

Chapitre IV

Structure du filament

Résumé

À partir du champ magnétique déterminé suivant l'hypothèse sans-force non linéaire, nous étudions quelle peut être la structure du champ magnétique supportant le filament apparaissant dans la région active 8151. Pour ce faire, nous considérons que la matière composant le filament se répartit dans des creux magnétiques. Deux configurations magnétiques sont alors envisageables : une structure quadripolaire et un long tube de flux torsadé. Les observations magnétiques (MDI/SOHO) et dans la raie $H\alpha$ (Obs. Paris-Meudon) permettent de conclure que la configuration du long tube de flux torsadé est la plus adaptée à supporter le filament.

1 Introduction

Dans le Chapitre III, nous avons déterminé la configuration magnétique des structures coronales tels que le système de boucles observé par EIT et le sigmoïde observé par SXT. Par ailleurs, nous n'avons obtenu aucune information sur la structure du filament observé (cf Fig. III.2 en haut à droite). Comment obtenir de telles informations ?

Pour pouvoir exister dans la couronne, les objets massifs que sont les filaments doivent être supportés par des lignes de champ magnétique coronal. Pour ce faire, Kippenhahn & Schlüter (1957) ont proposé une configuration magnétique présentant des creux magnétiques dans lesquels la matière du filament peut être en équilibre : la tension magnétique s'oppose alors directement à la force de gravité. Il est maintenant couramment admis que les filaments sont supportés par des lignes de champ magnétique présentant des creux magnétiques (voir la revue de Démoulin, 1998). Deux types de structures présentant des creux magnétiques ont été étudiées : les configurations quadripolaires ou les tubes de flux torsadés. Les configurations quadripolaires présentent "naturellement" des creux magnétiques que ce soit pour des équilibres magnétohydrostatiques (e.g., Kippenhahn & Schlüter, 1957), soit pour des équilibres magnétostatiques (e.g., Amari & Aly, 1989 ; Aly & Amari, 1997). D'autres modèles supposent que les creux magnétiques apparaissent lors de la formation ou l'émergence de tubes de flux torsadés (e.g., Kuperus & Raadu, 1974).

2 Recherche de creux magnétiques

L'aspect géométrique d'un creux magnétique se traduit simplement par un changement de courbure le long d'une ligne de champ. Pour ce faire, on utilise les propriétés de l'abscisse curviligne. Dans un repère orthogonal de Frenet, $\vec{T}$ est le vecteur tangent à la courbe, $\vec{N}$ est le vecteur normal et $\vec{B}$ représente la binormale. $(\vec{T}, \vec{N}, \vec{B})$ forment une base orthormée directe. En un point M de la courbe, l'abscisse curviligne s est la longueur d'arc entre une origine fixée et le point M. Par définition, le vecteur tangent à la ligne de champ est donné par $\frac{\vec{B}}{B}$. La variation du vecteur tangent en fonction de l'abscisse curviligne précise la courbure de la courbe dans un plan ou dans l'espace :

$$\frac{d\vec{T}}{ds} = c\vec{N} \quad (\text{IV.1})$$

où c est la courbure. Le rayon de courbure R est alors l'inverse de la courbure c . R est le rayon du cercle tangent à la courbe au point M. Dans un plan (xOy), on considère que la concavité de la courbe est tournée vers le haut (resp. vers le bas), suivant l'orientation de $[Oy]$, lorsque le centre du cercle tangent est situé au-dessus (resp. en-dessous) de la courbe. Cette propriété se généralise pour une courbe dans l'espace.

Pratiquement, les lignes de champ sont déterminées par la relation suivante :

$$\frac{dx}{B_x} = \frac{dy}{B_y} = \frac{dz}{B_z} = \frac{ds}{B} \quad (\text{IV.2})$$

où s est l'abscisse curviligne. À partir des deux équations précédentes, nous pouvons en déduire la relation entre le rayon de courbure et le champ magnétique (Aulanier et al.,

1998) :

$$c\vec{N} = \frac{1}{B^2} (\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} - \frac{\vec{B}}{B^3} \vec{B} \cdot \vec{\nabla} B . \quad (\text{IV.3})$$

Pour étudier les variations de courbure, on étudie donc les variations du rayon de courbure le long d'une ligne de champ.

3 Le filament de la région active 8151

Nous allons appliquer cette méthode à la configuration magnétique de la région active 8151 obtenue pour l'hypothèse du champ sans-force non linéaire. La recherche des creux effectuée, nous obtenons deux configurations magnétiques susceptibles de supporter la matière du filament : une configuration quadripolaire (Fig. IV.2 à gauche), et un long tube de flux torsadé (Fig. IV.2 à droite). La position globale de ces configurations est représentée sur la vue de dessus de la Fig. IV.1. Le tube de flux (2) est représenté à titre de comparaison. Les deux configurations magnétiques sont orientées suivant l'axe Nord-Sud (haut-bas de l'image). La hauteur de la configuration quadripolaire est estimée à 10 Mm, et à 30 Mm pour le long tube de flux torsadé. On peut remarquer que, si la matière du filament se met dans ces configurations, alors le filament est orienté de façon privilégiée perpendiculairement aux lignes de champ pour la configuration quadripolaire, et suivant – ou avec un angle faible – les lignes de champ du tube de flux torsadé.

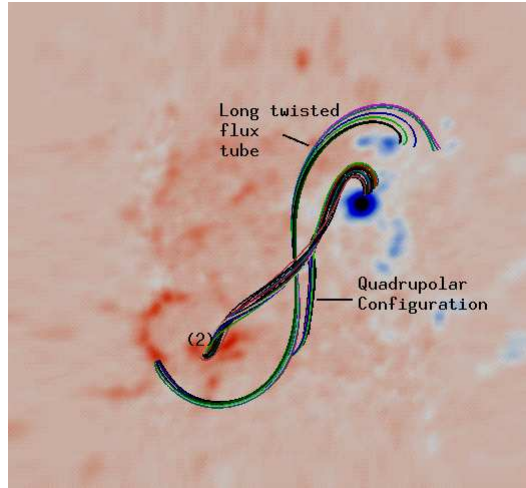


FIG. IV.1 – Vue de dessus des tubes de flux possédant des creux magnétiques susceptibles de supporter la matière contenue dans le filament. Le tube de flux (2) est identique à celui de la figure III.17.

La distribution de la composante longitudinale du champ magnétique mesurée par MDI (Fig. III.2 en haut à gauche) est superposée sur l'image $H\alpha$ du filament étudié (Fig. III.2 en haut à droite) afin de déterminer la position relative du filament et des polarités impliquées dans les deux configurations possédant des creux magnétiques. On peut en conclure que

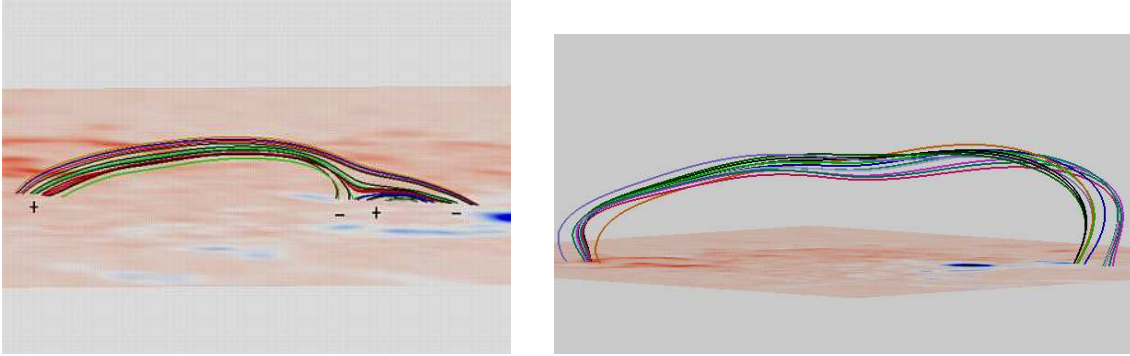


FIG. IV.2 – Vue de coté des configurations magnétiques possédant des creux magnétiques : configuration quadripolaire (à gauche), long tube de flux torsadé (à droite).

la structure magnétique la plus probable pour supporter le filament est le long tube de flux torsadé.

4 Discussion et conclusions

En effectuant la recherche de creux magnétiques, nous avons mis en évidence deux configurations magnétiques pouvant supporter le filament. À l'aide des observations magnétiques (MDI) et dans la raie $H\alpha$, nous en déduisons que la configuration la plus probable est le long tube de flux torsadé. Le filament doit être en réalité supporté par une série de longs tubes de flux torsadés. On suppose que ces tubes ne sont pas présents dans la configuration magnétique étudiée du fait des valeurs limites imposées aux composantes du champ magnétique : tous les tubes de flux dont la valeur du champ magnétique transverse aux pieds est de l'ordre de 200 G sont remplacés par des tubes de flux potentiels ($\alpha = 0$).

On peut aussi noter que la configuration quadripolaire se retrouve pour les cas potentiel et sans-force linéaire, mais avec une orientation différente par rapport à la ligne d'inversion de la composante longitudinale du champ magnétique (pas ou peu de cisaillement). Le long tube de flux torsadé n'est présent que pour le cas sans-force non linéaire.

On peut s'interroger sur la présence de la configuration quadripolaire et son implication dans la structure du filament. Les creux magnétiques apparaissant dans cette configuration sont proches de la photosphère. On peut envisager que cette structure est associée :

- soit à un pied latéral du filament (Aulanier & Demoulin, 1998) : de la matière du filament est comprise entre la photosphère et le corps du filament, et est supportée par une configuration quadripolaire. Sur l'image $H\alpha$, aucune structure latérale n'apparaît soit parce que la résolution est trop faible pour distinguer cette structure, soit parce que le lien entre la photosphère et le corps du filament est presque vertical. En utilisant la Fig. IV.1, la distance entre les deux configurations est d'environ 4 Mm qui est inférieure à la largeur du filament. De plus, la différence d'altitude entre les deux tubes de flux est de 20 Mm. Si cette structure quadripolaire est un pied latéral du filament, la résolution spatiale de l'image $H\alpha$ et l'inclinaison du corps du

- filament à la photosphère ne nous permettent pas de la visualiser ;
- soit à une nappe de courant sous les creux magnétiques (Aly & Amari, 1997). Cette nappe de courant (Fig. IV.3) est associée à un embrillancement en $H\alpha$. Si cette structure existe, elle est plus basse que le filament, et quasiment à la verticale du corps du filament. Comme la matière dense et froide du filament absorbe une partie du rayonnement sous-jacent, cet embrillancement n'est pas observable sur la Fig. III.2 en haut à droite.

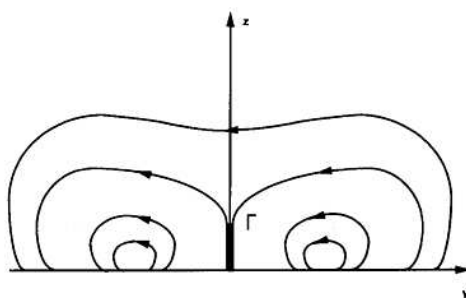


FIG. IV.3 – Exemple d'une structure quadripolaire présentant une nappe de courant verticale située sous les creux magnétiques.

Le filament étudié est impliqué dans une éruption de la région active 8151. La configuration magnétique a été obtenue à partir d'un magnétogramme vectoriel enregistré environ 20 heures avant le phénomène éruptif. Pour pouvoir proposer un mécanisme de l'éruption, nous pouvons alors soit nous référer aux modèles existants impliquant des filaments représentés par des tubes de flux torsadés (e. g., Gold & Hoyle, 1960 ; Hirayama, 1974 ; Sturrock, 1989 ; Martens & Kuin, 1989) mais les informations fournies par les observations coronales ne sont pas assez nombreuses pour conclure, soit étudier la stabilité de la configuration magnétique étudiée à partir d'un code d'évolution MHD (Amari & Luciani, 1999 ; Amari et al., 2000).

L'étude des creux magnétiques permet de définir la structure du filament dans la région active. Une détermination plus précise des composantes transverses du champ magnétique photosphérique permettrait d'analyser plus en détails la structure du filament : les variations du champ magnétique supportant le filament, les variations de l'altitude, la longueur du filament, ... Afin de comprendre pour quelles raisons ces tubes de flux sont privilégiés pour accueillir la matière du filament, une analyse thermodynamique du plasma le long des lignes de champ composant le tube de flux torsadé est actuellement en développement.