

題名 ISWI Newsletter – Vol. 3 No. 44
 差出人 maeda@serc.kyushu-u.ac.jp

```
*****
* ISWI Newsletter – Vol. 3 No. 44                               30 April 2011 *
*                                                                 *
*       I S W I = International Space Weather Initiative        *
*                   (www.iswi-secretariat.org)                   *
*                                                                 *
* Publisher:      Professor K. Yumoto, SERC, Kyushu University, Japan *
* Editor-in-Chief: Mr. George Maeda, SERC (maeda[at]serc.kyushu-u.ac.jp)*
* Archive location: www.iswi-secretariat.org (maintained by Bulgaria) *
*       [click on "Publication" tab, then on "Newsletter Archive"] *
* Caveat: Under the Ground Rules of ISWI, if you use any material from *
*       the ISWI Newsletter or Website, however minor it may seem *
*       to you, you must give proper credit to the original source. *
*****
```

Attachment(s):

- (1) "ieyrepes"_____2.8 MB pdf, 45 pages.
- (2) "bibiogirgea2"_____232 KB pdf, 16 pages.
- (3) "equatorialstudies"_____652 KB pdf, 13 pages.
- (4) "GIRGEA"_____77 KB pdf, 1 page.

```
-----
:                               Re:
:                               Some UNBSSI programme results
:                               from GIRGEA, etc.
:
```

Dear ISWI Participant:

This newsletter is the Official Newsletter of the "International Space Weather Initiative" (I * S * W * I). It is published by SERC at Kyushu University (Fukuoka, Japan) under the auspices of the United Nations Office for Outer Space Affairs. Contributions to this newsletter are always welcome. Anyone can easily subscribe to this newsletter. Anyone with an interest in space weather is encouraged to subscribe and to encourage others to subscribe.

Please find attached some files that I received from Dr Christine Amory of France with respect to various achievements of herself and her colleagues under the umbrella of UNBSSI:

- (1) Report for years 1991 to 2002.....ieyrepes.pdf
- (2) Bibliography from 1990 to 2011.....bibiogirgea2.pdf
- (3) Review paper published in 2005.....equatorialstudies.pdf
- (4) Paper for the IUGG electronic letter.....GIRGEA.pdf

```
:                               Christine: Very impressive !
```

Enthusiastically yours,

```
:       George Maeda
:       The Editor
:       ISWI Newsletter
```



This pdf circulated in
Volume 3, Number 44,
on 30 April 2011.

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**, Groupe 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. récapitule 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 restés 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 restés 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.
Nielle (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 magnetomètre + 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.

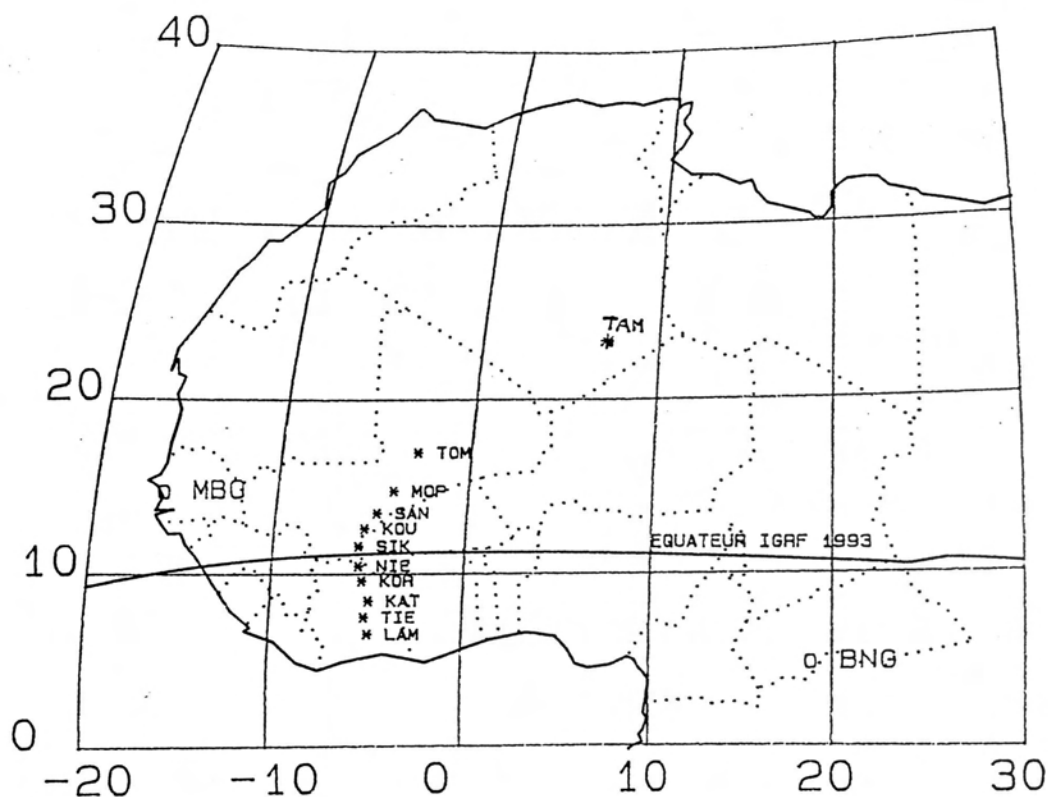


Figure 1 : Localisation des sites de mesures durant l'AIEE

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'electrojet. 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.

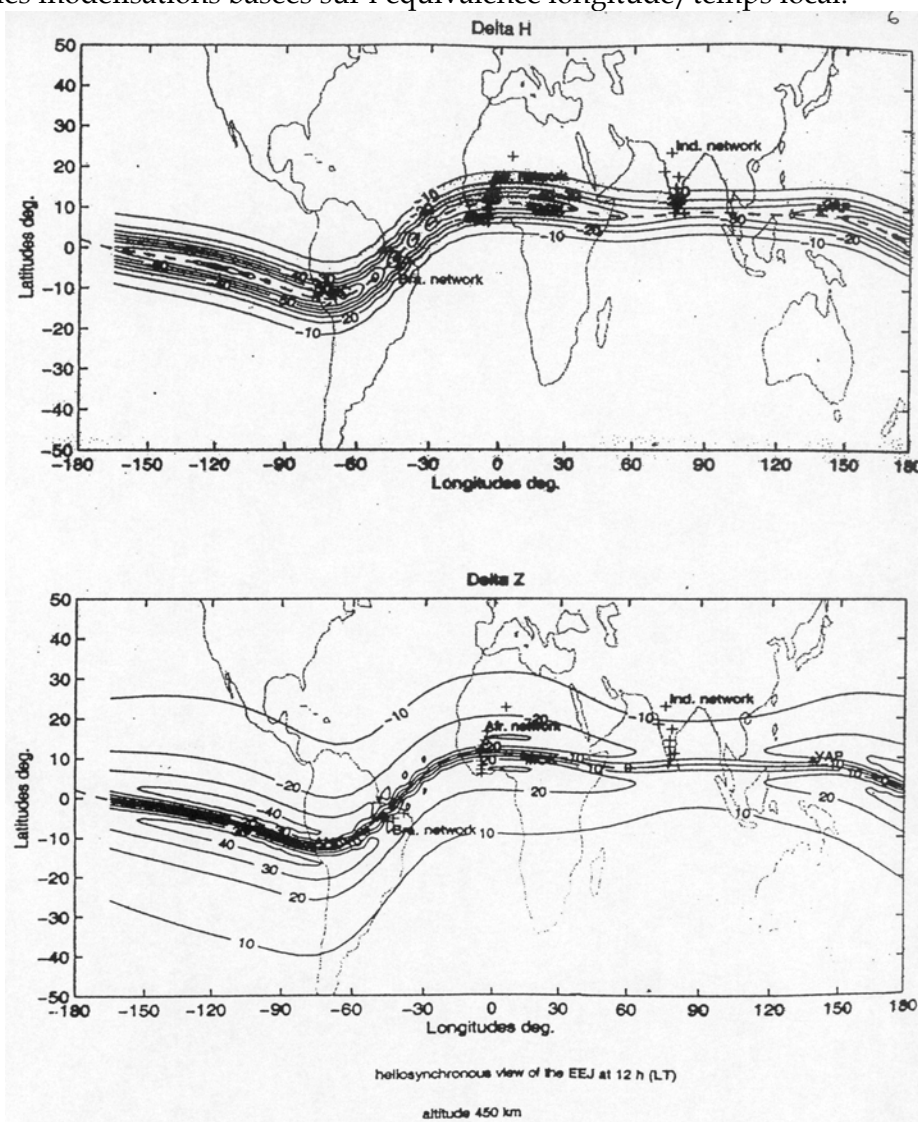


Figure 2 : Modèle de l'Electrojet équatorial

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..

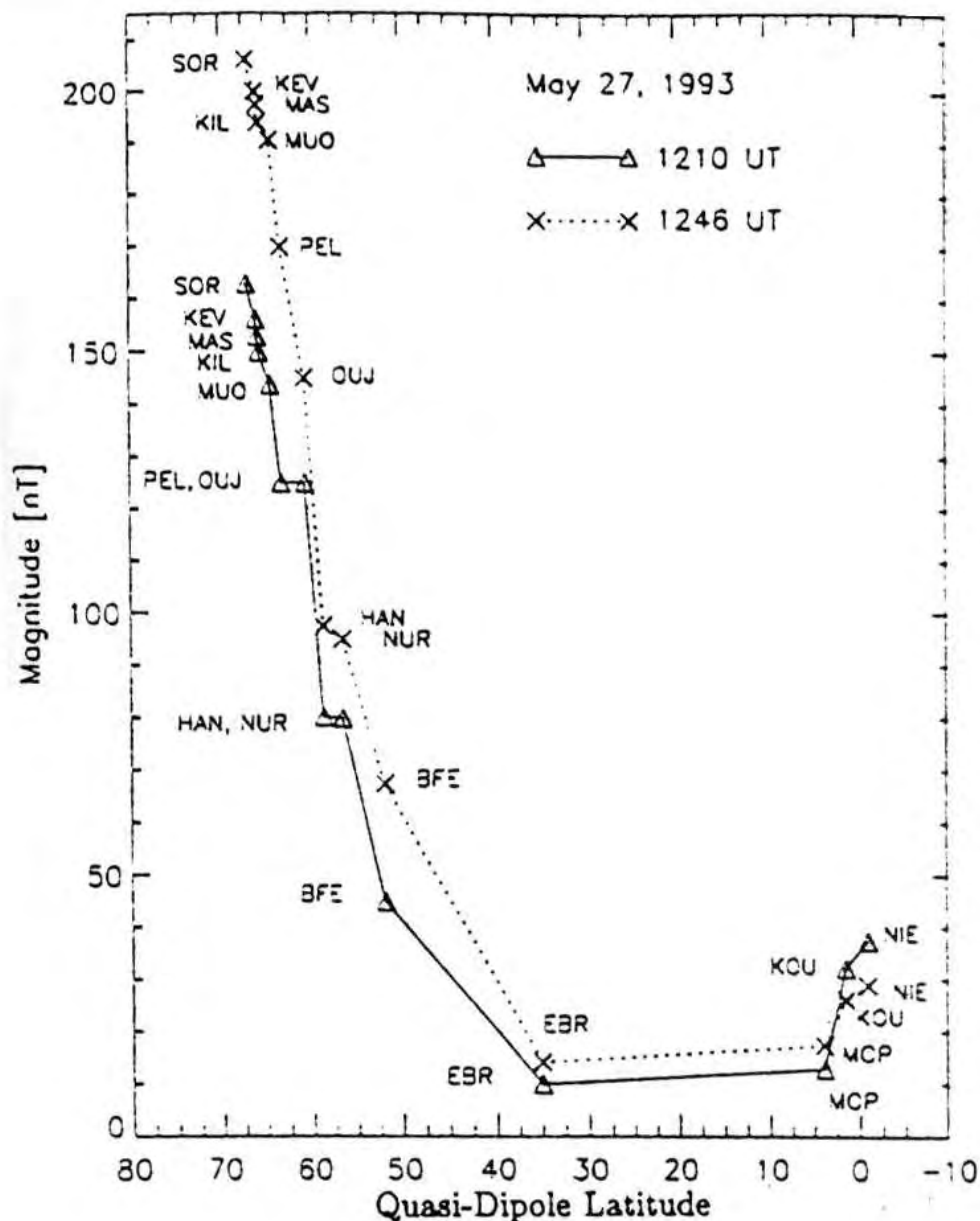


Figure 3 : Profile latitudinal de la perturbation de la composante H du Champ magnétique Terrestre , générée par la pénétration du Champ électrique de convection magnétosphérique

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).

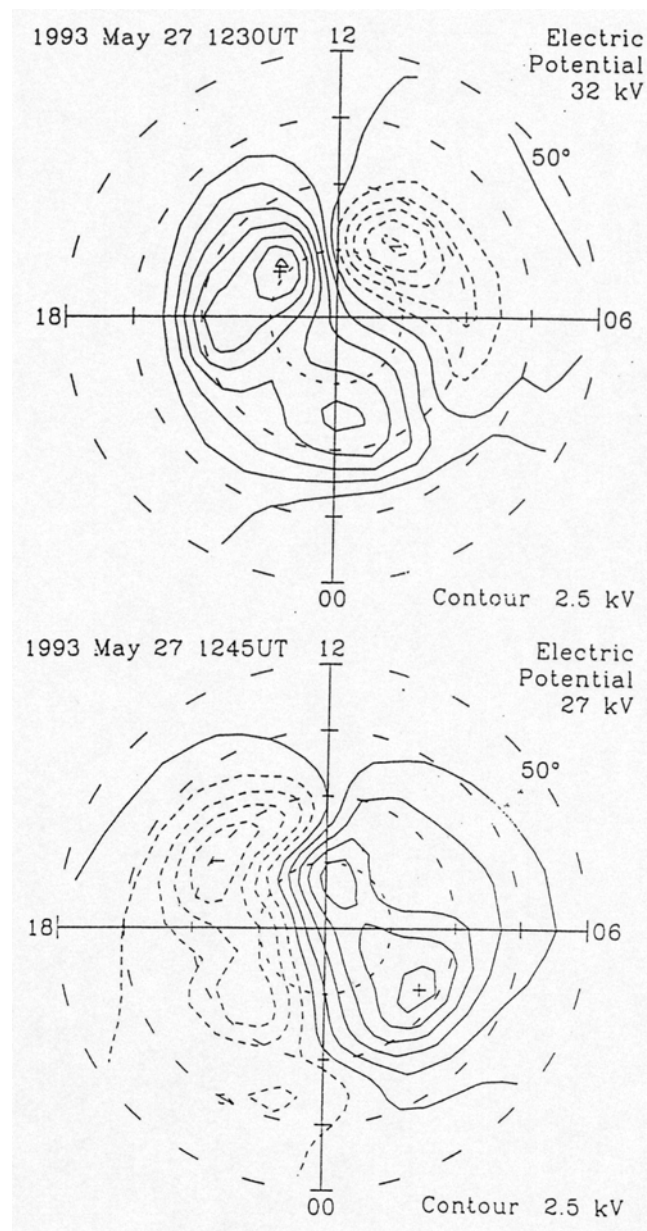


Figure 4 : Cartes de potentiels électriques

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.

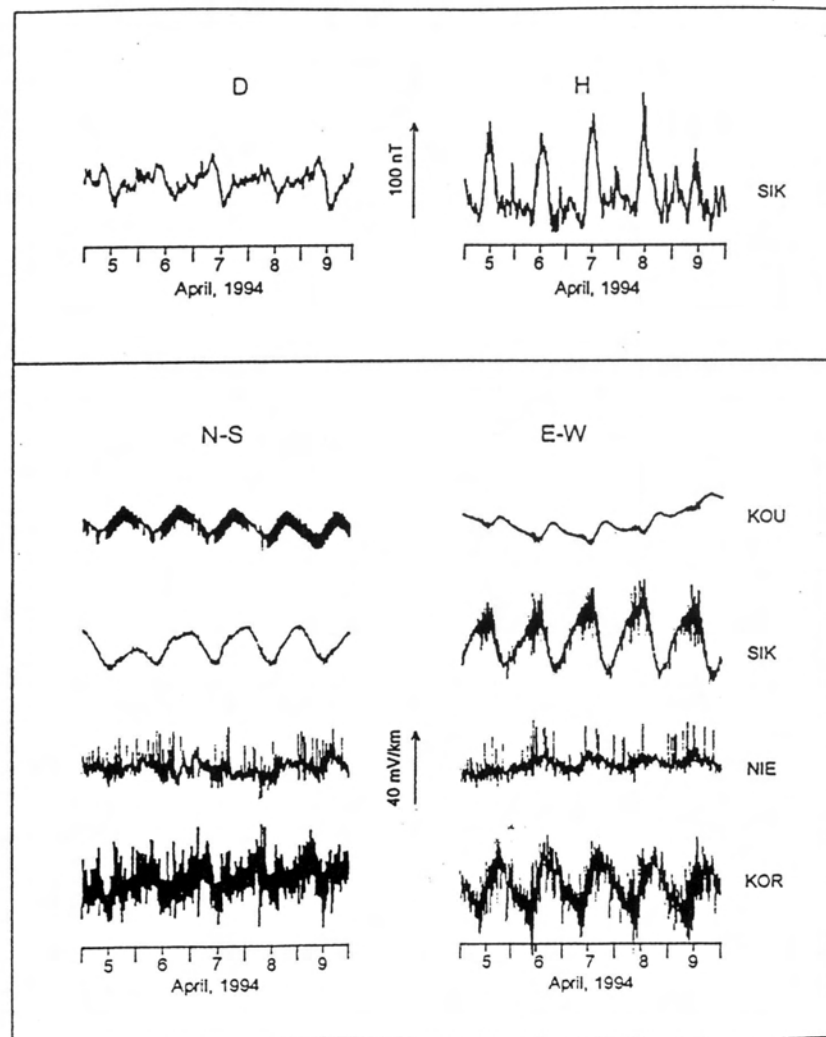


Figure 5 : Observations des composantes D et H du champ magnétique terrestre (courbes en haut de la figure) et des variations des potentiels telluriques enregistrées dans le réseau de stations de l'AIEE, durant la période du 14 au 18 janvier au 1993.

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.

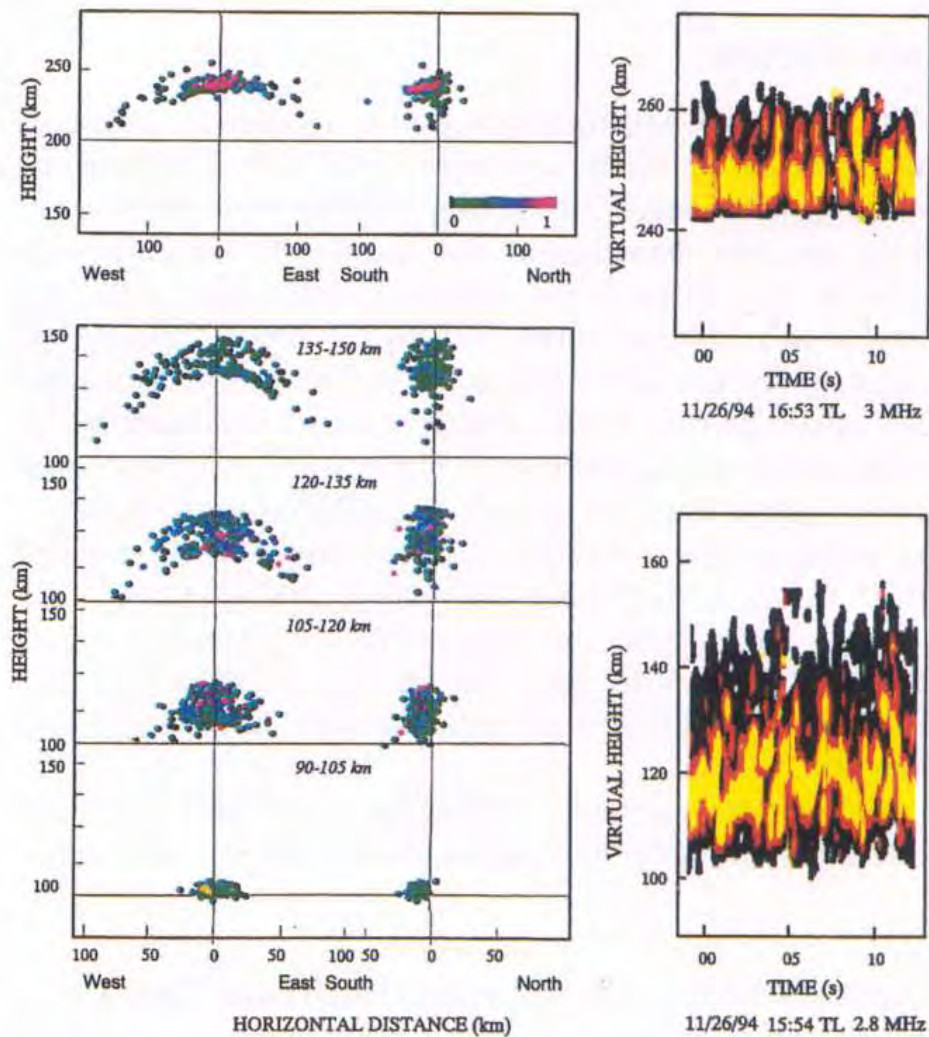


Figure 6 : Cartes d'écholocalisation dans les régions E et F
Les réflexions arrivent des directions Est et Ouest dans les 2 régions

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 différentes 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 dû à l'instabilité de dérive de gradient au niveau de l'électrojet, À droite de la figure 7, deux spectres obtenus en région E et en région F sont superposés.

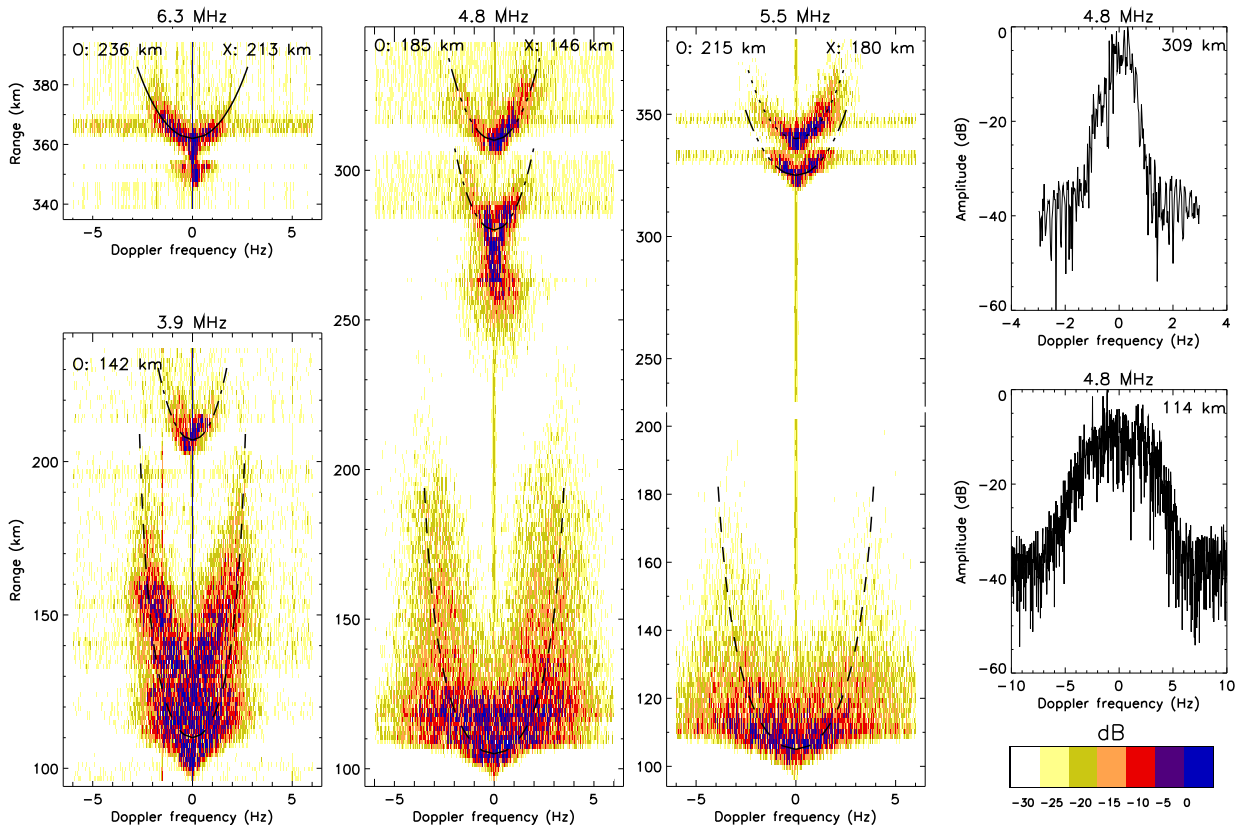


Figure 7 : Spectre de l'intensité du Doppler en fonction de l'altitude. La forme en U est typique des réflexions obliques en région E et région F. Deux exemples de puissance spectrale du Doppler en région E, à 114 km et en région F à 309 km

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 chaîne 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. (Algerie)
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. KOBÉA A. HOUNGNINOU 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
HOUNGNINOU E. 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 ORSTOM-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
KOBEA 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. HOUNGNINO 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
KOBEA A.T. Université d'Abidjan (C-I)	14 avril - 12 juillet LIM Leipzig puis quelques jours au CETP/Saint-Maur	1997
KOBEA 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 KOBEA A.T. le 31 mars	2001
OBROU O. Université d'Abidjan (C-I)	1er juin au 15 juillet Washington -> NASA -> Dieter Bilitza	2001
KOBEA 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
Analyse des données telluriques
L'électrojet équatorial partie d'un circuit global
La région F équatoriale/ les mesures de radar HF
V. Doumouya
B. Boka
A.T. Kobéa
E. Houngninou

ATELIERS

Electromagnétisme
Administration
Systèmes d'information
Ionogrammes
M. Menvielle, J. Vassal
C. Amory-Mazaudier
C. Amory-Mazaudier
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

V. Doumouya

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

Les mesures telluriques

K. Boka

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

Les mesures du radar HF

E. Houngninou

thèse d'Etat, directeur E. Blanc / CEA

L'électrojet équatorial partie d'un circuit global

A.T. Kobéa

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

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. Houngninou	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. Houngninou : 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		<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>
10h-11h		C. Gimenes	C. Gimenes	C. Gimenes	C. Goutelard
11h-11h30		<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>
11h30-12h30		M. Menvielle	Y. Cohen	M. Menvielle	Y. Cohen
12h30-15h		<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>
15h-16h30		C. Hanuise	C. Hanuise	C. Hanuise	C. Gimenes
16h30-17h		<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>
17h-18h30	Ouverture de l'Ecole	O. Fambitakoye	M. Menvielle	Y. Cohen	J. Vassal
19h		<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>
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	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	
10h - 11h	M. Menvielle	C. Amory-Mazaudier	C. Amory-Mazaudier	C. Amory-Mazaudier	
11h-11h30	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	
11h30-12h30	Y. Cohen	R. Hanbaba	R. Hanbaba	R. Hanbaba	
12h30 - 15h	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>
15h-16h30	E. Blanc	E. Blanc	E. Blanc	C. Amory-Mazaudier	
16h30-17h	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	<i>pause</i>	
17h-18h30	V. Doumouya	P. Vila	A. T. Kobéa	E. Houngninou	
19h-20h30	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>	<i>repas</i>
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, pole 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 Houngninou
University of Akure (Nigeria)	Dr Tunde Rabiou
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

Bibliographie GIRGEA

Papiers dans les journaux avec référés

2011

- 1) Pham Thi Thu, H., C. Amory-Mazaudier, M. Le Huy, 2011, Sq field at Phu Thuy – Vietnam during solar cycle 23, *Ann. Geophys.* n° 29, pp 1-17.
- 2) Pham Thi Thu, H., C. Amory-Mazaudier, M. Le Huy, 2011, Time variations of the Ionosphere at the northern tropical crest of ionization at Phu Thuy-Vietnam, *Ann. Geophys.* ,29, pp 197-297.

2010

- 3) Amory-Mazaudier, C, Electric Current Systems in the Earth's Environment, *Nigerian Journal of Space Research*, Vol. 8 ISSN 0794-4489, pages 178-255 , 2010.
- 4) Damé, L., A. Mahrous, C. Amory-Mazaudier, M. Petitdidier, A. Hady, *Météorologie de l'Espace en Afrique (1) Année Franco-Egyptienne de la Science et de la Technologie 2010*, REE 6/7 (juin juillet).
- 5) Le Huy M., K. Feigl, F. Masson, P. Lassudrie Duchesne, A Bourdillon, L Tran Thi, T. Pham Xuan, T. Ngyuen Chien, V. Ngyuen Ba, D. Truong Phuong, 2010, Crustal motion from the continuous GPS data in Vietnam and in the Southeast Asian region, *Journal of Sciences of the Earth Vietnam Academy of Science and Technology*, 32(3), p. 249-260.
- 6) Le Truong, T., V. Doumouya, M Lehuu, Ha Duyen C., 2010, The equatorial electrojet model with CHAMP satellite data, *Journal of Sciences of the Earth, Vietnam Academy of Science and Technology*, 32 (1), p. 48.
- 7) Zaka, K.Z., A.T. Kobéa, V. Doumbia, A.D. Richmond, A. Maute, N.M. Mene, O.K. Obrou, J-P. Adohi, P. Assamoi, K. Boka, C. Amory-Mazaudier, 2010, Simulation of electric field and current during the June 11, 1993 disturbance dynamo event : comparison with the observation, Vol 115, A11307, doi:10.1629/2010JA015417.
- 8) Zaka, K.Z., A.T. Kobéa, V. Doumbia, A.D. Richmond, A. Maute, N.M. Mene, O.K. Obrou, J-P. Adohi, P. Assamoi, K. Boka, C. Amory-Mazaudier, 2010, Correction to simulation of electric field and current during the June 11, 1993 disturbance dynamo event : comparison with the observation, Vol 115, A12314, doi:10.1029/2010JA016292.

2009

- 9) Amory-Mazaudier, W. Schröder, G. Giovanni, 2009, Introduction to the special part of normal issue of JASTP “ The Time Varying Sun”, *Journal of Atmos. and Solar Terr. Phys.*, 71, Vol 17-18, 1681-1682.

- 10) Amory-Mazaudier, C., S. Basu, O. Bock, A. Combrink, K. Groves, T. Fuller Rowell, P. Lassudrie-Duchesne, M. Petitdidier, E. Yizengaw, International Heliophysical Year, GPS network in Africa, Brief report , Journal Earth Moon and Planets, DOI 10.1007/s11038-008-9273-8, February, 2009.
- 11) Amory-Mazaudier, C., and J.P. Legrand “ A comment on the paper ‘Solar activity and its influence on climate’”, Netherlands Journal of Geosciences –Geologie En Mijnbouw 88(3), 1777-177, 2009
- 12) Barton, C.E., C. Amory-Mazaudier, B. Barry, V. Chukwuma, R.L. Cottrell, U. Kalim, A. Mebrathu, M. Petitdidier, B. Rabiou and C. Reeves, 2009, Electronic Geophysical Year : Start of the Art and Resulys : eGY-Africa : Addressing the digital divide for science in Africa, Russian Journal of Earth Sciences, Vol. 11, ES003, doi:10.2205/2009ES0000377.
- 13) Le Huy M., F. Masson, A. Bourdillon, P. Lassudrie Duchesne, A. Bourdillon T. Ngyuen Chien, T. Nguyen Ha, N. Tran Ngoc, L. Hoang Thai, Preliminary results of the estimation of the zenith total delay and the integrated water vapour of the troposphere by GPS data in Vietnam, 2009, Journal of Sciences of the Earth Vietnam Academy of Science and Technology, 31(3), p. 201-211.
- 14) Obrou, O.K., M.N. Mene, A.T. Koba, K.Z. Zaka, 2009, Equatorial Total Electron Content (TEC) at low and high solar activity, Adv Space Research, vol 43, issue 11, pp 1757-1761, 25 June.
- 15) Ouattara, F., C. Amory-Mazaudier, M. Menvielle, P. Simon, J-P. Legrand, 2009, On the long term change in the geomagnetic activity during the XXth century, Ann. Geophys., 27, 2045-2051.
- 16) Ouattara, F. C. Amory-Mazaudier, 2009, Solar Geomagnetic activity and Aa indices : toward a standard classification, Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, 71, Vol 17-18, 1736-1748.
- 17) Ouattara, F., 2009, Solar magnetic fields components: phases, profiles and their relationship, Vol 9, n°2, pp 9-16, Journal des Sciences.
- 18) Ouattara, F., C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, P. Lassudrie-Duchesne, P. Vila, M. Petitdidier, 2009, West African equatorial ionospheric parameters climatology based on Ouagadougou ionosonde station data from June 1966 to February 1998, to appear in Annales Geophysicae, 27, pp. 2503-2514.
- 19) Ouattara F., 2009, Relationship between Geomagnetic classes ‘ activity phases and their occurrence during sunspot cycle, Annals of Geophysics, Vol. 52, N°2.
- 20) Pham T.H., Fontaine B. and N. Philippon, 2009 Onset of the Summer Monsoon over the Southern Vietnam and its Predictability Theor and Applied Climatology, ISSN 0177-798X (Print) 1434-4483 (Online), doi: 10.1007/s00704-009-0115-

- 21) Zaka, K.Z., A.T. Kobéa, P. Assamoi, O.K. Obrou, V. Doumbia, K. Boka, J-P. Adohi and N.M. Mene, 2009, Latitudinal profiles of the ionospheric disturbance dynamo magnetic signature: comparison with the DP2 magnetic disturbance, *Ann. Geophys.*, 27, 3523-3526.

2008

- 22) Adohi, J-P., P.M. Vila, C. Amory-Mazaudier, M. Petitdidier, 2008, Equinox transition at the magnetic equator in Africa : Analysis of ESF ionograms, *Annales Geophysicae*, Vol. 26, N° 7, 1777-1792.
- 23) Kafando, P., F. Chane-Ming, M. Petitdidier, 2008, Climatology of gravity wave activity during the West African Monsoon, *Ann. Geophys.*, 26, 4081-4089.
- 24) Le Huy M., and C. Amory-Mazaudier, 2008, Planetary magnetic signature of the Storm wind disturbance Dynamo currents : Ddyn, *Journal of Geophys. Res.*, Vol 113, A02312, doi:10.1029.
- 25) Le Huy Minh, Pham Xuan Thanh, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, R. Fleury, P. Lassudrie Duchesne, A. Bourdillon, C. Amory-Mazaudier, Tran Ngoc Nam and Hoang Thai Lan, **2008a**. Estimation of the relation between the total tropospheric water vapour and the precision of the absolute positioning by GPS in Vietnam, *Journal of Sciences of the Earth*, 30(2), 161-169.
- 26) Le Huy Minh, Pham Xuan Thanh, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, R. Fleury, P. Lassudrie Duchesne, A. Bourdillon, C. Amory-Mazaudier, Tran Ngoc Nam and Hoang Thai Lan, **2008b**. Total tropospheric water vapour and precision of the absolute positioning by GPS in Vietnam, *Journal of Geology*, Serie B, **31-32**, 118-126.
- 27) Olapido, O.A., J.O. Adeniyi, S.M. Radicella, O.K. Obrou, 2008, Variability of equatorial ionospheric density at fixed heights below the F2 peak, *Journal of Atmospheric and Solar terrestrial Physics* 70, 1056-1065.
- 28) Pham Xuan T., Fontaine B., and N. Philippon, 2008, Definition and predictability of the beginning of the rainy season over North Vietnam, *Journal of Sciences of the Earth, Viet Nam*, 30(1), 39-48.

2007

- 29) Doumbia, V., A. Maute, A.D. Richmond, 2007, TIEGCM simulation of equatorial electrojet magnetic effects, *Journal of Geophys. Res.*, vol 112, A09309.
- 30) Le Huy Minh, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, R. Fleury, P. Lassudrie Duchesne, A. Bourdillon, C. Amory-Mazaudier, Tran Ngoc Nam, Hoang Thai Lan, 2007. The effect of the geomagnetic storm on the ionospheric total electron content in the Southeast Asian

equatorial ionization anomaly region observed by the GPS data, *Journal of Sciences of the Earth*, 29(2), 104-112, (in vietnamese).

- 31) Zhang, S-R., John M. Holt, Dieter Bilitza, Tony van Eyken, Mary Mc Ready, Christine Amory-Mazaudier, Shoichiro Fukao, Michael Sulzer, 2007, Multiple-site comparisons between models of incoherent scatter radar and IRI, *Advances in Space Research*, 39, 91°-917.

2006

- 32) Amory-Mazaudier, C. , M. Le Huy , Y. Cohen, V. Doumouya, A. Bourdillon, R. Fleury, B. Fontaine, C. Ha Duyen, A. Koba, P. Laroche, P. Lassudrie-Duchesne, H. Le Viet, T. Le Truong, H. Luu Viet, M. Menvielle, T. Nguyen Chien, A. Nguyen Xuan, M. Petitdidier, H. Pham Thi Thu, T. Pham Xuan, N. Philippon, L. Tran Thi, H. Vu Thien, P. Vila, 2006, Sun Earth System Interactions over Vietnam : an international cooperative project, *Annales Geophysicae*, 24,3313-3327.
- 33) Le Huy Minh, A. Bourdillon, P. Lassudrie Duchesne, R. Fleury, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, Ngo Van Quan, Le Truong Thanh, Tran Ngoc Nam, Hoang Thai Lan, 2006. Determination of the ionospheric total electron content in Vietnam by using the data from three GPS receivers at Hanoi, Hue and Hoc Mon, *Journal of Sciences of the Earth*, A 296, 54-62 (in vietnamese)

2005

- 34) Amory-Mazaudier, C., 2005, Comments on the paper “ Long term correlation between solar and geomagnetic activity” by E. Echer, W.D. Gonzales, A. Prestes, L.E.A. Vieira, A. Dal Lago, F.L. Guarnieri, N.J. Schuch, *Journal of Atmosph. and Solar Terrestrial Physics* 67, 1374-1375.
- 35) Le Huy, M. C. Amory-Mazaudier, 2005, Magnetic signature of the Ionospheric disturbance dynamo at equatorial latitudes : « Ddyn », *Journal of Geophys. Res*, Vol 110, A 10301.
- 36) Zhang, S-R., J. M. Holt, T. Van Eyken, M. Mc Ready, C. Amory-Mazaudier, S. Fukao, and M. Sulzer, 2005, Ionospheric model and climatology from long term databases of worldwide incoherent scatter radars, *Geophysical Res. Let.* , Vol 32, L20102.
- 37) Amory-Mazaudier,C., A. Koba, P. Vila, A. Achy-Séka, E. Blanc ,K. Boka, J. Bouvet, J-F. Cécile, Y. Cohen, J-J Curto, M. Dukhan, V. Doumouya, O. Fambitakoye ,T. Farges, C. Goutelard, E. Guisso , R. Hanbaba, E. Houngninou, E. Kone, P. Lassudrie-Duchesne, C. Lathhuillere, Y. Leroux, M. Menvielle, E. Obrou, M. Petitdidier, S.O. Ogunade, C. A. Onwumechili, D. Rees, E. Sambou, M. Sow, J. Vassal, 2005, On Equatorial geophysics studies : The IGRGEA results during the last decade, *Journal of Atmosph and Solar Terrestrial Phys.*, Volume 67, 301-313, invited paper ICDC.

- 38) Jozsa, R., F. Halberg, G. Cornélissen, M. Zeman, J. Kazsaki, V. Csernus, G.S. Katinas, H.W. Wendt, O. Schwartzkopff, K. Stebelova, K. Dulkova, S.M. Chibisov, M. Engebretson, W. Pan, G.A. Bubenik, G. Nagy, M. Herold, R. Hardeland, G. Hüther, B. Pöggeler, R. Tarquini, F. Perfetto, R. Salti, A. Olah, N. Csokas, P. Delmore, K. Otsuka, E.E. Bakken, J. Allen, C. Amory-Mazaudier, 2005, Chronomics, neuroendocrine feedsidewards and the recording and consulting of nowcasts-forecasts of Geomagnetism, *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 59, S24-830.
- 39) Obrou, O.K., J.O. Adeniyi, A.T. Koba, B. Moukassa, 2005, Electron density profile parameters B0 and B1 response during a magnetic disturbance at equatorial latitude, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 67, 515-519.

2004

- 40) Bilitza, D., O.K. Obrou, J.O. Adeniyi, O. Oladipo, 2004, Variability of the f0F2 in the equatorial ionosphere, *Advances in Space Research* (34), 1910-1906.
- 41) Doumouya, V., Y. Cohen, 2004, Improving and testing the empirical equatorial electrojet model with CHAMP satellite data, *Annales Geophysicae*, 22, 1-11.
- 42) Kafando, P., M. Petitdidier, 2004, An attempt to calibrate the UHF strato-tropospheric radar at Arecibo using NextRad and disdrometer data, *Annales Geophysicae*, 22, 4025-4034.
- 43) Zhang, S-R., J. Holt, A.M. Zolucha, C. Amory-Mazaudier, 2004, Midlatitude plasma temperature climatology and empirical model based on Saint-Santin incoherent scatter data from 1966 to 1987, *Journal of Geophys. Res.*, Vol 109, A11311.

2003

- 44) Doumouya, V., Y. Cohen, B.R. Arora and K. Yumoto, 2003 Local time and longitude dependence of the equatorial electrojet, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, Vol 65, Numbers 14-15, p. 1265, September-October
- 45) Farges, T., P. Vila, 2003, Equatorial spread F occurrence over West Africa ionogram analysis 1994-1995, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, Vol 65, Numbers 14-15, p. 1309, September-October.
- 46) Obrou, O.K., S.M. Radicella, J.O. Adeniyi, 2003, The equatorial electrojet and the profile parameters B0 and B1 around midday, *Journal of Atmosph. and Solar Terr. Physics*, 65, 299-304.
- 47) Obrou, O.K., D. Bilitza, J.O. Adeniyi, S.M. Radicella, 2003, Equatorial F2-layer peak height and correlation with vertical ion drift and M(3000)F2, *Advances in Space. Res.*, Vol 31, N°3 pp. 513-520.

2002

- 48) Farges, T., E. Blanc, 2002, HF radar observations of irregularities in the daytime equatorial F region, *Journal of Atmospheric and Solar Ter. Physics*, 64, 1675-1571.
- 49) Halberg F., Germaine Cornélissen, Christopher Binghamm, Dewayne Hillman, Georges Katinas, Mary Sampson, Miguel Revilla, Pavel Prikryl Sr, Pavel Prikryl Jr, Salvador Sanchez de la Pena, Clicerio Gonzales, Christine Amory-Mazaudier, Josette Bouvet, Franklin Barnwell, Cristina Maggioni, Robert B. Sothern, Zengrong Wang, Othild Schwartzkopff, Eral Bakken, 2002, Season's Appreciations 2001, *Neuroendocrinology Letters*, 2002, 23 : 170-197.

2001

- 50) Farges, T., J.C. Jodogne, R. Bambord, E. Le Roux, F. Gauthier, P.M. Vila, D. Altadill, J.G. Sole, G. Miro, 2001, Disturbances of the western European Ionosphere during the total Eclipse of 11 August 1999 measure by a wide ionosonde and radar network, *Journal of Atmospheric and Solar Ter. Physics*, 63, 915-924.
- 51) Scherliess, L., B.G. Fejer, J. Holt, L. Goncharenko, C. Amory-Mazaudier, M.J. Buonsanto, 2001, Radar studies of mid-latitude ionospheric plasma drifts, *Journal of Geophys. Res.*, vol 106, 1771-1783.

2000

- 52) Bilitza, D., S.M. Radicella, B.W. Reinisch, J.O. Adeniyi, M.E. Mosert Gonzales, S.R. Zhang, O. Obrou, 2000, New B0 and B1 models for IRI, *Advances in Space Res.*, Vol 25, N° 1, p 89-95.
- 53) Kobéa, A.T., A.D. Richmond, B.A. Emery, C. Peymirat, H. Lürh, T. Moretto, M. Hairston, and C. Amory, 2000, Electrodynamic coupling between high and low latitudes : Observations on May, 27, 1993, *Journal of Geophys. Res.*, Vol 105, N° A10, 22979-22989.
- 54) Litvin, A., W.L. Oliver, C. Amory-Mazaudier, 2000, Hot O and nighttime ionospheric temperatures, *Geophys. Res. Let.*, Vol. 27, N°17, Pages 2821-2824.
- 55) Peymirat, C., A.D. Richmond, A.T. Kobéa, 2000, Electrodynamic coupling of high and low latitudes simulations of shielding/overshielding effects, *Journal of Geophysical Research* 108, 17, 467.

1999

- 56) Altadill, D., F. Gauthier, P. Vila, J.G. Sole, G. Miro, R. Berranger, 2001, the 11.08.1999 solar eclipse and the ionosphere a search for the distant bow-wave, *Journal of Atmosph. and Solar Terrestrial Physics*, 63, 925-930.

- 57) Farges, T., E. Blanc, J-P. Vilain, 1999, Interpretation of equatorial electrojet irregularities observed with a broad beam HF zenithal radar, *Radio Science*, Volume 34, Number 5, pages 1141-1152.

1998

- 58) Blanc E., and E. Houngninou, 1998, Typical disturbances of the daytime equatorial F region observed with a high-resolution HF radar, *Annales Geophysicae*, 16, 721-730.
- 59) Cohen, Y., 1998, French participation in the International Equatorial Electrojet, *Annales Geophysicae*, 16, 657.
- 60) Doumouya, V. J. Vassal, Y. Cohen, O. Fambitakoye, M. Menvielle, 1998, Equatorial electrojet at African longitudes, First results from magnetic measurements, *Annales Geophysicae*, 16 658-676, pp 658
- 61) Kobéa A.T., C. Amory-Mazaudier, J-M. Do, H. Lürh, J. Vassal, E. Houngninou, E. Blanc, J-J. Curto, 1998, Equatorial Electrojet as part of a global current system : data, *Annales Geophysicae*, 16, 698-710.
- 62) Le Roux, Y-M., J. Ménard, J-P. Jolivet, P.J. Davy, 1998, SCIPION, the new powerful CNET H.F. sounder operated in Dakar, *Annales Geophysicae* , 16, 738-742.
- 63) Sambou, P. Vila, A.T. Kobéa, 1998, Non-Trough f_0F_2 enhancements at Near-equatorial Dip Latitudes , *Annales Geophysicae*, 16, 711-720.
- 64) Vassal, J., M. Menvielle, M. Dunkhan, K. Boka, Y. Cohen, V. Doumouya, O. Fambitakoye, 1998, A study of the transient variations of the Earth electromagnetic field at equatorial latitudes in Western Africa (Mali and Ivory Coast), *Annales Geophysicae* 16, 677.
- 65) Vila P., D. Rees, P. Merrien and E. Kone, 1998, Fabry-Perot Interferometer measurements of neutral winds and F2 layer variations at the magnetic equator, *Annales Geophysicae*, 16, 731-737.

1997

- 66) Roussel-Dupré, E. Blanc, 1997, HF echoes from ionization potentially produced by high-altitude discharges, *Journal of Geophys. Res.*, vol 102, N° A3, pages 4613-4622.

1996

- 67) Blanc, E., B. Mercandalli, E. Houngninou, 1996, Kilometric Irregularities in the E and F regions of the Daytime Equatorial Ionosphere Observed by a High Resolution HF radar, *Geophys. Res. Let.*, 23, 6, 645-648, March.

- 68) Cécile, J-F., P. Vila, E. Blanc, 1996, HF radar observations of equatorial spread-F over West Africa, *Annales Geophysicae*, 14, 411-418.

1995

- 69) Amory-Mazaudier, C., 1995, On the electric currents systems in the Earth's environment, some historical aspects, Part I : external part/ionosphere/quiet variation, published, special issue of IAGA 1993, *GEOACTA*, 21, 1-10, invited paper.

1994

- 70) Curto, C. Amory-Mazaudier, M. Menvielle , 1994, J. M. Torta, "Study of Solar Flare Effects at Ebre : 1. Regular and reversed SFe, Statistical analysis (1953, 1985) and a global case study", *J. of Geophys. Research*, Vol.99, A3 pp 3945-3954.
- 71) Curto, J-J., C. Amory-Mazaudier, J. M. Torta, M. Menvielle, 1994, "Study of Solar Flare Effects at Ebre : 2. Unidimensional physical integrated model , *J. of Geophys. Research*, A, 12 23289-23296.
- 72) Vassal, J. M. Dukhan, O. Fambitakoye, 1995, L'électrojet équatorial, *ORSTOM Actualités* n° 46.

1993

- 73) Amory-Mazaudier, C., 1993, On the relationship between ionospheric phenomena and the day-to-day variability of the Earth magnetic field regular variation S_R : Advances made during the two last decades with the incoherent scatter sounder network results, to appear in *Trends in Geophysical Research*, 1993, invited paper.
- 74) Mazaudier, C., (CRPE/France), J. Achache (IPGP/France), A. Achy-Séka (Univ. Abidjan/Ivory Coast), Y. Albouy (ORSTOM/France), E. Blanc (CEA/France), K. Boka (Univ. Abidjan/ Ivory Coast), J. Bouvet (CRPE/France), Y. Cohen (IPGP/France), C-S. Diatta (ITNA/Senegal), V. Doumouya (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), O. Fambitakoye (ORSTOM/France), R. Gendrin (CRPE/France), C. Goutelard (LETTI/France), M. Hamoudi (CRAAG/Algeria), R. Hanbaba (CNET/France), E. Hougoinou (Univ. d'Abidjan/ Ivory Coast), C. Huc (CRPE/France), K. Kakou (Univ. Abidjan/ Ivory Coast), A. Koba Toka (Univ. Abidjan/ Ivory Coast), P. Lassudrie-Duchêne (CNET/France), E. Mbipom (Université de Calabar / Nigeria), M. Menvielle (Lab. Géophysique/ France), S.O. Ogunade (Univ. Obafemi/ Nigeria), J. O. Oyinloye (Univ. d'Ilorin/Nigeria), D. Rees (UCL/UK), A. Richmond (NCAR/U.S.A.), E. Sambou (ITNA/Senegal), E. Schmucker (Univ. Göttingen/ Germany), J. L. Tireford (Observatory Lamto/Ivory Coast), J. Vassal (ORSTOM/Senegal), P. Vila (CRPE/France), 1993, International Equatorial Electrojet Year, *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 11(3), pp 303-317, special issue, invited paper.

1992

- 75) Curto, J-J, J.O. Cardus, J.M. Torta, C. Mazaudier, M. Menvielle, 1992, 30 anos de Sfe en el observatorio del Ebro, *Rev. De geogisica*, 43, 141-151.

1991

- 76) Hedin A. E., M. A. Biondi, R. G. Burnside, G. Hernandez, R. M. Johnson, T. L. Killeen, C. Mazaudier, J. W. Meriwether, J. E. Salah, R. J. Sica, R. W. Smith, N. W. Spencer, V. B. Wickwar, T. S. Viridi, 1991, Revised Global Model of Thermosphere Winds using satellite and Ground based observations, *J. Geophys. Res.*, Vol 96, N° A5, 7657-7688.
- 77) Legrand J.P., M. Le Goff, C. Mazaudier, W. Schröder, 1991, L'activité solaire et l'activité aurorale au XVII ème siècle, la vie des sciences, *Compte-rendu à l'Académie des sciences*, volume Août .
- 78) Mazaudier C., Y. Cohen, 1991, L'électrojet équatorial: composante du circuit connectant le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère, l'atmosphère, et la terre, *Rapport quadriennal 1987-1990, XXème assemblée de l'UGGI*, Vienne, Autriche, 11-24 août .

1990

- 79) Fambitakoye O., M. Menvielle, C. Mazaudier, 1990, Global disturbance of the transient magnetic field associated to thermospheric storm winds on March 23, 1979, *Journal of Geophys. Res.*, 95, A9, 209-218.
- 80) Legrand J.P., M. Le Goff, C. Mazaudier , 1990, On the climatic changes and the sunspot activity during the XVIIth century, *Annales Geophysicae*, 8 (10), 637-644.

2010

- 1) ZAKA, Z., K., Etude de la dynamo ionosphérique perturbée : caractérisation de l'électrodynamique équatoriale à la fin d'un orage magnétique et modélisation des champs et courants électrique perturbés, Université de Cocody, le 11 février 2010.

2009

- 2) WASSAM Samwel Stefan Susan, Space Environment and its effect on Spacecrafts, University of Cairo, Egypt, 2009
- 3) OUATTARA, F., Contribution à l'étude des relations entre les deux composantes du champ magnétique solaire et l'ionosphère équatoriale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, le 3 octobre 2009.

2008

- 4) DOUMBIA, V., 2008, Etude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial : de la paramétrisation à la modélisation physique de l'électrojet équatorial, Université d'Abidjan, le 16 octobre.
- 5) KOMBIYIL R., On the nature of DP fields during disturbances in geospec – Characterization & Modelling, Doctor of Science, Tohoku University, soutenue le 6 février 2008.
- 6) OBROU, O., 2008, Ionosphère équatoriale : Contribution à l'amélioration du modèle 'International Référence Ionosphère ' (IRI), Université d'Abidjan, 18 octobre.
- 7) PHAM Xuan Thanh, 2008 Etude climatique de la mousson vietnamienne et application à la prévision climatique, Thèse de l'Université de Bourgogne, sera soutenue le 8 décembre à Dijon.

2007

- 8) BOKA, Kouadio, Etude des variations transitoires du champ électromagnétique induit au sol dans la région de l'électrojet équatorial, et apport des données ionosphériques, soutenance prévue à Abidjan, 10 mai, 2007.

2004

- 9) HOUNGNINOU, E., 2004, Etude de la dynamique et des perturbations de l'Ionosphère équatoriale par radar HF, Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, le 22 janvier (soutenue au CETP/Paris).

2001

- 10) KOBÉA A.T., 2001, L'Electrojet Equatorial, partie du circuit électrique global : dynamo régulière et la pénétration directe du champ électrique de convection, Thèse d'Etat, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire.

2000

- 11) FARGES, T., 2000, Traitement et analyse de données de systèmes radar HF : Etude des perturbations ionosphériques détectées à l'équateur magnétique avec le radar du LDG et à moyenne latitude avec le réseau de Francourville. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université Paris XI Orsay, 6 mars.

1999

- 12) SOW, M., 1999, Contribution à l'étude des irrégularités de l'ionosphère équatoriale et des champs électriques ionosphériques pendant le jour en Afrique de l'Ouest, Thèse de 3ème cycle, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire.

1997

- 13) CECILE, J-F, 1997, Etude théorique et par radar HF des irrégularités de l'ionosphère : F diffus équatorial et effets des éclairs, Thèse de l'Université de Toulon et du Var, France.
- 14) OBROU, O., 1997, Electrojet Equatorial : Etude à l'aide du modèle physique local de Richmond, analyse comparative avec les observations, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 1997.

1995

- 15) DOUMOUYA, V., 1995, Etude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial : Variabilité saisonnière et réduction des mesures magnétiques satellitaires, Thèse de 3ème cycle de l'Université d'Abidjan, novembre.

1993

- 16) MARGERIE, H., 1993, Les systèmes d'information en Sciences de l'Environnement, Thèse du CNAM, étude de documentaliste CNAM.
- 17) SAMBOU, E., 1993, Contribution à l'Etude de l'Ionosphere équatoriale : Variation du maximum d'ionisation de la région F2 en fonction des processus électrodynamiques agissant à grande échelle, Thèse de 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal.

1992

- 18) CURTO, Joan Josep, 1992, Fulgurations solaires, Université de Barcelone, 23 Novembre ;

Actes à Colloque

2010

1) Amory-Mazaudier, C., A. Koba, F. Ouattara, B. Dinga, V. Doumbia, A. Hady, E. Hounginou, B. Kahindo, S. Madougou, A. Mahrous, T. Ndekatou, J. Uwamahoro, N. Zaourar, O. Bock, Y. Cohen, L. Damé, R. Fleury, P. Lassudrie-Duchesne, M. Petitdidier, *Météorologie de l'Espace en Afrique (II) Programme ISWI – International Space Weather Initiative*, proceedings colloque URSI France 2010, https://ursi-france-institut-telecom.fr/pages_evenements/journees_scient/docs_jo

2008

2) Amory-Mazaudier, C., *Sun Earth's System : The transient variations of the Earth's magnetic field*, Proceedings Mearim N°1, 2008, DOI: 10.1017/97740330200173, page 263, IAU August 2009.

3) Halberg, F., C. Mazaudier, G. Cornelissen, *La tension artérielle systolique humaine peut elle présenter une période d'environ 1,3 ans en relation avec le rythme du vent solaire ? un cas clinique*, Revue Rythmes, Tome 39, n°3, septembre 2008.

2006

4) Amory-Mazaudier, C., 2006, *On the scientific contributions of Pierre Noël MAYAUD*, presented during IAGA meeting Toulouse July 18-29 2005, Invited paper, published in *Historical events and people in aeronomy, geomagnetism and solar-terrestrial Physics*, AKGGP/SHGCP, Science Edition, Bremen, Postdam, Alle Rechte reserviert, pp 75 to 97 .

5) Amory-Mazaudier, C., 2006, *Women in an International Geophysics Research without Borders*, TWOWS international Conference – Women's Impact on Science and Technology in the New Millennium, Bangalore, India, 21-25 November 2005. Invited paper.

6) Amory-Mazaudier, C., 2006, *La Science au service du développement : Réseau international de scientifiques en géophysique*, Colloque sur l'Afrique, Initiatives Africaines, Paris les 7 et 8 papier invité.

7) Petitdidier, M., and J. Blamont, 2006, *The French contribution to the airglow exploration and to upper atmosphere studies by optical observations*, Invited paper, published in *Historical events and people in aeronomy, geomagnetism and solar-terrestrial Physics*, AKGGP/SHGCP, Science Edition, Bremen, Postdam, Alle Rechte reserviert pp33 to 61.

2005

8) Legrand, J-P., M. le Goff, C. Mazaudier and W. Schröder, 2005, Solar and Auroral activities during the seventeenth century, 1992, edited in a book on Case Studies on the Spörer Maunder and Dalton minima collected and edited by W. Schröder, AKGGP, Science Edition Rönnebeck/Postdam.

2004

9) Legrand J.P., M. Le Goff, C. Mazaudier, 2004, On the solar cycle; evolution during the seventeenth century sunspot minimum, appear in Meteorological and Geophysical fluid dynamics a book to commemorate the centenary of the birth of Hans Ertel edited by Wilfried Schröder / Science Edition/ ArbK Geschichte Geophysik, invited paper.

10) Amory-Mazaudier. C., 2004, The next steps in Geophysics for the XXI century, International Workshop « Challenges for Geomagnetism Aeronomy and Seismology for the XXI Century”, Ebre September 28 to October 1st.

2002

11) Amory-Mazaudier C. , ideas and Research programmes, Earth's environment International cooperation, 2002, book of History of geomagnetism and aeronomy, Solar variability and Geomagnetism, collected and edited by W. Schröder, Science edition AKGGKP, Bremen-Rönnebeck, Postdam.

12) Amory-Mazaudier, C., 2002 On the electric current systems in the Earth's environment some historical aspects , Part II : external part/ ionosphere/ disturbed variation, book of history of Geomagnetism and aeronomy, Solar variability and Geomagnetism, collected and edited by W. Schröder, Science edition AKGGKP, Bremen-Rönnebeck, Postdam, invited paper.

1999

13) Amory-Mazaudier C., 1999, Toward Women training synergies, Third World Organization of Women in Science, Cape Town, 8-11 February, participation -> invitation by TWOWS.

1997

14) Amory-Mazaudier, 1997, C. Dynamique d'un projet scientifique : Education, Recherche, Développement, Journées scientifiques ivoiriennes de Physique : la physique au service du développement, 3-5 décembre, Abidjan, sur invitation.

1992

15) Legrand, J.P., M. Le Goff, C. Mazaudier, W. Schröder, 1992, Solar and auroral activities during the seventeenth century, à paraître dans Solar-Terrestrial variability and

Global change, Interdivisionnal Commission of History of IAGA, Traduction de l'article N° 21, B.

16) Menvielle M., C. Mazaudier, 1992, On the transient variations of the Earth's magnetic field : Mayaud's contribution, à paraître dans Explorer the Earth : Progress in geophysics since the 17th century, Interdivisionnal Commission of History of IAGA invited paper.

17) Mazaudier, C. (CRPE/France), J. Achache (IPGP/France), A. Achy-Séka (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), Y. Albouy (ORSTOM/France), E. Blanc (CEA/France), K. Boka (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), J. Bouvet (CRPE/France), Y. Cohen (IPGP/France), C-S. Diatta (ITNA/Sénégal), V. Doumouya (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), O. Fambitakoye (ORSTOM/France), R. Gendrin (CRPE/France), C. Goutelard (LETTI/France), M. Hamoudi (CRAAG/Algérie), R. Hanbaba (CNET/France), E. Houghinou (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), C. Huc (CRPE/France), K. Kakou (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), A. Koba Toka (Univ. d'Abidjan/ Côte d'Ivoire), P. Lassudrie-Duchêne (CNET/France), E. Mbipom (Université de Calabar / Nigéria), M. Menvielle (Lab. Géophysique/ France), S.O. Ogunade (Université Obafemi/ Nigéria), J. O. Oyinloye (Univ. d'Ilorin/Nigéria), D. Rees (UCL/UK), A. Richmond (NCAR/U.S.A.), E. Sambou (ITNA/Sénégal), E. Schmucker (Univ. Göttingen/ Germany), J. L. Tireford (Observatoire de Lamto/Côte d'Ivoire), J. Vassal (ORSTOM/Sénégal), P. Vila (CRPE/France), 1992, Année Internationale de l'Electrojet Equatorial, Séminaire de Grasse en Vercors, pages 141-148, 21-24 janvier.

1990

18) Legrand, J.P., M. Le Goff , C. Mazaudier, 1990, Is there a relationship between the Maunder's minimum and climatic changes observed during the XVIIth century?, 1990, Advance in Geosciences, Interdivisionnal Commission of History of IAGA, Wilfried Schröder (Editor), 15-27, (Exeter, G.B., 24 juillet-4 août, 1989) B.

Documents de Travail :

- 1) Meurville, E., Le sondeur a rétrodiffusion du LETTI, publication Letti, Université Paris Sud, 1995.
- 2) Vassal, J., M. Dukhan, Année Internationale de l'Electrojet Equatorial, Dispositif ORSTOM d'étude de l'électrojet et premiers résultats, ORSTOM, cote BX18032, 1994.
- 3) Amory-Mazaudier, C. Abdu M.A., Arora, B.R., 1996, International Equatorial Electrojet Year, final catalog, editor : C. Amory-Mazaudier, CETP, July .
- 4) Amory-Mazaudier et al. (ensemble des membres du projet), AIEE-GIRGEA, 1991-2002, Volume 1. Année Internationale de l'Electrojet Equatorial (1991-1994), Groupe international de Recherche en Géophysique Europe Afrique (1995-2002), édité en 2003, sur le site internet de l'IPGP de Paris.

On equatorial geophysics studies: a review on the IGRGEA results during the last decade

C. Amory-Mazaudier^{a,*}, A. Koba^b, P. Vila^a, A. Achy-Séka^b, E. Blanc^c,
K. Boka^b, J. Bouvet^a, J-F. Cécile^c, Y. Cohen^d, J.-J. Curto^e, M. Dukhan^f,
V. Doumouya^b, O. Fambitakoye^{f,*}, T. Farges^c, C. Goutelard^g, E. Guisso^b,
R. Hanbaba^h, E. Houngninou^b, E. Kone^b, P. Lassudrie-Duchesne^h,
C. Lathuillere^m, Y. Leroux^h, M. Menvielle^a, E. Obrou^b, M. Petitdidier^a,
S.O. Ogunade^{i,*}, C.A. Onwumechili^j, D. Rees^k, E. Sambou^{l,*}, M. Sow^b, J. Vassal^f

^aCentre d'Etude des Environnements Terrestre et Planétaires, Centre National de la Recherche Scientifique, 4 Avenue de Neptune,
94107 Saint-Maur-des-Fossés, France

^bLaboratoire de physique de l'atmosphère, Université de Cocody, 22 BP 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

^cLaboratoire de détection géophysique, CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), B.P. 12, F-91680,
Centre de Bruyères-le-Châtel, France

^dIPGP, Institut de Physique du Globe, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cédex 05, France

^eObservatorio de Ebre, E-43520 Roquetes, Tarragona, Spain

^fIRD, LGI (ancien ORSTOM) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement et la Coopération Scientifique,
32 rue Henri Varagnat F 93143, Bondy, France

^gCNAM, Université Paris X, Laboratoire signaux et systèmes, 292 rue Saint Martin, F-75141 Paris, cedex 13, France

^hFrance Télécom-CNET, (F-22307 Lannion), Technopole Brest-Iroise, 29238 Brest, Cédex, France

ⁱUniversity of Obafemi, Awolowo, Nigeria

^j4813 Lackawanna street, College Park, MD 20 740, USA

^kCenter of Atmospheric and Space Studies Utah State University, Logan, Utah 84322/4405, USA

^lDépartement de Physique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Fann, Senegal

^mLaboratoire de Planétologie de Grenoble, France

Abstract

During the years 1993–1994, a continuous campaign of measurements has been held in the frame of the International Equatorial Electrojet Year (IEEY) with a network of 10 magneto-telluric stations and a network of three ionosondes. Other instruments have participated during shorter periods, HF radar and optical Fabry-Perot 630 nm interferometer.

After the IEEY campaigns, the International Group of Research in Geophysics in Europe Africa (IGRGEA created in January 1995), has organized the research in geophysics. This paper report the main results of the IGRGEA during the last decade at local, regional and planetary scales.

At a local scale, the HF radar data highlighted the complex structure of echoes in the equatorial zone and allowed to explain the “necklace” echoes as due to oblique propagation into the type I instability levels. This radar observed

*Corresponding author.

E-mail address: christine.mazaudier@cetp.ipsl.fr (C. Amory-Mazaudier).

*Dr O. Fambitakoye died in January 2000, Dr E. Sambou died on September 26, 2002 in the wreck of the Joola ship and Pr. S.O. Ogunade died in December 2001.

atmospheric storm electric field discharges at Es layer for the daytime and Equatorial Spread F at night-time. A series of original results concern Doppler spectra and the electric field change on plasma drifts across the ionosphere, gravity waves effects as well the ESF multi-process sources.

At a regional scale, magnetic data were used to parametrize the Equatorial Electrojet (EEJ). Ionospheric data, magnetic data and UARS satellite were brought together as input parameters of the Richmond's EEJ model to reproduce the EEJ and the magnetic field variations associated to EEJ. The comparisons between magnetic data, and the magnetic field computed from the physical model and from the parametrization of the EEJ are all in good agreement. Ionosonde data were included in the IRI. Ionosonde data revealed the field aligned f_0F_2 crests of ionization at mid morning and early afternoon hours. Measurements of equatorial night-time wind variations, obtained for the first time over African equatorial zone with the Fabry-Perot interferometer, shown the strong variability of atmospheric winds.

At a planetary scale, the parametrization of the EEJ was done using the magnetometers chain involved during IEEY in the three longitude sectors. Finally, we present the results on electrodynamic coupling between high and low latitudes with overshielding or shielding events.

© 2004 Elsevier Ltd. All rights reserved.

0. Introduction

It was at the VANCOUVER Assembly of IAGA (Interdivisional Commission in 1987) that the Interdivisional Commission on Developing Countries (ICDC) commission requested to intensify International Electrojet studies in the frame of International Equatorial Electrojet Year (IEEY) projects. After IGY and programs that followed it, the IEEY is for the first time a planetary experiment to be handled largely by scientists from developing countries.

The west African network results have been remarkably regular, allowing to fill the gap between Asian and American series, and to study multiples scales phenomena.

In two preceding papers, Mazaudier and Cohen (1991) and Mazaudier et al. (1993) presented the scientific objectives of the internal and external geophysics communities, involved in the project, and the experimental campaign planned for the African sector.

In this review, we describe the campaign and the scientific results obtained during the decade 1992–2002.

There are five sections. Section 1 presents the details of the experimental campaign. Sections 2, 3 and 4 are respectively devoted to the scientific results at a local, regional and planetary scales. Section 5 highlights the development of geomagnetism and aeronomy in Africa in the IGRGEA group for the next decade.

1. The campaign

Fig. 1 gives the experimental sites in West Africa, Table 1 the various experiment operated during the IEEY and Table 2 the location of these experiments.

Several instruments were brought to Africa for the IEEY experiment:

- a network of ten geo-magneto-telluric stations, from November 1992 to October 1994;
- a HF radar at Korhogo during two campaigns in 1993 and 1994;
- an ionosonde at Korhogo installed in November 1992;
- a Fabry Perot interferometer at Korhogo operating since November 1994.

The interferometer and the ionosonde are now permanent tools of the Korhogo observatory.

All the observations made during the IEEY were compiled in a final catalog including the three longitude sectors (Amory-Mazaudier et al., 1996).

2. Scientific results at a local scale

At the local scale, the HF radar echoes were used to study the instabilities in the equatorial ionosphere, the night-time spread F and daytime sporadic E (Section 2.1), and the electron drift measurements (Section 2.2).

2.1. Instabilities in the equatorial ionosphere, night-time spread F and daytime sporadic E

Ionospheric measurements were performed with the LDG radar (LDG: Laboratoire de Détection Géophysique du Centre à l'Energie Atomique) during two campaigns in April–July 1993 and October–December 1994. The experiments were specifically defined for the study of, irregularities over short period-time (2–25 min) with intensive measurement modes, and large scale disturbances with longer duration modes (8–10 h). The

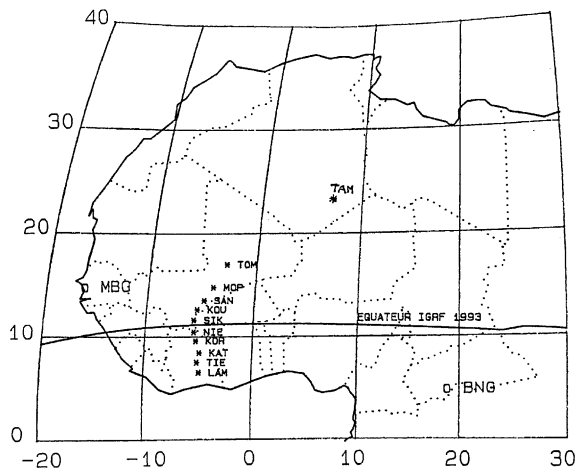


Fig. 1. Experimentation sites of the African sector during the IEEY project.

radar mainly operates at a vertical incidence; it gives echo amplitude, Doppler spectra and echolocation in a large height range with a height resolution of 1.5 km (Blanc et al., 1996).

Previous oblique radar measurements showed, during daytime, the presence of the level of type I instabilities associated with two-stream jet and type II instabilities associated with cross field drift (Hanuise and Crochet, 1977, 1981). During the present experiment, strong scattered signal was received from irregularities characterized by broad spectra typical of type II instabilities. Simultaneous high-resolution echo measurements revealed that these irregularities are subjected to turbulence and wave structures, with kilometer scale size and they fluctuated over time periods of 1 s or less. At frequencies of 2–8 MHz, the radar receives scattered signal from 100 to 20 m irregularities, probably acting as tracers of large scale motions. Kilometric irregularities have also been observed in the same height range by the Jicamarca incoherent scatter radar sensitive to 3-m-scale irregularities (Farley et al., 1994). Surprisingly the present measurements also point out that the region where kilometric irregularities are observed is not limited to the electrojet but rather extends up to the F region trace (Blanc et al., 1996). The scale of the irregularities is a few kilometers in the electrojet range and several kilometers in the F region. In addition scattering arises from specific oblique propagation around the E layer peak whereby the type I irregularity mode is evidenced (Fig. 3 in Farges et al., 1999). Similar echoes have also been obtained in the same region by the Jicamarca radar (Kudeki and Fawcett, 1993). It has never been observed previously with HF radar, sensitive to larger scale irregularities. Farges (2000) compared daytime series of these “necklace” shaped echoes which

Table 1

Periods of measurement of the various equipments involved in the International Equatorial Electrojet Year, in the European–African sector

Tools/ Laboratory	Operating periods
Magnetometer and telluric network (10 stations), ORSTOM/France Ivory Coast and Mali	From November 20th, 1992 To October 26th, 1994
1 magnetometer M'Bour observatory/Senegal	Permanent
1 magnetometer Bangui observatory RCA	Permanent
HF radar CEA/France	From April 8th, 1993 To July 23th, 1993 From October 10th, 1994 To November 27th, 1994
Interferometer UCL/England Korhogo observatory/Ivory Coast	From November 5th, 1994 To May 5th, 1995 Permanent tool now
Ionosonde network France-Télécom-CNET/France Korhogo observatory/Ivory Coast	From October, 1992 Permanent tool now
Canbérène observatory/Senegal Ouagadougou obs./Burkina Faso	Permanent tool Permanent tool → closed in 1999
1 magnetometer Awolowo University/Nigeria	Permanent
1 magnetometer IGP/France Tamanrasset observatory/Algeria	Catalogue of data not yet available
1 magnetometer Kyushu University/Japan Tamanrasset observatory/Algeria	Catalogue of data not yet available
1 magnetometer and 1 ionosonde EBRE Observatory/Spain	Permanent

characterize the day-to-day change in the electric field regimes of the EEJ. Farges (2000) shows, for the first time that 150 km echoes result from oblique propagation on type I irregularity fronts.

Fig. 2 shows an example of HF echoes observed on May 28, 1993. Complex scattered signal arises from the 100–150 km height range. The “necklace” echo trace between 150 and 170 km ranges can be clearly identified in Fig. 2. On the same figure the irregularities in the F1 region appear as a broadening of the radar echoes. In parallel, height oscillations with a period of 15–30 min are produced by gravity waves. The HF echoes is the combination of oblique and vertical scattered signals due to the broad beam of the antenna. The echo location

Table 2

Location of the equipments involved in the International Equatorial Electrojet Year, in the European–African sector

West Africa		
Site	Geographic coordinates Lat. N/Long.W	Instrument
Tombouctou (Mali)	16°44'00"/3°00'00"	1 magnetometer + Telluric
Mopti (Mali)	14°30'30"/4°05'14"	1 magnetometer + Telluric
San (Mali)	13°14'00"/4°52'00"	1 magnetometer + Telluric
Koutiala (Mali)	12°21'00"/5°27'00"	1 magnetometer + Telluric
Sikasso (Mali)	11°21'00"/5°42'00"	1 magnetometer + Telluric
Niella (Mali)	10°13'00"/5°38'00"	1 magnetometer + Telluric
Korhogo (Ivory-Coast)	9°20'00"/5°26'00"	1 magnetometer + Telluric
Katiola (Ivory-Coast)	8°11'00"/5°03'00"	1 magnetometer + Telluric
Tiebessou (Ivory-Coast)	7°13'00"/5°14'30"	1 magnetometer + Telluric
Lamto (Ivory-Coast)	6°14'00"/5°01'30"	1 magnetometer + Telluric
M'Bour (Senegal)	14°20'00"/16°55'00"	permanent magnetometer
Bangui (R.C. Africa)	4°24'00"/–18°37'00"	permanent magnetometer
Dakar (Senegal)	14°46'00"/17°25'00"	permanent ionosonde
Korhogo (Ivory-Coast)	9°27'00"/5°38'00"	permanent ionosonde CEA HF radar UCL Interferometer
Ouagadougou (Burkina Faso)	12°22'00"/1°32'00"	permanent ionosonde
Ile-Ife-Awolowo University Nigeria	7°17'00"/5°08'00"	permanent magnetometer
Tamanrasset (Algeria)	22°56'00"/5°30'00"	permanent ionosonde permanent magnetometer + 2 magnetometers

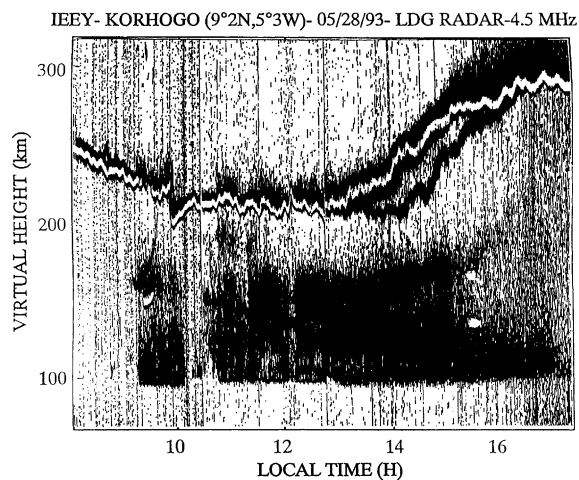


Fig. 2. Variations of the virtual height of the LDG radar echoes at Korhogo (9°N, 5°3W) at the 4.5 MHz frequency on May 28, 1993.

records allow their separation and show that their amplitude is comparable. The Doppler signals characteristic of oblique scattering in the electrojet and F region irregularities reveal horizontally moving plasma flow at a velocity of about 100 m/s in the electrojet region at 105 km and 130 m/s in the F region at 210 km (Blanc et al., 1996). This plasma flow is mainly

controlled by the electric field in the electrojet region and by the neutral winds in the F region.

The large scale daytime motions of the F region are mostly dependent on the electrojet electric fields. Characteristic drifts have been measured at the bottom of the F region and in the upper F₂ region. Frequently, in the post sunset hours, rapid height increases of the lower F region suggest prereversal enhancement of the electric field before sunset. On the other hand, the upper F region is most of the time subjected to very large vertical plasma flows, upward in the morning and downward in the afternoon, related to the equatorial fountain process (Blanc and Houngrin, 1998; Houngrin, 2004).

The night-time ionosphere is commonly affected by the presence of density irregularities manifested as spread radar echoes in the F region in a large height range. Incoherent scatter radars showed the presence of very large plasma plumes extending up to the altitude of the satellite (Kelley and Mc Clure, 1981). Similar spread F structures were observed during the present experiments. These plumes are known to be related to the development of density depletion or bubbles arising from the lower part of the F region. After sunset, the F layer undergoes an enhanced eastward electric field and rises to altitudes where the collision frequency is sufficiently low to allow the triggering of a Rayleigh Taylor instability resulting in the equatorial spread F. During the present experiments, a few examples of very

large scale oscillations of the spread F echoes (100 km/2 h) were observed and explained by the passage of bubbles in the radar field of view. The measured height and horizontal velocity of these bubbles decreases from 350 km and 140 m/s at 22.00 LT to 250 km and 60 m/s at 05.00 LT, (Cécile et al., 1996). On some occasions a different kind of spread F event was also observed, correlated with intense sporadic E echoes, in post midnight hours. An analysis of these echoes brought evidence that the wind shears visualized by the presence of metallic ions in the lower ionosphere, are at the origin of these events (Cécile, 1997).

The HF radar measurements also suggested a new hypothesis for daytime sporadic E and night-time ESF: the intense high altitude electric discharges from storm clouds (Roussel-Dupré and Blanc, 1997).

2.2. Electron electrojet and drift measurements

Sow (1999) derived the saturation speed of the electrons from the HF radar measurements. From the

spectrum one can deduce the Doppler shift Δf (related to the radial drift V_r by the equation $V_r = c\Delta f/2f$, where f is the transmitted frequency).

The radial drift variation is connected to the saturation speed of electrons following the expression $V_r = V_s \cos \varphi = V_s(1 - (h_0/d)^2)^{1/2}$ with $\varphi = \pi/2 - \theta$, where φ is the angle between wave vector and the horizontal plane, between 30° and 90° , V_s is the saturation electron drift circulating in the East–West direction in the EEJ, h_0 is the altitude where irregularities have the stronger intensity in the EEJ. Echoes are obtained by oblique reflections characterized by the distance d between the radar and the irregularity targets. h_0 and d are deduced from radar propagation time, taking into account the characteristics of the radar antenna.

Fig. 3 shows comparison between the H component of the Earth's magnetic field and the saturation speed for 2 days: May 8, 1993 (a disturbed magnetic day) and May 21, 1993 (a quiet magnetic day). The variations of electron saturation speed and of H component agree closely.

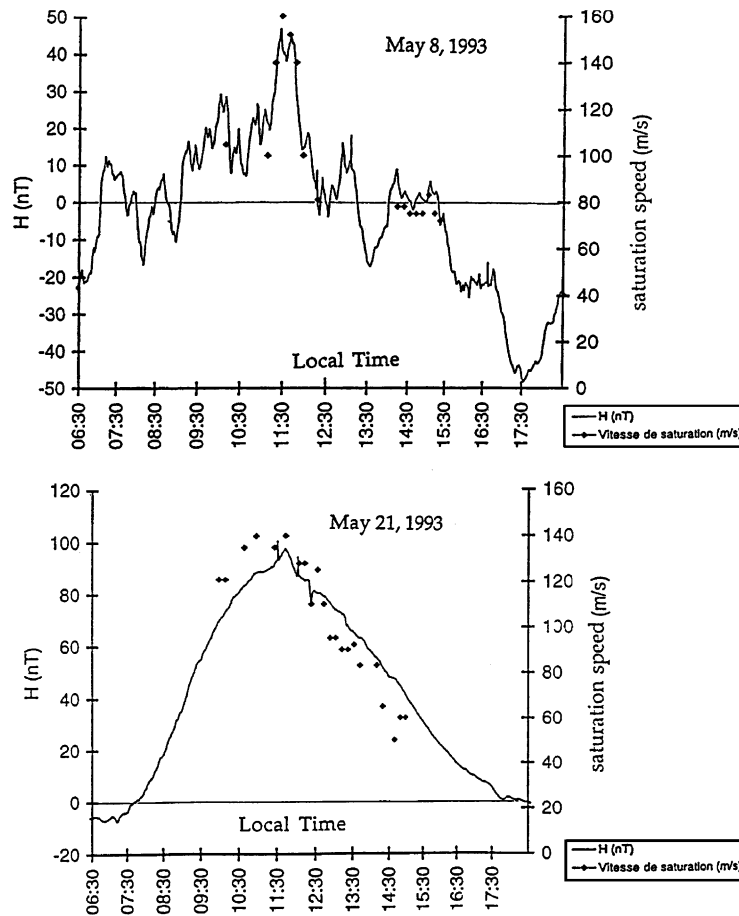


Fig. 3. Comparison between daily variation of horizontal speed of irregularities and the H component of the magnetic field: (a) magnetic quiet day and (b) magnetic disturbed day (from Sow, 1999).

3. Scientific results at regional scale

At the regional scale, our fields of research are transient magnetic field variations and the modeling of the equatorial electrojet (Section 3.1), the electromagnetic field (Section 3.2), the morphology and the dynamics of the ionospheric F₂ layer (Section 3.3).

3.1. Transient magnetic field variations and global modeling including Equatorial Electrojet

The network of 10 magnetotelluric stations have been maintained between November 1992 and November 1994 along a 1200 km long meridian profile, between Lamto (Ivory Coast latitude 6.2) to the south and Tombouctou (Mali, latitude 16.7) to the North. These stations, digitally measuring the three components of the magnetic field and the two components of the telluric field have continuously operated for 24 months.

Using a current model of a uniform ribbon at ionospheric altitude, Doumouya, 1995 and Doumouya et al. (1998) analysed 20 months interval of data, during quiet magnetic periods. With an inversion procedure, they provided an estimate of the position, width (a) and intensity of the eastward electrojet current (I_0). These parameters may be obtained for each hour of a quiet day.

These results on equatorial electrojet and counter electrojet were compared with those obtained during previous experiments of the same kind (Gouin and Mayaud, 1967; Mayaud, 1976a, b, c). All results agree closely.

Using Richmond's electrojet model (1973), Obrou (1997) computed the ionospheric current densities and the magnetic field H and Z components. The originality of this work was to introduce in the computation the winds from WINDII experiment (UARS, Shepherd et al., 1993) for local wind profiles, below 120 km. Above 120 km, the HMW model of Hedin et al. (1991) was used to complete the local wind profile. By successive computations of the Richmond's model, the initial electric field value was determined as the best fit with the latitudinal profile of the observed H component of the Earth's magnetic field.

The eastward ionospheric current density $J\varphi$ at the center of the electrojet was compared to the density current (I_0) computed from the inversion of magnetic observations using a parabolic model ($I_0 = \Delta H / 0.4 \arctg(a/h)$; ΔH : amplitude of the H component, a : width of the equatorial electrojet, and h : altitude of the equatorial electrojet) (Doumouya, 1995). Table 3 shows a good agreement between these two estimations of ionospheric current densities. The ratio $I_0/J\varphi$ is greater than 1 for the weak amplitudes of ΔH . At strong amplitudes, greater than 100 nT, the ratio

Table 3

Comparison between I_0 and $J\varphi$ at the center of the electrojet

Jours	ΔH (nT)	I_0 (A/Km)	$J\varphi$ (A/Km)	$I_0/J\varphi$
22/01/93	67	136	110	1.24
23/01/93	65	159	105	1.51
24/01/93	68	131	100	1.31
26/01/93	83	171	170	1.01
27/01/93	107	221	250	0.88
28/01/93	102	186	280	0.66
29/01/93	106	209	209	0.70
$\langle I_0/J\varphi \rangle = 1.04, \sigma = 0.3$				

I_0 : eastward electric current density derived from magnetic observations; $J\varphi$: eastward electric current density computed with the physical model Richmond 1973, from Obrou 1997.

is less than 1. The mean value of the ratio $I_0/J\varphi$ is 1.04 with a square of 0.3.

3.2. Electromagnetic field at equatorial latitude in the West African sector

The main sources of telluric electric fields are the variations of the external electric currents circulating in the Sun Earth's system, mainly the quiet time ionospheric electric currents, the disturbed ionospheric and magnetospheric electric currents. The behavior of the Earth potentials at dip latitudes is in fact a matter of debate. To our knowledge, very few experiments involving direct observation and recording of the Earth potential variations at dip latitudes have already been reported (Hutton and Wright, 1961; Hutton, 1962), and simultaneous observations of both electric and magnetic fields, transient variations along a chain of equatorial stations have never been made.

The Earth potential experiment carried out on African longitudes in the frame of the IEEY is actually an original contribution to the equatorial electrojet studies.

Also the question of the induction in Equatorial Electrojet region remains difficult. As for magnetic storm variations, it was theoretically addressed by many authors (Srivastava, 1965; Peltier and Hermance, 1971; Schmucker, 1970), who derived impedance tensor estimates by introducing a source field geometry in the magnetotelluric equations. However, the lack of simultaneous observations of both electric and magnetic fields variations at a chain of equatorial stations made it impossible to assess the validity of the theoretical results. As for the Solar regular variation (S_R), the almost complete lack of data does not permit one to have any experimental result on the induction for S_R frequencies at low dip latitudes. Ducruix et al. (1977), theoretically addressed the question of the induction by the S_R variation in Equatorial Electrojet region in terms of

Earth rotation below the ionospheric currents of fixed geometry and intensity. They showed that induced Earth potential variations only exist in presence of North–South ionospheric currents, and are therefore expected to be negligible if not null around LT noon. More generally the theoretical results established by [Ducruix et al. \(1977\)](#) clearly shows that the analysis of the Earth potential will provide information on the ionospheric current connected to the Equatorial Electrojet.

In order to get experimental information on the induction problem at dip latitudes, transient variations of telluric potentials were recorded together with those of the magnetic field. Telluric potentials variations were recorded by means of electrodes installed at the ends of two NS and EW lines of 200 m length. [Fig. 4](#) presents an example of observed telluric potential variations.

The analysis of the observed Earth potentials and magnetic variations enable one to address experimentally to the question of the induction in Equatorial Electrojet regions. It is likely to provide information on

the primary inducing field i.e. the electromagnetic field of external origin on the one hand, and on the medium in which induction takes place, i.e. the crust and the upper mantle below the stations on the other hand.

The first results obtained from the IEEY telluric potentials data are presented by [Vassal et al. \(1998\)](#). These authors address in particular the question of the induction at S_R frequencies and consider data from magnetically quiet days. They showed that the transient variations exist in the telluric potentials at these frequencies. But they demonstrate that these variations are not correlated with those generated in the magnetic field by the Equatorial Electrojet, see [Doumouya et al. \(1998\)](#), for a description of these magnetic variations). The telluric potentials are induced in the solid conductive Earth by transient magnetic variations of ionospheric primary sources. The results established by [Vassal et al. \(1998\)](#) therefore raise the question of the actual sources of the diurnal variation observed in the telluric potentials: which primary ionospheric source,

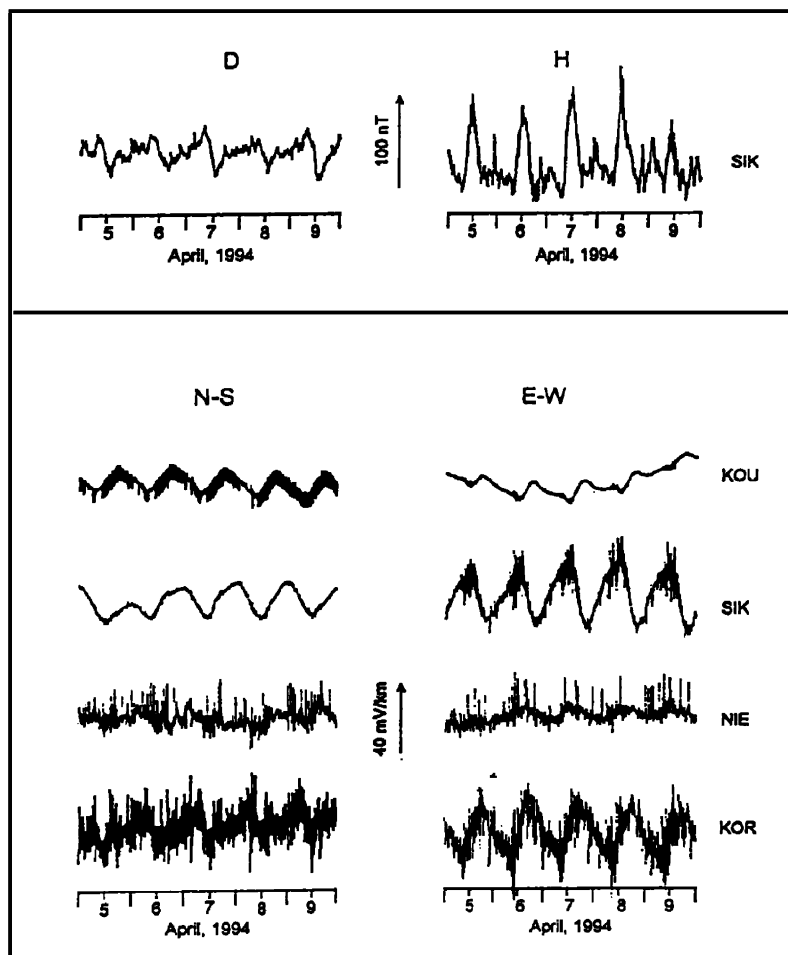


Fig. 4. Telluric potentials and magnetic field associated, observed at four stations of the electromagnetic profile.

and to what extent the observed variations in the telluric potentials are distorted by local regional features of the distribution of conductivity?

Models are presently developed to interpret these observations.

3.3. Morphology and dynamics of the equatorial plasmas

In low latitudes dynamics, there are many interactions with very different space and time scales.

Different physical processes of forcing are found in our preliminary results:

- (1) The atmospheric tides and its global S_R quiet-time dynamo (Mayaud, 1965) and all the mesospheric wind disturbance processes which modulate the equatorial currents.
- (2) Penetration of the magnetospheric electric fields from high to low latitudes (Vasyliunas, 1970; Peymirat and Fontaine, 1994).

- (3) The thermosphere motions, with subauroral sources of “quiet” and storm time winds which include mesoscale complex dependance of the equatorial zonal jet (Blanc and Richmond, 1980; Richmond et al., 1992; Richmond, 1973).

- (4) Non stationarity of the plasma rise velocity.

Fig. 5 (Sambou et al., 1998) shows the latitude versus local time of f_0F_2 variations for three successive days in March, 1993 (bottom panels), and the variations of the H magnetic field component (top panels).

On March 27 and 28, we observed an f_0F_2 enhancement from 10 LT to 12 LT across the magnetic equator. This illustrates a transient phase of fountain slowdown at peak F_2 layer levels. There is accumulating plasma due to a deficient transmission of the electric field from low to high altitudes.

Surprisingly, our IEEY ionograms do not show the rising strata observed in comparable declining solar

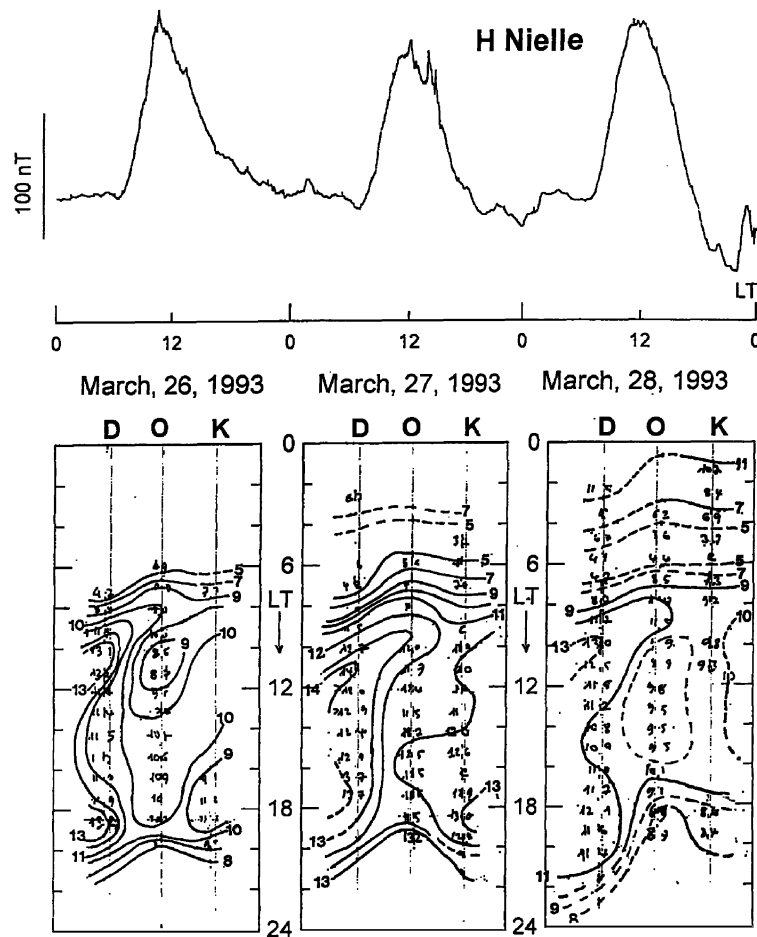


Fig. 5. Evolution of the f_0F_2 (bottom panels) and H component of the Earth's magnetic field (top panels), D is for Dakar, O for Ouagadougou and K for Korhogo (from Sambou et al., 1998).

cycle years (Faynot and Vila, 1979). These discrepancies are not yet understood.

Simple and dip latitude-uniform ExB drift variations (according to the Appleton “fountain” scheme, 1946; Lyons and Thomas, 1963) are not enough to explain the plasma flow control of such F_2 peak intensities. Even when it remains the dominant feature of the $f_0F_2(\Phi, t)$ contours, the trough itself is frequently abnormal in its latitude changes (Abur-Robb and Windle, 1969).

The most spectacular distortions are local crest enhancements, and total magnetic field-aligned dome events filling-in the trough zone for 2 to 5 h, with abrupt onset; these abnormal f_0F_2 distributions (Fig. 5, bottom panels) are studied in Sambou et al. (1993, 1998).

3.4. Further types of equatorial distortions: night-time F_2 layer

Equatorial Spread F (ESF) results from quarterly hourly ionograms (Farges and Vila, 2003), during the December 1994 to November 1995, a period of lower declining solar flux have received a particular attention. They cover the great variability of scales from faint seed echoes to the various patch producing mechanisms. Also the field-aligned diffusion effects between Ouagadougou and Dakar make Ouagadougou results more indicative of ESF sources. Our detailed sequences establish that classical Rayleigh Taylor rise events (plume or bubble) are frequently combined with wave shear triggers, but the rising patch scheme is frequently invalid, while inner layer coupling instabilities also produce a number of ESF events. The horizontal dynamics have been observed with the Fabry-Perot interferometer located at Korhogo which measured horizontal winds of the F_2 layer sub peak (Vila et al., 1998).

Seasonal study of ESF occurrence in the Brazilian sector has been done by Sobral et al. (2002) and comparison with the African sector is in progress.

Finally, the data of the ionosonde of Korhogo contributed in the progress of IRI (Bilitza et al., 2000; Obrou et al., to appear).

4. Scientific results at a Planetary scale

At this scale, two main fields of research were developed: the planetary parametrization of the equatorial (Section 4.1), and the electrodynamic coupling between high and low latitudes (Section 4.2).

4.1. Local time and longitudinal variations of the Equatorial Electrojet for the determination of the main field and the lithospheric field

The magnetic effects of ionospheric current systems are sources of disturbance for satellite borne of the

Earth’s interior magnetic field measurements (main field and lithospheric field). Near the dip equator the equatorial electrojet (EEJ) creates a strong magnetic field which needs to be removed for an accurate description of the internal field. Doumouya and Cohen developed a correction method from the EEJ contamination, using ground based data and an empirical model of the EEJ. They studied the local time and longitude dependance on EEJ and built a planetary parametrization of EEJ. They used data from the three equatorial chains of magnetic stations (India, Africa and Brazil) operating during the IEEY in addition to three stations closed to the dip-equator (Ancon in Peru, Mokolo in Cameroon and Yap in the Pacific). Fig. 6 from Doumouya et al. (2003) show the Heliosynchronous view of the EEJ at 12 LT at the altitude of 450 km.

4.2. The equatorial electrojet as part of a global ionosphere magnetosphere current system: electrodynamic coupling between high and low latitudes

Kobéa et al. (1998) and Kobéa, 2001 analysed the storm event of May 27, 1993. On May 27, a magnetospheric disturbance generated a Westward electrojet in the morning sector and the connection between the auroral and equatorial electrojets was detected, which coincided with the disappearance of plasma irregularities (Blanc and Houngninou, 1998). Kobéa et al. (2000) analysed two types of DP disturbances observed on May 27th 1993 using a large geomagnetic data set. Fig. 7 from Kobéa et al. (2000), shows the electric potential, on May 27, 1993 at 12:30 and 12:45 UT, associated to the “Magnetic Fluctuation Event”, the first type of disturbance. These potential maps, derived from data, using AMIE program (Richmond and Kamide, 1988), reproduce the well known pattern of the two convection cells of DP2 current system (Nishida, 1968). For the second type of disturbance analysed as “Overshielding event”, Kobéa et al. (2000) have been able to clarify certain aspects of the penetration of the electric fields and current from high to low latitudes, and showed that after a rapid decline of auroral activity a westward perturbation of the equatorial electrojet can be observed during 3 h without any shielding effect. With the MTIEGTM model (Peymirat et al., 1998), Peymirat et al. (2000) were able to reproduce the main features of the observations.

5. Conclusion

The International Equatorial Electrojet Year provides a large data set of magnetic, ionosonde, HF radar and interferometer data. From these observations many

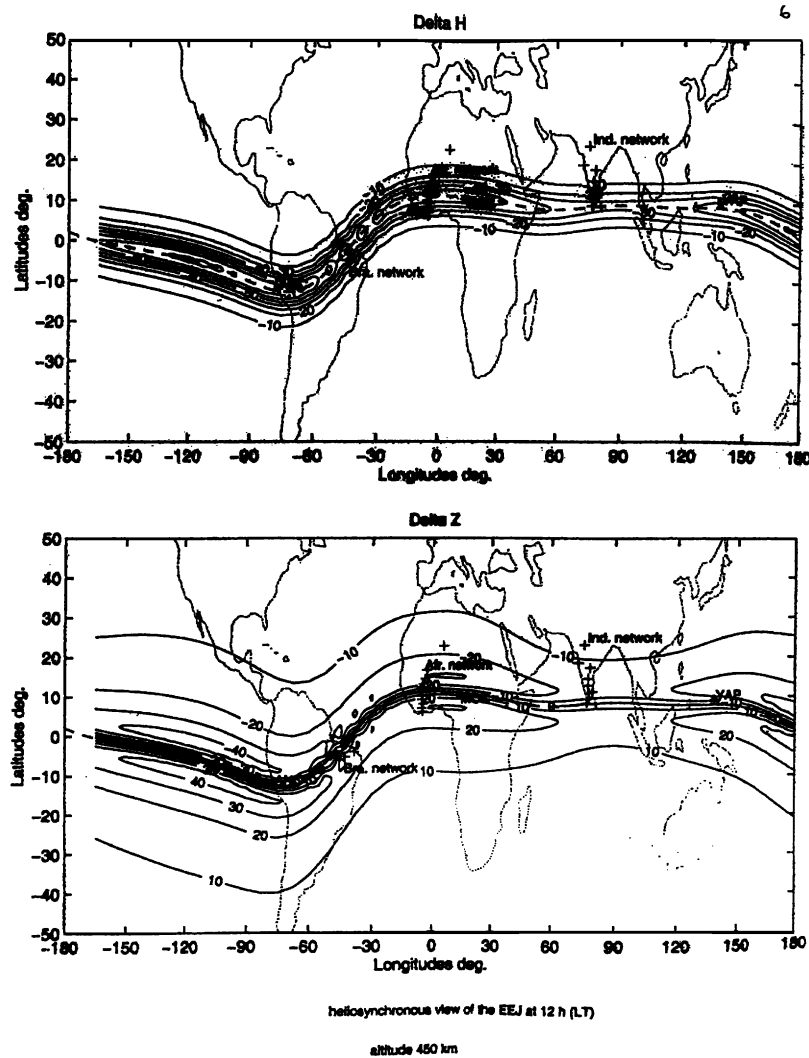


Fig. 6. Heliosynchronous view of the EEJ at 12 h (LT) at the altitude of 450 km (from Doumouya and Cohen, this issue).

topics of research were possible which lead to the following results:

- explanation of the “necklace” echoe as a consequence of oblique propagation;
- observations of the storm electric field discharges at Es layer for the daytime and ESF for the night-time;
- observations of gravity waves effects and ESF multi-process sources;
- determination of electron speed in the EEJ;
- observations of night-time winds in the African equatorial zone;
- observations of telluric electric fields in African equatorial zone;
- a parametrization of the EEJ at a regional and at a planetary scale from magnetic data and comparison with satellite data (OERSTED, CHAMP);
- modelization of the EEJ at a regional scale using ionospheric data and the Richmond’s physical model of EEJ;
- contribution to the IRI;
- study of equatorial crests anomalies;
- clarification of the electrodynamic coupling between high and low latitudes through shielding and over-shielding events and modelization with the MTIEGCM.

A positive consequence of the IEEY in West Africa has been the development in two University departments of geophysical research groups and the creation of two ground-based observatories at Korhogo (Ivory Coast) and Dakar (Senegal).

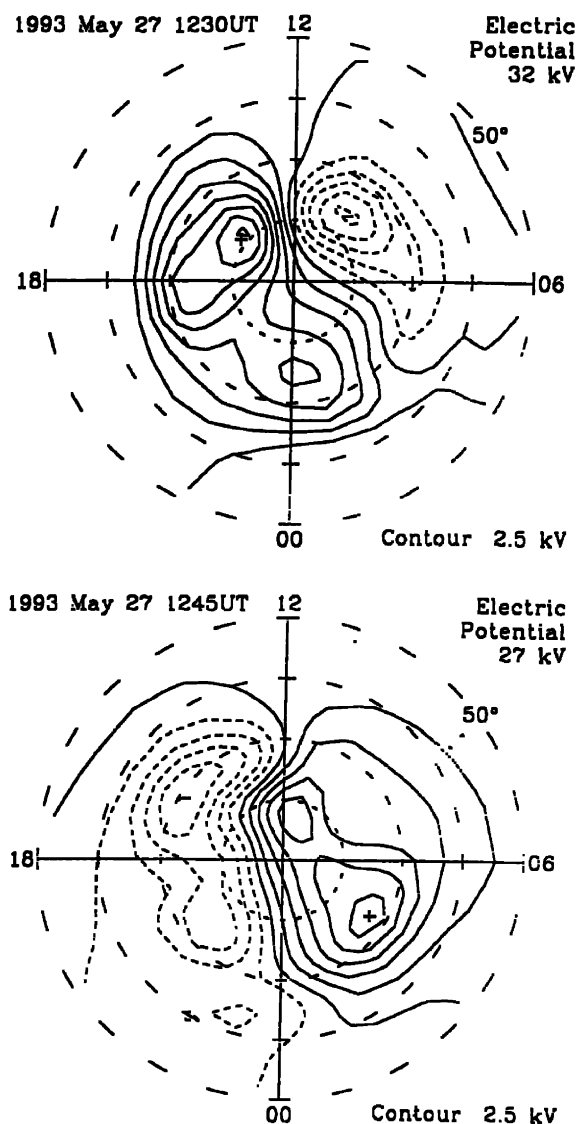


Fig. 7. Electrical potentials at 12.30 and 12.45 UT on May 27, 1993. The contour interval is 2.5 kV (from Kobéa et al., 2000).

Future Prospects for the IGRGEA

Three instruments are actually being set up before regular observations:

- (1) At Dakar (Senegal) a SCIPION research HF radar able to deliver ionograms and Doppler spectra at any reflection frequency (LeRoux et al., 1998).
- (2) At Korhogo (Ivory Coast) an HF STUDIO multi azimuth sensitive HF radar with proximal monostatic functions for research and with distant backscatter mode possibilities for propagation studies.
- (3) At Korhogo a new 630 nm Fabry-Perrot interferometer for night-time interferometry, amplitude and temperature measurements.

We now need to develop detailed comparisons with Indian and American longitude sectors.

Acknowledgements

The International Equatorial Electrojet Year (IEEY) in the African sector was made possible by the participation of a large number of institutes and funding agencies. Funding was provided by: Ministère de la coopération/Département de la Recherche et des formations, et Département télécommunications, ORSTOM/Département TOA (Terre Océan Atmosphère), CNET/France-TELECOM Centre Lannion, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Centre National de la Recherche Scientifique/Département SDU (Sciences De l'Univers), CEA, Centre à l'Energie Atomique. Abidjan University/ Ivory Coast and CNES (Centre National d'Etudes Spatiales).

We would like to express our deep gratitude to the many colleagues who have participated in the success of the experiment through enormous personal commitment.

References

- Abur-Robb, M.F.K., Windle, D.W., 1969. On the day and night reversal in NmF2 north-south asymmetry. *Planetary and Space Science* 17, 97.
- Amory-Mazaudier, C., Abdu, M.A., Arora, B.R., 1996. In: Amory-Mazaudier, C. (Ed.), *International Equatorial Electrojet Year, Final Catalog*. CETP, July 1996.
- Appleton, E.V., 1946. Two anomalies in the ionosphere. *Nature* 157, 691.
- Bilitza, D., Radicella, S.M., Reinisch, B.W., Adeniyi, J.O., Mosert Gonzalez, M.E., Zhang, S.R., Orbou, O., 2000. New B0 and B1 models for IRI. *Advances in Space Research* 25, 89–95.
- Blanc, E., Mercandalli, B., Houngninou, E., 1996. Kilometric irregularities in the E and F regions of the daytime equatorial ionosphere observed by a high resolution HF radar. *Geophysical Research Letters* 23 (6), 645–648.
- Blanc, M., Richmond, A., 1980. The ionospheric disturbance dynamo. *Journal of Geophysical Research* 85, 1669–1686.
- Cécile, J.-F., 1997. *Etude théorique et par radar HF des irrégularités de l'ionosphère: F diffus équatorial et effets des éclairs*. Thèse de l'Université de Toulon et du Var, France.
- Cécile, J.-F., Vila, P., Blanc, E., 1996. HF radar observations of equatorial spread-F over West Africa. *Annales Geophysicae* 14, 411–418.
- Doumouya, V., 1995. *Etude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial: variabilité saisonnière et réduction des mesures magnétiques satellitaires*. Thèse de 3ème cycle de l'Université d'Abidjan, Novembre.
- Doumouya, V., Cohen, Y., Arora, B.R., Yumoto, K., 2003. Local time and longitude dependence of the equatorial electrojet. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 65 (14–15), 1265.

- Doumouya, V., Vassal, J., Cohen, Y., Fambitakoye, O., Menvielle, M., 1998. Equatorial electrojet at African longitudes, First results from magnetic measurements. *Annales Geophysicae*.
- Ducruix, J., Courtillot, V., Le Mouél, J.-L., 1977. Induction effects associated with the equatorial electrojet. *Journal of Geophysical Research* 82, 335–351.
- Fambitakoye, O., Mayaud, P.N., 1976a. Equatorial electrojet and regular daily variation S_R —I. A determination of the equatorial electrojet parameters. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 38, 1–17.
- Fambitakoye, O., Mayaud, P.N., 1976b. Equatorial electrojet and regular daily variation S_R : II. The centre of the equatorial electrojet. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 38, 19–26.
- Fambitakoye, O., Mayaud, P.N., 1976c. Equatorial electrojet and regular daily variation S_R : IV. Special features in particular days. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 38, 123–134.
- Farges, T., 2000. Traitement et analyse de données de systèmes radar HF: Etude des perturbations ionosphériques détectées à l'équateur magnétique avec le radar du LDG et à moyenne latitude avec le réseau de Francourville. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université Paris XI Orsay, 6 mars.
- Farges, T., Vila, P., 2003. Equatorial spread F occurrence over West Africa ionogram analysis 1994–1995. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 65 (14–15) 1309.
- Farges, T., Blanc, E., Vilain, J.-P., 1999. Interpretation of equatorial electrojet irregularities observed with a broad beam HF zenithal radar. *Radio Science* 34 (5), 1141–1152.
- Farley, D.T., Swartz, W.E., Hysell, D.L., Ronchi, C., 1994. High resolution radar observations of daytime kilometer-scale wave structure in the equatorial electrojet. *Journal of Geophysical Research* 99 (A1), 299–307.
- Faynot, J.-M., Vila, P., 1979. Region strata at the magnetic equator. *Annales de Géophysique* 35 (1) janvier-février-mars.
- Gouin, P., Mayaud, P.N., 1967. A propos de l'existence possible d'un contre-électrojet aux latitudes équatoriales. *Annales de Géophysique* 23, 41.
- Hanuise, C., Crochet, M., 1977. Multifrequency HF radar studies of plasma instabilities in Africa. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 39, 1097.
- Hanuise, C., Crochet, M., 1981. 5–50 m Wavelength Plasma instabilities in the Equatorial Electrojet 1. Cross-field conditions, 2. Two stream conditions. *Journal of Geophysical Research* 3651–3572.
- Hedin, A.E., Biondi, M.A., Burnside, R.G., Hernandez, G., Johnson, R.M., Killeen, T.L., Mazaudier, C., Meriwether, J.-W., Salah, J.E., Sica, R.J., Smith, R.W., Spencer, N.W., Wickwar, V.B., Virdi, T.S., 1991. Revised Global Model of Thermosphere Winds using Satellite and Ground based observations. *Journal of Geophysical Research* 96 (A), 7657–7688.
- Houngninou, E., 2004. Etude de la dynamique et des perturbations de l'ionosphère équatorial par radar HF, Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université d'Abidjan soutenue le 22 janvier 2004.
- Hutton, R., 1962. The solar and lunar daily variation of earth currents near the equator. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 24, 673–680.
- Hutton, R., Wright, R.W.H., 1961. Diurnal variation of earth currents at the equator. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 20, 100–109.
- Kelley, M.C., Mc Clure, J.P., 1981. Equatorial spread F: a review of recent experimental results. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 43, 427–435.
- Kobéa, A.T., 2001. L'Electrojet Equatorial, partie du circuit électrique global: dynamo régulière et la pénétration directe du champ électrique de convection. Thèse d'Etat, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Kobéa, A.T., Richmond, A.D., Emery, B.A., Peymirat, C., Lürh, H., Moretto, T., Hairston, M., Amory, C., 2000. Electrodynamic coupling between high and low latitudes: observations on May 27 1993. *Journal of Geophysical Research* 105 (A10), 22979–22989.
- Kobéa, A.T., Amory-Mazaudier, C., Do, J.-M., Lürh, H., Vassal, J., Houngninou, E., Blanc, E., Curto, J.-J., 1998. Equatorial Electrojet as part of a global current system: data. *Annales Geophysicae* 16, 698–710.
- Kudeki, E., Fawcett, C.D., 1993. High resolution observations of 150 km echoes at Jicamarca. *Geophysical Research Letters* 20 (18), 1987–1990.
- Leroux, Y.-M., Ménard, J., Jolivet, J.-P., Davy, P.J., 1998. SCIPION, the new powerful CNET H.F. sounder operated in Dakar. *Annales Geophysicae* 16, 738–742.
- Lyons, A.J., Thomas, L., 1963. The F2 region equatorial anomaly in the African, American, and East Asian Sectors during sunspot maximum. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 25 (7), 373–386.
- Mayaud, P.N., 1965. Analyse morphologique de la variabilité jour à jour de la variation journalière et régulière S du champ magnétique terrestre, II le système de courants C (régions non polaires). *Annales de Géophysique* 21, 514–544.
- Mazaudier, C., Cohen, Y., 1991. L'électrojet équatorial: composante du circuit connectant le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère, l'atmosphère, et la terre. Rapport quadriennal 1987–1990, XXème assemblée de l'UGGI, Vienne, Autriche, 11–24 août.
- Mazaudier, C. (CRPE/France), Achache, J. (IPGP/France), Achy-Séka, A. (Univ. Abidjan/Ivory Coast), Albouy, Y. (ORSTOM/France), Blanc, E. (CEA/France), Boka, K. (Univ. Abidjan/Ivory Coast), Bouvet, J. (CRPE/France), Cohen, Y. (IPGP/France), Diatta, C.-S. (ITNA/Senegal), Doumouya, V. (Univ. d'Abidjan/Côte d'Ivoire), Fambitakoye, O. (ORSTOM/France), Gendrin, R. (CRPE/France), Goutelard, C. (LETTI/France), Hamoudi, M. (CRAAG/Algeria), Hanbaba, R. (CNET/France), Houngninou, E. (Univ. d'Abidjan/Ivory Coast), Huc, C. (CRPE/France), Kakou, K. (Univ. Abidjan/Ivory Coast), Kobéa Toka, A. (Univ. Abidjan/Ivory Coast), Lassudrie-Duchêne, P. (CNET/France), Mbipom, E. (Université de Calabar/Nigeria), Menvielle, M. (Lab. Géophysique/France), Ogunade, S.O. (Univ. Obafemi/Nigeria), Oyinloye, J.O. (Univ. d'Ilorin/Nigeria), Rees, D. (UCL/UK), Richmond, A. (NCAR/U.S.A.), Sambou, E. (ITNA/Senegal), Schmucker, E. (Univ. Göttingen/Germany), Tireford, J.L. (Observatory Lamto/Ivory Coast), Vassal, J. (ORSTOM/Senegal), Vila, P. (CRPE/France), 1993. International Equatorial Electrojet Year, *Brazilian Journal of Geophysics*, Special issue 11(3), 303–317.

- Nishida, A., 1968. Coherence of geomagnetic DP2 fluctuations with the interplanetary magnetic variations. *Journal of Geophysical Research* 73, 5549.
- Obrou, O., 1997. Electrojet Equatorial: Etude à l'aide du modèle physique local de Richmond, analyse comparative avec les observations. Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Obrou, O., Moukassa, B., Kobéa, A.T., Adeniyi, J.-O., this issue. Electron density and profile parameters B0 and B1 response during a magnetic disturbance at equatorial latitude. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, this issue.
- Peltier, W.R., Hermance, J.F., 1971. Magnetotelluric fields of a Gaussian electrojet. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 338–346.
- Peymirat, C., Fontaine, D., 1994. Numerical simulation of magnetospheric convection including the effect of field-aligned currents and electron precipitation. *Journal of Geophysical Research* 99, 11155.
- Peymirat, C., Richmond, A.D., Emery, B.A., Roble, R.G., 1998. A magnetosphere-thermosphere-ionosphere electro-dynamics general circulation model. *Journal of Geophysical Research* 103, 17467–17477.
- Peymirat, C., Richmond, A.D., Kobéa, A.T., 2000. Electrodynamic coupling of high and low latitudes simulations of shielding/overshielding effects. *Journal of Geophysical Research* 108, 17467.
- Richmond, A.D., 1973. Equatorial electrojet, I. Development of a model including winds and instabilities. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 35, 1083–1103.
- Richmond, A.D., Kamide, Y., 1988. Mapping electrodynamic features of the high-latitude ionosphere from localized observations: technique. *Journal of Geophysical Research* 93, 5741–5759.
- Richmond, A.D., Ridley, E.C., Roble, R.G., 1992. A thermosphere/ionosphere general circulation model with coupled electrodynamics. *Geophysical Research Letters* 19, 601.
- Roussel-Dupré, R., Blanc, E., 1997. HF echoes from ionization potentially produced by high-altitude discharges. *Journal of Geophysical Research* 102 (A3), 4613–4622.
- Sambou, E., 1993. Contribution à l'Etude de l'Ionosphere équatoriale: Variation du maximum d'ionisation de la région F2 en fonction des processus électrodynamiques agissant à grande échelle. Thèse de 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal.
- Sambou, E., Vila, P., Kobéa, A.T., 1998. Non-trough f_0F_2 enhancements at near-equatorial dip latitudes. *Annales Geophysicae* 16, 711–720.
- Shepherd, G.G., Thuillier, G., Gault, A., Solheim, G.H., Hersom, C., et al., 1993. WINDII, the wind imaging interferometer on Upper Atmosphere Research Satellite? *Journal of Geophysical Research* 98, 10725–10750.
- Sobral, J.H.A., Abdu, M.A., Takahashi, H., Taylor, M.J., de Paula, E.R., Zamlutti, C.J., de Aquino, M.G., Borba, G.L., 2002. Ionospheric plasma bubble climatology over Brazil based on 22 years (1977–1998) of 630 nm airglow observations. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 64, 1517–1524.
- Sow, M., 1999. Contribution à l'étude des irrégularités de l'ionosphère équatoriale et des champs électriques ionosphériques pendant le jour en Afrique de l'Ouest. Thèse de 3ème cycle, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Schmucker, U., 1970. An introduction to induction anomalies. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity* 22, 9–33.
- Srivastava, S.P., 1965. Method of interpretation of magnetotelluric data when the source field is considered. *Journal of Geophysical Research* 70, 945–954.
- Vassal, J., Menvielle, M., Dunkhan, M., Boka, K., Cohen, Y., Doumouya, V., Fambitakoye, O., 1998. A study of the transient variations of the Earth electromagnetic field at equatorial latitudes in Western Africa (Mali and Ivory Coast). *Annales Geophysicae* 16, 677.
- Vila, P., Rees, D., Merrien, P., Kone, E., 1998. Fabry-Perot Interferometer measurements of neutral winds and F2 layer variations at the magnetic equator. *Annales Geophysicae* 16, 731–737.
- Vasyliunas, V.H., 1970. A mathematical model of magnetospheric convection and its coupling to the ionosphere. In: McCormac, B.M., Reidel, D. (Eds.), *Particles and Fields in the Magnetosphere*. Dordrecht, Holland, p. 60.

GIRGEA : Groupe International de Géophysique Europe Afrique-Asie / April 11, 2011/

IGRGEA : International Geophysical research Group Europe Africa-Asia

It was at the Vancouver Assembly of IAGA, in 1987, that the Interdivisional Commission on developing Countries (ICDC) requested to intensify International Electrojet studies in the framework of International Equatorial Electrojet Year 1992-1994 (IEEY). After IGY and programs that followed it, IEEY is for the first time a planetary experiment to be handled largely by scientists from developing countries.

In 1995, at the end of the IEEY, the International Geophysical Research Group Europe Africa (IGRGEA) has been organized to follow the research work initiated during IEEY. The IGRGEA is a **laboratory without borders a worldwide network of scientists**.

The main objectives of the IGRGEA is to develop research in geophysics and build research teams of excellence in developing countries. To reach this objective, scientific programmes are defined in the framework of International projects, involving senior scientists from the whole world and students mainly from developing countries. The IGRGEA was involved in the International Heliophysical Year 2005-2009 (IHY <http://ihy2007.org>), and is presently involved in the International Space Weather Initiative (ISWI <http://www.iswi-secretariat.org>).

IEEY, IHY and ISWI programmes are part of the UNBSS initiative to develop Basic Space Science in developing countries (<http://www.oosa.unvienna.org>)

The IGRGEA is based on the respect of ethical rules, the original data collected in a given country are used by the students of the country for their training in order to obtain their PhD and a position in their country.

At that time, from 1995 until 2010, 18 PhD were defended by students from different countries (Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Egypt, Spain, France, Inde, Senegal, Vietnam), 16 have a position in their country, there are 7 new positions (*the other have the position during their PhD*). Two young scientists left geophysical research after their PhD to do computer sciences.

At that time 32 PhD are under progress, 8 students have already a position in their country.

First decade 1990-2000	Second decade 2001 until now	Last 4 years 2007 until now
29 papers 8 PhD Scientist - south 1 st author : 0 Student-south 1 st author: 4	51 papers 10 PhD Scientist - south 1 st author : 30 Student-south 1 st author : 22	31 papers 7 PhD Scientist - south 1 st author : 22 Student-south 1 st author : 16

Subjects covered by these articles:

* Vietnam Monsoon, *Long term variations in the equatorial ionosphere at the magnetic equator and on the tropical ionization crests in Asia,* Long term variations in magnetic activity, * Total Electron Content during maximum and minimum Sunspot Cycle, * Solar action on geomagnetism, *Equatorial electrojet, *Regular variation of Sq magnetic field in Vietnam, * Ionosphere Disturbance Dynamo,* Terrestrial movements of the earth's crust deduced from continuous measurements of GPS Stations in South-East Asia, * The Franco-Egyptian Year, * Use of GPS data to estimate the water vapor content of the Troposphere,*Climatology of gravity waves activity,*Equinox transition at the magnetic equator,etc...

Five African students have been appointed as University professors in Ivory Coast and in Burkina Faso. The perennality is assured.

In a near future all the scientific results of IGRGEA will be described on the website www.girgea.org