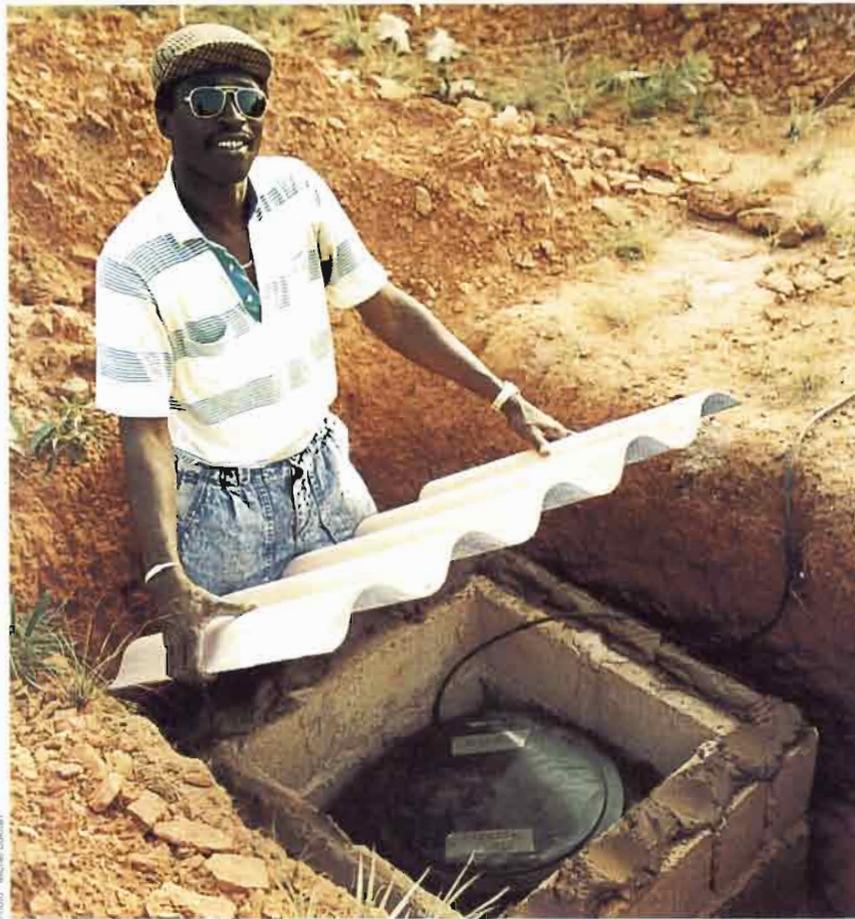




*En 1922, les premiers enregistrements du champ magnétique terrestre effectués proches de l'équateur magnétique, à l'observatoire de Huancayo (Pérou), firent apparaître une forte anomalie se manifestant par une amplification d'un facteur 2,5 de la variation diurne\* par rapport aux régions de moyennes latitudes. En 1951, Chapman donna le nom d'électrojet équatorial (EJ) à ce phénomène dû à un ruban de courant électrique intense circulant dans la couche E de l'ionosphère (entre 90 et 160 km d'altitude) le long de l'équateur magnétique. Son existence fut prouvée expérimentalement en 1972 par le satellite POGO. Il est créé par la conjonction de l'ionisation due aux particules énergétiques solaires et de la configuration géométrique du champ géomagnétique à l'équateur (champ horizontal) qui favorise la concentration des courants.*

## L'électrojet équatorial

Les stations géomagnétiques en essai à l'observatoire de Mbour



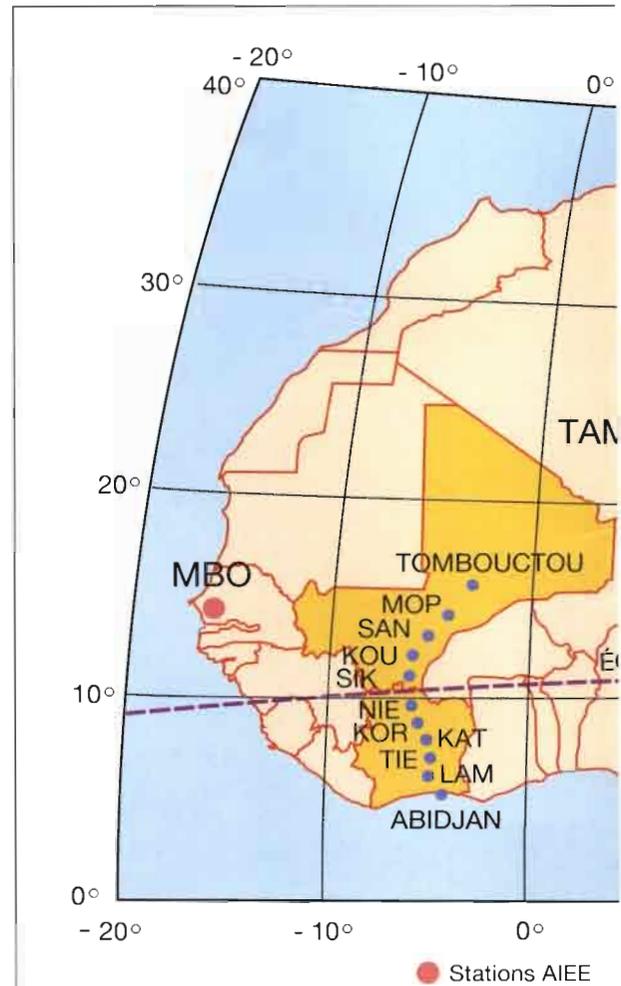
Installation sur le terrain d'un capteur magnétique.

Les connaissances de cet EJ et de sa place dans le circuit électrique ionosphérique planétaire étaient insuffisantes. Aussi, en 1987 l'assemblée générale de l'IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) demanda à la communauté scientifique internationale d'intensifier l'étude de cet EJ dans le cadre d'une "Année Internationale de l'Electrojet Equatorial" (AIEE). Une dizaine de pays se partagèrent cette étude dans différents secteurs de longitudes : Amériques, Europe-Afrique et Asie-Océanie. Un comité français AIEE pour le secteur Europe-Afrique fut créé, regroupant des laboratoires de nombreux organismes (Cea, Cnet, Cnrs, Ippg, Orstom, université Paris XI, universités de Dakar et d'Abidjan etc.)

### UN PROJET NORD-SUD

L'EJ, centré sur l'équateur magnétique, proche de l'équateur géographique, traverse de nombreux pays. Une application importante d'une bonne connaissance de l'ionosphère équatoriale, siège de cet EJ, est d'améliorer les communications radio-électriques qui utilisent ce milieu réflecteur.

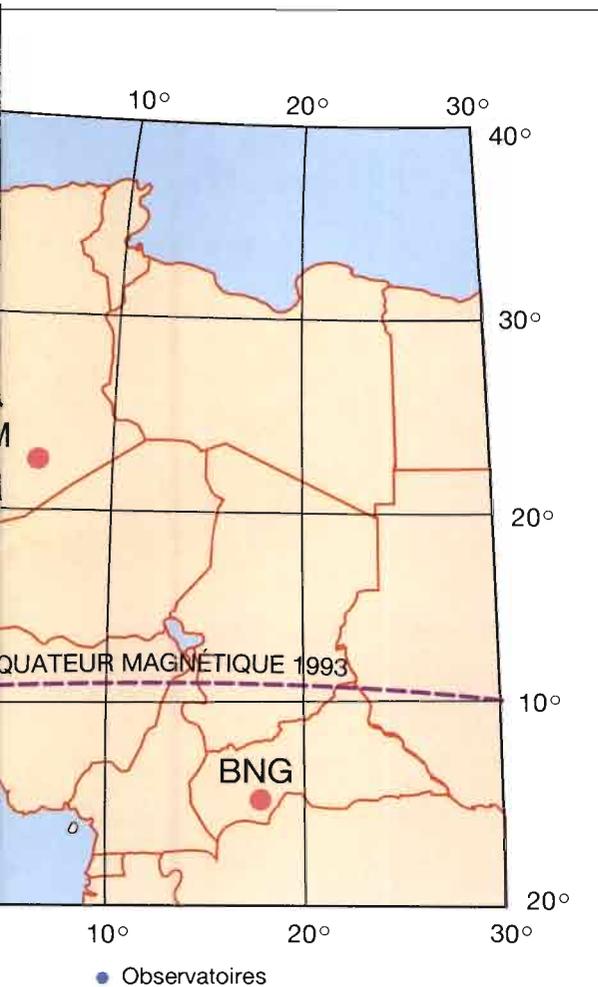
Cinq chercheurs et étudiants de Côte d'Ivoire et du Sénégal participent à l'exploitation des données, dans le cadre d'une convention Campus entre les universités de Paris XI, d'Abidjan et de Dakar à laquelle est associée l'Orstom.



Nom, code et localisation géographique (Latitudes Nord, Longitude)

Site	Code	N°
<b>Mali :</b>		
Tombouctou	Tom	1
Mopti	Mop	2
San	San	3
Koutiala	Kou	4
Sikasso	Sik	5
<b>Côte d'Ivoire :</b>		
Nielle	Nie	6
Korhogo	Kor	7
Katiola	Kat	8
Tiebessou	Tie	9
Lamto	Lam	10

Le comité a décidé que l'ossature de ce projet devait être constituée par un enregistrement permanent au sol des variations magnéto-telluriques induites par l'EJ, indispensable pour l'analyse des données des autres expériences plus ponctuelles (ionosondes, radars, interféromètres), ainsi que pour celles recueillies à d'autres longitudes et à bord de satellites. Ayant une grande expérience des opérations de terrain ainsi que du géomagnétisme des régions équatoriales, l'équipe de géophysiciens de l'Orstom/Dakar



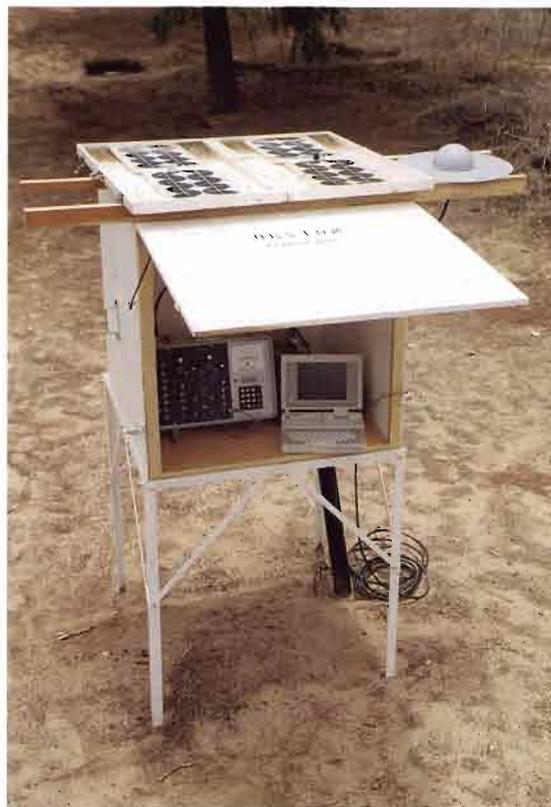
Coordonnées géographiques (latitudes Ouest en degrés décimaux) des stations AIEE de l'Orstom

Latitude	Longitude	Altitude
16.733°	- 03.000°	260 m.
14.508°	- 04.087°	270 m.
13.237°	- 04.879°	300 m.
12.356°	- 05.448°	380 m.
11.344°	- 05.706°	360 m.
10.203°	- 05.636°	350 m.
09.336°	- 05.427°	380 m.
08.183°	- 05.044°	400 m.
07.218°	- 05.241°	200 m.
06.232°	- 05.017°	150 m.

Je propose de mettre en oeuvre cette opération.

L'objectif scientifique est l'étude de l'électrojet en tant que partie d'un circuit électrique global, ainsi que l'étude des courants telluriques et des conductivités terrestres à l'échelle régionale.

La nouveauté de la recherche en cours par rapport aux études de l'électrojet faites dans les années 1970 par Fambitakoye, en dehors du fait qu'il se situe dans un secteur géographique différent, consiste en l'étude des variations du champ tellurique.



Une station géomagnétique (acquisition et micro-ordinateur de vidage) avec ses panneaux solaires et son antenne Argos.

Fig. 2, tableau 1 Localisation géographique du réseau Orstom AIEE au Mali et en Côte d'Ivoire. Les données des observatoires de Mbour (MBO), Bangui (BNG) et Tamanrasset (TAM) contribuent aussi à l'étude AIEE.

## El electrochorro ecuatorial

En 1922, las primeras mediciones del campo magnético terrestre efectuadas cerca del ecuador magnético revelaron una seria anomalía: la amplificación de un factor 2.5 de la variación diurna con respecto a las latitudes medias. La existencia de una banda de corriente eléctrica intensa que pasa por la corteza E de la ionósfera (entre 90 y 160 km de altitud) a lo largo del ecuador magnético, fenómeno posteriormente llamado Electrochorro Ecuatorial (EJ por sus siglas en inglés), es el resultado de la acción conjunta de la ionización provocada por partículas energéticas solares y de la configuración geométrica del campo geomagnético en el ecuador (campo horizontal).

Con el fin de saber más sobre el EJ, la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía propuso la creación del Año Internacional del Electrochorro Ecuatorial con la cooperación de diez países de diversas latitudes.

Para estudiar el sector Euroafricano, tanto institutos franceses como africanos participaron en el proyecto que consistió en aprovechar el paso del EJ por muchos países del sur; por ejemplo, para facilitar la comunicación radioeléctrica usando el EJ como reflector. El comité francés basó el proyecto en una medición permanente del suelo

observando así las variaciones magnetotélúricas originadas por el EJ, tarea que Orstom propuso emprender. La información obtenida fue indispensable para analizar datos de otros experimentos franceses más exactos (ionosondas, radares, interferómetros, etc). Orstom estableció una red de 10 estaciones a lo largo de 1200 Km, de Tumbuctú hasta Abidján, midiendo variaciones en todos los componentes de los campos magnetotélúricos generados por el EJ. Dicha red funcionó de 1992 a 1994, período en el que cada dos meses se registraron datos, posteriormente procesados en Dakar.

Aunque el análisis está en su primera etapa, es evidente que nuestra información será vital para el desarrollo de investigaciones posteriores sobre el EJ. Las lecturas magnéticas nos permiten determinar día con día las principales características del EJ: amplitud, posición del centro e intensidad. Hemos también estudiado el modelo de las variaciones diurnas y de los efectos de las estaciones, lo que pone en duda nuestra concepción clásica del EJ.

Otro grupo de investigadores geofísicos euroafricanos se hará cargo de la próxima etapa, aprovechando al máximo los resultados del Año Internacional del EJ.

## CAMPAGNE DE MESURES ET BASE DE DONNÉES

Les capteurs telluriques sont constitués de paires d'électrodes en plomb, distantes de 200 mètres suivant les directions Nord-Sud et Est-Ouest. Ils permettent l'enregistrement des courants telluriques dont les tensions varient, suivant l'état géologique du sous-sol, de quelques millivolts à quelques dizaines de millivolts par kilomètre.

Les capteurs magnétiques horizontaux H (Nord-Sud) et D (Est-Ouest) sont constitués d'aimants asservis par un système capacitif\*.

Le capteur vertical Z à vanne de flux a spécialement été conçu et mis au point pour ce projet au Centre de Recherches Géophysiques (CRG) de Garchy.

Le système d'acquisition numérique utilisé, de type Mosnier, a été développé au CRG de Garchy. Les données sont enregistrées sur une carte mémoire RAM (Random Access Memory).

Les stations sont équipées d'un émetteur ARGOS permettant une surveillance journalière à Dakar de

l'état de fonctionnement du réseau (cf. fig. 1).

Le réseau géré par l'Orstom comprend dix stations réparties sur 1 200 km entre Tombouctou et Abidjan, de part et d'autre de l'équateur magnétique, approximativement le long du méridien 5° Ouest (figure 2, tableau I). Les variations des trois composantes du champ magnétique et des deux composantes du champ tellurique générées dans la zone équatoriale par l'électrojet sont enregistrées.

Ce réseau a fonctionné de novembre 1992 à la fin 1994, dans des conditions locales souvent difficiles. Le vidage des cartes s'est effectué tous les deux mois au cours de missions de relevé sur tout le réseau (l'autonomie d'enregistrement d'une station, à raison d'une valeur minute sur chaque composante, est de 66 jours). Les données recueillies sont ensuite contrôlées, formatées, documentées. Elles alimentent une base de données constituée à Dakar.

## DES BOUCLES DANS L'ÉLECTROJET

L'exploitation complète de la masse d'informations obtenues intégrera tous les types de données des différents secteurs de longitude.

Les enregistrements magnétiques permettent de définir jour à jour les caractéristiques principales de l'EJ : position du centre, intensité, largeur. On a aussi étudié la très grande variabilité de la variation diurne, les effets saisonniers qui se manifestent par une forte dissymétrie entre hémisphères nord et sud, l'occurrence des contre-electrojets (inversion de la nappe de courant).

Sur les figures 3a et 3b sont cartographiées les valeurs des composantes magnétiques horizontale H et verticale Z pour le 24 février 1993. Les ordonnées donnent la latitude géographique en degrés. On a placé sur cet axe la position des stations. En abscisse, sont notées les 24 heures de la journée. Les courbes iso-valeur sont en nano-Tesla\* (nT). On peut déduire de ces figures les paramètres de l'EJ ce jour là : la position du centre du foyer de la composante H (fig. 3a) donne l'heure, la position géographique et l'intensité de l'EJ. Soit à 11h30, heure du maximum de l'EJ, une position de l'EJ à 10,75° Nord (entre Niellé et Sikasso), et une intensité de 120 nT. La distance entre les deux foyers de la composante Z (fig. 3b), situés respectivement à 8° Nord et 14° Nord, donne la largeur de l'EJ qui est de 6°, soit approximativement 650 km. On peut aussi obtenir l'intensité du courant ionosphérique responsable de ces variations.

Ces résultats sur la morphologie du champ tellurique remettent en cause notre vision classique de l'électrojet. Il semble exister dans celui-ci des boucles de courants méridionaux à petite échelle dont la géométrie se modifie lentement en fonction de la saison.

**J. Vassal, M. Dukhan et O. Fambitakoye**  
Département "Terre, Océan, Atmosphère"  
UR "Géodynamique actuelle et risques naturels"

## The equatorial electrojet

The first measurements of the Earth's magnetic field close to the magnetic equator were taken in 1922. They revealed a stark anomaly : the daily variation was two and a half times as great as in the middle latitudes. The anomaly is due to a band of intense electrical current circulating in the E region of the ionosphere (at an altitude of 90 to 160 km) along the magnetic equator - a phenomenon later named the Equatorial Electrojet (EJ). The EJ is caused by the conjunction of ionization and the geometrical configuration of the geomagnetic field at the equator, which favors the concentration of currents.

To discover more about the EJ, the International Association of Geomagnetism and Acronomy instigated International Equatorial Electrojet Year, involving studies by ten countries at different longitudes.

A French committee was organized to study the Europe-Africa sector.

Numerous French and two African scientific institutes were involved in the work. The EJ passes through many countries of the South, and they stand to benefit from applications of this knowledge, e.g. for radioelectric communications using the EJ. as a reflector. So it was important to involve Southern scientific communities.

The French committee considered that the core of the project should be per-

manent, ground-based measurement of the magneto-telluric variations induced by the EJ. This was the task taken on by Orstom. The data acquired would be indispensable for analysing data from other French experiments based on remote sensing, radar, interferometry etc.

Orstom set up a network of ten stations spread over the 1200 km from Tombouctou to Abidjan. Each has an array of instruments measuring variations in all components of the magnetic and telluric fields generated by the EJ. The network was in operation from November 1992 to late 1994, the data being collected every two months and processed in Dakar.

Although the analysis phase is still at an early stage, it is already clear that our data will be a vital basis for subsequent research on the EJ. From the magnetic readings, we can define, day by day, the main characteristics of the EJ : width, position of the center and intensity. We have also studied the extremely uneven pattern of the diurnal variations, and seasonal effects. New information on the morphology of the telluric field calls the conventional view of the E.J. into question.

An international Europe-Africa geophysics research group has been formed to take charge of the next stage and put the data from International Electrojet Year to full use.

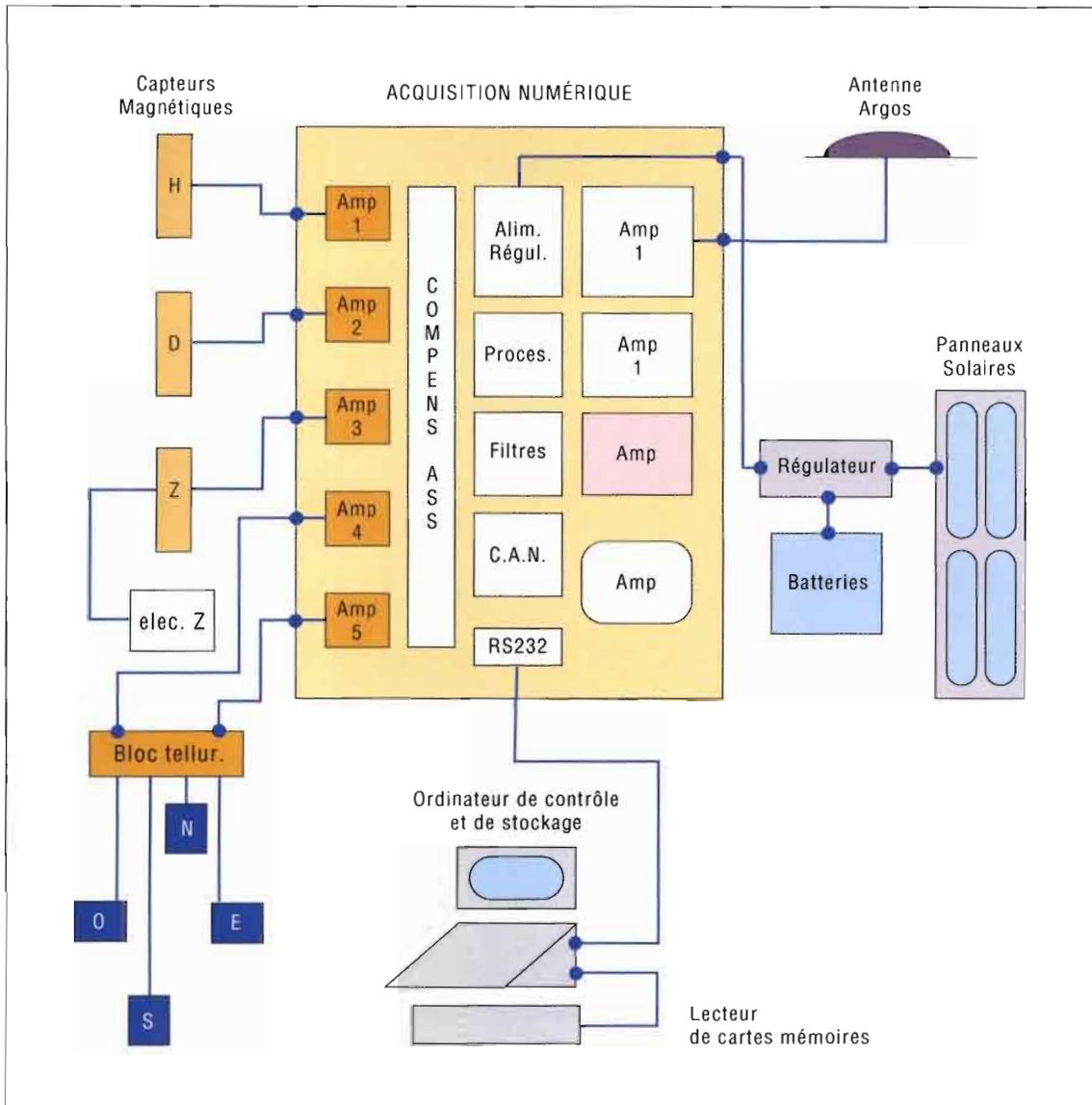


Photo : Michèle Dukhan

Les stations géomagnétiques en essai à l'observatoire de Mbour. Au premier plan un capteur magnétique.

Fig. 1 Schéma synoptique d'une station magnéto-tellurique

## Pour en savoir plus

**Boka, K., J. Vassal, M. Menvielle, O. Fambitakoye and Y. Cohen,** 1993, A first description of the variations in telluric potentials associated to the equatorial electrojet at african longitudes, Congrès de l'IGA, Buenos-Aires, Argentine.  
**Doumouya, V., J. Vassal, Y. Cohen, O. Fambitakoye and M. Menvielle,** 1993, The equatorial electrojet at african longitudes: preliminary results from magnetic measurements, Congrès de l'IGA, Buenos-Aires,

Argentine.  
**Fambitakoye, O.,** 1976, Etude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial, Géophysique 14, Orstom, Paris, Thèse.  
**Forbush, S.E. and M. Casaverde,** 1961, The equatorial electrojet in Peru, Carnegie Inst. Wash., Publ. 620.  
**Hutton, R and R.W.H. Wright,** 1961, Diurnal variation of earth currents at the equator, J. atmos. terr. Phys., 20, 100-109.  
**Marriott R.T., A.D. Richmond and S.V. Venkateswaran,** 1979,

The Quiet-Time Equatorial Electrojet and Counter-Electrojet, J. Geomag. Geoelectr., 31, 311-340.  
**Onwumechilli Agodi,** "Geomagnetic Variations in the Equatorial Zone", in "Physics of Geomagnetic Phenomena", Vol I, pp. 426-503, Edited by S. Matsushita and W.H. Campbell, Academic Press, New York and London, 1967  
**Vassal J. et D. Dukhan,** 1994, Année internationale de l'Electrojet Equatorial

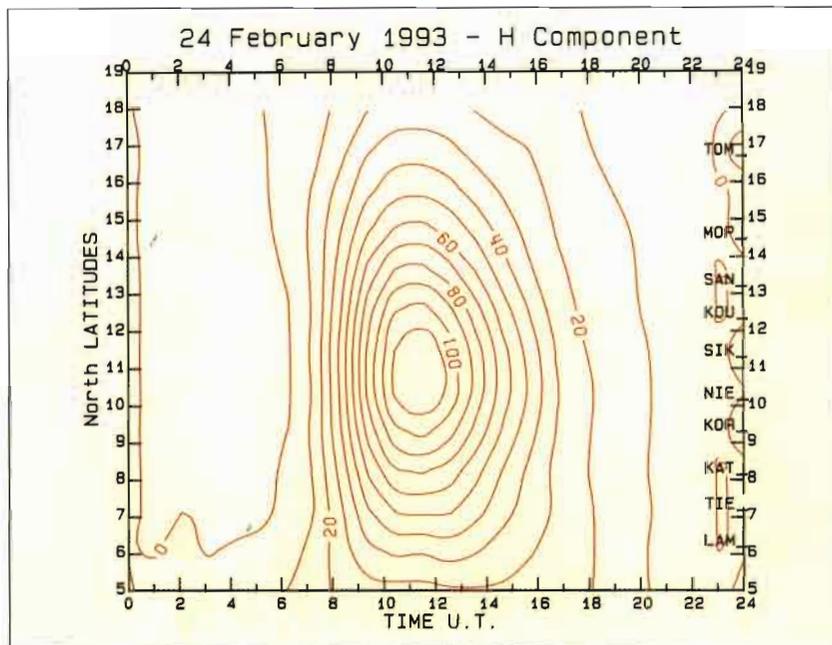
(AIEE), Secteur Afrique, I-Dispositif Orstom d'étude de l'électrojet. II-Premiers résultats, Orstom, Dakar, 23 p. multigr.  
**Vassal, J., Dukhan, M., O. Fambitakoye, V. Doumouya, K. Boka, R. Hanbaba, J. Henry, E. Kone, A. Koba, B.E. HOUNGINOU, R. Fleury and P.M. Vila,** Equatorial West African Ionosphere New Results 5° West Longitude, Nov. 1992 to July 1993, Symposium S.T.P. de Sendai, Japon, Juin 1994.

Les stations géomagnétiques en essai à l'observatoire de Mbour. Au premier plan sur le caisson on voit les panneaux solaires et l'antenne Argos.

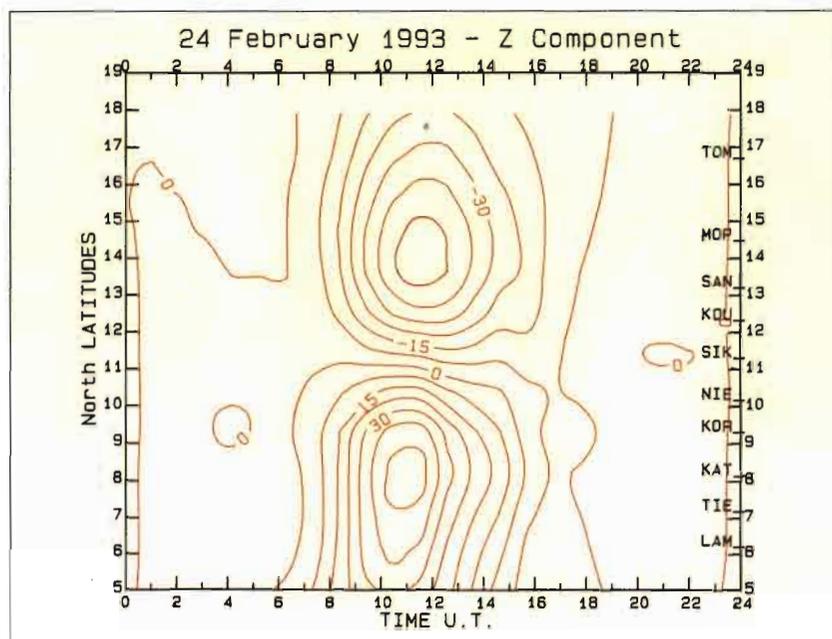


Photo: Michel Dubray

**Fig. 3a**  
Effet de l'électrojet sur la composante horizontale H suivant l'heure et la latitude. L'équidistance des courbes iso-valeurs est de 10 nano-Tesla.



**Fig. 3b**  
Effet de l'électrojet sur la composante verticale Z suivant l'heure et la latitude. L'équidistance des courbes iso-valeurs est de 15 nano-Tesla.



En juin 1994 fut créé le GIRCA (Groupe International de Recherches en Géophysique Europe-Afrique), comprenant dans son comité de direction un chercheur de l'Institut, qui prendra en main le suivi de l'exploitation et de la valorisation des données AIEE: création sur disque optique d'une base de données globale, modélisation de l'électrojet intégrant tous les types d'informations (magnétisme, ionosondes, radars, satellite...) obtenues dans les différents secteurs géographiques, en collaboration avec les chercheurs des pays concernés.

## Glossaire

**Champ magnétique terrestre ou champ géomagnétique :** ensemble des valeurs que prend le vecteur champ magnétique, dont la source principale est intérieure au globe terrestre, équivalente, au premier ordre, au champ créé par un aimant situé au centre de la terre. L'unité de mesure du champ magnétique terrestre est le **nano-Tesla**.

**Champ tellurique :** ensemble des nappes de courant électrique induit par les variations du champ géomagnétique et circulant dans le globe terrestre. L'unité de mesure du champ tellurique est le milli-Volt par kilomètre (mV/km).  
**Equateur magnétique :** Lieu des points de la surface terrestre où l'inclinaison magnétique est nulle.

**Ionosphère :** région de la haute atmosphère où l'air est fortement ionisée par l'action du rayonnement solaire. L'ionosphère est constituée de différentes couches ionisées concentriques, la couche D, entre 60 et 80 km d'altitude, la couche E entre 90 et 150 km et la couche F entre 200 et 600 km.  
**Système capacitif :** système d'asservisse-

ment utilisant des condensateurs électriques.  
**Variation diurne :** modifications de la valeur du champ magnétique au cours de la journée, dues à la rotation de la terre par rapport au soleil. La forte anomalie à l'équateur provient du fait que cette variation est beaucoup plus importante qu'elle ne serait en l'absence de l'électrojet.

Vassal Jacques, Dukhan Michel, Fambitakoye Ousseini

L'électrojet équatorial

ORSTOM Actualités, 1995, (46), p. 9-14. ISSN 0758-833-X