

La variation du champ magnétique et ses relations avec l'électrojet équatorial au Sénégal Oriental

par

J. VASSAL

Orstom, BP 50 MBOUR (Sénégal)

RESUME. — *Au cours de plusieurs campagnes d'étude de la variation diurne du champ magnétique au Sénégal Oriental en 1979-80, on a constaté une très grande variabilité journalière de cette variation.*

L'étude jour à jour de cette variabilité a permis de mettre en évidence une forte liaison entre les variations du champ magnétique horizontal et celles de la fréquence critique de la couche ionosphérique F_2 ($f_0 F_2$) pendant la journée. Ces corrélations montrent qu'au Sénégal Oriental l'effet de l'électrojet équatorial se fait sentir de façon nette sur la composante horizontale H du champ magnétique. L'intérêt de l'étude de ces corrélations pourrait être une méthode de prédiction des propagations trans-équatoriales de jour, qui sont liées à l'anomalie ionosphérique équatoriale.

Les effets au sol de l'électrojet sont, d'autre part, beaucoup plus importants que ceux observés en Afrique Centrale vers 1970 à la même latitude magnétique. Un déplacement du centre de l'électrojet vers le nord depuis 1970 nous semble la meilleure hypothèse pour expliquer les écarts observés.

La courbure de l'électrojet, associée à l'action des vents neutres de direction Est-Ouest pourrait aussi être un facteur d'élargissement de l'électrojet dans notre région.

Enfin, l'étude des effets au sol de l'électrojet, et de leurs variations pourrait permettre d'améliorer la correction des mesures magnétiques proches de l'équateur lors de prospections magnétiques ou de réoccupations de bases.

ABSTRACT. — *During several investigations about the diurnal variation of the magnetic field in Eastern Senegal in 1979-80, a very great daily variability of this variation was observed.*

The day-to-day study of this variability made it possible to reveal a close relationship between the variations in the horizontal magnetic field and those in the critical frequency of the ionosphere layer F_2 ($f_0 F_2$) during the day. These correlations show that in Eastern Senegal, the influence of the equatorial electrojet is clearly felt on the H horizontal component of the magnetic field. The study of these correlations could be useful for forecasting the transequatorial propagations which occur during the day and are related to the equatorial ionospheric anomaly.

The ground effects of the electrojet are, on the other hand, much more important than those observed in Central Africa around 1970 at the same magnetic latitude. It seems to us that a movement of the centre of the electrojet towards magnetic north since 1970 is the best explanation for the observed deviations.

The curvature of the electrojet associated with the action of East West neutral winds could also play a role in extending the electrojet in our region.

The study of the ground effects of the electrojet and their variations could allow to improve the adjustment of magnetic measurements near the equator during magnetic prospecting or reoccupations of stations.

I. Introduction

En 1978, le Laboratoire de Géomagnétisme du CNRS a prospecté au Sénégal Oriental pour rechercher l'existence éventuelle d'un champ magnétique anormal lié à la bordure ouest du craton. La composante H du champ mesuré a révélé une grande variabilité qui ne permet pas d'utiliser les méthodes habituelles de sondages géomagnétiques (Babour et Mosnier 1977). La proximité relative de l'équateur magnétique laisse supposer l'existence d'un effet d'électrojet ; nous nous

sommes restreints ici à l'étude de la variation S_R du champ magnétique.

En avril-mai 1979 nous avons enregistré la variation diurne du champ à Kédougou, Mako et Missira dont la morphologie caractérisée par une grande variabilité jour à jour apparaît différente de celle obtenue en 1978.

En 1980, nous avons repris cette étude de façon plus complète, en particulier en installant à Kédougou un enregistreur Askania H, D, Z qui a fonctionné pendant 6 mois.

28 NOV. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire 347

N° : 3670ex1

Cote : B

Ainsi on a pu étudier de façon précise la morphologie de la variation diurne du champ magnétique, et ses relations avec la couche F ionosphérique à Ouagadougou (paramètre $f_0 F_2$).

II. Appareillage utilisé et stations occupées

Pendant les différentes campagnes d'enregistrement, plusieurs types d'équipements ont été utilisés :

1) Trois jeux de variomètres à aimant asservi H et D (Mosnier et Yvetot, 1972) avec enregistrement graphique sur suiveur Sefram (déroulement de 15 ou 30 mm/heure). Ces capteurs ont été vérifiés à Mbour par comparaison avec le Lacour de l'Observatoire. La sensibilité de sortie reste voisine de 10 mV/nT, les valeurs d'échelle étant de 4 mm/nT pour H et 2 mm/nT pour D .

Ces capteurs ont été utilisés à Missira, Mako et Kédougou en 1979 et à Niokolo et Mako en 1980.

2) Un variographe Askania H, D, Z avec enregistrement photographique qui a fonctionné à Kédougou de janvier à juin 1980. Les étalonnages effectués toutes les semaines ont donné les sensibilités moyennes suivantes :

$$H = 3,10 \text{ nT/mm}, D = 3,95 \text{ nT/mm}, Z = 3,20 \text{ nT/mm}$$

on a contrôlé la bonne marche de l'Askania en faisant à Kédougou une série de mesures absolues, du 3 au 7 juin 1980, à l'aide d'une BMZ (mesures de Z) et d'un magnétomètre à proton Elsec (mesure de F).

3) Le magnétographe Lacour n° 2 (H, D, Z) de l'Observatoire magnétique de Mbour dont les sensibilités sont :

$$4,64 \text{ nT/mm pour } H, 8,22 \text{ nT/mm pour } D, \\ 5,00 \text{ nT/mm pour } Z$$

4) Le sondeur ionosphérique vertical de Ouagadougou dont les données horaires nous ont été communiquées par le centre de dépouillement CNET de Lannion.

5) Les stations de Mbour, Niokolo et Mako étaient aussi équipées de lignes telluriques NS et EO de 500 m chacune, avec enregistrement graphique sur Sefram.

Le tableau 1 donne la localisation des stations, leur équipement et les dates d'occupation, ainsi que leur distance à l'équateur magnétique défini par Cain pour 1969.

La figure 1 situe géographiquement nos stations par rapport à l'équateur magnétique.

III. Station de référence

1) Station de référence magnétique

Supposant que l'électrojet était la cause principale de la variabilité de la variation du champ magnétique dans le Sénégal Oriental, on a cherché à comparer les enregistrements obtenus dans cette région à ceux de Mbour, choisi comme station de référence en raison de sa plus grande distance à l'équateur magnétique.

Tableau 1

Localisation, équipements et dates d'occupations des différentes stations utilisées

Stations	Coordonnées		Distance à équateur magnétique *	Appareillage	Date d'occupation
	Lat.	Long.			
Mbour	14,4°N	17,0°O	772 km	Lacour 2 H, D, Z tellurique NS-EO	permanent 25 janvier - 15 février 1980
Missira	13,5°N	13,5°O	563 km	Mosnier H, D	26 avril - 22 mai 1979
Niokolo	13,1°N	12,7°O	498 km	Mosnier H, D Tellurique NS-EO	25 janvier - 15 février 1980
Mako	12,8°N	12,4°O	458 km	Mosnier H, D Mosnier H, D Tellurique NS-EO	
Kedougou	12,6°N	12,2°O	427 km	Mosnier H, D Askania H, D, Z	25 avril - 22 mai 1979 15 janvier - 7 juin 1980
Ouagadougou	12,4°N	1,5°O	260 km	Sondeur Ionosph.	Permanent

* D'après Cain J.C., 1969 "The location of the dip equator at E Layer altitude" - Radio Sci., 4, p. 781-784.

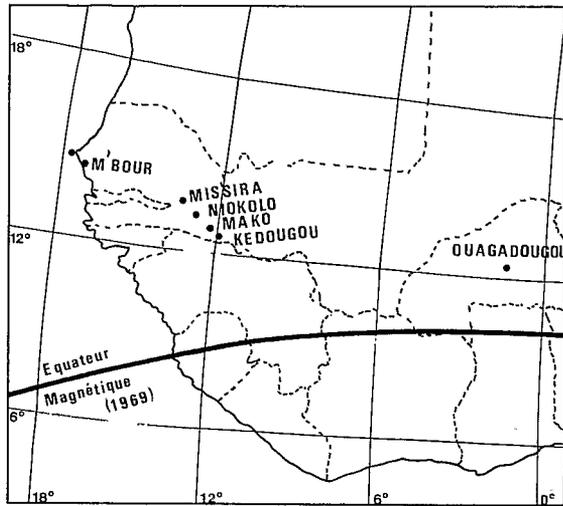


Fig. 1

Localisation géographique des stations utilisées.

Bien qu'à Mbour l'effet de "bord de mer" se fasse sentir (le vecteur de Parkinson J_p est de l'ordre de 0,5), Albouy *et al.* (1979) ont montré, par l'analyse spectrale de la composante horizontale ΔB , que celle-ci était uniforme entre Mbour et Kédougou, rendant ainsi possible la normalisation des composantes horizontales par rapport à Mbour.

Le décalage d'environ 5° entre Mbour et notre zone d'étude induit un léger effet de longitude. On montrera que cet effet reste faible et négligeable en comparaison des effets externes observés.

2. Station ionosphérique

Les données de 3 stations ionosphériques en Afrique sont aisément accessibles : Arta (Djibouti), Ouagadougou (Haute-Volta) et Dakar (Sénégal).

La station de Dakar, trop éloignée de l'électrojet pour nous renseigner utilement sur l'état de l'ionosphère équatoriale, n'a pas été utilisée. Arta, bien située sous l'électrojet, se trouve trop éloignée de notre zone d'étude (6000 km). On a donc choisi la station de Ouagadougou, située sensiblement sous l'électrojet et pas trop éloignée du Sénégal.

On a montré en Inde (Dunford, 1967) et en Afrique Centrale (Vassal, 1982) que le paramètre $f_0 F_2$ permettait de bien décrire la distribution des courants électriques dans la couche E (électrojet et contre-électrojet) par l'intermédiaire de l'étude des enregistrements magnétiques au sol.

D'autre part, la variation diurne de la densité électronique au maximum de la couche F_2 , $N_M F_2(t)$, déduite du paramètre $f_0 F_2$, a été étudiée par Faynot et Vila (1979) qui proposent une classification des

différents types de cette variation dans la zone équatoriale (Fig. 2).

Seul le paramètre $f_0 F_2$ a donc été utilisé ici.

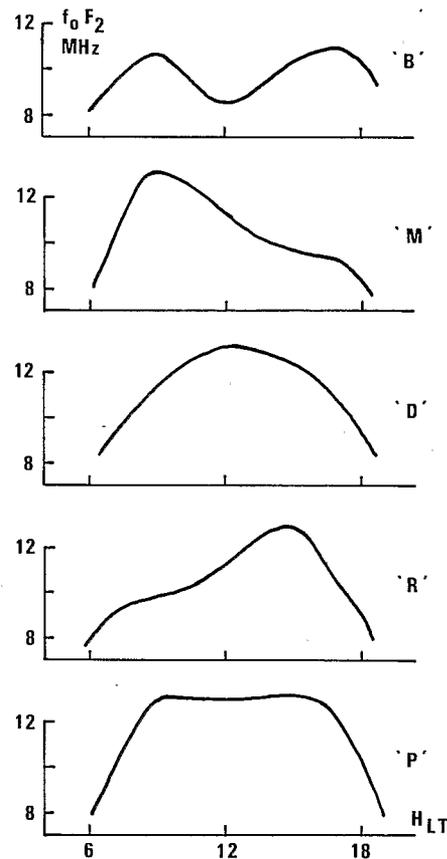


Fig. 2

Les différents types de variation du $f_0 F_2$ à Ouagadougou. B : noon bite-out, M : Morning Peak, D : Dome, R : Reversed, P : Plateau. (D'après Faynot et Vila, 1979).

IV. Méthode d'analyse des enregistrements magnétiques

Les enregistrements H et D à chaque station ont été digitalisés en prenant les valeurs des composantes à l'heure ronde (heure locale = heure TU). Puis chaque jour, on définit un niveau de nuit en prenant la moyenne des heures de nuit encadrant la journée (23 h, 24 h, 01 h, 02 h), et on rapporte la variation diurne du champ en chaque station à ce niveau de nuit pris comme référence. Cette détermination d'un niveau de référence est proche de celle décrite par Mayaud (1965).

On calcule ensuite heure par heure les différences entre les stations et la station de référence Mbour. On obtient ainsi les variations diurnes ΔH et ΔD :

$$\Delta H(t) = H(t)_{STA} - H(t)_{MBO}$$

$$\Delta D(t) = D(t)_{STA} - D(t)_{MBO}$$

On constate que la valeur de la référence de nuit pour H et D reste voisine de zéro à toutes les stations, sauf en cas d'orage magnétique. Cela montre que la variation régulière S_R ne varie que faiblement d'un jour à l'autre.

On remarque d'autre part, que les différences pendant la nuit sont pratiquement nulles (à la précision de nos mesures de l'ordre du nT), ce qui montre que les niveaux de nuit varient de la même façon à chaque station.

On peut donc admettre que les variations diurnes de ΔH ΔD , observées sont dues essentiellement à l'action de sources externes diurnes.

Ces remarques, valables dans notre cas pour ΔH et ΔD , ne le sont plus pour ΔZ qui présente de grandes variations nocturnes. En effet, à la latitude de Kédougou nous n'avons pas obtenu un seul jour où le S_R de Z présente un gradient nul entre 23 h et 06 h.

V. Etude de la variation diurne moyenne ΔH

On a tout d'abord étudié de manière globale la variation diurne moyenne de ΔH en différentes stations et à des époques différentes. En effet les périodes étudiées (26 avril – 22 mai 1979 et 25 janvier – 15 février 1980) présentent une morphologie de ΔH homogène bien que très différentes l'une de l'autre.

On a porté sur la figure 3 les variations diurnes moyennes ΔH (traits pleins) ainsi que les courbes $\Delta H \pm \sigma$ (traits interrompus), σ étant l'écart type heure par heure, à Missira, Niokolo, Mako et Kédougou, pour les deux périodes étudiées :

- A) du 25 avril au 22 mai 1979,
- B) du 25 janvier au 15 février 1980

On a tracé aussi la variation diurne moyenne du $f_0 F_2$ à Ouagadougou

A) Avril – mai 1979

Pendant cette période de 26 jours consécutifs, d'activité magnétique moyenne $\overline{Ap} = 15$, on remarque que la morphologie de ΔH , bien que présentant une assez grande variabilité reste relativement semblable à elle-même. On peut la décrire ainsi :

à Kédougou, ΔH est négatif en début de journée avec un minimum à 06 h, puis croît jusqu'à 12 h en atteignant 20 à 25 nT puis décroît avec un minimum légèrement négatif vers 15 h.

à Mako, ΔH , est pratiquement nul jusqu'à 08 h puis croît en atteignant 15 nT vers 11 h et devient fortement négatif l'après-midi avec un minimum de – 25 nT vers 16 h.

à Missira, ΔH présente de faibles variations :

$$|\Delta H| < 5 \text{ nT} \pm 2 \text{ nT}$$

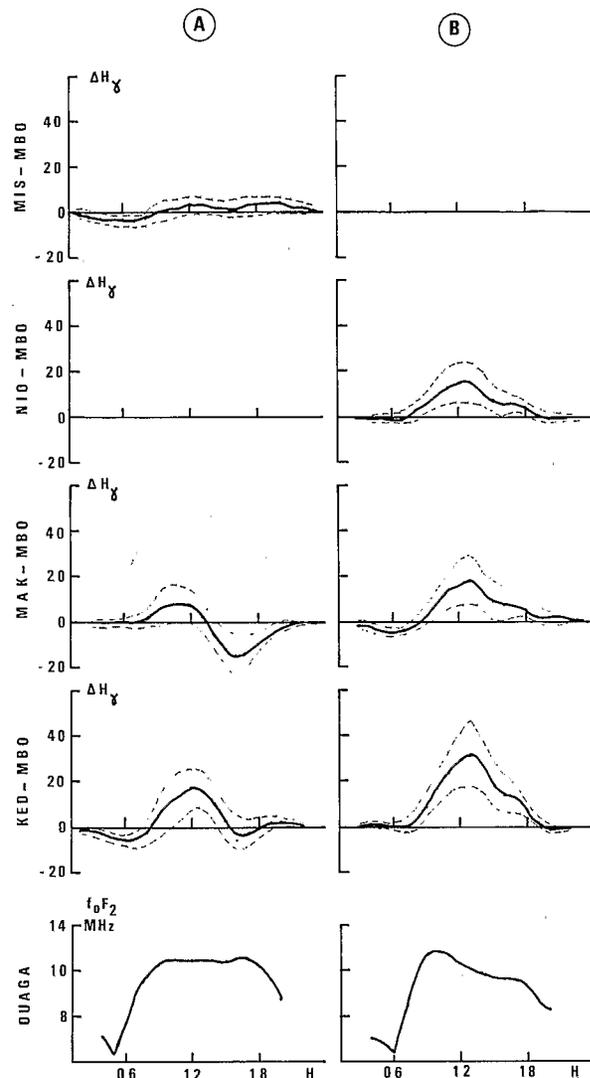


Fig. 3

Variations diurnes moyennes de ΔH (—) et de $\Delta H \pm \sigma$ (- - -) à Missira, Niokolo, Mako, Kédougou et variation diurne moyenne de $f_0 F_2$ à Ouagadougou :

- A) du 26 avril au 22 mai 1979 ;
- B) du 25 janvier au 15 février 1980.

$f_0 F_2$: Pendant cette période, la moyenne du $f_0 F_2$ à Ouagadougou croît jusqu'à 09 h pour atteindre un niveau élevé (> 12 MHz) qui reste sensiblement constant jusqu'à 18 h.

Cette morphologie est du type P (plateau), d'après la classification de Faynot et Vila, et peut être liée à l'existence, pendant cette période d'un faible électrojet. – (Vassal, 1982).

B) Janvier-février 1980

La morphologie de ΔH moyen pendant cette période de 22 jours, d'activité magnétique moyenne $\overline{Ap} = 13$, est différente de celle de 1979.

à Kédougou, ΔH est constamment positif et peut atteindre 40 nT vers 12 h.

à Mako, ΔH est légèrement négatif vers 06 h puis reste constamment positif le reste de la journée, sans dépasser 20 nT environ.

à Niokolo, on observe les mêmes variations qu'à Mako, mais d'amplitudes légèrement plus faibles.

$f_0 F_2$, le $f_0 F_2$ moyen de cette période est caractérisé par un pic le matin (09 h) suivi d'une croissance régulière dans la journée. On est en présence du type *M* (Morning Peak) qui indique la présence d'un électrojet moyen pendant cette période.

VI. Etude de H à Kédougou

L'effet externe sur H étant maximum à Kédougou nous avons plus spécialement étudié cette station.

1) Corrélation de ΔH et de $f_0 F_2$

Sur la figure 4, on a porté la valeur de $f_0 F_2$ à Ouagadougou en fonction de ΔH à Kédougou, jour pour jour et à différentes heures locales (10 h, 12 h, 14 h, 16 h). On a étudié 65 jours sur les 75 dépouillés en Avril-mai 1979 (\circ), janvier-février 1980 ($*$) et mars 1980 (\bullet). Les jours restants correspondent à des périodes d'agitation magnétique intense (orages) que nous n'avons pas pris en compte. Le calcul du coefficient de corrélation $f_0 F_2 / \Delta H$ nous donne

à	10 h	$r = -0,44$
	12 h	$r = -0,79$
	14 h	$r = -0,67$
	16 h	$r = -0,74$

Il y a une forte corrélation entre $f_0 F_2$ à Ouaga et ΔH à Kédougou à 12 h, heure du maximum d'amplification de H (électrojet) et 16 h, heure du maximum d'atténuation de H (contre-électrojet). Cette corrélation est moins bonne à 10 h et à 14 h, périodes transitoires.

2) Corrélation avec l'activité magnétique

En portant, figure 5, la valeur de l'indice d'activité planétaire journalier A_p en fonction de ΔH à 12 h, on vérifie qu'il n'y a pas de corrélation instantanée entre A_p et ΔH ($r = 0,2$). L'indice A_p est en effet déterminé à partir des données de stations non équatoriales alors que Kédougou, proche de l'équateur est principalement soumis à l'effet de l'électrojet.

3) Etude de jours particuliers

Pour illustrer la dépendance de ΔH à Kédougou aux conditions ionosphériques, on a choisi de présenter 6 jours individuels caractéristiques de cette dépendance.

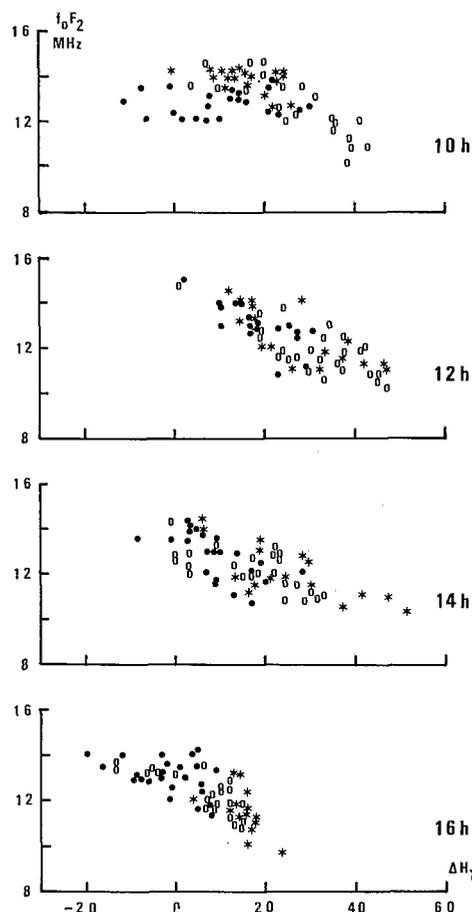


Fig. 4

Valeur de $f_0 F_2$ à Ouagadougou en fonction de ΔH à Kédougou à 10 h, 12 h, 14 h, 16 h du 26 avril au 22 mai 1979 (\circ), du 25 janvier au 15 février 1980 ($*$) et du 1 au 31 mars 1980 (\bullet).

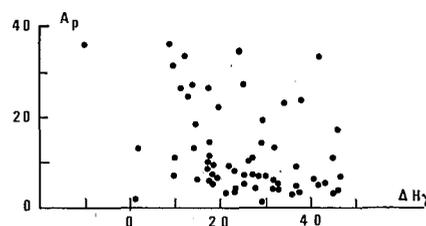


Fig. 5

Valeur de A_p en fonction de ΔH à 12 h à Kédougou.

Sur la figure 6 sont portées pour ces 6 jours les variations diurnes de $\Delta H = H_{KED} - H_{MBO}$ et de $f_0 F_2$ à Ouagadougou.

1) Le 20 mai 1979 jour peu agité ($A_p = 13$)

Le ΔH est négatif le matin puis reste sensiblement nul à partir de 11 h. $f_0 F_2$ qui part d'un niveau élevé à 06 h (8 MHz) croît lentement pour atteindre 15 MHz

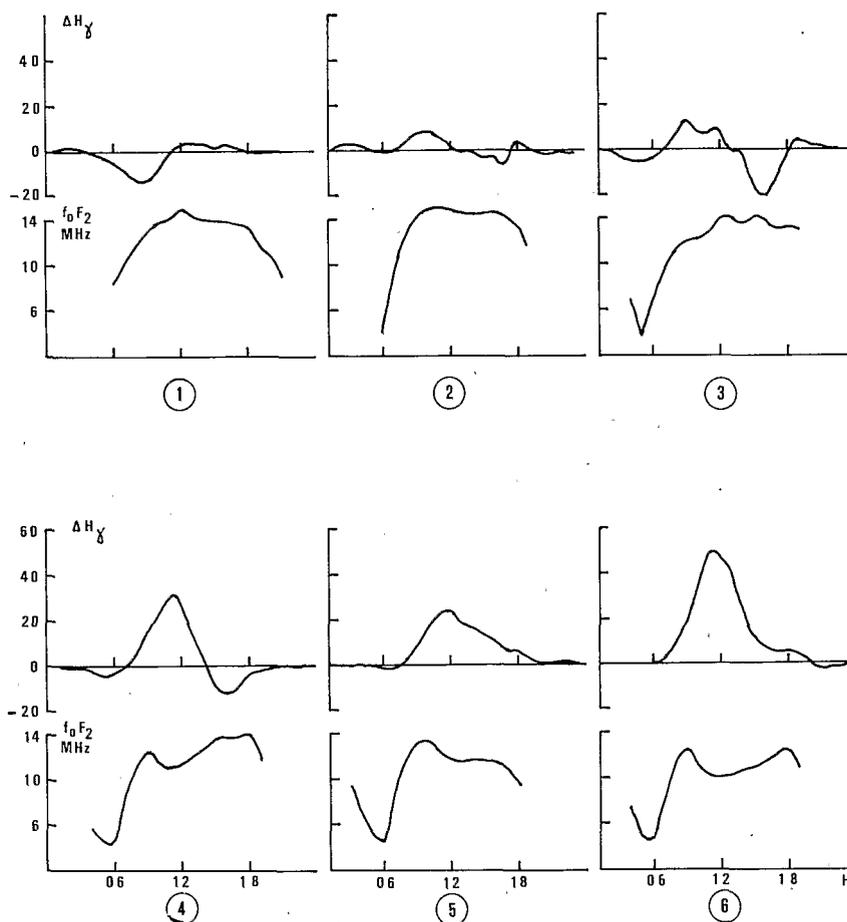


Fig. 6

Variation diurne de ΔH à Kédougou et de $f_0 F_2$ à Ouagadougou pour quelques jours caractéristiques :

1) : le 20 mai 1979, 2) : 15 mars 1980, 3) : 7 mai 1979, 4) : 7 mars 1980, 5) : 14 mars 1980, 6) : 9 mars 1980.

à 12 h puis décroît lentement. On est en présence d'une variation de type *D* (Dome) correspondant à l'absence d'électrojet.

2) Le 15 mars 1980 ($A_p = 2$) jour calme.

ΔH reste faible (< 10 nT). Il lui correspond une variation de $f_0 F_2$ du type *P* (plateau) caractérisé par une croissance rapide de $f_0 F_2$ entre 06 h et 09 h puis par un plateau de valeur élevée (> 15 MHz) jusqu'à 16 h. Ce type de variation est aussi à relier à l'absence d'électrojet.

3) Le 7 mai 1979 jour peu agité ($A_p = 11$).

H est légèrement négatif, puis positif le matin, il présente un renversement important l'après-midi avec un minimum vers 16 h. $f_0 F_2$ a un maximum élevé (14 MHz) l'après-midi (type *R*, Reversed) indiquant la présence d'un contre électrojet intense.

4) Le 7 mars 1980 ($A_p = 7$)

ΔH présente un effet d'amplification le matin suivi d'un renversement l'après-midi. Il lui correspond pour $f_0 F_2$ une superposition du type *B* (noon bite-out) indiquant un électrojet, et du type *R*, indice de contre électrojet.

5) Le 14 mars 1980 ($A_p = 5$)

ΔH reste constamment positif mais de valeur moyenne ne dépassant pas 25 nT. $f_0 F_2$ est de type *M* (Morning Peak) avec maximum à 09 h (13 MHz) puis décroissance régulière dans la journée. On a lié ce type de variation à la seule présence d'un électrojet d'intensité moyenne.

6) Le 9 mars 1980 ($A_p = 7$)

Le champ à Kédougou est soumis à une forte amplification ($\Delta H > 45$ nT). Il lui correspond, pour $f_0 F_2$, le type *B* avec 2 maximums, matin et après-midi

(12 MHz), séparés par un minimum vers midi. Ce type de variation est caractéristique de la présence d'un fort électrojet.

VII. Variation de D à Kédougou

Les variations de D au Sénégal Oriental sont très semblables aux variations à Mbour. En particulier à Kédougou, les différences ΔD observées ($\Delta D = D_{KED} - D_{MBO}$) avec nos moyens d'acquisition et nos méthodes de dépouillement manuel ne nous ont pas paru significatives, compte-tenu de l'existence d'un léger effet de longitude. Sur toutes les époques étudiées, ces différences restent faibles et on a en moyenne $\Delta D < 5 \text{ nT} \pm 4 \text{ nT}$.

Sur la figure 7 sont tracées les variations diurnes moyennes ΔD , ΔH à Kédougou et $f_0 F_2$ à Ouagadougou pour 19 jours agités ($\overline{Ap} = 20$) du 27 avril au 6 mai 1979 (A), et pour 7 jours calmes ($\overline{Ap} = 6$) du 2 mars au 8 mars 1980 (B).

VIII. Discussion

1) Effets au sol de l'électrojet

Quand on s'éloigne de l'électrojet vers le nord, on observe la décroissance bien connue du phénomène d'amplification sur H . Cette amplification est maximum vers 12 h à Kédougou ou ΔH peut atteindre 50 nT et devient négligeable à Missira ou ΔH reste inférieur à 5 nT. Ces variations rapides en latitude (le gradient dépasse parfois 0,3 nT/km) et leurs variabilités sont caractéristiques d'un effet de bord d'électrojet. De même le renversement fréquent du profil H dans l'après-midi (Fig. 3 A) associé aux valeurs négatives de ΔH vers 15 h est un indice de l'influence d'un contre-électrojet (Mayaud 1977).

Cependant l'application des modèles d'électrojet proposés par Fambitakoye, Mayaud, Richmond (1976) n'est pas suffisante pour expliquer les variations observées aussi bien en cas d'électrojet que de contre électrojet. Rappelons qu'un de ces modèles est représenté par un ruban de courant rectiligne, de longueur infinie, centré sur l'équateur magnétique. Ce ruban, situé vers 105 km d'altitude, a une demi-largeur de 200 km environ. La loi de distribution de la densité de courant est de la forme $I(x) = I_0 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^2$, x étant la distance au centre, a la demi largeur et I_0 la densité au centre.

De tels modèles, ainsi que d'autres incluant les vents neutres (Richmond, 1973) ont été testés en utilisant la position de l'équateur magnétique défini par Cain (1969). Les écarts constatés sont importants dans tous les cas.

Plusieurs hypothèses peuvent être retenues pour expliquer ces différences.

a) Déplacement du centre de l'électrojet entre 1969 et 1980.

Un déplacement du centre de l'électrojet de 190 km (soit, $1,7^\circ$) vers le nord, par rapport à l'équateur de Cain, suffirait à faire correspondre de manière satisfaisante les modèles théoriques avec nos données, aussi bien en cas d'électrojet que de contre électrojet. Or un tel déplacement, dû à la variation séculaire du champ, est tout à fait plausible.

Pour le montrer, nous avons repris les mesures magnétiques de la composante Z effectuées par l'ORSTOM à différentes époques (principalement en 1955, 58, 68, 74) lors d'occupation ou de réoccupation d'un certain nombre de bases d'Afrique de l'Ouest comprises entre les longitudes 3° Est et 10° Ouest. L'interpolation de ces mesures (Fig. 8) permet de donner approximativement la position de l'équateur d'inclinaison (dip-

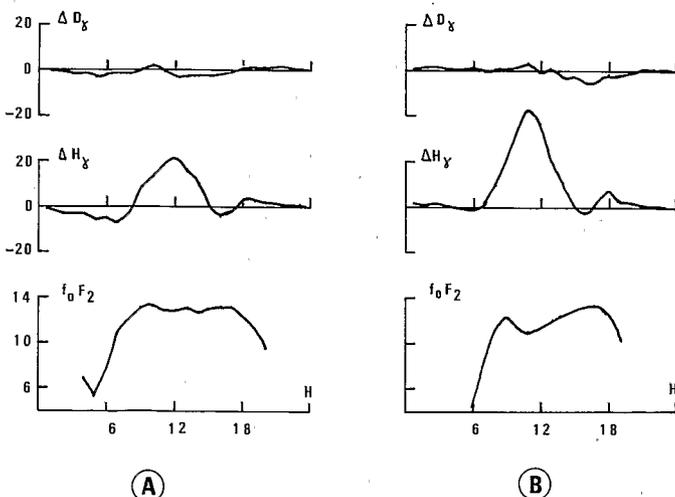


Fig. 7

Variations diurnes moyennes de ΔD , ΔH et $f_0 F_2$:

- A) Période agitée, $\overline{Ap} = 20$, du 27 avril au 6 mai 1979.
B) Période calme, $\overline{Ap} = 6$, du 2 mars au 8 mars 1980.

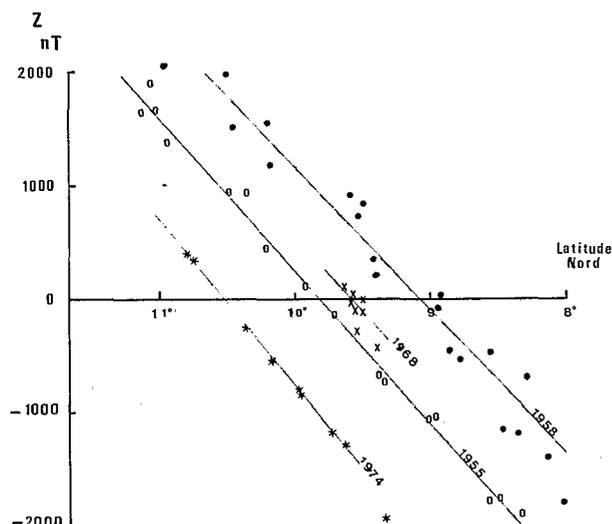


Fig. 8

Valeur de Z en différentes stations équatoriales comprises entre 3° Est et 10° Ouest, aux époques 1955 (o) 1958 (*), 1968 (x) et 1974 (*). On a tracé, pour chaque époque, les droites d'interpolations qui donnent approximativement la position de $Z = 0$.

équateur, $Z = 0$) aux différentes époques. On constate que cette position est soumise à des fluctuations en latitude non négligeables pouvant atteindre par exemple $15'$ soit 27 km entre 1955 et 1958.

Le manque de données récentes proches de l'équateur ne permet pas de suivre de façon nette le déplacement du dip-équateur mais l'étude de la variation séculaire de Z à Mbour actuellement laisse supposer son décalage vers le nord.

Si on admet d'autre part que le centre de l'électrojet suit le dip-équateur, (Fambitakoye and Mayaud, 1976), nous nous trouverions alors en bordure d'électrojet à Kédougou, et le fort gradient de ΔH observé en latitude serait tout à fait normal.

La morphologie "anormale" de la variation diurne de Z à Kédougou est un indice supplémentaire en faveur d'un effet de bord d'électrojet.

b) Elargissement de l'électrojet

La plupart des modèles d'électrojets équatoriaux considèrent un flux de courant électrique dans la région E , de direction Est-Ouest, les vents pouvant y être associés ayant une direction principale identique. Or dans notre région la courbure de l'équateur magnétique devient relativement importante et il s'incline d'environ 15° par rapport au méridien.

La non-colinéarité des vents et des courants pourrait amener un élargissement de l'électrojet dont l'influence en latitude serait alors plus importante qu'elle ne l'est en Afrique Centrale. Des variations en longitude de la largeur de l'électrojet ont été ainsi remarquées, entre autres par Cain et Sweeny (1972).

c) Effet de conduction interne

Notre zone d'étude est située en bordure du craton Ouest Africain et on pourrait supposer des effets de canalisations, le long de cette bordure, de courants induits au sud par l'électrojet. En effet Albouy *et al.* (1979) ont mis en évidence un effet interne important à Kédougou mais à des périodes beaucoup plus petites que celles que nous utilisons. Des études magnéto-telluriques faites en 1978 et 79 dans la région n'ont pas montré l'existence de courants permettant d'obtenir les effets observés.

2) Corrélation électrojet - $f_0 F_2$

L'intensité de l'électrojet, déduite de la valeur de ΔH et la densité électronique de la région F , déduite de la fréquence critique $f_0 F_2$ ayant la même source primaire constituée par le champ électrique Est-Ouest résultant de l'effet dynamo, il est normal que les paramètres représentatifs présentent une forte corrélation.

La théorie dynamo suppose en effet que les vents dans la haute atmosphère entraînent avec eux les ions et les électrons libres en présence du champ magnétique de la terre, créant ainsi une polarisation du champ électrique qui se communique à la région F (Richmond *et al.*, 1976).

Cette corrélation négative entre $f_0 F_2$ et ΔH est très similaire à celle obtenue par l'"effet fontaine" qui crée une dépression de la densité électronique dans l'ionosphère équatoriale (Risbeth et Garriott, 1969, Mac Dougal, 1969, Rush et Richmond, 1973).

De telles corrélations ont déjà été étudiées à Huancayo (Kitmura, 1980), Trivandrum (Dunfort, 1967) et Sarh (Vassal, 1982).

Toutefois la meilleure corrélation obtenue ici provient, en partie, de notre définition de ΔH , qui est une différence à chaque instant par rapport à une station non équatoriale (Mbour).

A Trivandrum, par contre, Dunfort, qui obtient $r = -0,49$, définit un ΔH par différence avec le niveau de nuit de la même station.

Cependant la théorie dynamo, seule, n'est pas suffisante pour expliquer tous les phénomènes observés et on doit tenir compte de phénomènes complexes qui modifient cette image trop simple : action des vents locaux et intégrés (Fambitakoye *et al.* 1976), variations saisonnières, dissymétrie Nord-Sud, couplage entre les mouvements des particules neutres et ionisés (Volland et Grellman, 1978).

IX. Conclusion

Les résultats que nous obtenons au Sénégal Oriental montrent l'intérêt de poursuivre l'étude des corrélations.

tions magnétisme-ionosphère en Afrique. La densité de mesures, tant temporelles que spatiales, dans ces régions est en effet relativement faible et ces résultats au sol peuvent être un bon complément de mesures plus sophistiquées par satellites. Les différentes hypothèses émises pour expliquer nos observations restent à étudier et leur approfondissement pourrait permettre d'améliorer notre connaissance des phénomènes d'électrojet en Afrique.

Une application de ces études pourrait être une méthode de prévision des propagations radio-électriques trans-équatoriale de jour, qui sont liées à l'anomalie équatoriale. Sampath et Sastry (1979) ont, en effet, montré par l'analyse de mesures "in situ" des courants ionosphériques dans les régions équatoriales, en relation avec l'amplitude de H au sol, qu'il serait possible, à partir de magnétogrammes d'une station sous le jet, de calculer le profil vertical de la densité de courant au dessus de la station.

Une autre application de la connaissance des effets au sol de l'électrojet équatorial serait d'améliorer la réduction des mesures magnétiques lors de prospection ou de réoccupation de bases dans cette région.

Remerciements

Je tiens à remercier les responsables du département "Mesures et prévisions ionosphériques" au Centre National d'études de Télécommunications (CNET) de Lannion pour leur diligence à me fournir les données ionosphériques de Ouagadougou.

Je remercie aussi MM. Mosnier, Aubrat et Vila pour leurs critiques et conseils lors de la rédaction de cette note.

Manuscrit reçu le 23.11.81
accepté le 2.02.82

Bibliographie

- Albouy Y., H.G. Barszczus et B. Caner, "Sondages géomagnétiques préliminaires dans l'Ouest Africain", *Géophysique*, 16, Orstom, Paris, 1979.
- Babour K. and J. Mosnier, "Differential geomagnetic sounding", *Geophysics*, 42 n° 1, 1977.
- Cain J.C., "The location of the dip-equator at E-Layer altitude" *Radio Science*, 4, p. 781-784, 1969.
- Cain J.C. and R.E. Sweeny, "The POGO data", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 35, p. 1231-1247, 1973.
- Chapman S., "The equatorial electrojet as detected from the abnormal electric current distribution above Huancayo, Peru and elsewhere", *Ach. Meteor. Geophys. U. Bioclimatol.*, p. 368-390, 1951.
- Dunford E., "The relationship between the ionosphere equatorial anomaly and the E region current system", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 29, p. 1489-1498, 1967.
- Fambitakoye O. and P.N. Mayaud "Equatorial electrojet and regular daily variation S_R - I. A determination of the equatorial electrojet parameters", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 38, p. 1-17, 1976 a.
- Fambitakoye O. and P.N. Mayaud, "Equatorial electrojet and regular daily variations S_R - II. The centre of equatorial electrojet" *J. Atmos. Terr. Phys.*, 38, p. 19-26, 1976 b.
- Fambitakoye O., P.N. Mayaud and A.D. Richmond, "Equatorial electrojet and regular daily variation S_R - III. Comparison of observations with a physical model", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 38, p. 113-121, 1976 c.
- Faynot J.M. and P. Vila, "F region at the magnetic equator" *Ann. Geophys.*, 35, p. 1-9, 1979.
- Kitamura T.I., "On an origin of ultra long period (Several days) of geomagnetic fluctuations", in "Electric current and Atmospheric motion" edited by S. Kato and R.G. Roper Center for Academic Publication Japan, 1980.
- Mac Dougall J.W., "The equatorial ionospheric anomaly and the equatorial electrojet", *Radio Sci.*, 4, p. 805-810, 1969.
- Mayaud P.N., "Analyse morphologique de la variabilité jour à jour de la variation journalière "régulière" S_R du champ magnétique terrestre", *Ann. Geophys.*, 21, p. 514-544, 1965.
- Mayaud P.N., "Corrélation entre les variations journalières du champ magnétique terrestre sous l'électrojet et dans les régions avoisinantes", *Ann. Geophys.*, 23, p. 387-406, 1967.
- Mayaud P.N., "The equatorial counter-electrojet - a review of its geomagnetic aspects", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 39, p. 1055-1070, 1977.
- Mosnier J. et P. Yvetot, "Nouveau type de variomètre à aimant asservi en direction", *Ann. Geophys.*, 28, p. 219-224, 1972.
- Richmond A.D., "Equatorial electrojet - I Development of a model including winds and instabilities", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 35, p. 1083-1103, 1973.
- Richmond A.D., S. Matsushita and J.D. Tarpley, "On the production mechanism of electric currents and fields in the ionosphere", *J. Geophys. Res.*, 81, p. 547-555, 1976.
- Risbeth H. and O. Garriott, "Introduction to ionospheric physics" Academic press, New York and London, 1969.
- Rush C.M. and A. D. Richmond, "The relationship between the structure of the equatorial anomaly and the strength of the equatorial electrojet", *J. Atmos. Terr. Phys.*, 35, p. 1171-1180, 1973.
- Sampath S. and T.S.G. Sastry, "Results from "in situ" measurements of ionospheric currents in the equatorial zone" *J. Geomag. Geoelectr.*, 31, p. 373-379, 1979.
- Vassal J.A., "Electrojet, contre-electrojet et région F à Sarh (Tchad)", *Geophysique*, ORSTOM, Paris 1982 (en cours de publication).
- Volland H. and L. Grellmann, "A hydromagnetic dynamo of the atmosphere", *J. Geophys. Res.*, 83, p. 3699-3708, 1978.



Extrait des
Annales de Géophysique

Tome 38, 1982

B3670ex1

CS

B3670ex1

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE