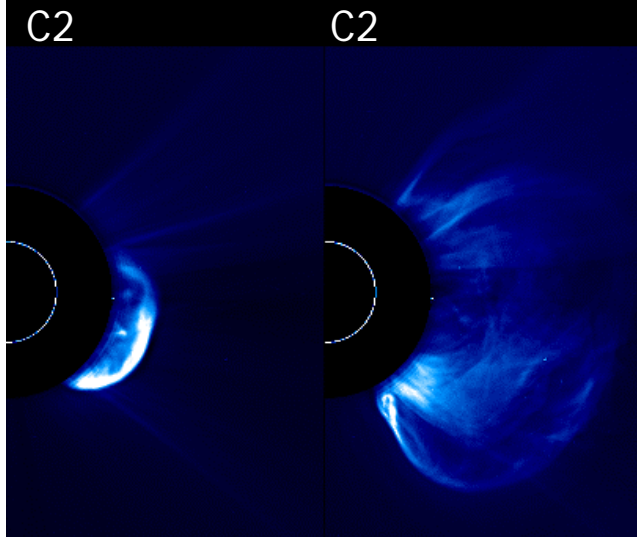


from Aschwanden & Benz 1997

Radio solaire: quelle utilité ?

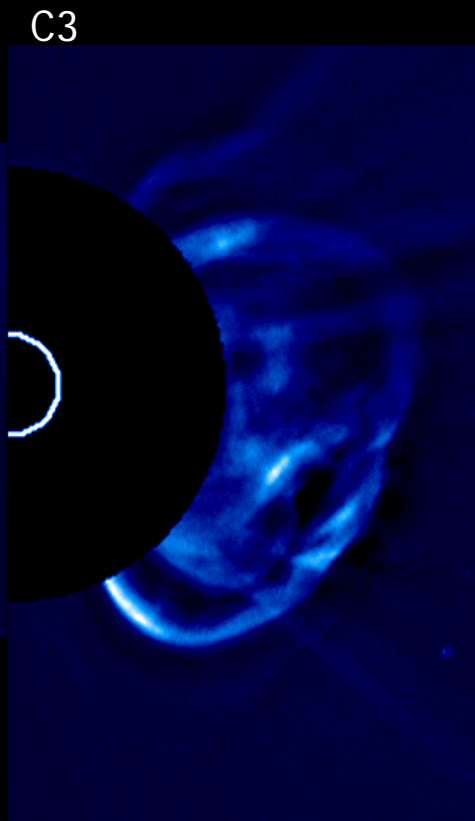
- Accélération, stockage, propagation des électrons: ~seule méthode.
 - Localisation des éruptions.
 - Accélération d'électrons hors éruption.
 - Injection dans le milieu interplanétaire.
- Mesures de densité peu sensibles à la température, à tous les niveaux de l'atmosphère solaire.
- Mesure plus ou moins directes du champ magnétique dans la couronne.
- En général, observation de perturbations de la couronne qui peuvent atteindre le milieu interplanétaire (relations Soleil-Terre)

20 April 1992

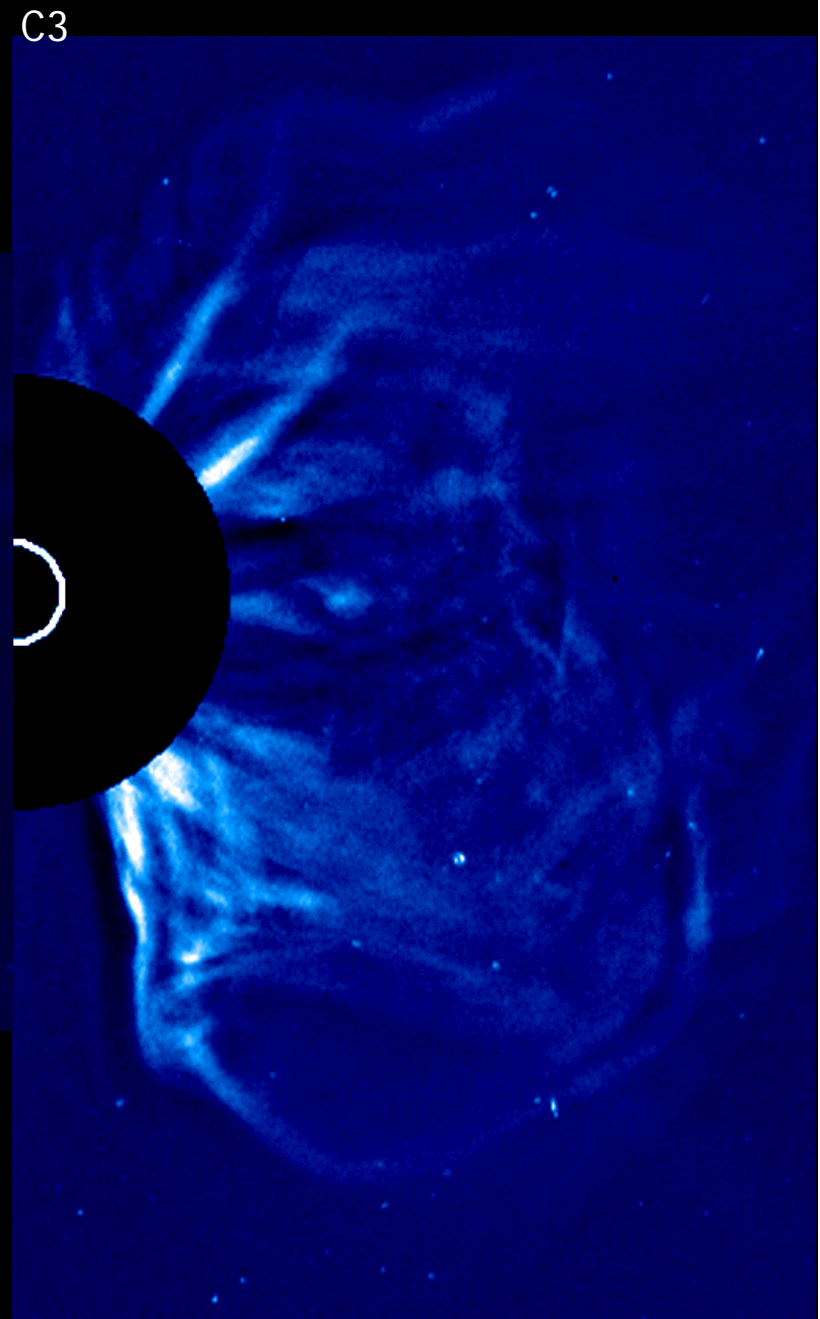


10:04:51 UT

10:31:20 UT



10:45:22 UT



11:49:14 UT

SOHO/LASCO

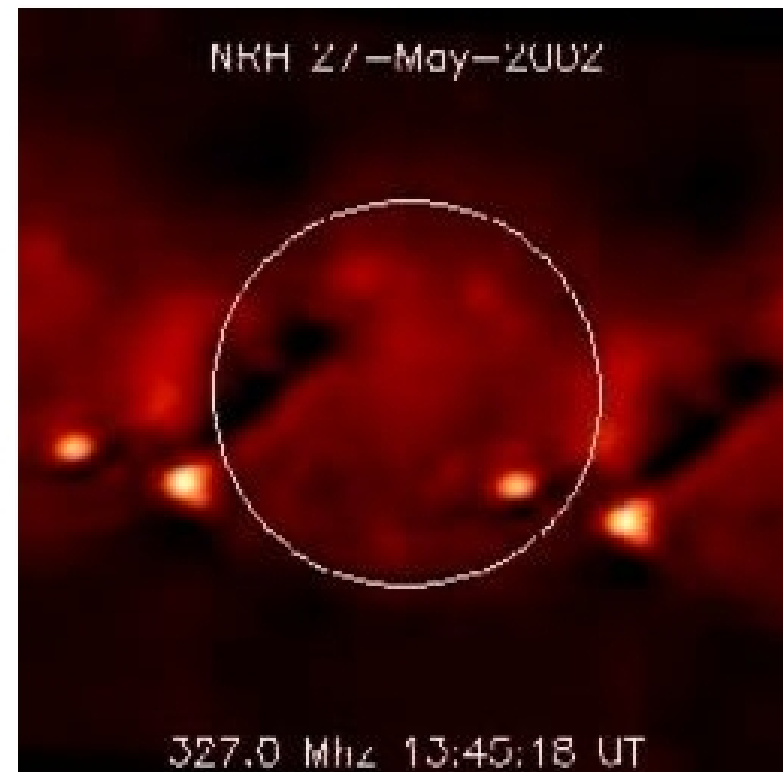
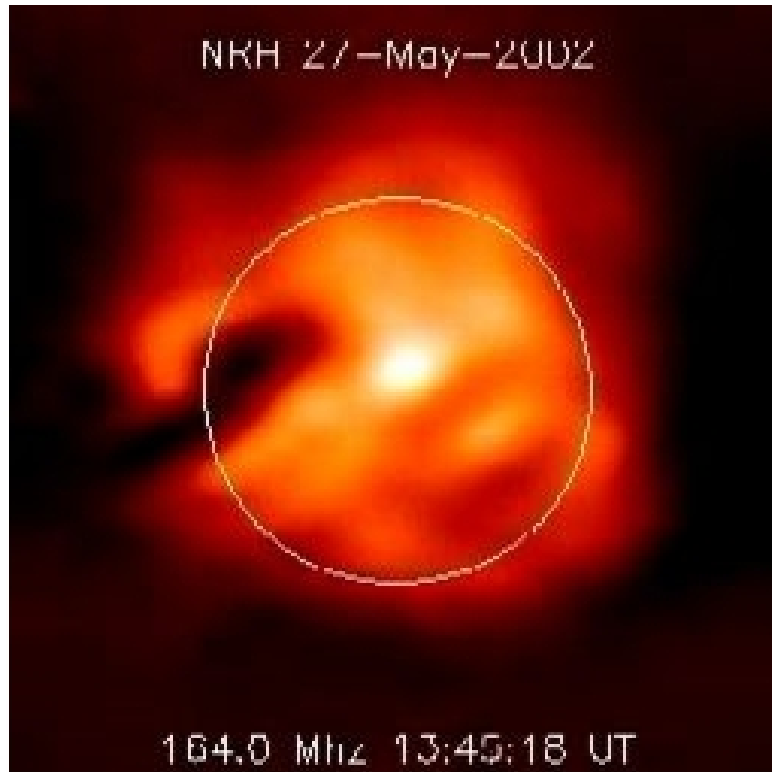
Ejection de masse coronale illuminée par l'émission d'électrons accélérés

QuickTime™ et un décompresseur Sorenson Video sont requis pour visionner cette image.

Éruption « Bastille »: vidéo

QuickTime™ et un décompresseur Sorenson Video 3 sont requis pour visionner cette image.

FASR



- Envol de protubérance (émission thermique)

CME, filament et cavité: vidéos

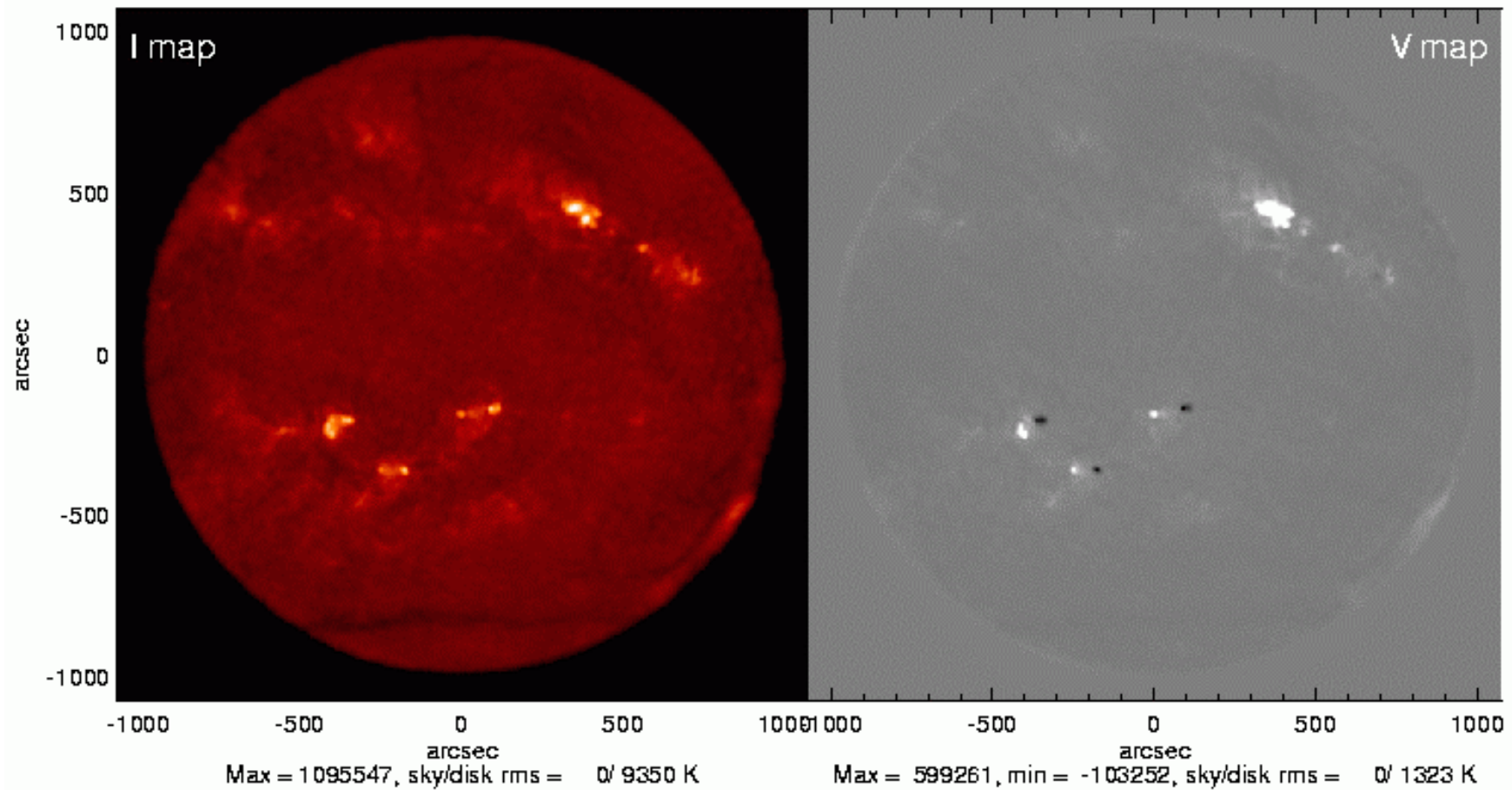
QuickTime™ et un
décompresseur Codec YUV420
sont requis pour visionner cette image.

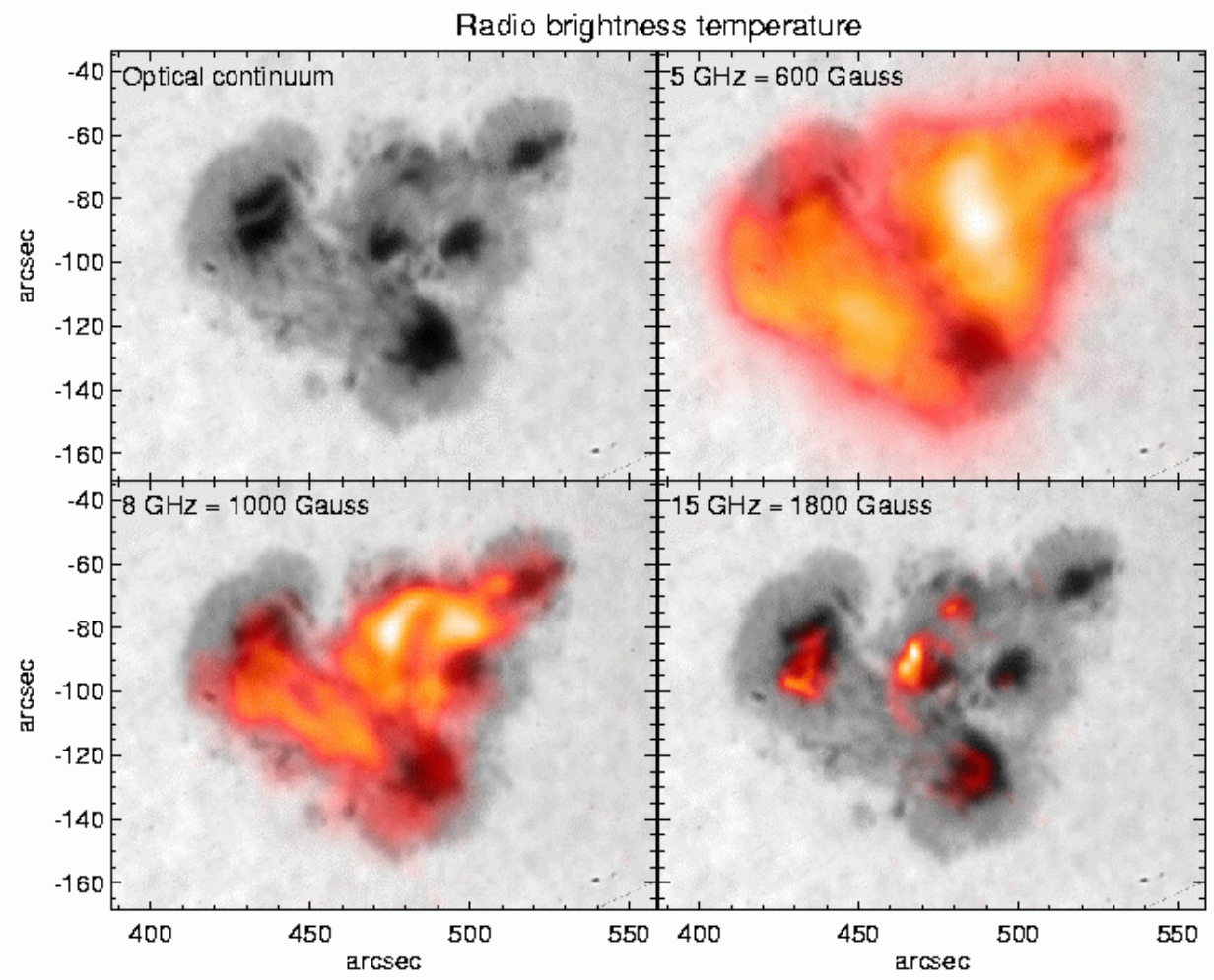
QuickTime™ et un décompresseur codec YUV420 sont requis pour visionner cette image.

FASR

FREQUENCY-AGILE SOLAR RADIOTELESCOPE

1999 April 11: VLA 4.535 GHz mosaic

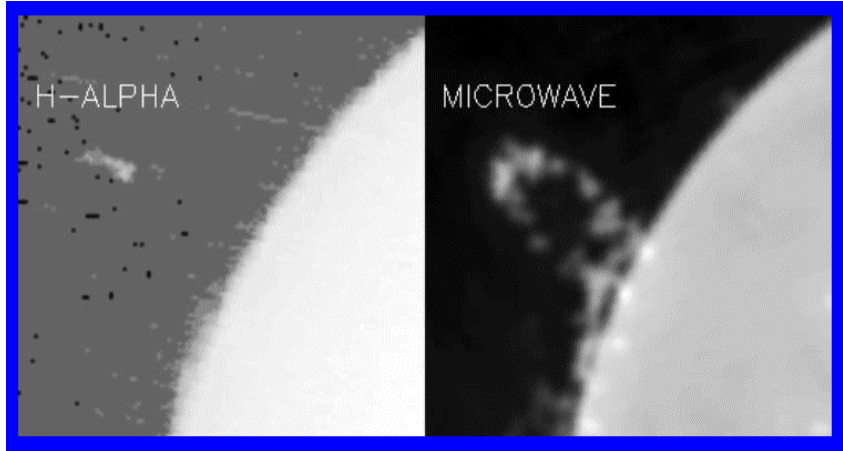




Active region showing strong shear: radio images show high B and very high temperatures

from Lee et al (1998)

Eruptive prominences and CMEs



**Nobeyama Radioheliograph
17 GHz
Thermal free-free emission**

H α line (restricted T range)

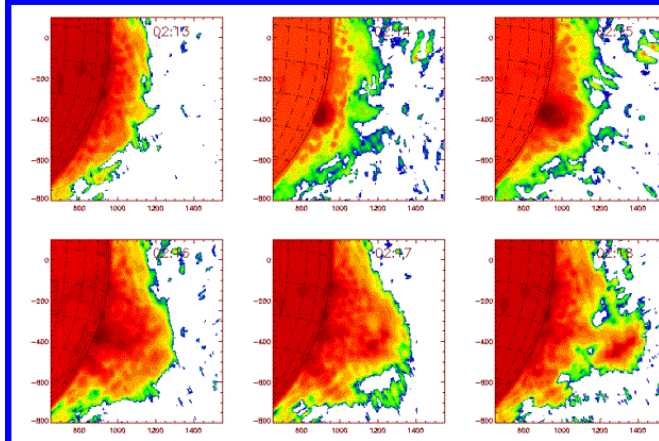
Radio PE Feb 97-June 1999	H α PE: Feb 97 – June 99 (Yang & Wang)
63	50
41(65%)	18(36%)

Gilbert et al., 2000

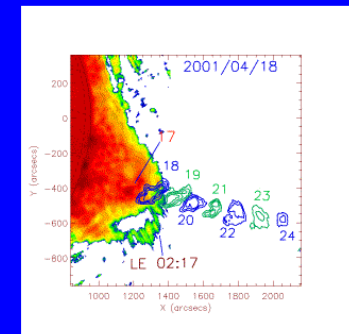
EP: Escaping material: 1.20-1.35 Ro

CME association : EP 75%.

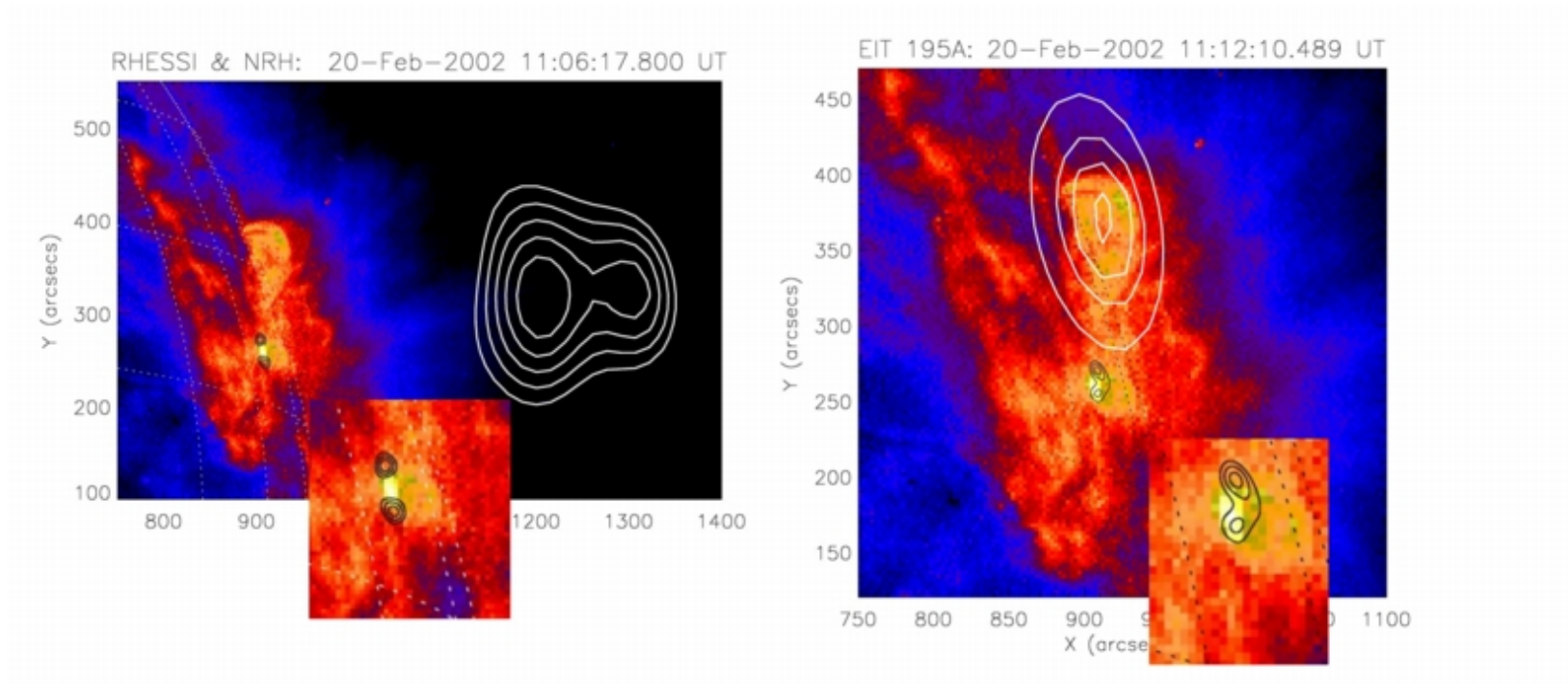
Flare core surrounded by diffuse CME
CME leading edge (LE) fades after 2:17



Core Evolution:
Every min. from 2:17



FASR



- Comparaison des émissions X durs et radio (410 MHz)
- Instruments RHESSI et NRH

Trou coronal

