

AIEE-GIRGEA 1991-2002

Volume 1

**Année Internationale de l'Electrojet Equatorial
1991-1994**

**Groupe International de Recherche
en Géophysique Europe Afrique
1995-2002**

Avertissement

Le **GIRGEA**, **G**roupe de **R**echerche **I**nternational en **G**éophysique **E**urope **A**frique est une structure rassemblant des chercheurs de différentes disciplines appartenant à différents laboratoires. Ce document n'a pas pour objet de décrire de manière exhaustive toutes les études faites dans le cadre du GIRGEA, études qui sont d'ailleurs présentées dans les rapports d'activité des différents laboratoires des chercheurs participant à ce groupe de travail.

Ce document présente les points qui fédèrent les chercheurs de cette structure horizontale : les observatoires en Afrique et la formation de chercheurs en géophysique en Afrique.

Un deuxième volume contenant tous les résumés des articles, actes à colloques, thèses et rapports de stages accompagne ce document. Seuls, quelques résultats marquants, obtenus durant l'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial (**AIEE**), seront présentés dans le chapitre IV, pour illustrer la nécessité d'études planétaires et pluridisciplinaires pour avancer dans l'étude de la géophysique.

Sommaire

Introduction

I. Bref Historique

- I.1 Cadre international
- I.2 Les objectifs scientifiques, les applications, la formation affichés
- I.3 Activités durant les années 1992 à 2001
 - I.3.1 Campagnes de mesures
 - I.3.2 Ecoles de géophysique
- I.4 Base de données - animation scientifique internationale
- I.5 Création d'observatoires en Afrique de l'Ouest
- I.6 Conclusion

II. Observations et Observatoires en Afrique de l'Ouest

- II.1 Evolution des Observatoires en Afrique de l'Ouest et observations durant l'AIEE
- II.2 Observatoires permanents après l'AIEE
- II.3 Conclusion

III. Formation

- III.1 Formation technique
- III.2 Formation de chercheurs

IV. Résultats Scientifiques

- IV.1 Champ magnétique terrestre
- IV.2 Electrodynamique et dynamique ionosphériques
- IV.3 Les champs telluriques
- IV.4 Ionisation Instabilités du plasma ionosphérique, F. Diffus
- IV.5 Propagation des ondes radio

V. Perspectives

- V. 1. Participation aux projets internationaux
- V. 2 Mesures des radars HF en zone africaine

Annexe A : Grandes étapes du projet

Annexe B : Participants à la base de données au niveau mondial

Annexe C : Site internet Korhogo

Annexe D : Stages et séjours dans des laboratoires pour la formation

Annexe E : Ecole de géophysique d'Abidjan du 16 au 26 octobre 1995

Annexe F : Liste des Laboratoires et participants

Introduction

Ce document est un bilan de 11 ans d'activité du projet **AIEE** (**Année Internationale de l'Electrojet Equatorial**) de 1992 à 1994 et du groupe **GIRGEA** 1995-2002 (**Groupe International de Recherche en Géophysique Europe Afrique**).

Il est composé de 4 parties :

- I. Bref Historique
- II. Observatoires en Afrique
- III. Formation
- IV. Résultats scientifiques
- V. Perspectives

Dans un deuxième document , nous avons regroupé les copies des résumés des publications faites dans le cadre de ce groupe de travail durant la dernière décennie.

Les recherches effectuées dans le groupe GIRGEA concernent essentiellement l'étude des phénomènes électromagnétiques et dynamiques dans le cadre du système Terre-Soleil. Ces études s'inscrivent dans le cadre des projets internationaux **EPIC** (**Equatorial Physics Including Coupling**), **SCOSTEP**(**SCO Solar Terrestrial Energy Program**) et **CAWSES** (**Climate and Weather of the Sun Earth System** (2003-2011).

Dans le groupe GIRGEA nous avons aussi pour objectifs :

- de renforcer les mesures à l'équateur et dans l'hémisphère Sud afin d'améliorer les études faites à l'échelle planétaire,
- d'assurer la formation de chercheurs en géophysique, dans les pays en voie de développement, dans un cadre pluridisciplinaire.

I. Bref historique

I.1 Cadre International

C'est à l'assemblée de Vancouver de l'**IAGA** (**International Association for Geomagnetism and Aeronomy**), en 1987, que l' **IDCDC** (**InterDivisionnal Commission for Developing Countries**) a proposé à la communauté scientifique internationale d'intensifier l'étude de l'électrojet équatorial dans le cadre d'un projet international : **IEEY** (**International Equatorial Electrojet Year**), **AIEE** (**Année Internationale de l'Electrojet Equatorial**).

Un grand nombre d'équipes scientifiques ont manifesté leur intention de participer à l'AIEE, suivant leurs intérêts, soit au travers des campagnes de mesures soit par un effort accru de modélisation et d'analyse de l'électrojet équatorial. Ce projet AIEE sera coordonné par un comité scientifique international (liste des membres : annexe I) qui permettra en outre d'assurer le lien avec les autres programmes internationaux **WITS** (**World Ionosphere Thermosphere Study**), **LTCS** (**Lower Thermospheric Coupling Study**) et **STEP** (**Solar Terrestrial Energy Program**).

Pour l' année internationale de l'Electrojet Equatorial, des campagnes de mesures intensives en zone équatoriale ont été menées durant plus de 2 ans, de novembre 1992 à décembre 1994.

Différents documents ont été rédigés pour présenter les objectifs scientifiques et les activités à développer au niveau mondial (**IAGA News** 28, March, 1990), puis dans les trois secteurs de longitude suivant lesquels ce projet a été structuré

secteur Inde : Working document on the indian contribution to the International Equatorial Electrojet Year;

secteur Afrique Europe : Proposition française de participation à l'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial (Document CN/ AIEE/ 1, décembre 1989 et document du Nigéria 1991);

secteur Amériques : Brazilian participation in the International Equatorial Electrojet Year (1991).

I.2 Les objectifs scientifiques, les applications et la formation affichés

La communauté géophysique s'était engagée à privilégier 5 thèmes majeurs :

- Etude de l'électrojet en tant que partie d'un circuit électrique global vent solaire/ magnétosphère/ ionosphère/ atmosphère/ terre ,
- Etude des courants telluriques et conductivités terrestres à l'échelle régionale ,
- Prévision ionosphérique et modélisation de l'électrojet à l'échelle régionale,
- Etude des instabilités du plasma ionosphérique équatorial à l'échelle locale,
- Propagation des ondes radio.

La communauté géophysique doit développer des applications pratiques liées à ce projet et qui touchent différents secteurs :

- amélioration des radiocommunications entre 2 et 40 MHz environ,
- télédétection : corrections ionosphériques pour le traitement des données,
- connaissance des conductivités du sous-sol (sondages magnétotelluriques),
- base de données / système d'information appliqué aux sciences de l'environnement.

L'AIEE offrait une opportunité remarquable pour la collaboration avec les pays en voie de développement.

Les scientifiques participant au projet français ont encadré des étudiants et formé des techniciens pour assurer la mise en route, le fonctionnement et la maintenance des instruments implantés en Afrique. Les étudiants ont participé à l'acquisition des données à la phase d'exploitation des résultats. Sept thèses ont été soutenues dans le cadre de ce groupe de recherche de 1995 à 2001 (voir les chapitres III et IV : formation et résultats scientifiques).

I. 3 Activités durant les années 1992 à 2001

I. 3.1 Campagnes de mesures :

Des mesures continues des variations du champ magnétique terrestre (réseau de magnétomètres de l'ORSTOM, *J. Vassal et M. Dukhan*) et des paramètres de l'ionosphère (réseau d'ionosondes du CNET/ PAB/ PTI, *J. Henry, R. Hanbaba*) ont été faites. Ces mesures ont été poursuivies jusqu'à la fin de l'année 1994.

Le CEA/ LDG (*E. Blanc, T. Bourret, E. Houngninou, A. Lavedrine, B. Tissot, D. Raoux*) a organisé des campagnes de mesures de paramètres ionosphériques sur le site de Korhogo de mars à juillet 1993 et au cours des mois d'octobre et novembre 1994.

L'IPGP (*Y. Cohen*) assure des mesures continues des variations du Champ magnétique terrestre avec un réseau de trois stations magnétiques depuis 1998.

UCL (*D. Rees*) a mis en place sur le site de Korhogo un interféromètre qui a effectué des mesures de novembre 1994 à mai 1995. Cet instrument est actuellement en cours de remise à niveau.

I. 3.2 Ecoles de géophysique dans le cadre du projet de 1992 à 1995 :

Deux écoles de formation à la géophysique ont été faites, à Paris en avril et mai 1992 à Abidjan en octobre 1995. (voir chapitre III).

I.4 Base de données - animation scientifique internationale :

Une base de données a été élaborée. L'organisation de la base de données, la liste des personnes y participant et le catalogue de données pour les 3 secteurs de longitude Afrique-Europe, Amériques, Asie a été publié en 1996 (Amory-Mazaudier et al., 1996).

Au niveau du secteur Afrique-Europe, l'organisation mise en place, ainsi que la lettre d'information (*C. Amory-Mazaudier, J. Bouvet, P. Vila*) diffusée tous les 2 mois, puis tous les trimestres, ont permis la stimulation de l'ensemble des participants. Cette lettre d'information est envoyée régulièrement depuis le mois de mai 1992.

Au niveau international, le groupe français a assuré (*A. G. Onwumechili et C. Amory-Mazaudier*), l'organisation de la session 7.1 du IAGA consacrée au projet Année Internationale de l'Electrojet Equatorial au cours des années 1993 à Buenos Aires (Argentine), 1995 à Boulder (USA) et 1997 à Uppsala (Suède).

I.5 Création d'observatoires en Afrique de l'Ouest

Dans le cadre du projet AIEE, des instruments de mesure ont été financés par le Ministère des Affaires étrangères, le CNET (Centre National d'Etude des Télécommunications), UCL (University College of London) et le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Ces instruments ont permis la création d'observatoires, à Korhogo en Côte d'Ivoire et à Dakar au Sénégal, pour l'étude du champ magnétique à l'équateur, de l'ionosphère et de l'atmosphère équatoriales. Ces observatoires permettront d'ancrer de façon durable la géophysique en Afrique, ils seront présentés dans le chapitre II.

I.6 Conclusion

Tous les objectifs affichés n'ont pas été atteints. Nous avons bien réussi la formation et le développement de la recherche en géophysique en Afrique. Les étudiants formés dans le cadre du projet en Côte d'Ivoire sont devenus Maîtres-assistants à l'Université d'Abidjan. Les résultats scientifiques publiés dans les revues de rang A ont placé notre équipe au niveau international. Cependant, nous n'avons pas réussi à mettre en route les deux radars HF STUDIO (du LETTI) et SCIPION (du CNET), sur les sites de Korhogo (Côte d'Ivoire) et de Dakar (Sénégal).

C'est cela qui deviendra notre première priorité pour les années à venir, d'autant plus que les mesures ionosphériques sur la région Afrique sont rares et très recherchées pour l'amélioration des communications Terre Satellite (système G.P.S), pour la localisation des avions, pour les modèles planétaires des paramètres ionosphériques.

Dans l'*annexe A* les grandes étapes du projet sont données. L'*annexe B* rassemble la liste des participants à la base de données du projet AIEE.

II. Observations et Observatoires en Afrique de l'Ouest

II.1 Evolution des Observatoires en Afrique de l'Ouest et observations durant l'AIEE

Avant le début de l'Année internationale de l'Electrojet équatorial, il existait certains observatoires permanents en Afrique de l'Ouest notamment :

- a) 2 ionosondes : à Dakar, au Sénégal, et à Ouagadougou au Burkina Faso. Ces ionosondes étaient suivies par le CNET pour des applications militaires.
- b) 2 stations magnétiques : à Bangui (République Centre Afrique) et M'Bour (Sénégal).

- c) un observatoire permanent à Tamanrasset en Algérie, comportant une ionosonde et un magnétomètre
d) un observatoire magnétique permanent à Awolowo au Nigéria.

Durant l'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial, des instruments ont été mis en place pour des périodes de temps variant d'un mois à deux ans.

La Table I. recapitule les instruments qui ont fonctionné durant l'AIEE dans le secteur Europe Afrique. La Table II et la figure 1 donnent la localisation exacte des stations de l'Afrique de l'Ouest.

Plusieurs instruments apportés en Afrique au cours de l'AIEE y sont resté et ont permis de créer un observatoire à Korhogo en Côte d'Ivoire et un observatoire à Dakar au Sénégal.

Pour le site de Korhogo, l'ionosonde et l'interféromètre apportés pour l'AIEE y sont resté sur place et ont permis de fonder les bases de l'observatoire ionosphérique de Korhogo. Le Ministère des Affaires étrangères a financé un radar FH STUDIO du LETTI repris par le CNAM qui devrait être installé prochainement à Korhogo. Enfin un magnétomètre financé par le CNES a aussi été installé près de Korhogo. Nous présentons dans le paragraphe II. 2 l'observatoire de Korhogo.

TABLE 1
EXPERIENCE AIEE DANS LE SECTEUR AFRIQUE
Les instruments et les observatoires

Instruments/ Laboratoire	périodes d'observations
réseau de magnétomètres, et de capteurs telluriques (10 stat ORSTOM devenu IRD France, Côte d'Ivoire et Mali	du 20 / 11/ 1992 au 26 / 10/ 1994
1 magnétomètre - M'Bour observatoire du Sénégal 1 magnétomètre - Bangui observatoire de RCA	instrument permanent de l'ORSTOM instrument permanent de l'ORSTOM
radar HF CEA/ France	du 8 / 04/ 1993 au 23 / 07/ 1993 du 10 / 10/ 1994 au 27 / 11/ 1994
Interféromètre UCL/ Angleterre - Observ. de Korhogo / Côte d'Ivoire	du 5 / 11/ 1994 au 5/ 05/ 1995 instrument permanent depuis l'AIEE
réseau d'ionosondes France Télécom- CNET/ France - Observatoire de Korhogo / Côte d'Ivoire - Observatoire de Canbérène / Sénégal - Observatoire de Ouagadougou/ Mali	du 20 octobre 1992 instrument devenu permanent après l'AIEE instrument permanent instrument permanent fermé depuis 1999
1 magnétomètre, Université de Awolowo / Nigéria	instrument permanent
1 magnétomètre IPGP/ France - Observatoire de Tamanrasset/ Algérie	fonctionnement durant l'AIEE
1 magnétomètre Université de Kyushu / Japon - Tamanrasset observatory/ Algeria	fonctionnement durant l'AIEE
1 magnétomètre et 1 ionosonde - Observatoire d'Ebre / Espagne	instruments permanents

TABLE 2 :
EXPERIENCE AIEE DANS LE SECTEUR AFRIQUE/ Localisation des instruments

AFRIQUE DE L'OUEST		
Site	Coordonnées Géographiques Lat. N / Long. W	instrument
Tombouctou (Mali)	16°44'00" / 3° 00' 00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Mopti (Mali)	14°30'30" / 4°05'14"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
San (Mali)	13°14'00" / 4°52'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Koutiala (Mali)	12°21'00" / 5°27'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Sikasso (Mali)	11°21' / 5°42'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Niella (Mali)	10°13'00" / 5°38'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Korhogo (Côte d'Iv.)	9°20'00" / 5°26'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Katiola (Côte d'Iv.)	8°11'00" / 5°03'00"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Tiebessou (Côte d'Iv.)	7°13'00" / 5°14'30"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
Lamto (Côte d'Iv.)	6°14'00" / 5°01'30"	1 magnétomètre + capteur Tellu.
M'Bour (Sénégal)	14° 20' / 16° 55'	instrument permanent : 1 magnétomètre

Bangui (R. Centre Afrique)	4° 24' / -18° 37'	instrument permanent : 1 magnétomètre
Dakar (Sénégal)	14° 46' / 17° 25'	instrument permanent : 1 ionosonde
Korhogo (Côte d'Ivoire)	9° 27' / 5° 38'	instruments devenus permanents après l'AIEE : 1 ionosonde, 1 interféromètre UCL autre instrument : radar HF du CEA HF
Ouagadougou (Burkina Faso)	12° 22' / 1° 32'	instrument permanent 1 ionosonde
Ile-Ife - Awolowo Université - Nigéria	7° 17' / 5° 08'	instrument permanent 1 magnétomètre
Tamanrasset (Algérie)	22° 56' / 5° 30'	instruments permanents : 1 ionosonde 1 magnétomètre + 2 autres magnétomètres

Pour le site de Dakar, le Ministère des Affaires étrangères a financé un radar HF SCIPION de l'ENST Bretagne, afin de développer les études en géophysique, à l'Université de Dakar en collaboration avec l'EMST.

L'ionosonde de Dakar, fonctionnant durant l'AIEE, a été remplacée par une station SCIPION, réservée aux applications militaires.

L'ionosonde de Ouagadougou, suivie par le CNET, qui a été opérationnelle durant tout l'AIEE, a été arrêtée en 1999.

II.2 Observatoires géophysiques du GIRGEA après l'AIEE

Nous nous trouvons donc actuellement en Afrique de l'Ouest avec six observatoires permanents, deux existant avant l'AIEE et quatre observatoires en cours d'évolution :

- M'Bour -> observatoire magnétique de l'IRD, existant avant l'AIEE,
- Bangui -> observatoire magnétique de l'IRD, existant avant l'AIEE,
- Korhogo -> observatoire polyvalent ionosphère et magnétisme, créé en 1992, dans le cadre du projet AIEE (GIRGEA)
- Dakar -> observatoire ionosphérique, créé après l'AIEE (GIRGEA)
- San et Sikasso -> observatoires magnétiques au Mali, mis en place après l'AIEE.

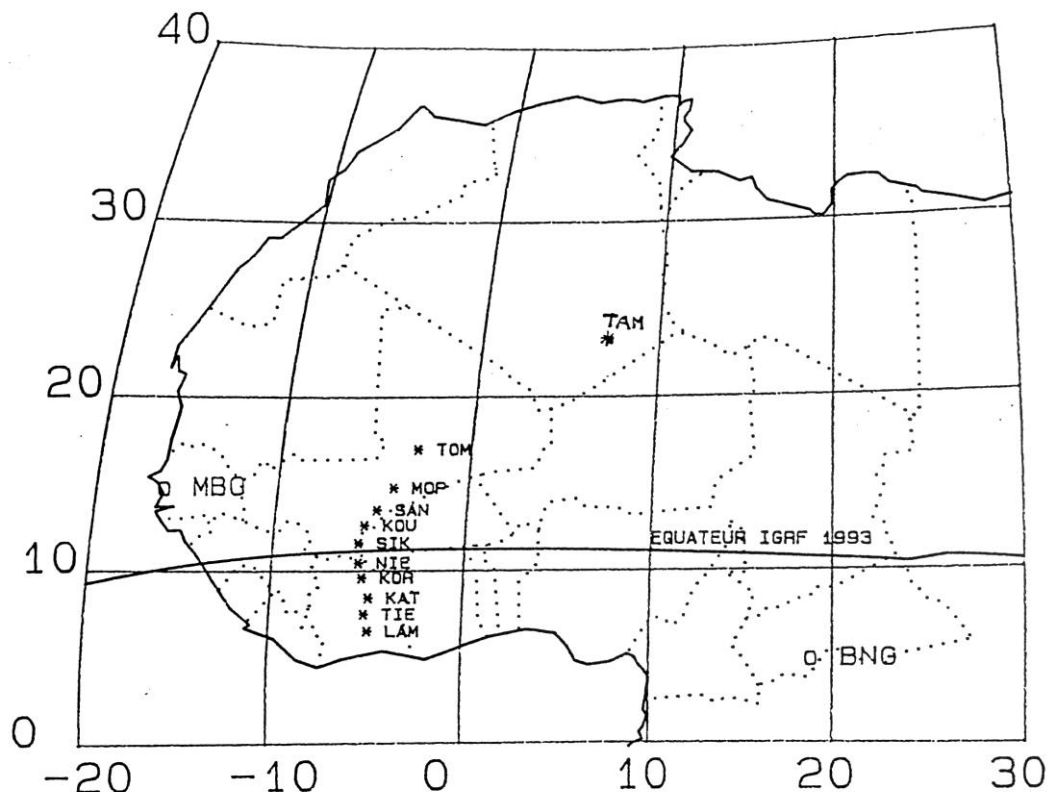


Figure 1 : Localisation des sites de mesures durant l'AIEE

II.3 Conclusion

L'étude des phénomènes géophysiques ne peut se concevoir sans l'existence d'observatoires permettant des mesures continues de certains paramètres géophysiques essentiels à la compréhension de la physique du milieu.

Il est indispensable pour le GIRGEA de maintenir les observatoires existants et de développer de nouveaux observatoires. La région Afrique est particulièrement sous observée et les résultats obtenus durant l'AIEE ont montré des particularités régionales de l'ionosphère et du champ magnétique terrestre.

A l'heure où il devient possible, grâce aux moyens de communications, de développer des expériences sol planétaires, l'AIEE en est un exemple, il semble impensable de le faire sans développer des mesures à des points stratégiques de la planète comme le sont les zones tropicales et équatoriales. Nous présenterons dans les deux paragraphes suivants, les observatoires de Korhogo et Dakar mis en place dans le cadre du projet AIEE.

Le projet AIEE a aussi permis d'appréhender la réalité de la science en Afrique. Il faut en premier lieu former des petites équipes et ensuite les relier entre-elles. En effet il semble difficile à des petits pays (Sénégal : 8 millions d'habitants, Côte d'Ivoire, 15 millions d'habitants, etc....) de concevoir une recherche en géophysique de façon isolée. Le Groupe International de Recherche en Géophysique Europe Afrique prologement du projet AIEE a pris en compte ce fait. La recherche en géophysique sur l'Afrique de l'Ouest ne peut se concevoir et se développer que dans un cadre régional, et les données des observatoires pourront être disséminées à toutes les équipes africaines en priorité, et aussi aux équipes internationales qui ont besoin d'observations sur ce continent.

Il est aussi important de signaler que le développement scientifique de l'Afrique doit être conçu dans un cadre pluridisciplinaire et transdisciplinaire avec les chercheurs africains, afin de ne pas hériter des lourdeurs et cloisonnements des pays développés, qui sont actuellement des entraves au progrès scientifique.

III. Formation

III.1. Formation technique

Différentes formations techniques ont été suivies par les étudiants participant au projet AIEE. Ces formations ont été données par les laboratoires compétents et concernent les domaines suivants :

- ionosonde et dépouillement des ionogrammes -> CNET Lannion
- magnétomètres, analyse des magnétogrammes -> observatoire de Chambon-la-Forêt
- radar HF du CEA -> LDG/ CEA
- radar HF STUDIO du LETTI -> LETTI au CNAM
- radar HF SCIPION du CNET -> CNET Lannion

La plupart de ces formations ont concerné des chercheurs. Cependant un technicien, E. Kone actuellement responsable de l'observatoire de Korhogo a suivi une formation de plusieurs mois au CNET Lannion, pour apprendre à dépanner l'ionosonde de la station de Korhogo.

III.2. Formation de Chercheurs

Dans la cadre du projet AIEE, le Ministère des Affaires étrangères a financé une opération CAMPUS, entre l'université de Paris XI Orsay et l'Université d'Abidjan, dont l'objectif premier a été la formation d'une équipe scientifique en Côte d'Ivoire. Une partie des financements a été utilisée pour initier l'installation d'un observatoire à Korhogo, observatoire indispensable pour la constitution de l'équipe scientifique de Korhogo. En effet dans une région avec peu d'observations, l'accès à des données nouvelles favorise le bon développement d'un projet scientifique, car il offre la possibilité à des jeunes chercheurs de publier et de se faire connaître internationalement.

Sept thèses ont été passées de 1995 à 2001, dont une thèse d'Etat. Les pays concernés sont le Sénégal (1 thèse), la France (2 thèses), et la Côte d'Ivoire (4 thèses). La table III.a récapitule les sujets abordés par ces thèses. La table III.B récapitule les thèses en cours.

L'*annexe D* rassemble la liste de tous les stages effectués dans le cadre du projet : stages de maîtrise de DEA, de thèses ou autres.

Une première école de formation en géophysique a été faite pour les jeunes chercheurs du projet à Paris au mois d'avril et mai 1992. Au cours de cette école un enseignement de base en géophysique interne et externe a été transmis par les chercheurs des différents laboratoires impliqués dans le projet.

A la fin du projet une deuxième école de géophysique, pour la région Afrique de l'Ouest, a eu lieu à Abidjan du 14 au 26 octobre 1995. Les cours de cette école sont donnés dans l'*annexe D*. Cela a permis de recruter des étudiants de deuxième génération et de les inclure dans le groupe GIRGEA.

TABLE III.a : Doctorats soutenus dans le cadre du projet

Nom de l'impétrant	Titre	Date Université
SAMBOU Ephrem Thèse de 3ème cycle	Contribution à l'Etude de l'Ionosphère équatoriale : Variation du maximum d'ionisation de la région F2 en fonction des processus électrodynamiques agissant à grande échelle	Dakar, Sénégal 19 mars 1993
DOUMOUYA Vafi Thèse de 3ème cycle	Etude des effets magnétiques de l'Electrojet équatorial: variabilité saisonnières et réduction des mesures satellitaires.	Abidjan, Côte d'Ivoire octobre 1995
CECILE Jean-François Thèse d'Université	Etude théorique par radar HF des irrégularités de l'ionosphère : F diffus équatorial et effet des éclairs	Toulon France 21 avril 1997
OBROU Olivier Thèse de 3ème cycle	L'Electrojet équatorial : étude faite à l'aide du model physique local de Richmond, analyse comparative avec les observations	Abidjan, Côte d'Ivoire 11 décembre 1997
SOW Mamadou Thèse de 3ème cycle	Contribution à l'étude des irrégularités de l'ionosphère équatoriale et des champs électriques ionosphériques pendant le jour en Afrique de l'Ouest	Abidjan, Côte d'Ivoire 13 novembre 1999
FARGES Thomas Thèse d'Université	Traitement et analyse de données de systèmes radar HF : Etude des perturbations ionosphériques détectées à l'équateur magnétique avec les radar du LDG et à moyenne latitude avec le réseau de Francourville.	Paris, France 6 mars 2000
KOBEA Arsène Doctorat d'Etat	L'Electrojet Equatorial, partie du circuit électrique global : dynamo régulière et la pénétration du champ électrique de convection	Abidjan Côte d'Ivoire 31 mars 2001

TABLE III.b : Doctorats en cours actuellement

Nom de l'impétrant	Titre	Date Université
HOUNGNINOU Etienne Thèse d 'Etat	Etude de la Dynamique et des perturbations de l'Ionosphère Equatoriale	Abidjan- Côte d'Ivoire soutenance 1er semestre 2003
BOKA Kouadio Thèse d'Université	Etude des champs électriques telluriques : analyse morphologique	Abidjan-Côte d'Ivoire soutenance 1er semestre 2003
GUISSO Etienne Thèse d'Etat	Modélisation	Abidjan Côte d'Ivoire
KOMENAN Zaka Thèse d'Université	Etude de la Dynamo Ionosphérique perturbée	Abidjan, Côte d'Ivoire
MOKASSA Bernardin Thèse d'Université	Etude des courants électriques méridionaux	Abidjan, Côte d'Ivoire

De nombreux autres stages ont été suivis dans le cadre de maîtrise de DEA suivis, de thèses passées ou en cours ou pour acquérir certaines formations. Tous ces stages et séjours dans les laboratoires sont indiqués dans l'*annexe B*

IV. Résultats scientifiques du projet AIEE

Dans ce chapitre, nous ne donnerons pas l'ensemble des résultats obtenus qui ont fait l'objet de nombreux articles scientifiques (voir volume 2), nous mettrons en avant certains résultats, les plus représentatifs du projet AIEE.

IV.1 Champ magnétique terrestre, V. Doumouya et al. (2002)

L'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial a permis de modéliser à l'échelle planétaire l'Electrojet Equatorial, à partir de données magnétiques obtenues dans les 3 secteurs de longitude (Asie, Afrique, Amériques). La Figure 2 représente les composantes H et Z du modèle d'électrojet.

Ce modèle est issu de l'inversion de données magnétiques obtenues dans la zone équatoriale . L'électrojet équatorial est considéré comme un ruban de courant circulant le long de l'équateur magnétique induisant les variations magnétiques observées. Ce résultat est une première, il permet de paramétrer les variations longitudinales de l'électrojet équatorial. Ce résultat remet en cause toutes les modélisations basées sur l'équivalence longitude/ temps local.

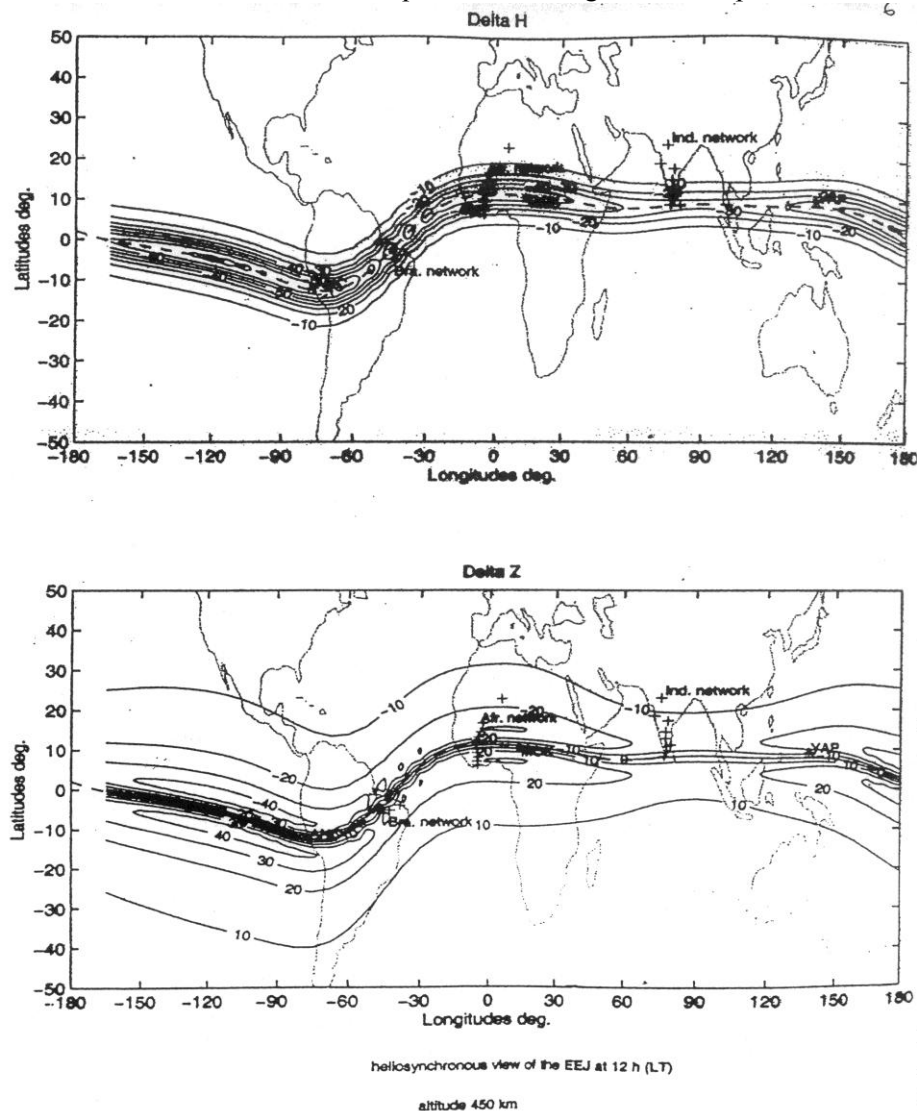


Figure 2 : Modèle de l'Electrojet équatorial

IV.2. Electrodynamique et Dynamique Ionosphérique, Kobéa et al. (2000)

L'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial a permis d'avancer dans la connaissance du couplage électrodynamique entre les hautes et basses latitudes.

La Figure 3 présente la variation latitudinale de la perturbation magnétique engendrée par la pénétration du champ électrique de convection magnétosphérique. Cette perturbation décroît avec la latitude jusqu'aux latitudes de 35° (latitude du foyer du système Sq), puis croît à nouveau. Cette croissance est due aux conductivités accrues dans l'Electrojet Equatorial..

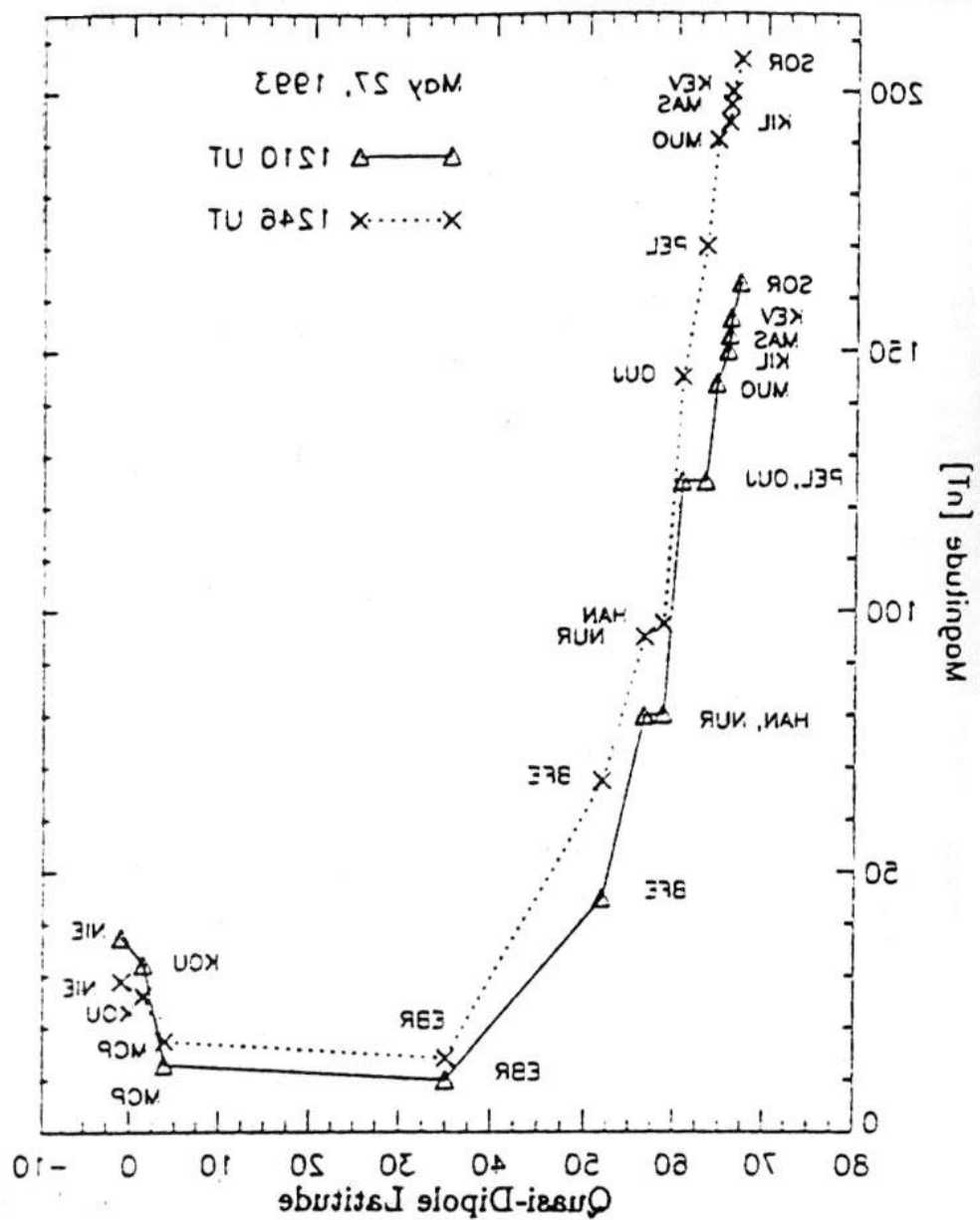


Figure 3 : Profile latitudinal de la perturbation de la composante H du Champ magnétique Terrestre , générée par la pénétration du Champ électrique de convection magnétosphérique

La Figure 4 présente les cartes du potentiel électrique obtenues durant un évènement de pénétration du champ électrique de la convection magnéto-sphérique. Ces cartes sont établies à partir de mesures expérimentales (magnétiques, électriques, dynamiques etc..) assimilées par le logiciel AMI (Richmond et Kamide, 1988). Kobéa et al., ont montré que le champ électrique de convection pouvait être observé durant des périodes de quelques heures à l'équateur, temps très supérieur à la constante d'écran de 30 minutes (constante d'écran : temps de mise en place des charges électriques pour minimiser la pénétration du champ électrique) . Ce fait a été expliqué par la distribution des courants alignés en zone aurorale (courants alignés : courants circulant le long des lignes du champ magnétique, qui plongent dans l'ionosphère aurorale).

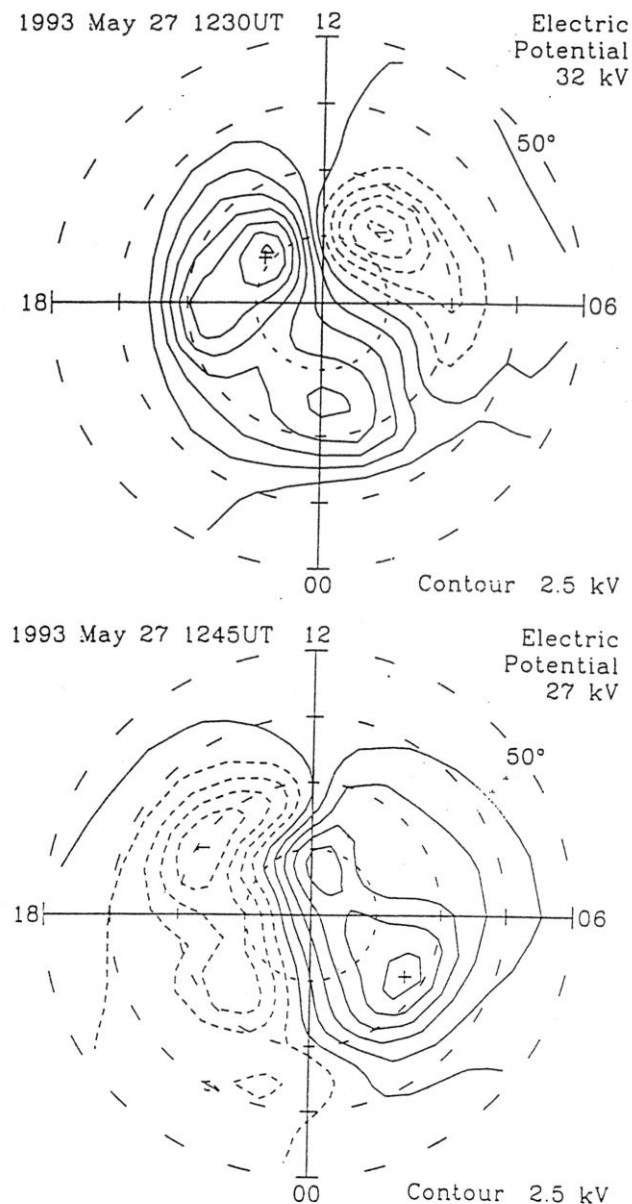


Figure 4 : Cartes de potentiels électriques

IV.3 Les Potentiels telluriques Vassal et al. (1998)

La Figure 5 illustre la présence d'une variation diurne sur les variations de potentiels telluriques enregistrées aux stations que nous avons installées en Afrique durant l'AIEE. Ce résultat confirme les quelques observations déjà publiées en ce qui concerne cette variation diurne.

Cette figure montre cependant que la variabilité jour-à-jour de la variation diurne observée sur les potentiels telluriques n'est absolument pas corrélée à celle observée sur le champ magnétique. Il en est de même pour les variations de son intensité le long du profil.

Ces observations montrent que la variation diurne des potentiels telluriques n'est pas induite par le champ magnétique associé à l'électrojet équatorial, et décrit par Doumouya et al. (paragraphe IV.1). Elles correspondent donc à une autre source ionosphérique, présente aux latitudes équatoriales, et dont la signature magnétique est trop faible pour être séparée de celle de l'électrojet équatorial.

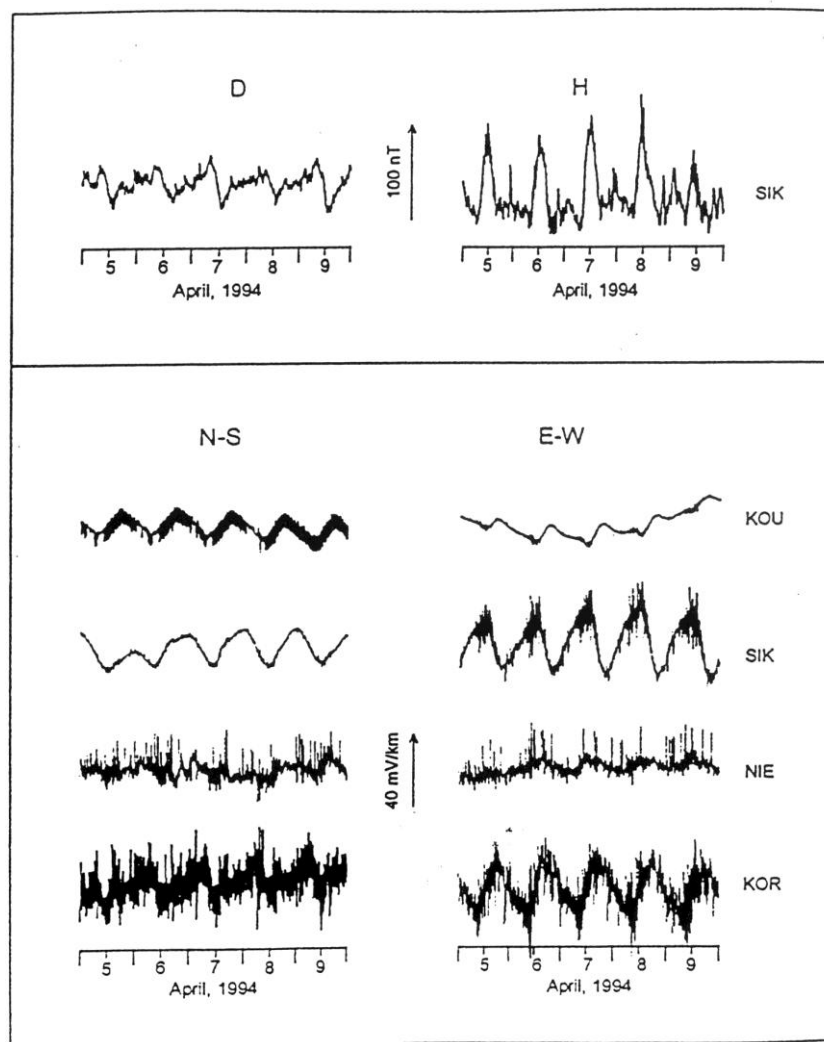


Figure 5 : Observations des composantes D et H du champ magnétique terrestre (courbes en haut de la figure) et des variations des potentiels telluriques enregistrées dans le réseau de stations de l'AIEE, durant la période du 14 au 18 janvier au 1993.

IV. 4 Ionisation et Instabilités, Blanc et al. (1996)

L'un des résultats les plus importants, obtenu par le radar LDG du CEA porte sur des instabilités de plasma qui ont été observées en région F de jour, dans une gamme d'altitude très importante s'étendant de 100 à 400 km, alors que les modèles prédisaient

leur présence seulement dans une gamme d'altitude plus étroite de 100 à 110 km, là où le courant électrique 'Electrojet équatorial' est le plus intense.

La Figure 6 représente un exemple d'irrégularités d'ionisation observées par le radar du LDG (partie droite de la Figure) en région E et F1 de 90 à 150 km et à environ 250 km en région F. Ces irrégularités sont alignées sur le champ magnétique comme le montrent les mesures d'écholocalisation représentées sur la partie gauche de la figure. Les irrégularités de région F apparaissent lorsque les irrégularités de type II reliées à des instabilités de type "gradient drift" sont également observées dans la gamme d'altitude de 100 à 110 km. L'ensemble des mesures fournies par le radar (Doppler, échos, écholocalisation sur 4 fréquences) a permis de démontrer que ces irrégularités se produisent au voisinage du niveau de réflexion des ondes radio de sondage.

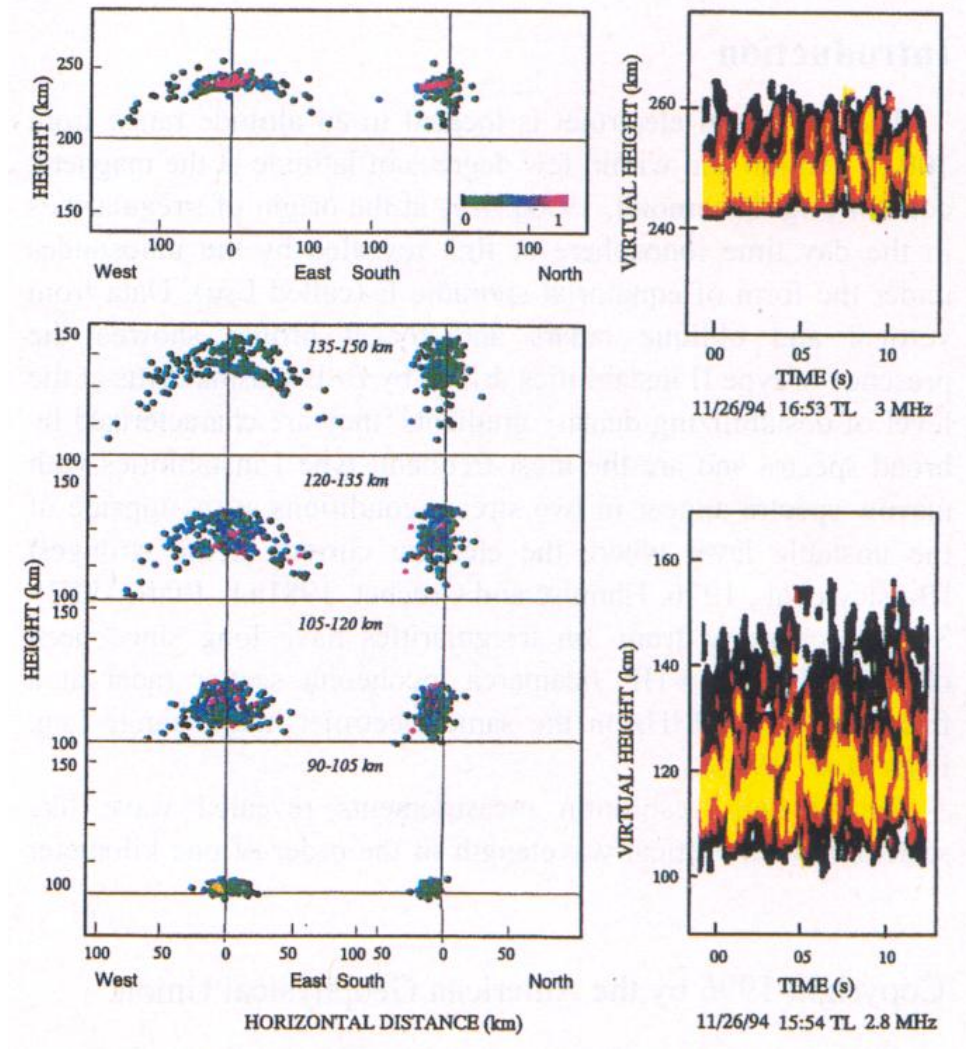


Figure 6 : Cartes d'écholocalisation dans les régions E et F
Les réflexions arrivent des directions Est et Ouest dans les 2 régions

IV.5. Propagation des ondes radio, Farges et al.

La figure 7 présente des spectres doppler en fonction de l'altitude obtenus avec le radar HF du CEA, pour différentes fréquences de sondage.

Les scintillations mesurées pour les propagations radio transionosphériques perturbent les transmissions satellitaires. Les mesures réalisées avec le radar HF du CEA/ LDG montrent l'existence de fortes perturbations au niveau de l'électrojet (région E - 100-150 km) dues à deux types d'instabilité (double faisceau et dérive de gradient), connues depuis très longtemps, mais aussi dans la région F (altitudes supérieures à 150 km), à

différents altitudes pendant le jour (figure 7), ce qui n'avait pas été identifié jusqu'à présent.

Les irrégularités dans la région F ont le même spectre que celui du à l'instabilité de dérive de gradient au niveau de l'électrojet, A droite de la figure 7, deux spectres obtenus en région E et en région F sont superposés.

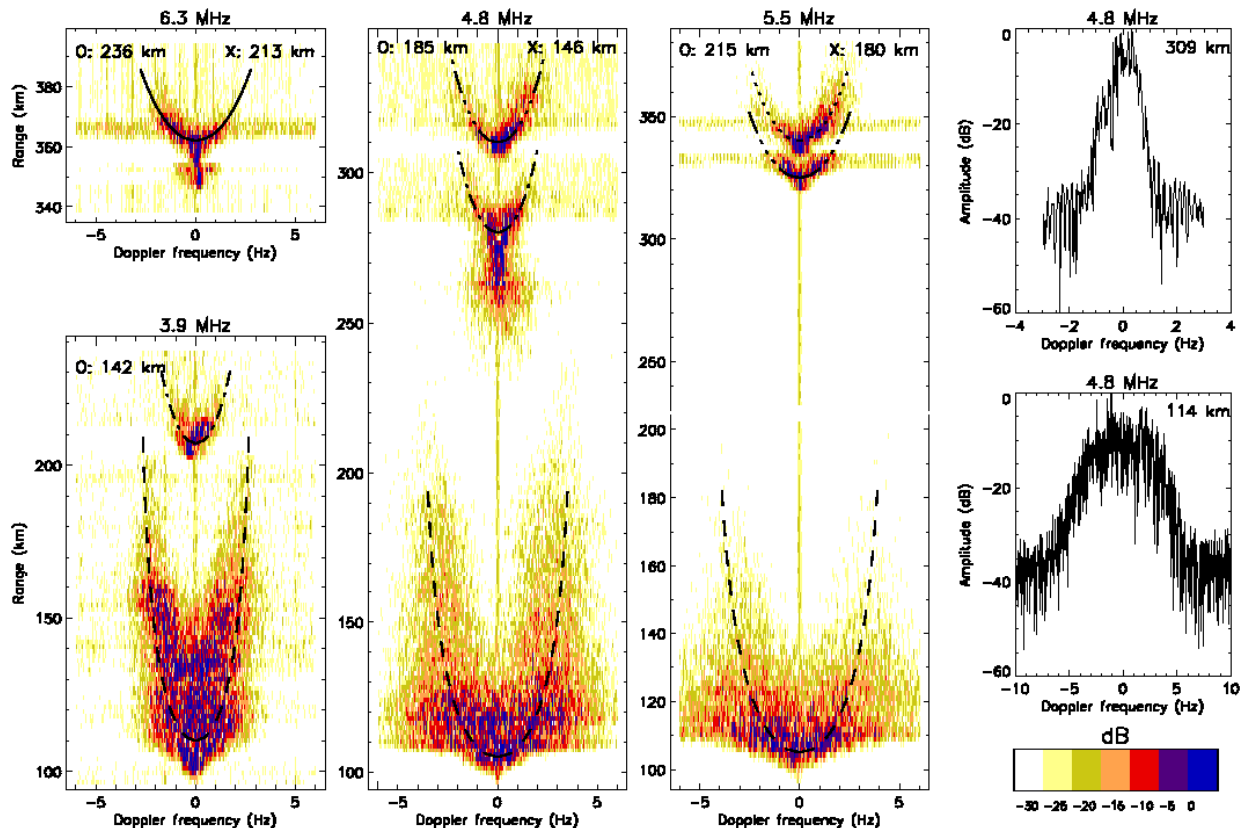


Figure 7 : Spectre de l'intensité du Doppler en fonction de l'altitude. La forme en U est typique des réflexions obliques en région E et région F. Deux exemples de puissance spectrale du Doppler en région E, à 114 km et en région F à 309 km

IV.6 Autres résultats scientifiques

De nombreux résultats scientifiques ont été obtenus par le GIRGEA dans le cadre du projet AIEE et dans le cadre d'autres projets. Ces résultats concernent des sujets très variés tels que les fulgurations solaires, l'activité solaire, les variations climatiques etc....

Les abstracts concernant ces travaux sont dans le volume N°2.

Tous les résultats de l'AIEE ont été répertoriés dans un rapport qui sera publié dans une issue spéciale du JASTP : " On Equatorial Geophysics Studies : A Report on the IGRGEA Results during the Last Decade", Amory et al. .

V. Perspectives

Le GIRGEA en Afrique concerne désormais non seulement la Côte d'Ivoire et le Sénégal, mais aussi le Burkina Faso, la République Centre-Afrique, le Nigéria et le Bénin.

V.1. Participation aux programmes internationaux

Les travaux du **GIRGEA** s'inscrivent dans le cadre des grands projets internationaux et pour la prochaine décennie, dans le cadre du projet **CAWSES : Climate and Weather in the Sun Earth System**. Ces travaux s'attacheront à développer des études sur de longues périodes d'observations (plusieurs cycles solaires) en rapprochant des données géophysiques variées afin de définir les liens entre différents processus physiques opérant dans le système Soleil Terre et les variabilités des paramètres géophysiques.

V. 2 Mesures des radars HF en Afrique

Dans le cadre du projet Année Internationale de l'Electrojet Equatorial, deux radars HF ont été envoyés en Afrique :

Radar STUDIO du LETTI à Korhogo en Côte d'Ivoire,

Radar SCIPION du CNET à Dakar au Sénégal,

Nous devons au cours des prochaines années développer les sondages mesures ionosphériques avec ces deux instruments.

V.3 Projet Vietnam : Groupe International de Géophysique Europe Asie

Une antenne du GIRGEA va être développée au Vietnam sous la direction du Dr Le Huy Minh. Elle développera des études géophysiques intégrées dans le système Soleil-Terre incluant des études sur le champ magnétique, l'ionosphère, le climat, la foudre etc Le laboratoire vietnamien coordonnant le projet est l' Institut de Géophysique de Hanoï. Le projet de recherche sera présenté lors de l'Assemblée du IAGA/ IUGG de Sapporo en 2003, dans la session 7. 1 de l'ICDC : Interdivisionnal Committee for Developing Countries.

Annexe A : HISTORIQUE

PROJET AIEE GIRGEA Année Internationale de l'Electrojet Equatorial Groupe International de Recherche en Géophysique Europe Afrique Grandes étapes

Année 1990

- Septembre 1990 :
Mise en place du comité national AIEE
recherche des crédits

Année 1991

- Juillet 1991 :
 - Mission exploratoire à Abidjan
- Septembre 1991 :
 - Demande d'opération CAMPUS : 1 MF obtenu

Année 1992 :

- 1er semestre 1992
 - construction de la composante Z
 - achat de l'ionosonde
- 2 ème semestre 1992 :
 - mise en place de l'ionosonde à Korhogo
 - mise en place de la chaine magnéto Tellurique
 - Avril-mai
- 6 semaines de formation en France pour 5 étudiants de Côte d'Ivoire

DE NOVEMBRE 1992 A NOVEMBRE 1994 :

Expérience Terrain

Année 1993 :

- Organisation de la session 7.1 ICDC (Interdivisionnal Commission for Developing Countries) du IAGA (International Association for Geomagnetism and Aeronomy) à Buenos Aires en Argentine
- Premier article organisation du projet paru dans une revue Brésilienne
- expérience terrain

Année 1994 :

- Début des mesures de l'Interféromètre de UCL
- fin de l'expérience terrain AIEE

Année 1995 :

- Création du GIRGEA
- Ecole de géophysique à Abidjan

- crédit (2MF) pour le radar du LETTI
- Résolution du IAGA pour encourager les études
- Organisation de la session 7.1 de l'ICDC au IAGA session à Boulder

Année 1996 :

Mise en place d'une station magnétique (ORSTOM)

- dépouillement et analyse des données
- financement de l'ionosonde SCIPION -> (350 KF pour le Sénégal du Ministère de la coopération, département télécommunications), campagne de mesures à Dakar
- catalogue de la base de données internationale AIEE (3 secteurs de longitude)

Année 1997

- thèse de J-F. Cécile, le 21 avril 1997 à Toulon (France)
- prix de l'excellence remis à l'équipe GIRGEA d'Abidjan en août 1997
- Journées Ivoiriennes de Physique du 3 au 5 décembre 1997
- thèse de O. Obrou, Université d'Abidjan, le 11 décembre 1997
- organisation de la session 7.1 du IAGA, Uppsala, Suède par A. Onwumechili (Nigéria) et C. Amory-Mazaudier (GIRGEA France)

Année 1998

- articles dans une issue spéciale de Annales Geophysicae
- mise en place d'un réseau de 3 magnétomètres pour accompagner le satellite OERSTED
- travaux de thèses (7 thèses en cours)

Année 1999

- envoi du radar du LETTI à Korhogo
- thèse de 3ème cycle de M. Sow le 13 novembre
- thèse de Thomas Farges (Prix) ?
- lancement du satellite OERSTED
- mise en place du radar SCIPION
- organisation session 7.1 du IAGA à Birmingham par M. Barreto (Brésil) et V. Doumouya (GIRGEA Côte d'Ivoire)
- participation à l'atelier de travail du projet EPIC (Equatorial Processes Including Coupling) de A. Kobéa (GIRGEA Côte d'Ivoire).

Année 2000

- travaux de recherches

Année 2001

- Thèse d'Etat de A. Kobéa Toka, le 31 mars

Année 2002

- Préparation issue spéciale JASTP
- Thèses à passer
 - Etienne Houngninou -> thèse d'Etat
 - Kouadio Boka -> thèse d'Université
- Deux GIRGEA : GIRGE- Afrique -> GIRGE- Asie

ANNEXE B
PARTICIPANTS A LA BASE DE DONNEES
Fournisseurs de données, utilisateurs et coordinateurs (*)

Abdu M. A. (Brésil)*
Abtout A. (Algérie)
Amory-Mazaudier C. (France)*
Arora B. R. (Inde)*
Batista I. (Brésil)
Blanc E. (France)
Boka K. (Côte d'Ivoire)
Bouvet J. (France)*
Cohen Y. (France)
Chong C. (Chine)
Curto J-J. (Espagne)
Dai K. (Chine)
Doumouya V. (Côte d'Ivoire)
Dutra S. L. G. (Brésil)
Fambitakoye O. (Côte d'Ivoire)
Ferreira J. T. (Brésil)
Hanbaba R. (France)
Hougninou B. E. (Côte d'Ivoire)
Ishitsuka K. (Pérou)
Kakou K. (Côte d'Ivoire)
Kitamura T. (Japon)
Kobéa A.T. (Côte d'Ivoire)
Lassudrie-Duchesne P. (France)
LI A. (Chine)
Marques das Costa J. (Brésil)
Menvielle M. (France)
Ogunade S. (Nigeria)
Onwumechili C. A. (Nigéria)
Padilha A. L. (Brésil)
Rees D. (Angleterre)
Richmond A. (U. S. A.)*
Sambou E. (Sénégal)
Sastri J. H. (Inde)
Shen C. S. (Chine)
Somayajulu V.V. (Inde)
Stening R. J. (Australie)
Tachihara H. (Japon)
Takahashi H. (Brésil)
Trivedi N. B. (Brésil)
Vassal J. (Sénégal)
Veliz Castillo O.A. (Pérou)
Vila P. (France)
Woodman R. F. (Pérou)
Wu J. (Chine)
Xi D. (Chine)
Zi M.Y. (Chine)

Station de mesures ionosphériques de Korhogo. Site Electrojet.



1) Situation géographique

2) Contexte scientifique.

3) Les Instruments du site de Korhogo.

3-1) L'ionosonde.

3-2) L'interféromètre Fabry-Perot.

3-3) Réseau de stations magnétiques.

3-4) Le sondeur à rétrodiffusion STUDIO 4

5) Organisation de la station.

6) Contacts et liens.

[Page suivante](#) | [Sommaire](#) | [Contacts et liens.](#)

eric_menu@hotmail.com



ANNEXE D :
Stages et séjours dans les Laboratoires pour formation

Nombre de stages par pays

7 pays d'accueil	Allemagne	Angleterre	Côte d'Ivoire	France	Italie	Nigéria	USA
nombre de stages : 62	1	4	1	47	4	2	3

Nombre de stages par laboratoire

Laboratoire	Nombre de stages
Centre d'étude des Environnements Terrestre et Planétaire/ Saint-Maur	16
Centre National d'Etude des Télécommunications/ Lannion	9
Institut de Physique du Globe de Paris/ Pole Spatial / Saint-Maur	8
Laboratoire de Détection Géophysique/ CEA-Bruyères	6
Université Paris Orsay	5
University College of London/ England	4
ICTP/ Trieste/ Italie	4
NASA/ Washington-USA	2
Institut de Recherche et de Développement (ORSTOM)/ Bondy	2
Observatoire d'Ilorin/ Nigéria	2
Conservatoire National des Arts et Métiers / Paris	1
National Center for Atmospheric Research/ Boulder-USA	1
LMI-Allemagne	1
Obsdervatoire de Korhogo / Côte d'Ivoire	1
total	62

Détail des séjours

Nom Institut	Période Institut	Année
AKACEM N. Obs. de Tamanrasset Algérie	2 Septembre au 10 Octobre Centre CNET/ LAB/ PTI Lannion	1991
SAMBOU E. Université de Dakar Sénégal	6 avril au 15 mai Centre CNET/ LAB/ PTI Lannion	1992
KONE E. Observatoire de Korhogo Côte d'Ivoire	6 avril au 5 mai Centre CNET/ LAB/ PTI Lannion IPGPS/ Paris	1992
BOKA K. KOBÉ A. HOUNGNINO E. DOUMOUYA V. KAKOU K. Université d'Abidjan Côte d'Ivoire	14 avril au 24 mai CETP/ Saint-Maur CETP/ Saint-Maur LDG-CEA IPGP-Saint-Maur LETTI-Université Paris X	1992 Campus
JULLIEN F. ENST-Paris	Angleterre -> 2 semaines CETP/ Saint-Maur-> 1 semaine Obs. Korhogo -> 3 mois	1992
MENVIELLE M. Université Paris XI	7 au 13 février Université d'Abidjan - Côte d'Ivoire	1993

HOUNGNINOUE. Université d'Abidjan Côte d'Ivoire	23 août au 23 octobre LDG/ CEA	1993
DOUMOUYA V. KOBÉA A.T. BOKA K. Université d'Abidjan Côte d'Ivoire	3 janvier au 16 janvier IPGPS/ Paris CETP/ Saint-Maur Université Paris XI	1993
NDIATH A.S. Observatoire de M'Bour Sénégal	Septembre et Octobre IRSTOM-IRD	1993
COHEN Y. IPG Paris	11 novembre au 19 novembre Université d'Abidjan / Côte d'Ivoire	1993
BARRY B. Université de Dakar Sénégal	25 octobre au 25 novembre CNET/ Lannion	1993
UNGURAN D. ENST Paris VSN Korhogo (C-I)	quelques jours à UCL/ Angleterre avec D. Rees	1993
BOKA K. DOUMOUYA V. KOBÉA A.T. Université d'Abidjan C-I	3 au 16 janvier IPGPS/ Paris	1994
DO Michel étudiant Maitrise Paris VI	Juillet Août CETP/ Saint-Maur	1994
KOBÉA A.T. Université d'Abidjan C-I	7 juin au 15 septembre CNET-Lannion	1994
DOUMOUYA V. Université d'Abidjan C-I	3 mai - 12 juillet IPGP	1994
BOKA K. Université d'Abidjan C-I	7 juin au 15 septembre Université - Paris XI Sud	1994
SAMBOU E. UCAD Dakar, Sénégal	29 août au 26 novembre CETP / Saint-Maur et CNET-Lannion	1994
KAKOU K.	7 novembre au 7 décembre Université paris Sud LETTI	1994
AMORY-MAZAUDIER C. CETP	30 novembre au 11 décembre Université d'Abidjan C-I	1994
DOUMOUYA V. Université d'Abidjan C-I	17 juillet-17 août IPGP S/ Paris	1995
E. HOUNGNINOUE Université d'Abidjan C-I	10 août au 10 octobre LDG/ DASE/ CEA	1995
BARRY B. UCAD Dakar Sénégal	novembre CNET / Lannion	1995
VILA P. et MERRIEN P. CETP VSN (Korhogo - CI)	22 au 27 avril UCL-Angleterre D. Rees	1996
GUISO E. Université d'Abidjan (C-I)	26 mai au 26 juin Université Paris XI -Orsay	1996
SAMBOU E. UCAD Dakar, Sénégal	25 août au 15 novembre CETP/ Saint-Maur et CNET/ Lannion	1996
KOBÉA A.T. Université d'Abidjan (C-I)	14 avril - 12 juillet LIM Leipzig puis quelques jours au CETP/ Saint-Maur	1997
KOBÉA A.T. Université d'Abidjan (C-I)	9 mois NCAR-Boulder Colorado, USA	1997
SOW M. Université d'Abidjan (C-I)	12 janvier au 12 avril LDG/ DASE/ CEA	1998
BARRY B. UCAD Dakar Sénégal	25 septembre au 10 octobre CNET / Lannion	1998
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	12 janvier au 30 janvier ICTP/ Trieste	1998
ADOHI J-P. Université d'Abidjan (C-I)	Juillet-août polycnrs de Grenoble fin juillet voyage à UCL/ Angleterre, D. Rees	1998
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	mai ICTP- A&RL/ Trieste	1998

SAMBOU E. UCAD Dakar, Sénégal	14 septembre au 14 décembre CETP / Saint-Maur	1998
E. HOUNGNINO Université d'Abidjan C-I	septembre et novembre LDG/ DASE/ CEA	1998
BOKA K. Université d'Abidjan (C-I)	janvier à mars CETP/ Saint-Maur	1999
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	décembre- janvier ICTP/ Trieste	1999
DOUMOUYA V. Université d'Abidjan (C-I)	12 juillet au 12 octobre CETP/ Saint-Maur	1999
SAMBOU E. UCAD Dakar, Sénégal	septembre-novembre CETP / Saint-Maur	1999
AMORY-MAZAUDIER C. CETP/ Saint-Maur	7 au 15 novembre Université d'Abidjan Thèse de 3ème cycle de SOW M.	1999
SOW M. Université d'Abidjan (C-I)	17 janvier au 17 mai LDG/ DASE/ CEA Stage Langage C - CNRS DESS informatique -> CNAM / Paris	2000
BOKA K. Université d'Abidjan (C-I)	17 avril au 16 juillet IRD / Bondy CETP/ Saint-Maur	2000
DOUMOUYA V. Université d'Abidjan (C-I)	15 juin au 15 septembre IPGPS/ Saint-Maur	2000
GUISO E. Université d'Abidjan (C-I)	14 septembre au 14 décembre CETP/ Saint-Maur	2000
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	Washington NSF -> Dieter Bilitza	2000
BOKA K. Université d'Abidjan (C-I)	16 janvier au 16 avril IRD/ Bondy, CETP/ Saint-Maur	2001
AMORY-MAZAUDIER C. CETP/ Saint-Maur	25 mars au 4 avril Université d'Abidjan Thèse de doctorat d'Etat de KOBIA A.T. le 31 mars	2001
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	1er juin au 15 juillet Washington -> NASA -> Dieter Bilitza	2001
KOBIA A.T OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	10 septembre au 5 octobre ICTP / Trieste	2001
OBROU O. KONE A. Université d'Abidjan (C-I)	3 au 7 septembre Université d'Ilorin Nigéria	2001
SAMBOU E. UCAD Dakar, Sénégal	septembre-décembre CETP / Saint-Maur	2001
GUISO E. Université d'Abidjan	septembre - décembre CETP/ Saint-Maur	2001
KOUAME K. Université d'Abidjan (C-I)	15 janvier au 15 février CNAM/ Paris	2002
OBROU O. KONE A. Université d'Abidjan (C-I)	10 au 15 septembre Université d'Ilorin Nigéria	2002
DOUMOUYA V. Université d'Abidjan (C-I)	septembre-décembre 2002 IPGPS/ Saint-Maur	2002

ANNEXE E

ECOLE DE GEOPHYSIQUE

ABIDJAN

Côte d'Ivoire

16 au 26 OCTOBRE 1995

projet :

AIEE

Année Internationale de l'Electrojet Equatorial

GIRGEA

Groupe International de Recherche en Géophysique Europe Afrique

SOMMAIRE

ELECTROMAGNETISME TERRESTRE

Electromagnétisme / Fondamental et applications à l'environnement terrestre

M. Menvielle

Morphologie de la variation journalière dans la région de l'électrojet équatorial : contexte global

O. Fambitakoye

Présentation de l'expérience d'enregistrement magnétiques et telluriques de l'Année Internationale de l'Electrojet Equatorial

J. Vassal

TELECOMMUNICATIONS/ HF

Les prévisions de propagation des ondes radio-électriques

R. Hanbaba

ELECTRODYNAMIQUE/IONOSPHERE/ MAGNETOSPHERE ionosphère équatoriale-instrumentation

Ionosphère-Magnétosphère / Morphologie générale -équations de base-histoire

C. Amory-Mazaudier

Ionosphère / Electrodynamique et modélisation

A. Richmond

L'ionosphère et ses perturbations / Technologie de mesure

E. Blanc

Région F équatoriale

P. Vila

PRESENTATION DES STAGIAIRES /AIEE

Le champ magnétique équatorial

V. Doumouya

Analyse des données telluriques

B. Boka

L'électrojet équatorial partie d'un circuit global

A.T. Kobéa

La région F équatoriale/ les mesures de radar HF

E. Houngninou

ATELIERS

Electromagnétisme

M. Menvielle, J. Vassal

Administration

C. Amory-Mazaudier

Systèmes d'information

C. Amory-Mazaudier

Ionogrammes

P. Vila

MAGNETISME-FONDAMENTAL
M. MENVIELLE
Université PARIS SUD-ORSAY

I. Le Champ Magnétique des planètes

1. Techniques d'observation

- stations fixes au sol -observatoires
- magnétomètres à bord d'aéronefs
- magnétomètres à bord de satellites

2. Variations temporelles : cas de la terre

- largeur du spectre
- pulsations
- orages magnétiques
- variation diurne
- variation séculaire et sauts
- inversion du champ

3. Variations spatiales : cas de la terre

- champ principal
- anomalies grande longueur d'onde
- anomalies ballon
- levées aéromagnétiques

4. Les sources du champ magnétique terrestre

- sources primaires
 - dynamo interne
- sources externes
- sources secondaires
 - aimantation des roches
 - induction électromagnétique

5. Le champ des autres planète

- champ principal
- anomalies
- variations transitoires

II. Caractérisation du champ d'origine externe : indices d'activités magnétique

1. La notion d'indices magnétiques

2. les méthodes de calcul

- la quantité mesurée
- l'intervalle de temps
- le réseau de stations
- la méthode de calcul

3. L'indice AE

4. L'indice DST

5. L'indice K et les indices planétaires dérivés

- l'indice K
- l'indice Kp
- l'indice am
- l'indice aa
- discussion

III. Le Champ électromagnétique

1. Champ scalaire-champ vectoriel

- gradient d'un champ scalaire
- flux d'un champ vecteur et divergence
- circulation d'un champ de vecteur rotationnel

2. Lois fondamentales de l'électromagnétisme

- électrostatique
- magnétostatique
- théorème d'Ampère
- loi de Laplace

3. Courants de conduction-courants de déplacement

- 4. Equations de Maxwell**
- 5. Approximations des états quasi-stationnaires**
- 6. Conditions de continuités**
- 7. Potentiels électromagnétiques**

- potentiels scalaire et vecteur
- potentiels poloïdal et toroïdal

IV. Carthographie magnétique

1. Description du champ magnétique à l'extérieur des sources

- équations de la magnétostatique
- cas plan
- cas sphérique : harmoniques sphériques

2. Les anomalies et leur traitement

- le champ d'anomalie
- l'opérateur de prolongement

3. Réalisation d'un levé

- grille de mesure
- réduction de mesures

4. Exemples de levés

- levé satellite
- levé ballon
- levé aéromagnétique

V. Sondages électromagnétiques : méthodes naturelle et provoquées

1. Notion de sondage fréquentiel

- induction dans un demi espace homogène
- effet d'un corps hétérogène
- tenseur d'impédance et flèche d'induction

2. Le sondage géomagnétique

- sondage géomagnétique profond
- sondage géomagnétique différentiel

3. La MT

- cas tabulaire
- cas de structures horizontales allongées
- cas de structures de géométrie quelconque

4. Exemples de méthode provoquée

- dipole magnétique
- dipole électrique

VI. Induction sous l'électrojet

1. Les termes sources de l'équation d'induction

2. Cas des orages

- durant la journée
- durant la nuit

3. Cas de la variation diurne

MORPHOLOGIE DE LA VARIATION JOURNALIERE DANS LA REGION DE L'ELECTROJET EQUATORIAL : CONTEXTE GLOBAL

**O. FAMBITAKOYE
ORSTOM**

I. Le Champ magnétique terrestre : généralités

II. Les sources du champ magnétique

1. sources internes (variations séculaires)
2. sources externes (variations transitoires)

III. Variations transitoires

1. représentation géométrique du champ et éléments de mesures
2. les observatoires mondiaux et magnétogrammes dits normaux
3. observations visuelles (échelle locale, échelle planétaire)

IV. Définition des variations S_q , S_R et systèmes de courants équivalents

1. cartes mondiales ignorant l'électrojet
2. variations statistiques S_q et systèmes de courant équivalents

V. Electrojet équatorial-contre-électrojet et modèle simple de représentation

1. profil méridien de H à l'aide des données au sol
2. profil méridien de F par satellite polaire à 600 km d'altitude
3. données magnétiques au voisinage de l'équateur magnétique
4. mise en évidence du contre-électrojet
5. modèle simple de représentation des observations en absence et en présence de contre-électrojet

**PRESENTATION DE L'EXPERIENCE D'ENREGISTREMENT MAGNETIQUES ET
TELLURIQUES EFFECTUEE AU MALI ET EN COTE D'IVOIRE PENDANT
L'ANNEE INTERNATIONALE DE L'ELECTROJET EQUATORIAL**

**J. VASSAL
ORSTOM**

I. Projet de l'ORSTOM

II. Choix des sites

III. L'instrumentation

1. les capteurs
2. les acquisitions
3. Alimentation et surveillance

IV. Mise en station

V. Fonctionnement du réseau et problèmes rencontrés

VI. La base de données

PROPAGATION DANS LES MILIEUX IONISES

Amélioration de la qualité de la planification et de fonctionnement des systèmes de télécommunications ionosphériques

R. HANBABA
CNET

1. Caractéristiques de l'ionosphère et propagation
(fréquences supérieures à 1.6 Mhz)
2. Problèmes d'exploitation
3. Facteurs affectant la conception des systèmes
4. Bruit radioélectrique naturel et artificiel

IONOSPHERE-MAGNETOSPHERE
C. AMORY-MAZAUDIER
CETP

I. Généralités : éléments constitutifs, définitions

1. le vent solaire / milieu interplanétaire

2. la magnétosphère

dipole magnétique terrestre

les différentes régions de la magnétosphère

3. l'ionosphère

formation

les différentes couches de l'ionosphère

4. l'atmosphère (basse, moyenne et haute atmosphère)

les différentes couches de l'atmosphère

5. Relations soleil-terre / courants électriques et perturbations magnétiques associées

courants dans la magnétosphère

courants sur la magnétopause (DCF)

courant annulaire (DR)

courant dans la queue de la magnétosphère (DT)

courants ionosphériques

électrojets auroraux (DP)

électrojet équatorial

courant Sq

courants ionosphériques perturbés (DP)

courants alignés

II. Equations de base générale pour le plasma ionosphérique

1. équation de continuité

2. équation de mouvement

équilibre hydrostatique

équation de diffusion

équation dynamo

3. équation d'énergie

III. La variabilité jour à jour du SR : les processus physiques

1. Source rayonnement

variabilité des paramètres ionosphériques

2. Source vent solaire

convection magnétosphérique

dynamo ionosphérique perturbée

IV. La diffusion incohérente / résultats acquis durant 20 ans

1. Technique

2. Résultats concernant l'atmosphère

température, composition

mouvements

fréquence de collisions

etc...

3. Résultats concernant l'électrodynamique

densités électroniques

champs électriques ionosphériques

courants électriques ionosphériques

V. Historique des recherches sur les courants électrique ionosphériques

IONOSPHERE : ELECTRODYNAMIQUE ET MODELISATION
A. RICHMOND
NCAR

I. Les conductivités de l'ionosphère

1. densités des particules neutres et chargées dans l'ionosphère
2. les forces agissant sur les électrons et ions
3. mouvements des électrons et des ions en présence d'un champ électrique
4. loi d'Ohm : composantes directe, Pedersen et Hall de la conductivité
5. variation des composantes de la conductivité en fonction de l'altitude
6. variation de la conductivité en fonction de l'heure locale, saison et cycle solaire

II. Le mécanisme dynamo ionosphérique

1. équations de Maxwell
2. supposition de champ électrique électrostatique
3. supposition de courant continu
4. champ électrique dans le repère du gaz mouvant
5. génération du champ de polarisation

III. L'électrojet équatorial

1. établissement du champ électrique vertical de polarisation
2. courant électrique de l'électrojet
3. perturbations magnétiques associées à l'électrojet
4. influence des irrégularités de plasma sur le champ de polarisation et sur le courant
5. modèle bidimensionnel d'électrojet
6. influence d'un vent est-ouest constant sur l'électrojet
7. influence d'un vent est-ouest, variable en altitude, sur l'électrojet

IV. le système global des vents thermosphériques

1. variation diurne de la température et de la pression de la thermosphère
2. vent de variation diurne dans la haute thermosphère
3. marée solaire
4. marée lunaire
5. ondes planétaires de deux jours
6. vents perturbés associés à l'activité magnétique

V. La dynamo globale

1. courants S_q , S_R et L
2. champ électrique global associé au S_q
3. variabilité jour à jour
4. modélisation globale
5. couplage avec la magnétosphère

VI. L'utilisation des effets dynamos pour étudier les vents thermosphériques

1. comparaison des résultats de modélisation des observations
2. marées semidiurne solaire dans la thermosphère : structure et variabilité
3. marée lunaire dans la thermosphère : structure et variabilité
4. effets de l'oscillation quasibiennal stratosphérique sur la dynamo ionosphérique
5. effets de l'ondes planétaire bidiurne sur la dynamo ionosphérique
6. effets de la dynamo perturbée

L'IONOSPHERE ET SES PERTURBATIONS TECHNOLOGIE DE MESURE

**E. BLANC
CEA**

I. Technologie de mesure

1. ondes électromagnétiques dans un plasma ionisé

équation d'Appleton Hartree
polarisation, réfraction, réflexion
propagation transionosphérique

2. technologie

sondage HF
ionogrammes
effet Doppler
localisation des perturbations par mesure multifréquentielle
par interférométrie
mesures satellitaires

II. L'ionosphère et les perturbations ionosphériques

1. l'ionosphère

variations diurnes, saisonnières, activité solaire

2. l'atmosphère neutre

structure verticale, ondes dans l'atmosphère
ondes acoustiques, ondes de gravité

3. différents types de perturbations

perturbations météorologiques
perturbations de petite échelle, ondes acoustiques
irrégularités, E sporadique
perturbations de moyenne échelle
ondes de gravité, orages magnétiques

REGION F EQUATORIALE

P. VILA
CNET

I. Définition, limites

1. transport de plasma ionosphérique : dérive en $E \times B / B^2$
2. rôle de la diffusion ambipolaire : schéma de fontaine intertropicale
3. coupes méridiennes : limites de latitude et TL, exemples

II. Découvertes 1955-1975

1. rappel : équations de continuités, électrons , ions
2. régimes des couches F : F1 composition moléculaire, transition des collisions v_{in} avec la structure alignée, géométrie de la diffusion équatoriale,
3. schéma général Rishbeth E-dynamo, F-moteur,
4. modèle de synthèse d'Hanson Moffett, l'aéronomie du plasma dans le référentiel de dérive verticale,
5. entraînement transéquatorial par le vent neutre
6. confinement intertropical par coquilles magnétiques
7. rôle des photoélectrons connectés et conjugués
8. effets généraux des saisons thermosphériques par la composition,
9. perturbations externes : convergence des vents neutres

III. Modèles des processus sources 1975-1990

1. séries du radar à diffusion incohérente de JICAMARCA
2. le projet "Equion" et la campagne condor
3. l'aéronomie détaillée : modèles physico-chimiques de Torr et Torr
4. modèles synthétiques de D.N. Anderson
5. modèle de Fronts de dynamo perturbée
6. modèle de perturbation d'orage par descente d'ions du courant annulaire et de perturbations de la mesosphère conjuguée

IV. Nouvelles approches 1990-1995

1. modèles : vents et marées
2. couplage vents neutres et champ électrique
3. dynamiques liées aux courants parallèles
4. interaction des profils de vent et des contenus de coquilles péri- équatoriales
5. campagnes multi-instruments (WITS, GUARA)
6. couverture globale (TOPEX, UARS)
7. derniers modèles dynamiques avec jet zonal à l'équateur

PROPAGATION DES ONDES DANS L'IONOSPHERE TELECOMMUNICATIONS EN ZONE EQUATORIALE

**C. GOUTELARD
LETTI**

I. Modélisation du canal ionosphérique

1. modèle de canal non stationnaire
2. réponse bitemporelle, fonction de transfert, fonction de diffusion
3. caractérisation statistique

II. Modélisation du bruit et des interférences

1. caractéristiques du premier ordre
2. intérêt de la caractérisation par les ordres supérieurs

III. Systèmes de télécommunications sub-ionosphérique

1. modem, codage
2. logistique des systèmes

IV. Systèmes de télécommunications trans-ionosphérique

1. modem, codage
2. logistique des systèmes

V. Radiolocation

VI. Radiodétection

PRESENTATION DES STAGIAIRES

Le Champ magnétique terrestre

thèse de 3^{ème} cycle, directeur Y. Cohen/ IPGP-CNRS

V. Doumouya

Les mesures telluriques

thèse de 3^{ème} cycle, directeur M. Menvielle / Université Paris Sud

K. Boka

Les mesures du radar HF

thèse d'Etat, directeur E. Blanc / CEA

E. Houngninou

L'électrojet équatorial partie d'un circuit global

thèse d'Etat, directeur C. Amory-Mazaudier / CETP-CNRS

A.T. Kobéa

ATELIERS

Atelier électromagnétisme

analyse des enregistrements magnétiques et telluriques

Atelier administration

organisation du travail personnel

organisation du travail d'une équipe de recherche

Atelier système d'information

notions de base

comment organiser le système d'information d'un projet scientifique

exemples

Ateliers ionogramme

dépouillement des ionogrammes

ECOLE D'ABIDJAN 16 au 26 octobre 1995
avant - projet

Professeur	Discipline	horaire de cours et ateliers divers
C. Amory-Mazaudier	Electrodynamique ionosphère-magnétosphère	4h 30 Ateliers administration et Système d'Information
E. Blanc	Ionosphère équatoriale	4h 30
Y. Cohen	Electromagnétisme terrestre	4h 30
O. Fambitakoye	Electromagnétisme terrestre	1h30
C. Gimenes	Télécommunications	4h30
C. Goutelard	Télécommunications	4h
R. Hanbaba	Télécommunications	3h
C. Hanuise	Ionosphère équatoriale	4h30
M. Menvielle	Electromagnétisme terrestre	4h30 Atelier électromagnétisme
A. Richmond	Electrodynamique ionosphère-magnétosphère	5h
J. Vassal	Electromagnétisme terrestre	1h30
P. Vila	Ionosphère équatoriale	1h30 Atelier ionogramme
V. Doumouya, A. Kobéa, E. Hounninou	Résultats AIEE	1h30-1h30-1h30

Récapitulatif par matière

Electrodynamique -Ionosphère - Magnétosphère	9h30
<i>C. Amory-Mazaudier : 4h30, A. Richmond : 5 h</i>	
Ionosphère équatoriale - instrumentation - instabilités	10h30
<i>E. Blanc : 4h30, C. Hanuise : 4h30, P. Vila : 1h30</i>	
Electromagnétisme terrestre	10h30
<i>Y. Cohen : 4h30, O. Fambitakoye : 1h30, M. Menvielle : 4h30</i>	
Télécommunications	11h30
<i>C. Gimenes : 4h30, C. Goutelard : 4h, R. Hanbaba : 3h</i>	
Résultats AIEE	6h
<i>V. Doumouya : 1h30, A. Kobéa : 1h30, E. Hounninou : 1h30, K. Boka : 1h30</i>	

ECOLE D'ABIDJAN 16 au 26 octobre 1995
semaine du 17 au 20 octobre
programme - avant projet-

Horaire	Lundi 16 octobre	Mardi 17 octobre	Mercredi 18 octobre	Jeudi 19 octobre	Vendredi 20 octobre
8h30 - 9h30		C. Goutelard	C. Goutelard	C. Goutelard	Art Richmond
9h30-10h		pause	pause	pause	pause
10h-11h		C. Gimenes	C. Gimenes	C. Gimenes	C. Goutelard
11h-11h30		pause	pause	pause	pause
11h30-12h30		M. Menvielle	Y. Cohen	M. Menvielle	Y. Cohen
12h30-15h		repas	repas	repas	repas
15h-16h30		C. Hanuise	C. Hanuise	C. Hanuise	C. Gimenes
16h30-17h		pause	pause	pause	pause
17h-18h30	Ouverture de l'Ecole	O. Fambitakoye	M. Menvielle	Y. Cohen	J. Vassal
19h		repas	repas	repas	repas
20h30-21h30		séminaire de A. Onwumechili	K. Boka Résultats AIEE	Atelier électromagnétique	Atelier Ionogramme

semaine du 23 au 27 octobre

Horaire	Lundi 23 octobre	Mardi 24 octobre	Mercredi 25 octobre	Jeudi 26 octobre	Vendredi 27 octobre
8h30 - 9h30	A. Richmond	A. Richmond	A. Richmond	A. Richmond	
9h30-10h	pause	pause	pause	pause	
10h - 11h	M. Menvielle	C. Amory-Mazaudier	C. Amory-Mazaudier	C. Amory-Mazaudier	
11h-11h30	pause	pause	pause	pause	
11h30-12h30	Y. Cohen	R. Hanbaba	R. Hanbaba	R. Hanbaba	
12h30 - 15h	repas	repas	repas	repas	repas
15h-16h30	E. Blanc	E. Blanc	E. Blanc	C. Amory-Mazaudier	
16h30-17h	pause	pause	pause	pause	
17h-18h30	V. Doumouya	P. Vila	A. T. Kobéa	E. Houngninou	
19h-20h30	repas	repas	repas	repas	repas
20h30-21h30	Atelier système d'information	Atelier administration			

**ANNEXE F : Liste des Laboratoires et membres du laboratoire participant au GIRGEA :
Projet AIEE et le GIRGEA en Afrique**

CETP/ CNRS - Université St Quentin en Yvelines (France) Centre d'études des Environnements Terrestre et Planétaire / Centre National de la Recherche Scientifique	Dr. Christine Amory-Mazaudier Josette Bouvet Pr. Michel Menvielle Dr. Paul Vila
CNAM - Université Paris X (France) Conservatoire National des Arts et Métiers	Pr. Vu Thien Christian Pautot Pr. Claude Goutelard
Ecole Supérieure Nationale des Télécommunications de Bretagne (France)	Dr Patrick Lassudrie Duchesne Dr Yvon Leroux
IRD (France) Institut de Recherche et de Développement	DR Ousseini Fambitakoye (décédé en 2000) Dr. Jacques Vassal (retraité en 2002) Dr Gilbert Juste
IPGPS - Université Paris VI (France) Institut de Physique du Globe Paris, pôle Spatial	Dr Yves Cohen
LDG/ CEA (France) Laboratoire de Détection Géophysique Commissariat à l'Energie Atomique	Dr Elizabeth Blanc Dr. J-François Cécile (a quitté le GIRGEA en 1998) Dr Thomas Farges
NCAR (USA) National Center for Atmospheric Research	Dr Art Richmond
Université de Rennes (France)	Pr. Alain Bourdillon
Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire)	Dr Jean-Pierre Adohi Kouadio Boka Dr Vafi Doumouya Dr Etienne Guisso Dr A.T. Kobéa Zaka Komenan Emile Kone Bernardin Mokassa Dr Olivier Obrou Dr Mamadou Sow (a quitté le GIRGEA en 2001)
Université de Dakar (Sénégal)	Dr Ephrem Sambou (décédé en 2002) Dr Boubakar Barry Dr Mouhamed Gaye
Université de Bangui (République Centre Afrique)	Pr Jean Marie Bassia Tiburce Condomat Désiré Malibangar
Université de Ouagadougou (Burkina Faso)	Pr J-B Legma Dr Frédéric Ouattara Pr Gr Ssisoko
Université de Kotonou (Bénin)	Dr Etienne Houngrinou
University of Akure (Nigeria)	Dr Tunde Rabi
Université de Utah (USA)	Pr Dave Rees
Observatoire d'Ebre (Espagne)	Dr Joan Josep Curto
VSN à Korhogo / Ministère des Affaires étrangères 1992-2000	Fabrice Julien Dominique Unguran Patrice Merrien Olivier Chiron Eric Menu