

ÉTUDE CRITIQUE D'UN CHAMP 'CURRENT-FREE' DANS L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE*

J. RAYROLE et M. SEMEL

(*Observatoire de Meudon (S. & O.), France*)

ABSTRACT

To test the validity of the assumption of a 'current-free' magnetic field in the atmosphere above sunspots, we measured all three parameters of the magnetic field in an active region and compared it with the calculated current-free field according to the solution proposed by Schmidt. We found important differences between the calculated and the measured field.

We refer to an earlier paper where the objections to the 'current-free field' were that the calculated field has too simple a configuration to account for the fine structure observed in $H\alpha$ and other solar observations.

Les observations ne fournissent qu'une information partielle sur la configuration du champ magnétique dans les centres actifs. Le paramètre le plus facile à mesurer est la composante du champ le long de la ligne de visée. De très grandes difficultés surviennent si l'on veut mesurer les trois composantes du champ au niveau de la photosphère et le problème devient presque insoluble au-dessus de la photosphère.

Plusieurs auteurs ont proposé des configurations du champ basées sur diverses hypothèses. Schatzman (1961) a calculé un modèle théorique de champ magnétique à force de Lorentz nulle, ayant une symétrie axiale. Oster (1964) a suggéré que le champ d'une tache unique peut être représenté par celui d'une boucle de courant située sous la surface photosphérique et centrée sur la tache visible. Godovnikov et Smirnova (1965) ont calculé le champ des taches solaires à partir d'un système de dipôles. Schmidt (1964) a montré comment on peut calculer le champ dans une atmosphère sans courant. Dans ce cas le champ dérive d'un potentiel scalaire qui peut être entièrement et univoquement déterminé à partir de la composante du champ perpendiculaire à une surface plane (photosphère).

Le but de ce travail est de discuter la configuration du champ 'current-free' obtenu avec le méthode proposée par Schmidt. Une première tentative a été faite pour un centre actif à son passage au centre du disque le 12 juin 1963 (Semel, 1967). Seule la composante longitudinale du champ était connue et il ne fut pas possible d'établir un test quantitatif de l'approximation 'current-free' puisque le champ calculé satisfait à cette hypothèse d'une part et aux observations de la composante longitudinale d'autre

* Présenté par J. Rayrole.

Kiepenheuer (ed.), Structure and Development of Solar Active Regions, 134-141. © I.A.U.

part. Une étude qualitative a pu cependant souligner quelques particularités non favorables à l'hypothèse faite :

(1) Contrairement à la composante longitudinale, le champ calculé présente des régions de champ transversal pur en dehors des facules photosphériques. Or l'observation d'un champ purement transversal n'est qu'une question de perspective et la corrélation champ-facules n'est pas affectée par une variation centre-bord.

(2) La configuration du champ calculé tend vers une simplification importante au fur et à mesure que l'on s'éloigne du plan où le champ a été mesuré. Déjà à l'altitude de 5000 km on ne saurait reconnaître la trace d'une structure fine et complexe généralement observée sur le champ magnétique au niveau de la photosphère, sur les spectrohéliogrammes H α ou K et même sur les observations de la couronne. Le champ magnétique est certainement la cause des structures observées; leurs complexités suggèrent alors une structure complexe du champ et par suite la présence de courant électrique ayant une structure également complexe.

Cette première tentative nous a incités à pousser l'étude plus à fond et pour cela à comparer directement le champ 'current-free' calculé à la structure réelle du champ magnétique du centre actif observé. Cette comparaison a été faite pour le centre

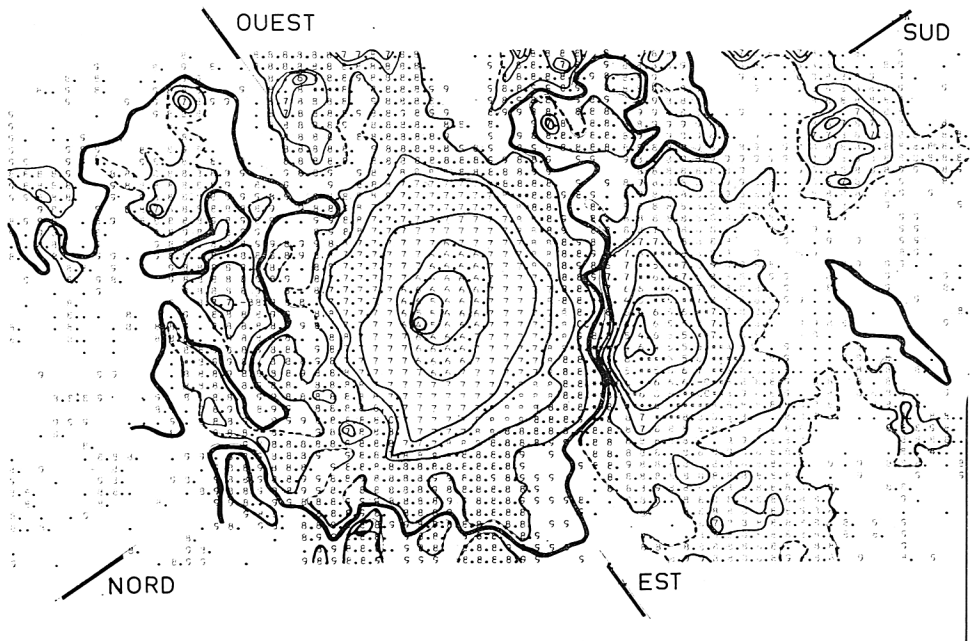


FIG. 1. *Inclinaison mesurée du champ par rapport à la verticale. Les angles sont comptés de 0 à 90° pour les deux polarités. Le gros trait noir indique les changements de polarité.*

Symbole	0	1	2	3	4	5	6	6.	7	7.	8	8.	9
$\psi \geq$	0	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90

actif au centre du disque le 19 septembre 1966 et pour lequel nous avons les observations nécessaires pour mesurer tous les paramètres du champ. L'observation nous fournit la composante longitudinale, l'intensité du champ total, l'angle ψ du champ avec la ligne de visée et l'orientation de la composante transversale (Rayrole, 1967). La composante longitudinale, ici normale à la surface solaire, est utilisée pour obtenir le potentiel qui permet de calculer tous les paramètres du champ 'current-free'. Pour effectuer la comparaison entre l'observation et le calcul, nous avons choisi comme paramètres l'angle ψ avec la ligne de visée et l'orientation de la composante transversale. Ces deux paramètres sont en effet obtenus directement à partir des observations, et leur détermination ne dépend que des erreurs de mesure du paramètre qui sert à les déterminer. D'autre part à l'intérieur des taches ils sont très peu influencés par la présence de lumière photosphérique diffusée et par les variations possibles des paramètres définissant le profil de la raie en absence de champ (Rayrole, 1967).

Les Figures 1 et 2 représentent respectivement les valeurs mesurées et calculées de l'angle ψ avec la ligne de visée. Nous ne considérerons que les résultats relatifs à l'intérieur des taches, car plus le champ est fort, plus les valeurs mesurées et calculées sont précises. Le champ calculé est en effet très sensible aux erreurs de mesure de la

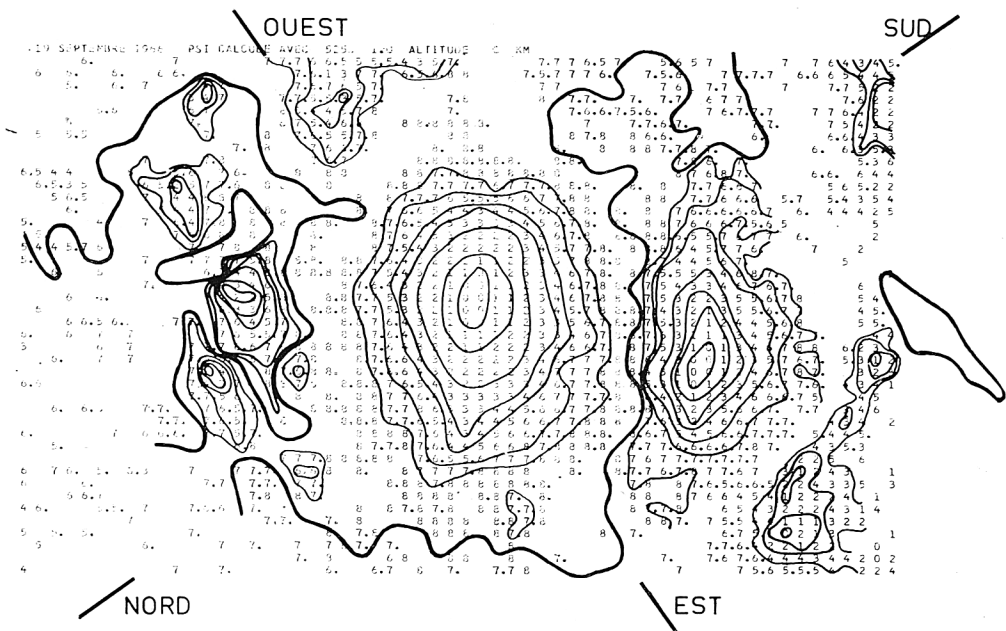


FIG. 2. Inclinaison calculée du champ par rapport à la verticale. Les angles sont comptés de 0 à 90° pour les deux polarités. Le gros trait noir indique les changements de polarités.

Symbole	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
$\psi \leq$	10	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90

composante longitudinale lorsqu'elle est très faible. Il apparaît aussitôt que le champ observé est beaucoup plus incliné par rapport à la verticale solaire que le champ calculé; en particulier à la limite ombre-pénombre l'inclinaison des lignes de force par rapport à la normale à la photosphère est de 70° tandis que la valeur calculée est à peine 30° . Ce résultat est bien visible sur la Figure 3, qui représente les variations de

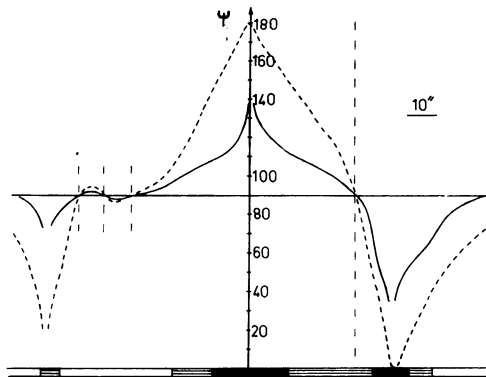


FIG. 3. Variation de l'inclinaison du champ par rapport à la verticale pour une section passant par le centre des deux taches. — = Inclinaison mesurée, - - - = Inclinaison calculée.

l'angle ψ observé et calculé pour une section passant par le centre des deux taches. Comme nous l'avons déjà mentionné la forte inclinaison des lignes de force observée ne peut être due à la présence de lumière diffusée dont l'influence est éliminée par la méthode utilisée.

De grandes divergences existent également sur l'orientation de la composante transversale dont les valeurs mesurées et calculées sont respectivement représentées par les Figures 4 et 5. Les différences de structure sont très nettes: si dans l'ensemble

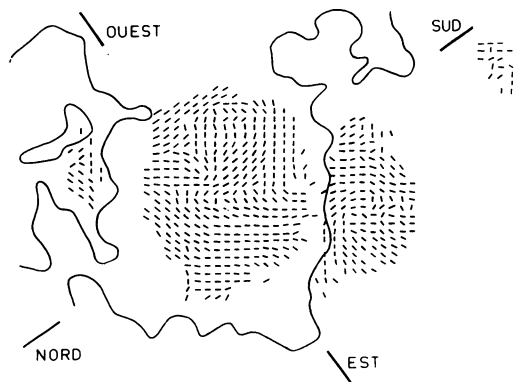


FIG. 4. Orientation mesurée de la composante transversale. Le gros trait noir indique les changements de polarité.

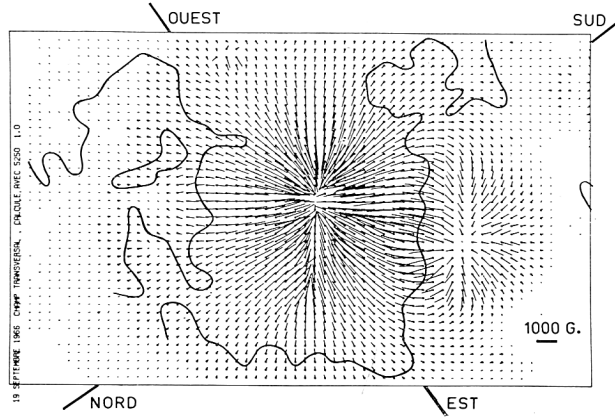


FIG. 5. Orientation et intensité calculées de la composante transversale. Les champs plus petits que 50 gauss ne sont pas représentés.

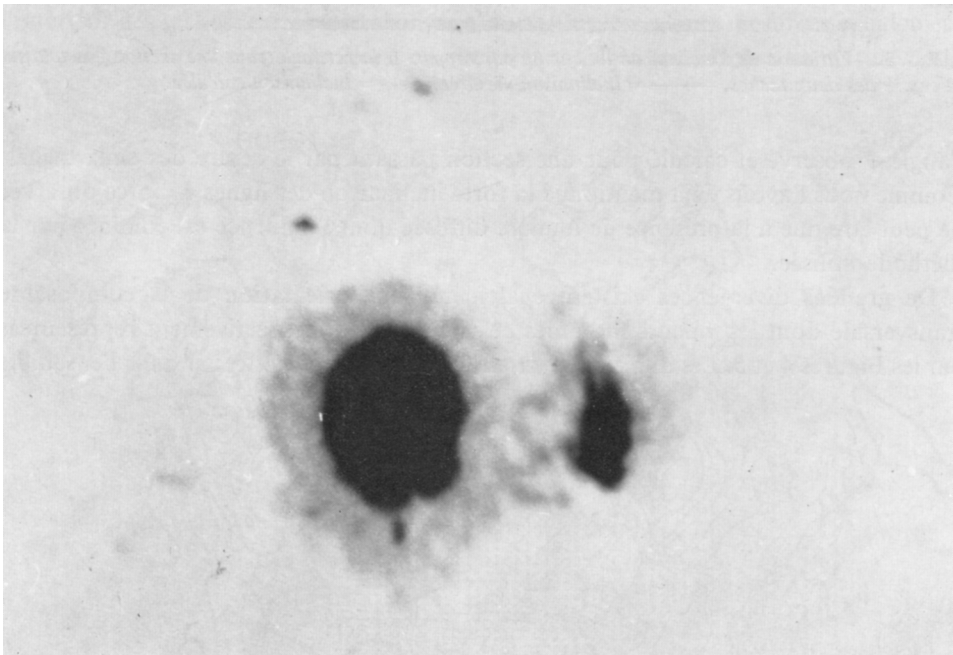


FIG. 6. Aspect en lumière blanche de la région étudiée. Photographie de l'Observatoire solaire de Debrecen, Hongrie.

le champ calculé schématise assez bien la configuration d'un dipole, il n'en est pas de même pour le champ observé qui s'écarte nettement d'une structure radiale.

À ce stade il est indispensable de faire quelques remarques sur la morphologie de la région observée. En effet nous ne sommes pas en présence d'un groupe bipolaire classique. La plus grosse des deux taches est le retour de la tache de tête d'un groupe de la rotation précédente tandis que l'autre est la tache de queue d'un groupe jeune en période de développement dont la tache de tête, simple pore le 19 septembre, se développera par la suite. La Figure 6 donne l'aspect en lumière blanche de la région observée. Nous avons peut-être là une des causes de la différence entre le champ calculé et la structure réellement observée, mais il reste cependant certain que l'hypothèse d'une atmosphère sans courant conduit à une structure du champ magnétique incompatible avec les observations.

Comme pour le cas précédent (12 juin 1963), nous avons calculé la composante verticale du champ à l'altitude de 5000 km (Figure 7) et nous avons également obtenu une structure beaucoup trop simple par rapport aux détails chromosphériques observés avec la raie H α . La composante verticale du champ observé au niveau de la photosphère montre par contre une structure très complexe en bon accord avec les structures observées dans la chromosphère. La Figure 8 représente, superposé à un héliogramme H α , le champ vertical observé avec la raie λ 5250 Fe I. L'observation a

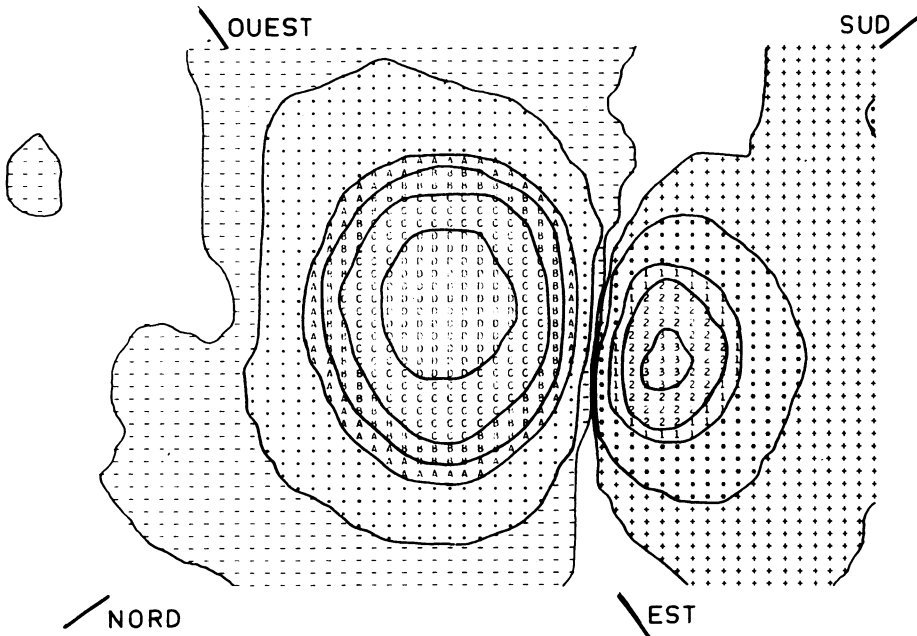


FIG. 7. Composante verticale du champ calculée à une altitude de 5000 km.

Symboles	— ·	A	B	C	D	E	F	G	H	I	polarité Sud	
	+	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	polarité Nord
$H \geq$	5	50	200	300	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	gauss.

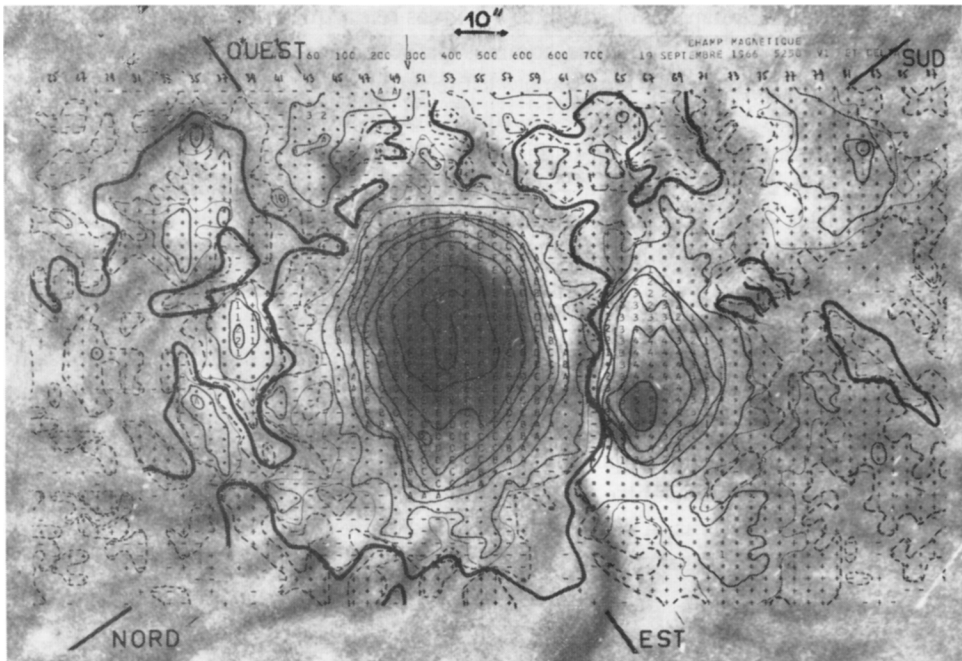


FIG. 8. Comparaison entre la composante verticale observée (9^h35 TU) et un héliogramme H α (7^h50 TU). Symboles identiques à la Figure 7. Photographie H α de l'Observatoire d'Ondřejov, Tchécoslovaquie.

été effectuée avec des conditions atmosphériques très favorables; la résolution obtenue sur les spectres est de 2" d'arc. Il est intéressant de remarquer la correspondance entre le champ et les détails chromosphériques et plus particulièrement la position des filaments sur les lignes d'inversion de polarité. En dehors de certains filaments très stables, les détails chromosphériques changent assez rapidement et on peut penser que la corrélation serait encore meilleur s'il n'y avait pas presque deux heures de différence entre l'observation du champ magnétique et l'héliogramme H α .

En conclusion il apparaît que la présence de courant dans l'atmosphère solaire est indispensable pour expliquer les structures fines observées à tous les niveaux. Non seulement une configuration 'current-free' conduit à une structure beaucoup trop simple du champ au niveau de la chromosphère, mais encore son utilisation au niveau de la photosphère conduit à une image beaucoup trop éloignée de la structure réelle du champ. La complexité du champ et en particulier de l'orientation de la composante transversale est souvent liée au déclenchement des éruptions. Au cours du passage du groupe, plusieurs éruptions ont commencé à la limite Ouest de la pénombre de la grosse tache où le champ transversal observé montre une grande complexité. Nous signalerons en particulier l'éruption observée le 20 septembre 1966 à 18^h00 TU

par Tandberg-Hanssen (1967), qui se développe jusqu'au centre de la tache dans cette région particulièrement complexe alors que le champ calculé ne montre aucune particularité.

Remerciements

Nous remercions les Docteurs L. Dezső et B. Valnicek pour les photographies en lumière blanche et avec la raie H α qu'ils ont bien voulu nous communiquer.

Références

- Godovnikov, N. V., Smirnova, E. P. (1965) *Izv. krym. astrofiz. Obs.*, **33**, 86.
 Oster, L. (1964) *Ann. Astrophys.*, **27**, 14.
 Rayrole, J. (1967) *Ann. Astrophys.*, **30**, 257.
 Schatzman, E. (1961) *Ann. Astrophys.*, **24**, 251.
 Schmidt, H. U. (1964) *NASA Solar Flare Symposium, Nasa SP-50*, 107.
 Semel, M. (1967) *Ann. Astrophys.*, **30**, 513.
 Tandberg-Hanssen, E. (1967) *Solar Phys.*, **2**, 98.

DISCUSSION

H. U. Schmidt: This study gives reliable information about the electrical currents crossing the photosphere of an active region, and this is exactly what I had in mind when I proposed this method to evaluate longitudinal-field measurements some years ago.