

Météorologie de l'Espace en Afrique (II) le programme ISWI – International Space Weather Initiative

Space Weather in Africa (II) ISWI Programme

Amory-Mazaudier, C.¹, A. Koba², F. Ouattara³, B. Dinga⁴, V. Doumbia⁵, A. Hady⁶, E. Hounginou⁷, B. Kahindo⁸, S. Madougou⁹, A. Mahrous¹⁰, T. Ndekatou¹¹, J. Uwamahoro¹², N. Zaourar¹³, O. Bock¹⁴, Y. Cohen¹⁵, L. Dame¹⁶, R. Fleury¹⁷, P. Lassudrie-Duchesne¹⁸, M. Petitdidier¹⁹

1. LPP/CNRS/UPMC/France, christine.amory@lpp.polytechnique.fr
2. Université de Cocody/Abidjan- Côte d'Ivoire, kobeatoka@yahoo.fr
3. Université de Koudougou/Koudougou-Burkina Faso, fojals@yahoo.fr
4. Université Marien Ngouabi/Brazzaville-République du Congo, bvs_dinga@yahoo.fr
5. Université de Cocody/Abidjan- Côte d'Ivoire, vadif@yahoo.fr@yahoo.fr
6. Université du Caire/Le Caire-Egypte, aahady@yahoo.fr
7. Université de Cotonou/Cotonou-Bénin, houngnb@yahoo.fr
8. Université de Kinshasa/Kinshasa-RDC, bkahindo@gmail.com
9. Université de Niamey/Niamey-Niger, nassara01@yahoo.fr
10. Université d'Helwan/Helwan-Egypte, ayman.mahrous@gmail.com
11. Université Cheik Anta Diop/Dakar-Sénégal, ndekatou@yahoo.fr
12. Chercher du Rwanda actuellement en Afrique du Sud, juwamahoro@hmo.ac.za
13. Université d'Alger/Alger-Algérie, naimazaourar@yahoo.fr
14. LATMOS/IPSL/CNRS/France, olivier.bock@aero.jussieu.fr
15. IPGP/Université Paris Jussieu/France, cohen@ipg.jussieu.fr
16. LATMOS/IPSL/CNRS/France, luc.dame@latmos.ipsl.fr
17. ENST/Télécom/France, rolland.fleury@telecom-bretagne.eu
18. ENST/Télécom/France, patrick.lassudrieduchesne@telecom-bretagne.eu
19. LATMOS/IPSL/CNRS/France, monique.petitdidier@latmos.ipsl.fr

Résumé :

Le projet 'International Space Weather Initiative' (2010-2012), s'inscrit dans la continuité du projet Année Héliophysique Internationale AHI (2007-2009). Ces deux projets sont suivis par la commission des Nations Unies pour les applications pacifiques de la Science à l'Espace (<http://www.oosa.unvienna.org>).

Dans notre exposé, nous présenterons les objectifs du projet ISWI qui poursuit le déploiement de réseaux d'instruments de mesure sur l'Afrique, commencé dans le cadre du programme AHI.

Nous ferons le point sur les sujets suivants :

- les réseaux existants et en particulier ceux de stations GPS et de magnétomètres ;
- les équipes scientifiques utilisant les instruments ainsi distribués géographiquement ;
- les écoles de formation organisées par l'ICTP (International Centre for Theoretical Physics) et le GIRGEA (Groupe International de Recherche en Géophysique Europe Afrique) ;
- les résultats scientifiques récents acquis en Afrique.

Pour les prochains programmes satellitaires, il est particulièrement important d'avoir des réseaux d'instruments au sol pour compléter les données des satellites.

Abstract:

The project 'International Space Weather Initiative' (2010-2012), is in the continuity of the program International Heliophysical Year IHY (2007-2009). These two projects are followed by the United Nations Committee for the peaceful applications of the Science to Space (<http://www.oosa.unvienna.org>).

In this presentation, we will focus on the objectives of ISWI project, which pursue the deployment of networks of scientific tools over Africa, started in the framework of the International Heliophysical Year.

We develop the following topics:

- existing networks and more particularly the networks of GPS stations and magnetometers;
- scientific teams using the distributed scientific tools;
- training schools organized by ICTP (International Centre for Theoretical Physics) and IGRGEA (International Research Group in Geophysics Europe Africa);
- the scientific results in Africa during the last years.

It is particularly important to have ground networks of scientific tools to complete satellite measurements.

1. International Space Weather Initiative

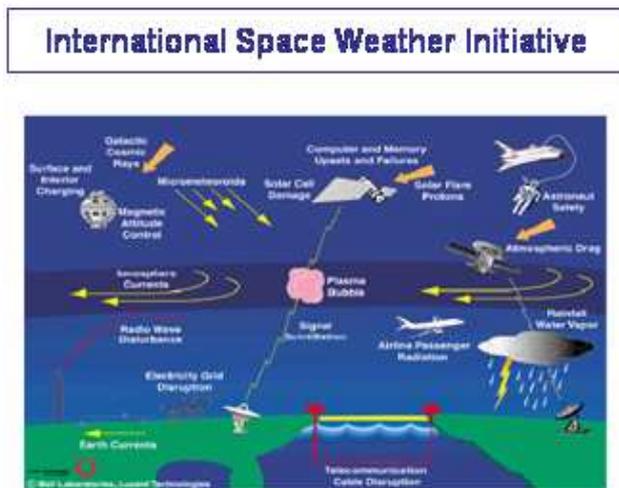
1.1 Les thèmes scientifiques

La figure 1 présente les thèmes scientifiques du projet ISWI. Ces thèmes concernent aussi bien :

- le rayonnement cosmique galactique
- le soleil et son influence sur l'environnement proche et les humains : radiations, événements de protons
- les phénomènes électrodynamiques : les courants électriques ionosphériques et les courants induits dans la terre et variations du champ magnétique terrestre qui leur sont associés
- l'ionisation et ses gradients : 'bubbles',
- le freinage par l'atmosphère,
- les phénomènes météorologiques : orages,
- etc...

Tous ces processus physiques, suivant l'altitude où ils opèrent causent des dommages aux satellites, affectent les transmissions satellites vers la terre et les télécommunications sous-marines, nuisent à la santé des passagers dans les avions etc...

Figure 1



Notre société moderne basée sur la technologie est de plus affectée par tous les processus électromagnétiques et dynamiques naturels. Tous ces événements ont été classés sous le terme générique de 'Météorologie de l'Espace' et le but est de les prévoir ceci afin d'éviter les désagréments entraînés par ces processus physique.

1.2 Objectifs

Les objectifs du programme ISWI ont été ainsi définis par Davila et al. [1]

- « Développer la connaissance scientifique pour comprendre tous ces événements de Météorologie de l'Espace afin de prévoir leurs impacts sur l'environnement terrestre proche
 - Instruments et l'analyse des données
 - continuer le déploiement des réseaux d'instruments existants et ajouter de nouveaux réseaux
 - accroître les efforts pour analyser les données des réseaux d'instruments et des bases de données existantes
 - Coordonner les différentes études d'analyse des données afin de fournir les paramètres d'entrée pertinents pour les modèles de (en connexion avec des efforts intensifs de modélisation)
 - assimiler les données des réseaux d'instruments dans les modèles physiques des processus héliophysiques
 - trouver les paramètres, dérivés des données, permettant de reconstruire les conditions passées afin de faciliter
 - Coordonner les résultats afin de trouver les relations permettant de développer des prévisions efficaces. (en relation avec les organisations de prédiction de Météorologie de l'Espace)
- Education
 - Université et écoles
 - encourager et aider les cours sur les sciences de l'Espace dans les écoles et les universités,
 - Communication des résultats au public
 - développer des outils de vulgarisation grand public propre au programme ISWI, et coordonner leur distribution. »

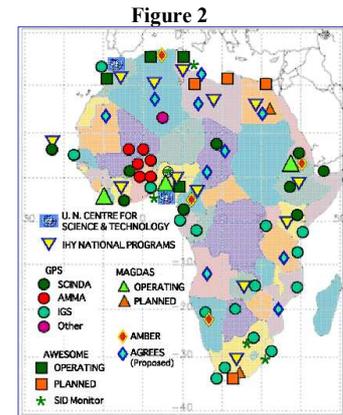
Dans le cadre du projet ISWI, certains principes sont respectés :

- « Le scientifique leader ou le principal investigateur financé par son pays fournit des instruments (ou les plans de fabrication) et organise la distribution des données
- Les scientifiques d'un pays qui reçoivent un instrument assurent les moyens et le personnel pour le bon fonctionnement de l'instrument (local, électricité, internet etc.), en général les instruments sont remis à des universités,
- Les scientifiques qui reçoivent un instrument font partie du groupe de recherche.
- Toutes les données et les analyses de données sont partagées.
- Tous les scientifiques participe aux publications et aux rencontres scientifiques si possible. »

2. Réseaux instrumentaux existants

Davila et al. [1] récapitulent l'ensemble des réseaux d'instruments déjà déployés dans le cadre du projet IHY (<http://ihy2007.org>). La figure 2 de Barbara Thompson présente ces instruments.

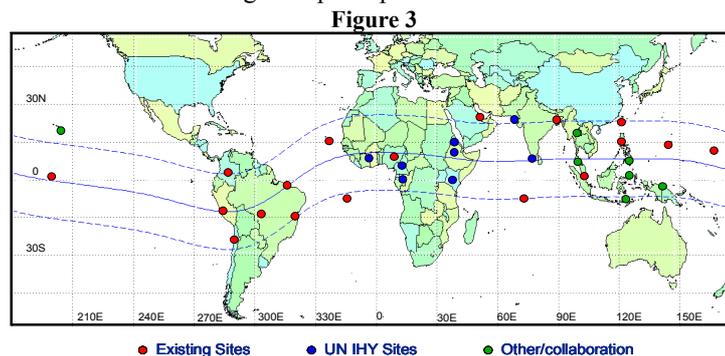
- *Réseaux GPS (SCINDA, AMMA, AGREES, ENST)
- *Réseaux de Magnétomètres (MAGDAS, AMBER, *IPGP, INTERMAGNET)
- *Radar Doppler Cohérent pour l'étude de l'Ionosphère (CIDR)
- *Réseau pour l'étude des sprites, elves etc.. (AWESOME)
- *Moniteur pour l'étude des débuts brusques (SID)
- *Réseau pour l'Astronomie (CALLISTO)
- *Réseau d'interféromètres (RENOIR)
- *Réseau pour les études basses fréquences de l'anomalie Sud Atlantique (SAVNET)
- *Réseau de détecteurs de particules (SEVAN)
- *Réseau de détecteurs de rayonnement cosmique (GMDN)
- *Réseau H-alpha (CHAIN)
- *Réseau de mesures optiques dans la mésosphère et la thermosphère (OMYI)



Dans ce paragraphe nous nous intéresseront uniquement aux réseaux de stations GPS et de magnétomètres déployés en Afrique. Nous ne prétendons pas donner une liste exhaustive de tous les réseaux de stations GPS ou les réseaux de magnétomètres. Nous ne citerons que les réseaux qui sont disponibles pour tous sur le Web et ceux pour lesquels on peut obtenir les données en contactant le responsable du projet.

2.1 Stations GPS

Réseau SCINDA : Scintillation Network Decision Aid
www.fas.org.spp/military/program/nssrm/initiatives/scinda.htm
 Investigateur principal : Keith Groves



Réseau AMMA : réseau mis en place sans le cadre de l'étude de la Mousson Africaine
<http://www.amma-international.org>
 Investigateur principal : Olivier Bock /olivier.bock@aero.jussieu.fr

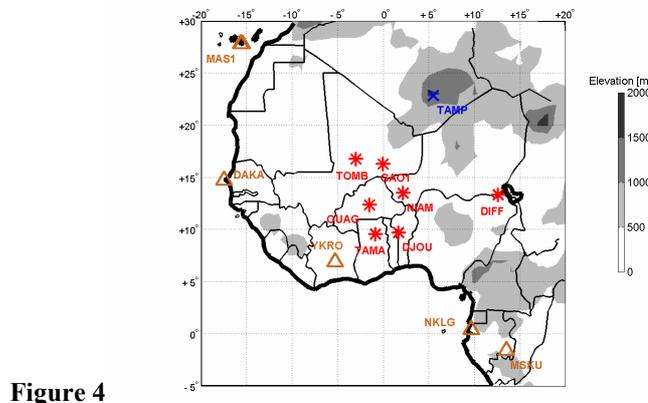
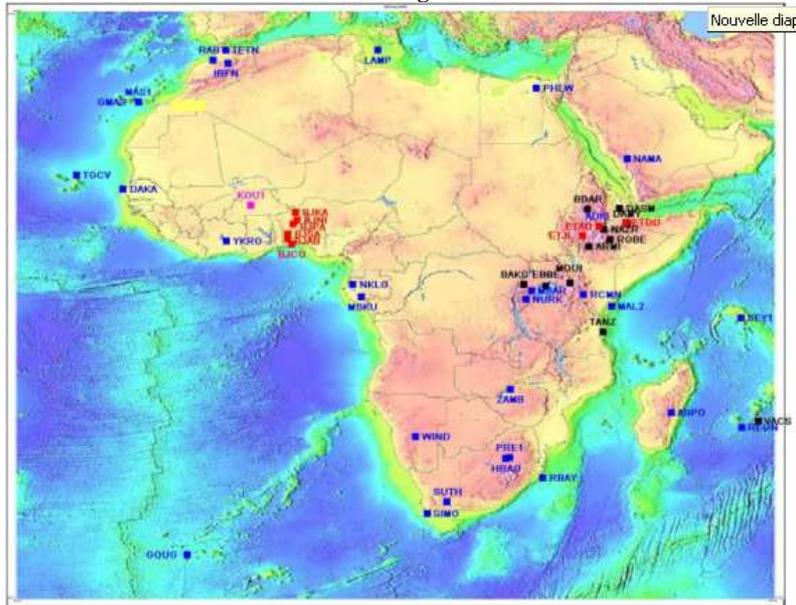


Figure 4

Il existe aussi des réseaux nationaux, l'Afrique du Sud possède un réseau de 50 stations GPS et le Maroc un réseau d'une douzaine. Il existe aussi des stations isolées comme celle de l'observatoire de Tamanrasset en Algérie et celle de l'université de Koudougou au Burkina Faso prêtée par l'ENST-Bretagne.

Réseaux disponibles sur le Web (figure de Rolland Fleury)
 Bleu : réseau IGS -> <http://sopac.ucsd.edu> <http://igs.ensg.ign.fr>
 Rouge : réseau NOAA -> <http://www.ngs.noaa.gov/CORS>
 Noir : réseau UNAVCO -> <http://www.unvaco.org>

Figure 6



2.2 Les réseaux de Magnétomètres

Réseau MAGDAS
www.serc.kyushu-u.ac.jp

Réseaux INTERMAGNET, IPGP, AMBER
 INTERMAGNET : www.intermagnet.org
<http://ganyemed.ipgp.jussieu.fr/magnetism>

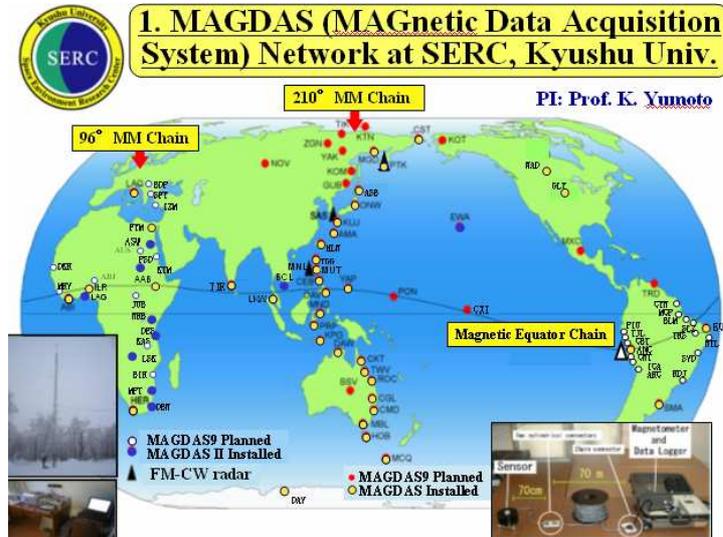


Figure 7

AMBER -> PI : Endawoke Kassie
ekassie@igpp.ucla.edu

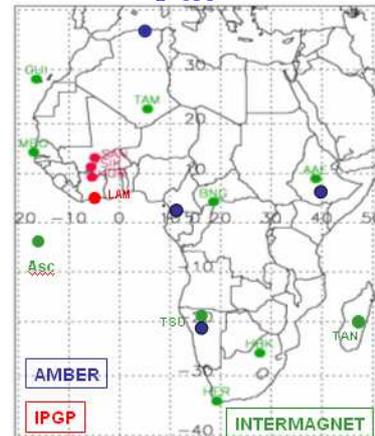


Figure 8

Il y a donc actuellement en Afrique:

4 magnétomètres -> réseau IPGP

4 magnétomètres -> réseau -> AMBER

10 magnétomètres-> réseau INTERMAGNET

20 magnétomètres -> réseau MAGDAS (12 installés et 8 planifiés)

A terme il y aura un réseau de 38 magnétomètres permanents en Afrique alors qu'en 1992, il n'y avait que 8 magnétomètres permanents du réseau INTERMAGNET.

Le développement des réseaux de mesures dans les pays en voie de développement est un pas essentiel pour comprendre les phénomènes de l'environnement terrestre à l'échelle planétaire. Le projet AHI, Année Héliophysique Internationale, a été primordial pour ce déploiement de réseaux de mesure. Thompson et al. 2009 [2] décrivent l'ensemble des actions et des résultats du projet AHI.

3. Les Equipes scientifiques et les instruments

Dans la plupart des pays africains il existe des équipes qui étudient les phénomènes de la basse atmosphère (orage météorologique, foudre etc.), par contre il est peu fréquent de trouver des équipes étudiant l'ionosphère, la magnétosphère et le soleil.

A notre connaissance, des équipes travaillant sur des thèmes scientifiques concernant l'ionosphère, la magnétosphère et le soleil se trouvent en Afrique du Sud, en Afrique du Nord (Egypte et Algérie), en Afrique de l'Ouest (Nigéria, Côte d'Ivoire, Burkina Faso), et Afrique de l'Est (Ethiopie).

Nous nous intéresserons ici plus particulièrement à l'Afrique francophone.

C'est dans le cadre du projet AIEE, Année Internationale de l'Electrojet Equatorial (Mazaudier et al. 1993) [3] que les premières études sur l'ionosphère ont commencé au Sénégal et en Côte d'Ivoire. A la fin du projet, en 1995, un réseau scientifique s'est constitué : le GIRGEA (Groupe International de Géophysique Europe Afrique), pour poursuivre les études commencées dans le cadre de l'AIEE. Les thématiques de ce réseau qui sont l'électromagnétisme et la dynamique de l'atmosphère dans l'environnement terrestre correspondent aux thèmes du projet ISWI.

Aujourd'hui, deux équipes se sont constituées en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso. En Algérie et au Bénin, des chercheurs confirmés devraient créer des équipes. En RDC, au Congo Brazzaville, au Rwanda, au Niger, en RCI, au Gabon et au Sénégal, il faut introduire la discipline 'météorologie de l'Espace'. Le projet ISWI est donc une opportunité pour les scientifiques africains. En effet, les instruments distribués permettent d'avoir des mesures originales et le réseau international constitué dans le cadre du projet ISWI permet de nombreux contacts et stimulations scientifiques.

Dans le tableau ci-dessus, nous avons rassemblé les instruments existants dans les pays du réseau GIRGEA (les coordinateurs du GIRGEA sont notés avec un astérisque, la plupart sont impliqués dans le programme ISWI).

Pays	GPS / Réseau	Magnétomètre	Coordinateur GIRGEA* ou contact
Algérie	1 GPS/IGS 1 GPS national	1 mag./INTERMAGNET 1mag./AMBER	Naïma ZAOURAR* 3 chercheurs Université d'Alger CRAAG
Bénin	2 GPS/AMMA		Etienne HOUNGNINO* Université de Cotonou
Burkina Faso	1 GPS/ENST 1 GPS/AMMA + 1 GPS/ SCINDA à venir		Frédéric OUATTARA* 2 chercheurs + 2 étudiants Université de Koudougou
Côte d'Ivoire	1 GPS/IGS 1GPS/SCINDA	2 mag./IPGP 1 mag./MAGDAS	VAFI DOUMBIA* Equipe dirigée par Arsène KOBEA 6 chercheurs + 7 étudiants Université d'Abidjan
Egypte	Réseau national	2 mag./MAGDAS	Ahmed HADY* Université du Caire Ayman MAHROUS* Université d'Helwan
Gabon	2 GPS/IGS		Marcellin NZIENGUI
Ghana	1 GPS/AMMA		Boubakar BARRY
Mali	2 GPS/AMMA		
Niger	1 GPS/AMMA		Saïd MADOUGOU* 1 chercheur Université de Niamey
RCI		1 mag./INTERMAGNET	Tiburce CONDOMAT 1 étudiant
République du Congo	1 GPS/SCINDA		Bienvenue DINGA* 3 chercheurs Université de Brazzaville
RDC	1 GPS/SCINDA à venir		Bruno KAKINDO* 2 Chercheurs + 3 étudiants Université de Kinshasa
Rwanda			Jean UWAMAHORO* 1 chercheur actuellement en Afrique du Sud
Sénégal	1 GPS/IGS	1 mag./INTERMAGNET	Grégoire SISSOKO* 1 Chercheur + 1 étudiant Université de Dakar

NB : Nous ne recensons dans ce tableau que les équipes d'Afrique pour lesquelles il y a des coopérations planifiées.

Pour d'autres pays d'Afrique, non cités dans ce tableau, des coopérations sont envisagées dans le futur. Dans ce tableau nous avons noté en bleu les noms des scientifiques africains travaillant déjà dans les domaines relevant du projet ISWI.

4. Ecoles de formation

C'est lors du premier atelier de travail '*Africa Space Weather Science and Education Workshop*' organisé en Ethiopie du 12 au 16 novembre 2007 par Sunanda Basu (Université de Boston), Tim Fuller-Rowell (Université du Colorado) et Gizaw Mengistu (Université d'Addis Abeba). Lors de cet atelier, il a été demandé à tous les participants d'organiser des écoles de formation afin de donner aux étudiants les bases nécessaires pour utiliser les données produites par les réseaux d'instruments mis en place dans le cadre du projet AHL. Cet atelier a réuni 128 participants, dont 72 scientifiques africains venant de 20 pays différents. Le rapport sur cet atelier est accessible à l'adresse suivante : http://www.icsu-africa.org/ihy_report_2007.pdf

Deux types d'école existent :

- 1) les écoles permettant l'utilisation des instruments de mesures (travaux pratiques et travaux dirigés avec les instruments de mesure)
- 2) les écoles permettant d'acquérir des connaissances essentielles sur l'ionosphère, la magnétosphère et le soleil.

4.1 Ecoles pratiques de l'ICTP et de l'Université de Boston

L'ICTP, International Centre for Theoretical Physics (S. Radicella) et l'Université de Boston (P. Doherty) se sont associés pour organiser des écoles '*Education in Satellite Navigation Science and Technology in Africa*'.

Ces écoles sont organisées en général à Trieste, la langue pour ces formations est l'anglais.

La première de ces écoles s'est déroulée du 23 mars au 9 avril 2009. La prochaine école aura lieu du 6 au 28 avril 2010.

La première école a regroupé 50 participants venant de 9 pays différents : Côte d'Ivoire, Egypte, Ethiopie, Ghana, Kenya, Maroc, Nigeria, Ouganda, Zambie.

L'ICTP et l'Université de Boston ont aussi organisé des écoles dans certains pays : Nigéria, Kenya et en Egypte.

4.2 Ecole pratiques du GIRGEA

Le GIRGEA regroupant de nombreux pays africains francophones a été amené à organiser des écoles en français, ceci à la demande des collègues africains.

La première école pratique '*GPS-SIG /Système d'Information Géographique*' s'est déroulée à Brazzaville du 2 au 12 décembre 2009. Elle a regroupé 35 participants venant de 4 pays : Côte d'Ivoire, République du Congo, RDC et France. La prochaine école, '*GPS-SIG*' en Afrique Centrale, est prévue en RDC au cours du 1^{er} trimestre 2011, elle sera suivie par une école au Gabon au 2^{ème} trimestre 2011.

Dans le cadre de l'Année Egypte France, une école de 'Météorologie de l'Espace' est organisée par le GIRGEA à l'Université d'Helwan, en Egypte, du 20 septembre au 3 octobre 2010, la langue de travail sera l'anglais.

4.3 Autres écoles

Il existe aussi des écoles permettant d'acquérir des connaissances utiles sur l'ionosphère, la magnétosphère et le soleil. Une école de ce type a été organisée au Nigéria, dans le Centre des Nations Unis pour la science et la technologie de la zone anglophone (voir figure 2), par B. Rabiou au mois de novembre 2008, l'ensemble des cours sera prochainement édité dans la revue scientifique '*Nigerian Journal of Space Research*'.

Prochainement, une école scientifique devrait être organisée au Maroc dans le Centre des Nations Unis pour la science et la technologie de la zone francophone'.

L'Afrique du Sud organise la formation pour l'Afrique centrale anglophone.

5 Résultats scientifiques récents

Le GIRGEA a à son actif plus de 114 publications : 74 articles dans les revues internationales à référer, 18 thèses, 17 actes à colloque, 4 documents de travail). Un premier article Amory-Mazaudier (2005)[4] a présenté les résultats acquis par le groupe de 1991 à 2002. Depuis de nombreux nouveaux résultats ont été publiés. Nous ne présenterons ici que les résultats les plus récents qui ont fait l'objet des deux dernières thèses du GIRGEA :

* la thèse d'Etat de Frédéric Ouattara (2009) [5], soutenue le 3 octobre 2009 à Dakar,

* la nouvelle thèse de Zacharie Zaka [6] soutenue le 11 février 2010 à Abidjan.

Il y a actuellement 17 thèses en cours dans le réseau GIRGEA.

Prochainement un site internet présentera les résultats acquis par les différentes équipes du GIRGEA. C'est l'équipe du Burkina Faso qui suit ce projet de site internet.

5.1 Les variations long terme de l'Ionosphère et de l'activité géomagnétique

La thèse de Frédéric Ouattara était : « *L'étude des relations entre les deux composantes du champ magnétique solaire et l'ionosphère équatoriale* ».

Nous présenterons ici (Figure 9) les variations moyennes annuelles des paramètres ionosphériques (fréquence critique, et hauteur virtuelle) observée à Ouagadougou durant 3 cycles de tâches, de 1966 à 1998 (Ouattara et al., 2009a) [7]. Chacun des panneaux présente un paramètre ionosphérique superposé à la valeur Rz du nombre de tâches (composante toroïdale du champ magnétique solaire). De haut en bas sur la gauche sont présentées les fréquences critiques des couches F2, F1, E et Es, à droite sont présentées les hauteurs virtuelles pour les mêmes couches.

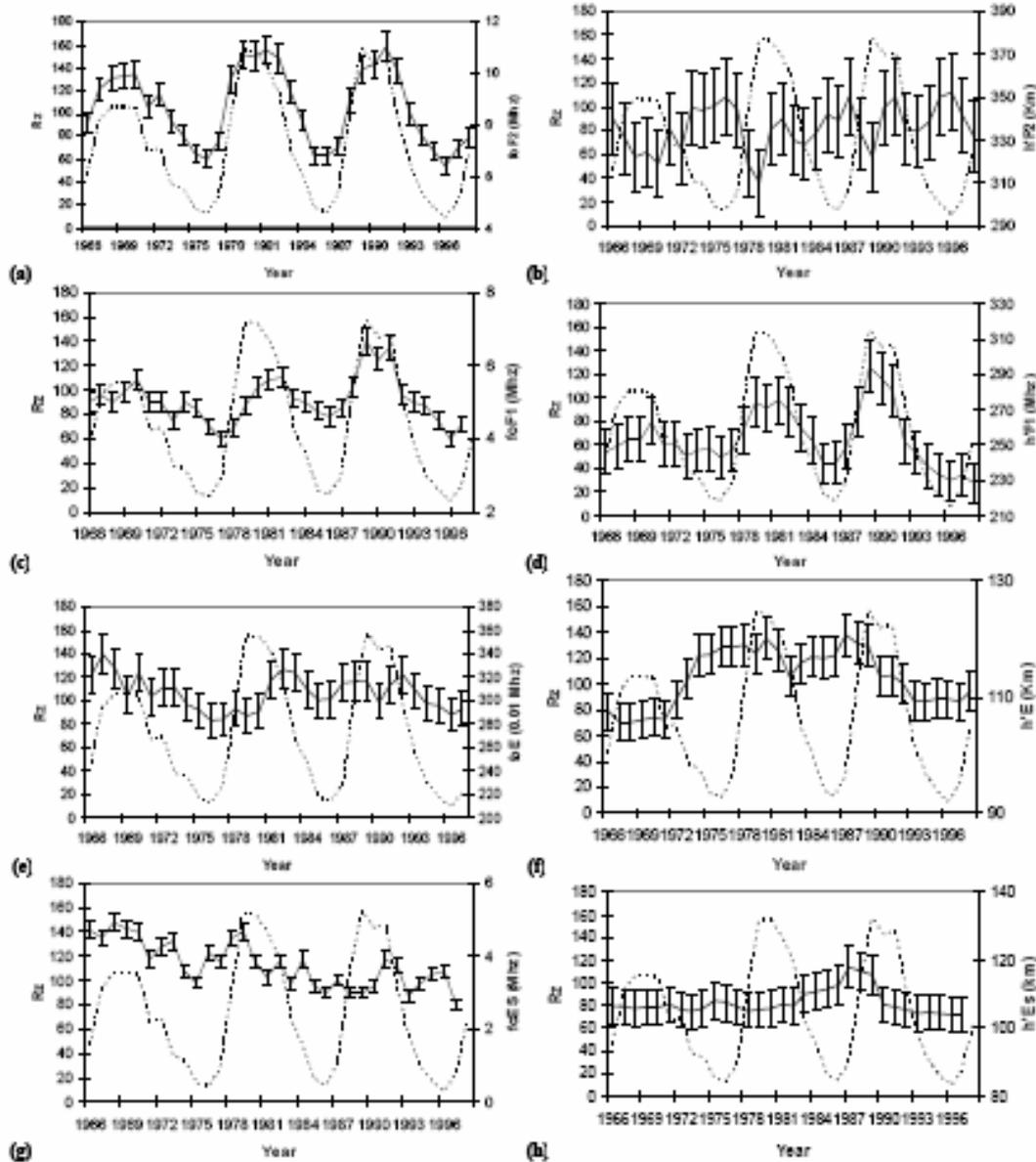


Figure 9

Cette figure montre que l'ionosphère varie au cours des 3 cycles solaires représentés, 20, 21, 22. La table ci-dessous donne les coefficients de corrélation entre les paramètres ionosphériques et le nombre de tâches.

Cycles		20	21	22
Coefficient de corrélation	foF2	0.977	0.973	0.948
	h'F2	0.952	0.607	0.122
	FoF1	0.850	0.944	0.970
	h'F1	0.510	0.792	0.896
	foE	0.726	0.169	0.560
	h'E	0.891	0.073	0.323
	foEs	0.716	0.421	0.041
	h'Es	0.427	0.678	0.192

Nous constatons que le coefficient de corrélation diminue pour la fréquence critique de la couche F2 et augmente pour la fréquence critique de la couche F1. Mais le plus spectaculaire est la diminution de la corrélation pour la hauteur virtuelle de la couche F2 et l'augmentation du coefficient de corrélation pour la hauteur virtuelle de la couche F1. Les paramètres de la couche F1 sont de plus en plus corrélés aux radiations solaires.

On constate aussi une diminution constante de la fréquence critique de la couche Es. Ces résultats montrent qu'il est nécessaire d'avoir des données sur de très longues périodes pour observer les changements en fonction du cycle solaire de tâches. Ces résultats sont encore à expliquer.

Reprenant les travaux de Legrand et Simon 1989 [8] et Simon et Legrand [9] qui ont établi des relations entre l'activité solaire et différentes classes de l'activité géomagnétique. Ouattara et al (2009b) [10] ont relié l'augmentation de l'activité géomagnétique (indice Aa) observé durant le siècle dernier à la composante dipolaire du champ magnétique solaire. La figure 10 représente la variation de l'activité géomagnétique de 1860 à nos jours. La ligne rouge représente une moyenne glissante sur dix ans avec un pas de un an.

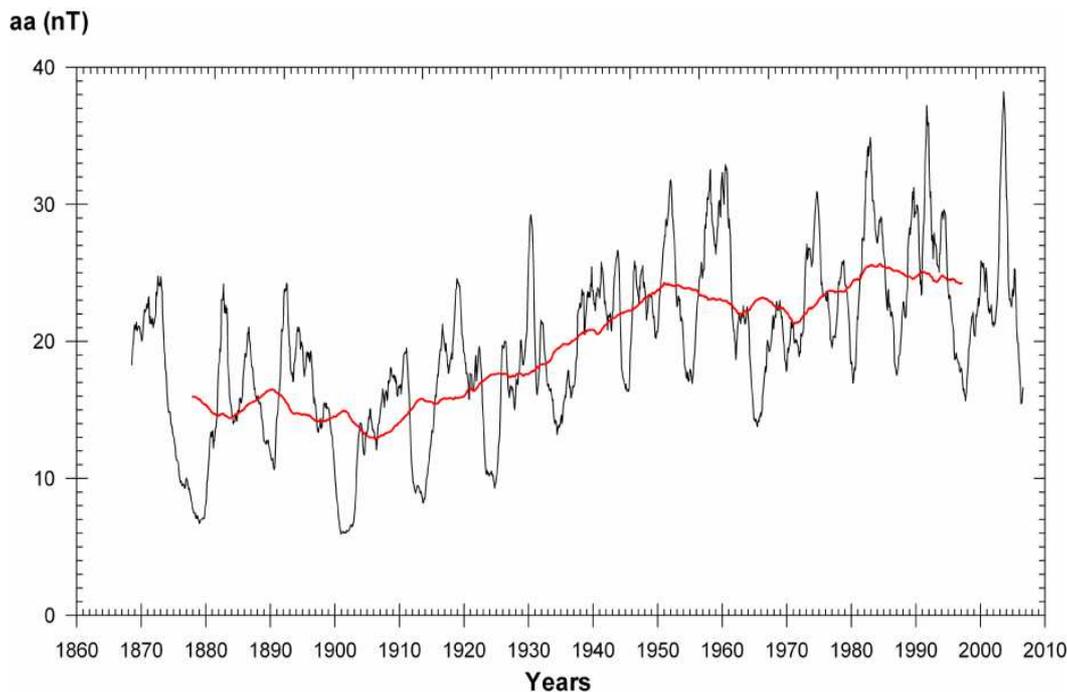


Figure 10

Ouattara et al (2009b) [10] ont montré que cette constante augmentation de l'activité géomagnétique provenait en fait de la disparition des jours calmes magnétiques. Les jours calmes magnétiques représentent une classe d'activité géomagnétique pour laquelle le vent solaire qui balaye les confins de la magnétosphère a une vitesse inférieure à 400km/s. La forte diminution des jours avec un vent solaire lent indique un changement dans la composante magnétique dipolaire du champ solaire qui module le vent solaire.

5.2 Les relations entre les hautes et les basses latitudes : La dynamo ionosphérique perturbée

La dynamo ionosphérique perturbée est un processus physique relié à la dissipation d'énergie Joule en zone aurorale durant les orages magnétiques. Ce mécanisme a été proposé par Blanc et Richmond en 1980 [11] pour expliquer certaines perturbations de l'ionosphère observées durant les orages magnétiques et qui persistaient après l'arrêt de l'activité aurorale. Dans la haute atmosphère ($h > 100\text{km}$) Les vents thermosphériques perturbés (ΔV_n) par le chauffage Joule en zone aurorale produisent par effet dynamo une modification des courants électriques ($\Delta J = \sigma(\Delta E + \Delta V_n \times B)$) ionosphériques qui engendrent à leur tour des variations transitoires du champ magnétique (ΔB).

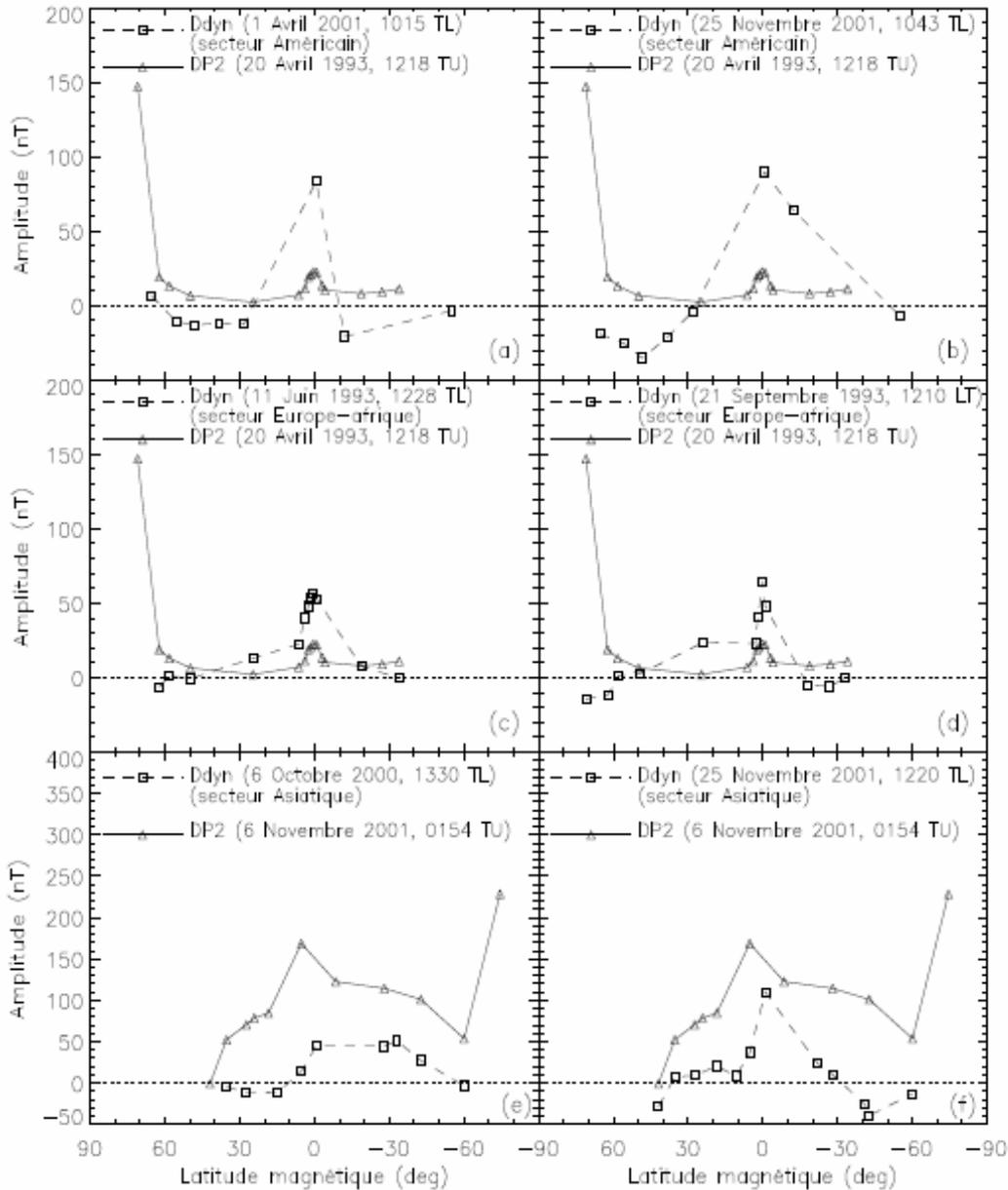
Le Huy and Amory-Mazaudier (2005,2008) [12, 13] ont défini les critères permettant de caractériser les perturbations magnétiques engendrées par la dynamo ionosphérique perturbée. Ils ont pu ainsi isoler cette perturbation qu'ils ont nommé Ddyn.

La thèse de Zacharie Zaka avait pour thème :

« 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. »

Sur la figure 11 Zaka et al., (2009) [14]) présentent les profils latitudinaux de la perturbation de la dynamo ionosphérique D_{dyn} observée dans les 3 secteurs de longitude américain, africain et asiatique.

La perturbation magnétique D_{dyn} (en trait pointillé), présente un maximum à l'équateur. On constate aussi que cette perturbation s'inverse aux moyennes latitudes. Sur cette figure sont aussi représentés les profils latitudinaux de la perturbation magnétique DP2 correspondant au mécanisme de prompté pénétration du champ électrique de la convection magnétosphérique. Les dates pour les deux perturbations sont différentes car les périodes ont été sélectionnées pour observer l'une ou à l'autre des perturbations.



On constate sur cette figure que l'amplitude de la perturbation D_{dyn} n'est pas négligeable et peut être supérieure à l'amplitude de la perturbation DP2, c'est le cas pour les secteurs américain et africain. On remarque aussi la différence entre le secteur asiatique et les autres secteurs.

Zaka et al. (2010)[15] ont modélisé la perturbation D_{dyn} avec le modèle TIEGCM du NCAR. Ils ont pu retrouver les caractéristiques de la perturbation, cependant le modèle sous-estime cette perturbation. Avec le déploiement du réseau MAGDAS en Afrique et en Asie, des progrès vont être faits dans la connaissance des perturbations magnétiques.

6. Conclusion

Dans ce document Nous avons successivement

- présenté les objectifs du projet ISWI : '*International Space Weather Initiative*'
- décrit les réseaux d'instruments mis en place dans le cadre du projet Année Héliophysique Internationale, notamment les réseaux de stations GPS et de magnétomètres,
- présenté le développement de certaines équipes africaines en météorologie de l'espace, leurs travaux, et leur implication dans la communauté internationale ainsi que dans ses programmes.

Les projets internationaux tels que AHI et maintenant ISWI sont essentiels pour le développement de la recherche en Afrique, car ils permettent aux scientifiques africains d'acquérir les données indispensables pour travailler dans leur pays. Ces grands projets offrent aussi la possibilité aux jeunes scientifiques d'avoir de nombreux contacts avec des scientifiques confirmés d'autres pays. Cela est essentiel lorsque l'on est un pionnier dans son pays.

Cependant un frein important au développement non seulement scientifique mais en général pour la société est la fracture numérique existante entre l'Afrique, en particulier sub-saharienne, et le reste du monde (Barton et al., 2009) [16]. Cela se traduit pour les scientifiques africains et leurs étudiants par un accès limité et souvent très onéreux aux technologies de l'information et de la communication (TIC), en particulier l'internet et tous les services l'utilisant (accès aux bases de données, aux journaux, au calcul distribué comme les grilles de calcul, ..). La communauté de la météorologie de l'espace a contribué à cette évolution et fait un suivi dans le cadre de eGY Africa (Electronic Geophysical Year). eGY était destiné à améliorer l'accès aux bases de données en géosciences, l'Afrique pouvant peut profiter de cette amélioration car sa priorité était d'abord d'avoir un internet de bonne qualité à un prix raisonnable ainsi est né eGY Africa. Les partenaires ont adressé les recommandations pour un accès aux TICs au niveau des pays, de l'Europe et d'organisations internationales.

Cette situation va en s'améliorant par l'installation de fibres optiques autour et en Afrique, et le développement de réseaux nationaux d'éducation et de recherche (NREN) dans le cadre de Africa Connect, initiative commune de la Commission Européenne et de l'Union Africaine, pour connecter GEANT avec les NREN Africains (Barry et al., 2010)[17]. Africa connect est un projet très ambitieux de longue haleine dont l'étude de faisabilité, FEAST, vient de se terminer.

Il est donc essentiel conjointement aux grands projets scientifiques tel que ISWI de développer les réseaux internet et les moyens de calcul en Afrique.

Remerciements :

les auteurs remercient tous les scientifiques qui déploient des instruments en Afrique ainsi que les coordinateurs de grands projets internationaux tels que AHI et ISWI.

Références

- [1] Davila , J., T. Bogdan and M. Hapgood, International Space Weather Initiative, 2009.
- [2] Thompson, B.J., N. Gopalswamy, J.M. Davila, H.J. Haubold, Putting the “I” in IHY, The United Nations Report for the International Heliophysical Year 2007, Studies in Space Policy, Sprng Wien New York, 2009.
- [3] 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. Houngninou (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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Ouattara, F., C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, P. Lassudrie-Duchesne, P. Vila, M. Petitdidier, West African equatorial ionospheric parameters climatology based on Ouagadougou ionosonde station data from June 1966 to February 1998, Annales Geophysicae,27, 2503-2514, 2009a.
- [8] Legrand J-P. and P.A. Simon, Solar cycle and geomagnetic activity : A review for geophysicists Part I : the contribution to geomagnetic activity of shock waves and of the solar wind , Annales Geophysicae, 1989, 7(6), 565-578.
- [9]Simon P. A. et J. P. Legrand, Solar cycle and geomagnetic activity : A review for geophysicists Part II. The solar sources of geomagnetic activity and their links with sunspot cycle activity. Annales Geophysicae, 1989, 7 , (6), 579-594;
- [10] Ouattara, F., C. Amory-Mazaudier, M. Menvielle, P. Simon, J-P. Legrand, 2008, On the long term change in the geomagnetic activity during the XXth century, Annales Geophysicae, 27, 2045-2051, 2009b.
- [11] Blanc, M., A.D. Richmond, The ionospheric disturbance dynamo, J. Geophys., 85, 1669, 1980.
- [12] 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, 2005.
- [13] 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.
- [14] Zaka, K.Z., A.T. Kobéa, P. Assamoi, O.K. Obrou, V. Doumbia, K. Boka, J-P. Adohi and N.M. Mene, Latitudinal profiles of the ionospheric disturbance dynamo magnetic signature : comparison with the DP2 magnetic disturbance, Ann. Geophys., 27, 3523-3526, 2009

[15] 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, Simulation of electric field and current during the June 11, 1993 disturbance dynamo event : comparison with the observation, submitted to JGR.

[16] Barton, C.E., C. Amory-Mazaudier, B. Barry, V. Chukwuma, R.L. Cottrell, U. Kalim, A. Mebrathu, M. Petitdidier, B. Rabiou and C. Reeves, Electronic Geophysical Year : Start of the Art and Results : eGY-Africa : Addressing the digital divide for science in Africa, Russian Journal of Earth Sciences, Vol. 11, ES003, doi:10.2205/2009ES0000377, 2009.

[17] B. Barry, C. Barton, V. Chukwuma, L. Cottrell, U. Kalim, M. Petitdidier, B. Rabiou, eGY-Africa: better Internet connectivity to reduce the digital divide, Cunningham, P and Cunningham, M (Eds), IST-Africa 2010 Conference Proceedings, International Information Management Corporation, 2008.