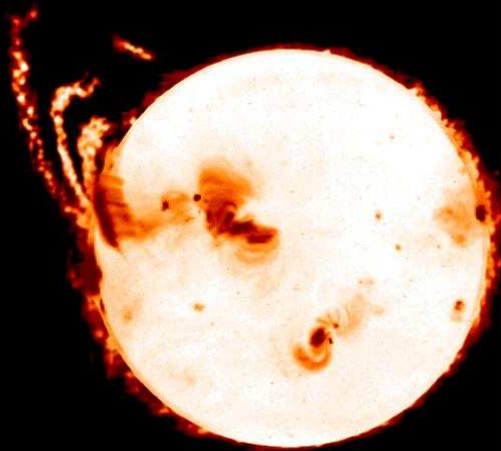
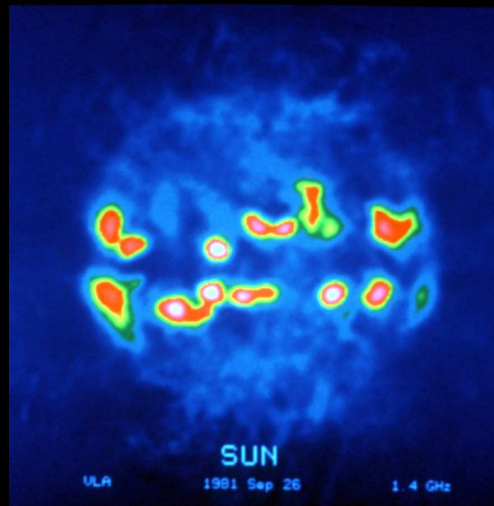


Mesures radio du champ magnétique dans la couronne solaire

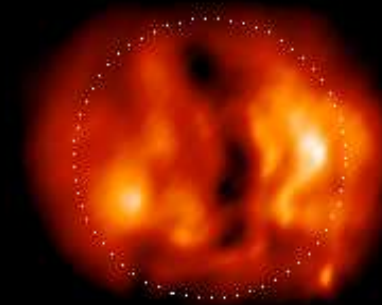
Ludwig Klein, Observatoire de Paris, LESIA



NoRH 17 GHz / 1,8 cm



VLA 1,4 GHz / 21 cm



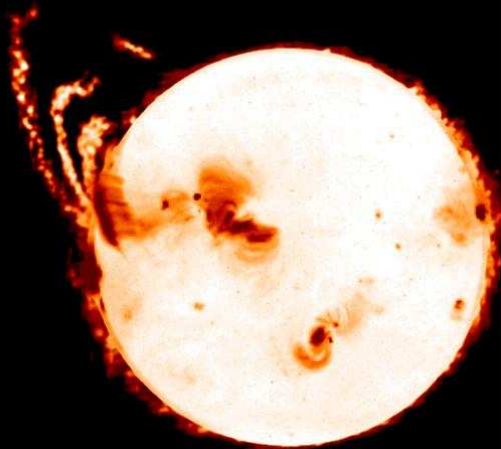
NRH 0,327 GHz / 91 cm

Rayonnement radio thermique, modifié par **B**:

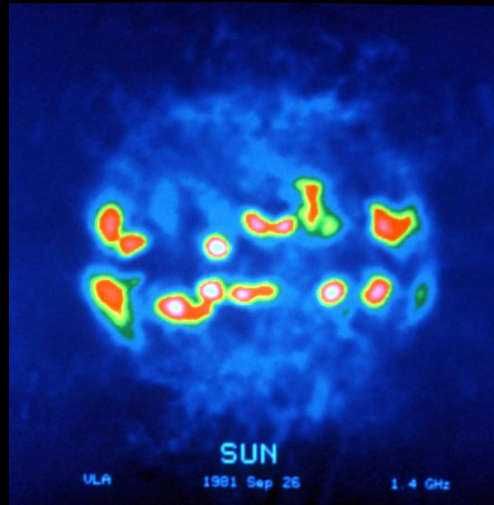
- Opacité accrue due au **B**
- Polarisation du rayonnement de freinage
- Changement de polarisation en propagation \perp **B**

Rayonnement radio (continu) de l'atmosphère thermique

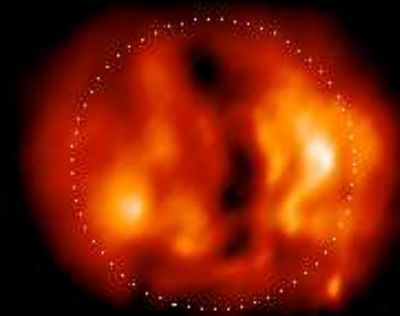
Ray^t des électrons libres dans le champ électrique des ions



NoRH 17 GHz / 1,8 cm



VLA 1,4 GHz / 21 cm



NRH 0,327 GHz / 91 cm

Température de brillance (=T équivalente corps noir):

$$T_b = \int_0^{\tau_p} T_e(\tau) \exp(-\tau) d\tau, \quad \tau = \tau_{ff} + \tau_{gr}$$

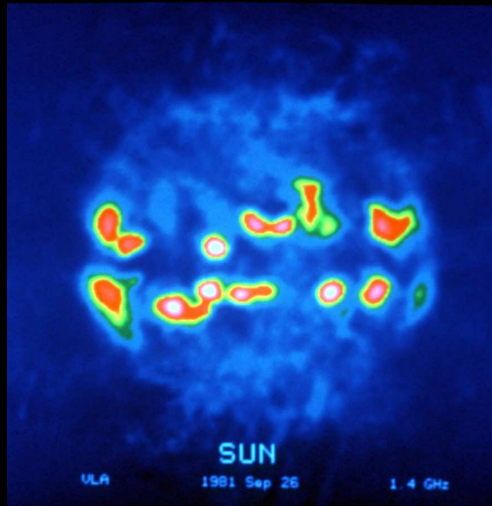
(T_e = température des électrons)

Contributions au rayonnement thermique

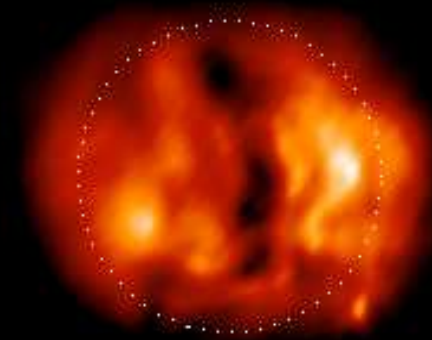
Ray^t de freinage: (1)



NoRH 17 GHz / 1,8 cm



VLA 1,4 GHz / 21 cm



NRH 0,327 GHz / 91 cm

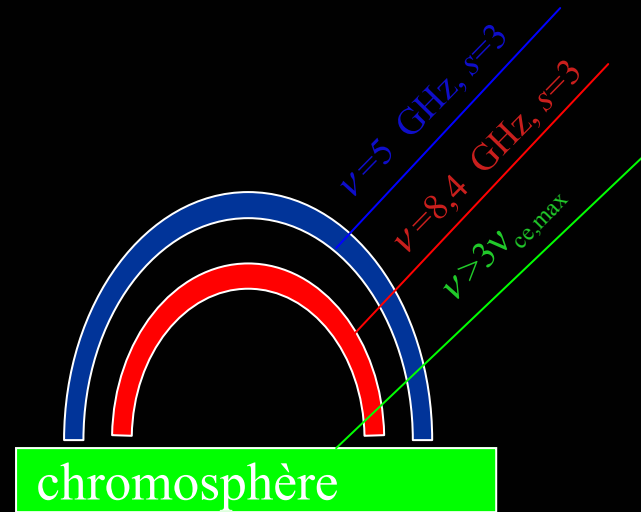
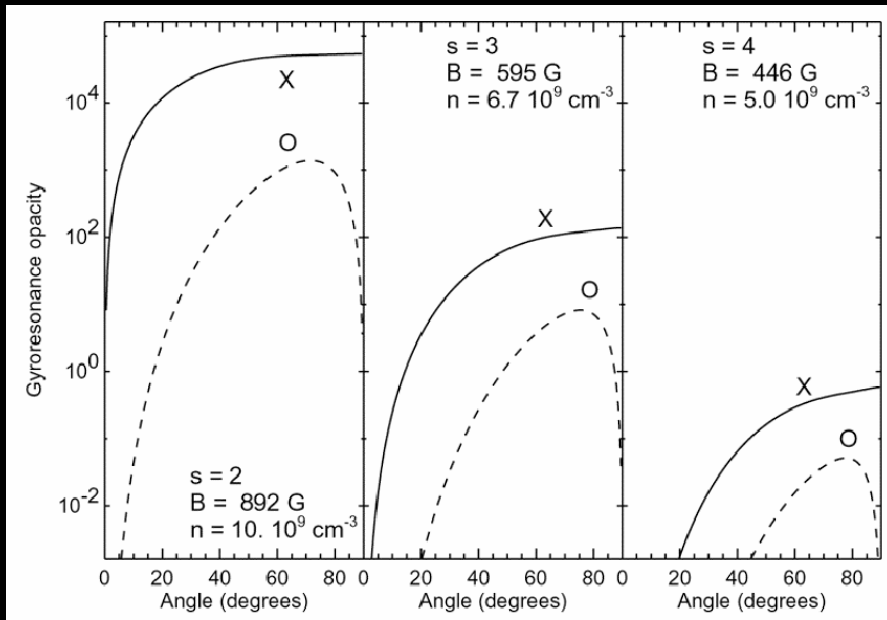
$$\tau_{v,ff} = \frac{\zeta n_e^2 l}{T_e^{3/2} (\nu m v_{ce} \cos \vartheta)^2} \ln \left(\frac{\alpha(T)}{\nu} \right) = \frac{\tau_0}{\left(1 m \frac{v_{ce}}{\nu} \cos \vartheta \right)^2} \quad (\theta = \angle \left(\begin{matrix} \mathbf{r} \\ \mathbf{k}, \mathbf{r} \end{matrix} \right) \quad (v_{ce} \text{ fréquence cyclotron des } e^-))$$

- Séparation des modes x, o (polarisation circulaire) en présence d'un champ magnétique

Contributions au rayonnement thermique (2)

- émission gyrorésonnante

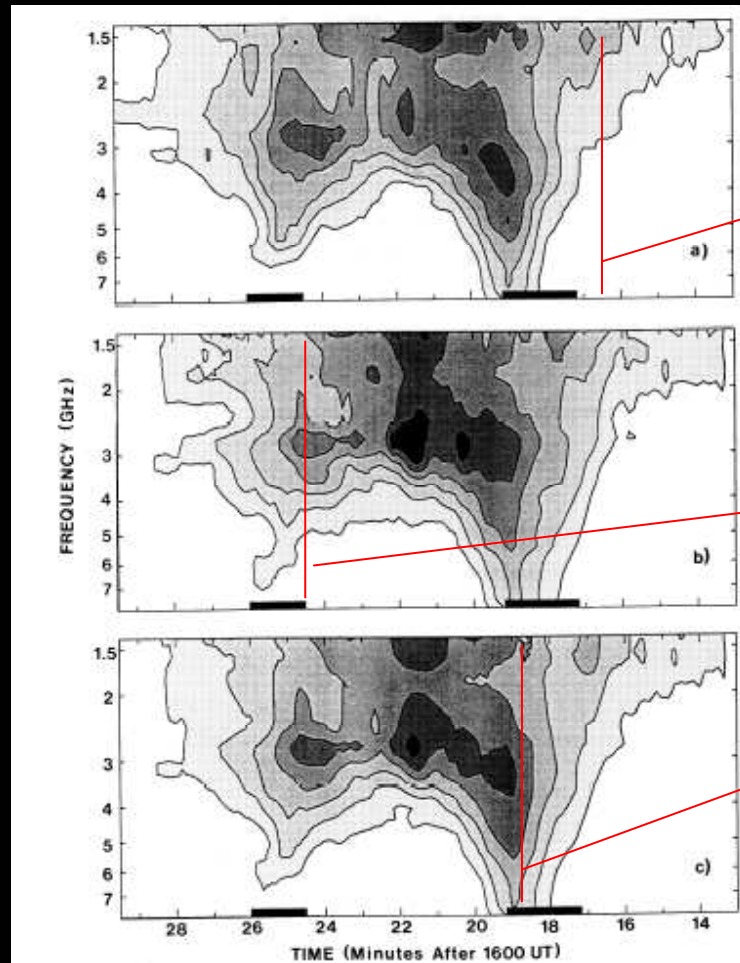
$$\tau_{\nu,gr} = \frac{\xi s^{2s}}{2^{s+1} s!} \frac{n_e L_B}{\nu} (1,77 \times 10^{-10} T_e)^{s-1} \times (1 \pm \cos \vartheta)^2 (\sin \vartheta)^{2s-2} \delta(\nu - s \nu_{ce})$$



1000 G
600 G

$\nu = s \nu_{ce}$ ($s=2 \dots 4$ pour $T_e \approx 2 \times 10^6$ K)
 = 5 GHz (6 cm) pour $s=3$, $B=600$ G
 Surface résonnante, épaisseur ~ 100 km

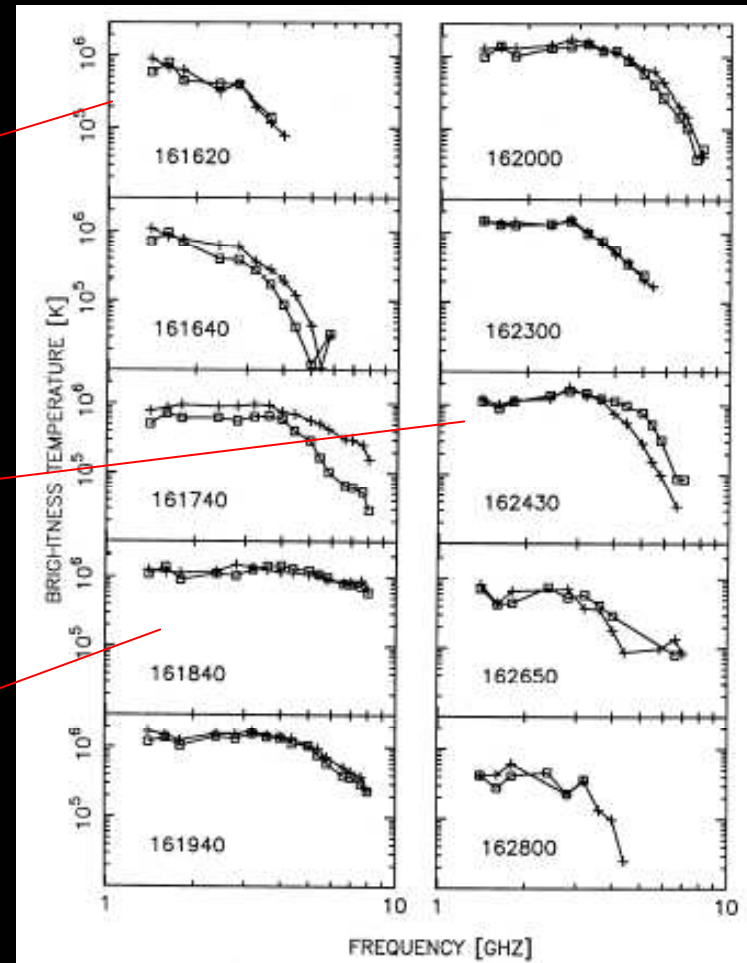
Spectre radio cm- λ du rayonnement thermique d'une région active quiescente



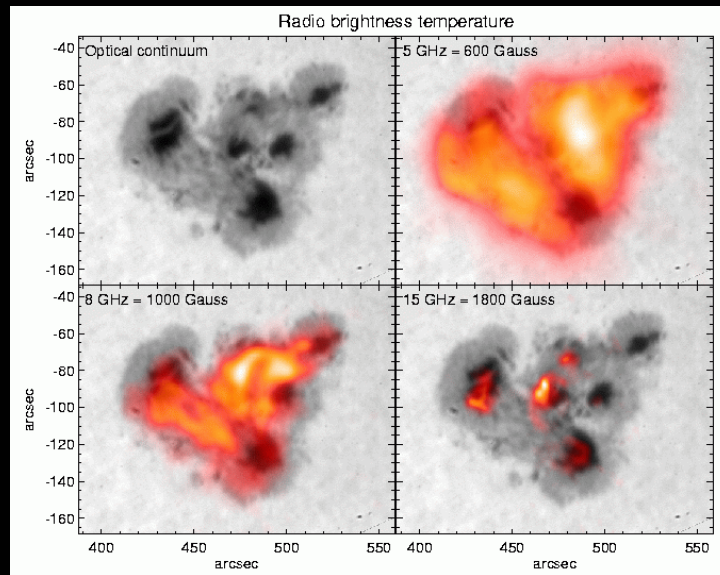
freinage

gyrorésonnant:
 $B \approx 600$ G

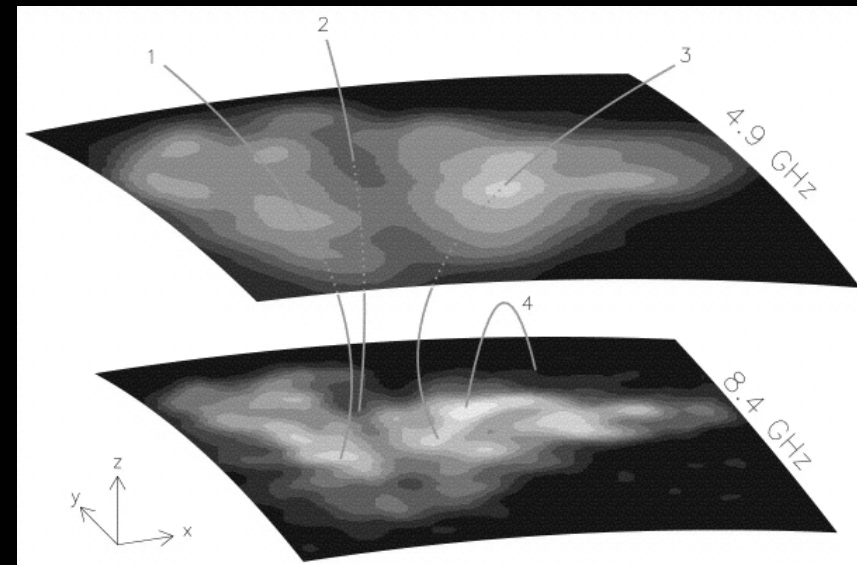
gyrorésonnant:
 $B > 1430$ G



Emission gyrorésonnante

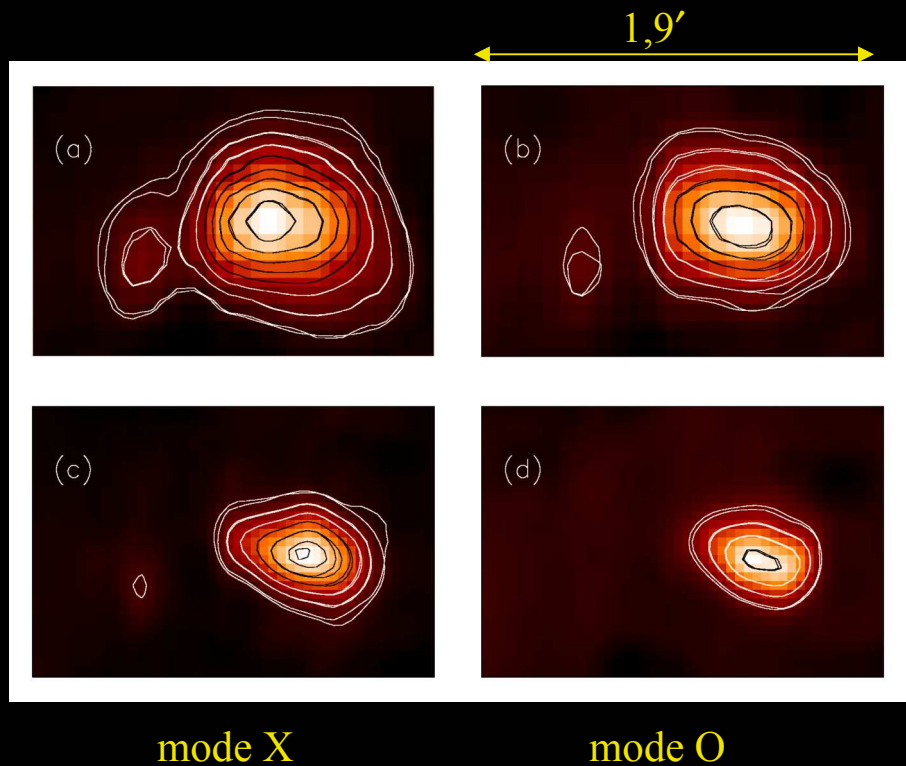


Lee et al. 1998, ApJ 501, 853



Lee et al. 1999, ApJ 510, 413

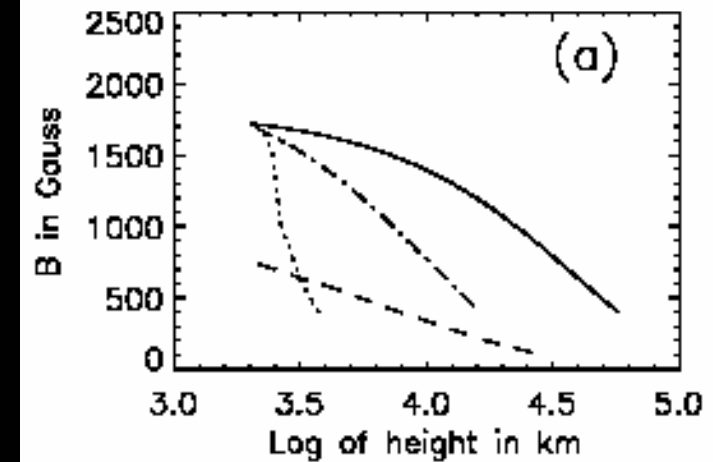
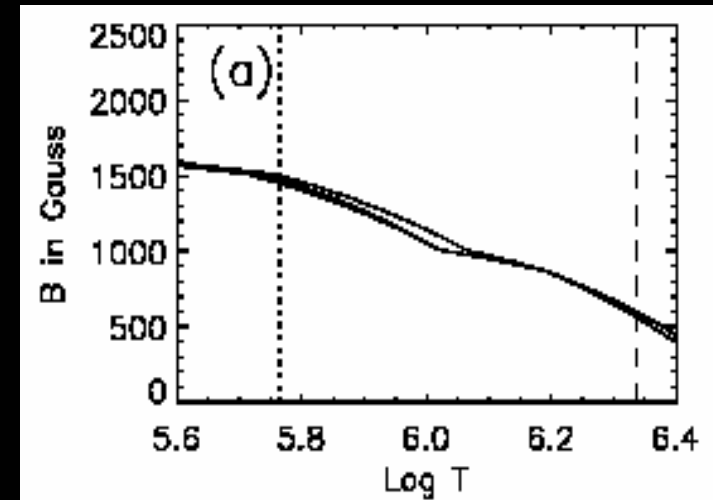
- Emission gr $\tau_{gr} > 1$: T_b sur surfaces iso- B ($\nu = s\nu_{ce}$; non nécessairement planes)
- au-dessus des taches (B intenses)
- Technique confirmée: cf. Alissandrakis, Kundu, Lantos 1980, A&A 82, 30



Observations SoHO, VLA

4,9 GHz

8,4 GHz



CDS, EIT → DEM

VLA 4,9 & 8,4 GHz + modèles L_B & $n_e(T)$

→ répartition B le long de la ligne de visée
(fig.: cartes observées (couleurs & contours) & calculées (contours))

- B vs $\log T$: peu dépendant des modèles
- B vs $\log h$: forte dépendance de L_B
- $B >$ champ potentiel (---)

Brosius et al. 2002, ApJ 574, 453

Polarisation du ray^t de freinage

- Epaisseur optique:

$$\tau_{v,ff} = \frac{\tau_0}{\left(1 \mp \frac{v_{ce}}{v} \cos \vartheta\right)^2} \quad (\theta = \angle(\overset{r}{k}, \overset{r}{B}))$$

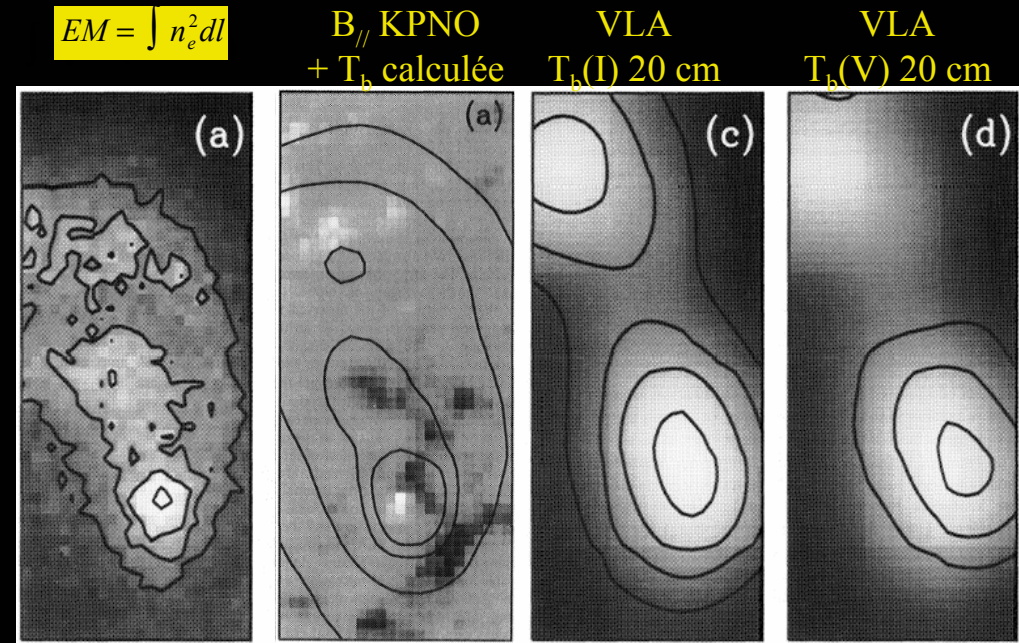
- Température de brillance en régime $\tau_{ff} \ll 1$:

$$T_b = T_e \tau_{v,ff} \approx \frac{\zeta' n_e^2 l}{\mu T_e^{1/2} v^2} \left(1 \pm 2 \frac{v_{ce} \cos \vartheta}{v}\right)$$

- Polarisation en mode extraordinaire, fct. de $v_{ce} \cos \vartheta$, donc $B_{//}$ (mais: intégration le long de la ligne de visée)

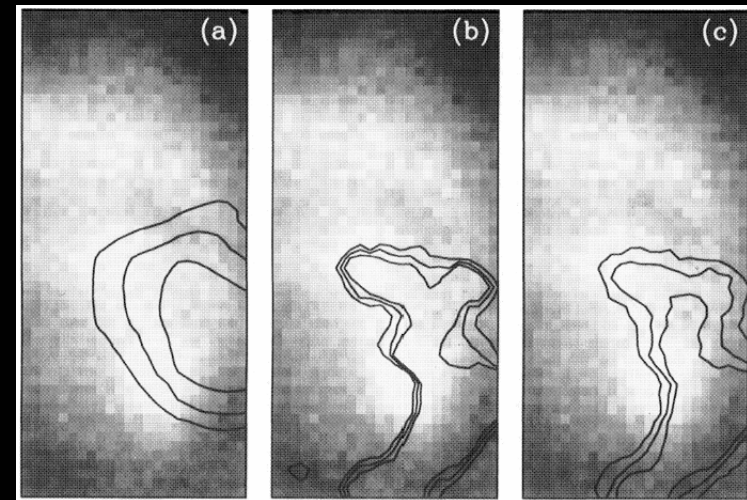
Rayonnement de freinage d'une plage

- Observation : 1) spectre EUV SERTS $\rightarrow T_e, EM$, 2) magnétogramme photosphérique KPNO, 3) $\lambda=20$ cm I & V (VLA)
- Correspondance globale T_b calculée/observée
- Calcul B_{\parallel} dans la source radio 30 - 60 G
- multi- $\nu \leftrightarrow$ diagnostic B_{\parallel} multi-couches (requiert: dynamique image, sensibilité aux sources étendues)



1,77'

Contours B_{\parallel} sur carte Fe XVI:

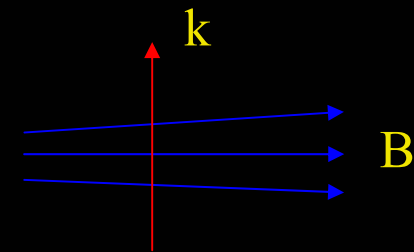
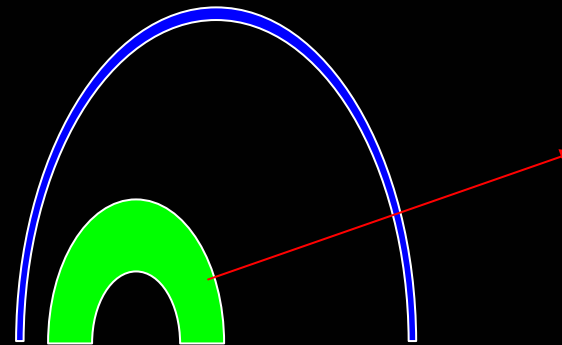


B_{\parallel} radio

B_{pot} 5000 & 10000 km
Contours -30, -40, -50 G

Dépolarisation à la traversée d'une région quasi-transverse

- Ray^t émis par source verte traverse B ambient
- Si chg^t du signe de B_{//} (prop ⊥B): chg^t du sens de polarisation circulaire ?
- Non si propagation comme dans le vide (v ≫ v_t; « couplage fort »), oui si v < v_t (« couplage faible »)
- Frontière: v = v_t ⇒ V = 0, Q² + U² ≠ 0

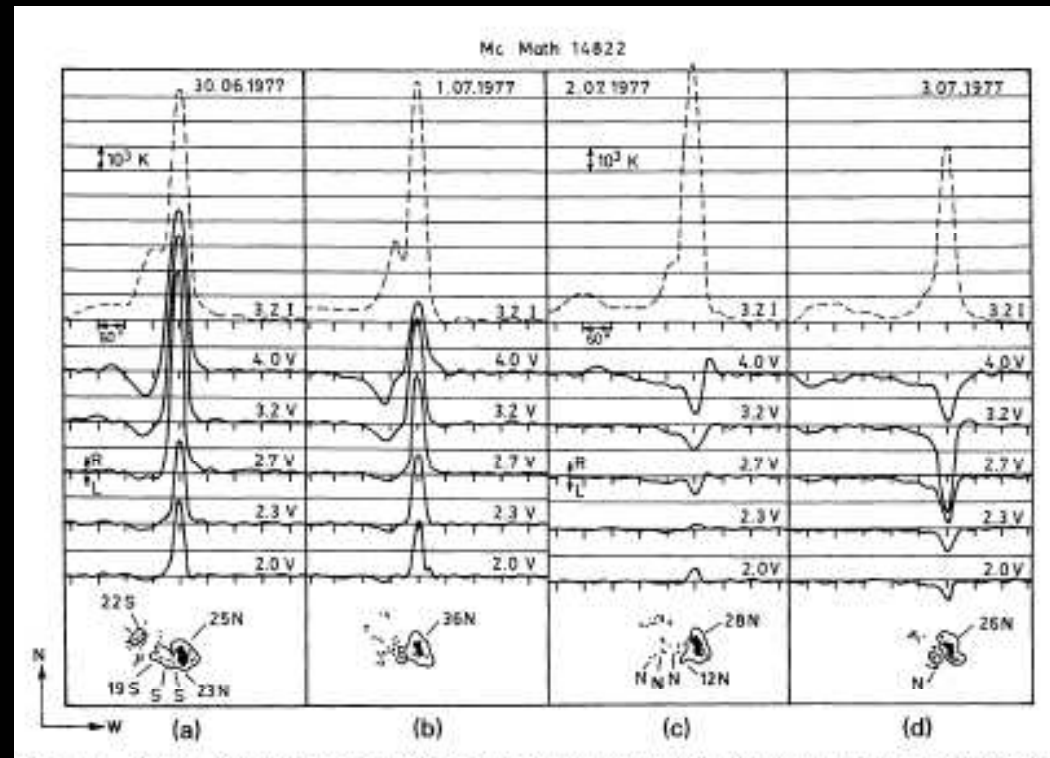


$$\omega_t^4 = \frac{\omega_{ce}^3 \omega_{pe}^2}{4c} L_B \propto B^3 n_e L_B$$

Dépolarisation à la traversée d'une région quasi-transverse

Traversée d'une région $\theta \approx 90^\circ$
(« quasi-t ») loin de la source:
inversion de B_{\parallel} le long de la
ligne de visée :

- RATAN 600, $\lambda=(2-4)$ cm,
 $\nu=(7,5-15)$ GHz (tireté: profil I,
plein: profil V)
- Suivi d'une RA pdt 4 jours
après paassage au méridien
central
- Inversion de la polarisation,
d'abord aux basses fréquences
- $\Rightarrow B=16$ G, $h=10^5$ km



Gelfreikh, Peterova, Ryabov 1987, Solar Phys. 108, 89

Mesures du champ magnétique avec FASR

- Technique confirmée, utilisée à qq. fréquences isolées: ray^t gyrorésonnant, B intenses (au-dessus des taches)
- Observations occasionnelles: polarisation du ray^t de freinage, $B_{//}$ dans les plages
- Observations occasionnelles (2-4) cm: dépolarisation en propagation QT, B au-dessus des régions actives
- Les apports FASR: couverture fréquences, observations solaires dédiées (complémentarité satellites; service d'observations)
- Exigences: dynamique, sensibilité aux structures étendues, résolution spatiale, mesure degrés de polarisation $\sim 1\%$