

RAPPORT ECOLE DE METEOROLOGIE DE L'ESPACE Rabat/Maroc [5 au 16 décembre 2011]

- I. Comité d'organisation
- II. Introduction
- III. Motivations
- III. L'équipe professorale
- IV. Les cours, le calendrier
- V. Les participants
- VI. le Budget
- VII. Organisation et logistique
- VIII. Conclusion : les retombées de cette école



Christine Amory-Mazaudier
Secrétaire scientifique

Abderrahmane Touzani
Directeur du CRASTE-LF

Nicole Vilmer
Présidente du comité National ISWI France

I.COMITES D'ORGANISATION

Organisé localement par

CRASTE –LF

**Centre Régional Africain des Sciences et technologies de l'Espace– Langue française
EMI**



MENESFCRS

**Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres
de la Recherche Scientifique**

Comité Scientifique de l'école

C. Amory-Mazaudier -> secrétaire

Jean-Luc Attié

Mohammed Bendouida

Karine Bocchialini

Dominique Fontaine

Jean-François Georgis

Samir Kadir

F. Pitout

Serge Soula

Art Richmond

Hamid Touma

Nicole Vilmer

II. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet international ISWI (International Space Weather Initiative <http://www.iswi-secretariat.org>), une école de formation en météorologie de l'Espace pour les scientifiques des pays africains francophones a été organisée à Rabat du 5 au 16 décembre 2011.

L'objectif principal de cette école était d'améliorer le niveau de la recherche dans les pays concernés et de permettre aux scientifiques africains de participer et contribuer aux projets internationaux. Les deux points clef sont :

- 1) la compétence pour utiliser les jeux de données déjà existants et les outils relatifs aux études de Météorologie de l'Espace .
- 2) l'utilisation des données recueillies récemment en Afrique par les scientifiques africains, ainsi que les données existant dans les bases de données. **On estime l'utilisation des données existantes à moins de 10%.**
- 3) L'utilisation des résultats de météorologie de l'espace combinant les données sol et des données satellitales, la recherche et le développement durable (*par exemple utilisation des GPS pour les études de géophysiques, la navigation, etc...*)

Pour atteindre ces objectifs les cours comprenaient :

- 1) Une partie scientifique pour la compréhension des mesures, des informations qui peuvent être extraites des données et des exemples d'applications en météorologie de l'Espace.
- 2) Des travaux pratiques informatiques pour l'utilisation des bases de données existantes comme SPIDR, IRI, IGRF, etc...

Pour remplir ces objectifs, l'école a permis :

- 1) De comprendre les processus physiques solaires et leurs actions sur l'environnement terrestres proche : magnétosphère ionosphère atmosphère,
 - a. Connaître les récentes découvertes faites sur le soleil,
 - b. Etudier l'impact du Soleil sur l'environnement ionisé terrestre,
 - c. Comprendre l'influence du soleil sur l'atmosphère terrestre,
 - d. Connaître d'autres utilisations des instruments de mesure utile pour le développement par exemple le GPS pour la navigation
- 2) D'utiliser les données adéquates existant dans les différentes bases de données anciennes ainsi que les données recueillies avec les instruments déployés dans le cadre des projets Internationaux actuels.

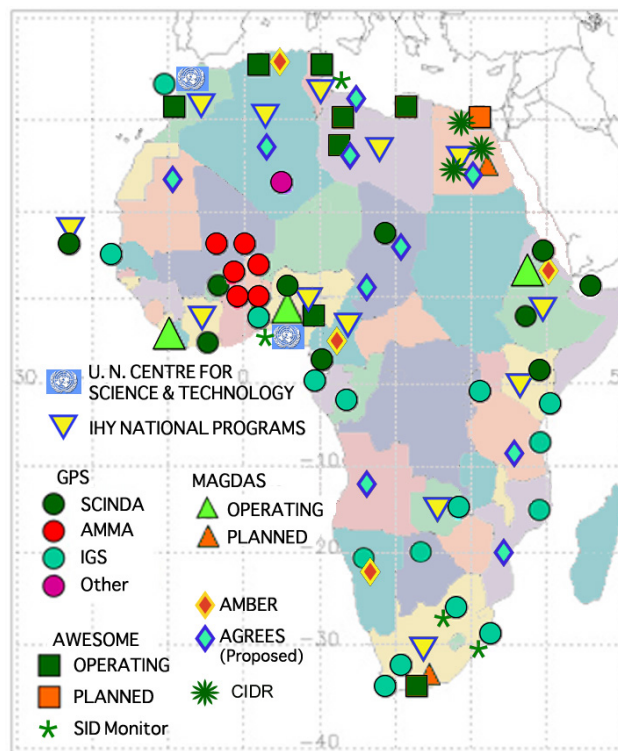
Cette école a eu pour objet de développer l'analyse de données en Afrique et ainsi de rentabiliser de nombreux projets existant (IHY : *International Heliophysical Year*, ISWI : *International Space Weather Initiative*, etc...).

III. MOTIVATIONS

1. Réseaux d'instruments en Afrique

Après le projet « Année Héliophysique Internationale (AHI- <http://ihy2007.org>) 2007-2009, le programme International Space Weather Initiative (ISWI- <http://www.iswi-secretariat.org> 2010-2012) continue le développement des réseaux d'instruments sur le continent africain et notamment des réseaux de stations GPS et de magnétomètres, de radars, etc ...

La figure ci-dessous présente les instruments déployés (GPS, Magnétomètres, SID etc...)au début de l'AHI : Année Héliophysique Internationale, (cette carte ne représente pas tous les instruments disponible actuellement -> voir pour plus d'information le site ISWI)



Toutes les données acquises par ces instruments vont permettre de documenter de phénomènes physiques qui n'ont pas été étudiés auparavant en Afrique faute d'instruments de mesures pour le faire. Il est donc essentiel de former des scientifiques africains à l'utilisation des ces données et d'introduire de nouvelles disciplines dans les universités africaines, afin que les étudiants participent au projet ISWI et utilisent les réseaux d'instruments déployés en Afrique montrés sur la figure ci-dessus.

Nous rappellerons ici que cette école est une première action qui sera ensuite suivie par l'encadrement de thèses de jeunes chercheurs africains.

2. Le Projet

- L'école s'est adressée à des Niveau M2.
- Les participants : Maître de Conférence, enseignants dans les Universités ou étudiants dans des équipes de recherche
- Le but : développer des équipes de recherche d'excellence en Afrique
- Le nombre : 28 participants de l'Afrique francophone.

IV. L'EQUIPE PROFESSORALE

1 ^{ère} semaine 5 au 10 décembre		
1	BOCCHIALINI Karine Karine.bocchialini@ias.u-psud.fr	Institut d'Astrophysique Spatiale Bât 121 Université Paris 11, 91405 Orsay cedex, France
2	FONTAINE Dominique Dominique.fontaine@lpp.polytechnique.fr	Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP) Ecole Polytechnique, Route de Saclay 91128 Palaiseau cedex, France
3	HILGERS Alain Alain.Hilgers@esa.int	ESTEC Keplerlaan, 1, PO Box 299, 2201 AZ, Noordwijk, Pays Bas
4	KLEIN Karl-Ludwig Ludwig.klein@obspm.fr	Observatoire de Paris 5 Place J. Jansen 92195 Meudon, France
5	PITOUT Frédéric frederic.pitout@cesr.fr	Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP) 9 avenue du Colonel Roche BP44346 Toulouse cedex 4, France
6	VILMER Nicole Nicole.vilmer@obspm.fr	LESIA Observatoire de Paris 5 Place J. Jansen 92195 Meudon, France
2 ^{ème} semaine 12 au 16 décembre		
1	AMORY-MAZAUDIER Christine Christine.amory@lpp.polytechnique.fr	Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP) Polytechnique UPMC, 4 Avenue de Neptune 94107 Saint-Maur-des-Fossés, France
2	BLANC Elisabeth Elisabeth.blanc@cea.fr	CEA/ Département d'analyse et de suivi de l'environnement, Bruyères le Chatel , 91297 Arpajon cedex, France
3	GEORGIS Jean-François geojf@aero.obs-mip.fr	Université Paul Sabatier Observatoire Midi Pyrénées Laboratoire d'Aérodologie, 14 avenue Belin 31400 Toulouse, France
4	RICHMOND Art richmond@ucar.edu	National Center for Atmospheric Research, High Altitude Observatory, Boulder, CO 80301, USA
5.	OUATTARA Frédéric fojals@yahoo.fr	Université de Koudougou/Burkina Faso Sera en 2012 au NCAR/HAO
6.	SOULA Serge sous@aero.obs-mip.fr	Observatoire Midi Pyrénées Laboratoire d'Aérodologie, 14 avenue Belin 31400 Toulouse, France

V.COURS

PROGRAMME		
1 ^{ère} semaine 5 au 10 décembre		
1	BOCCHIALINI Karine Karine.bocchialini@ias.u-psud.fr	Soleil : présentation générale
2	FONTAINE Dominique Dominique.fontaine@lpp.polytechnique.fr	La magnétosphère
3	HILGERS Alain Alain.Hilgers@esa.int	Météo de l'Espace : les effets
4	KLEIN Karl-Ludwig Ludwig.klein@obspm.fr	Soleil : Observations radio
5	PITOUT Frédéric frederic.pitout@cesr.fr	Ionosphère : les orages magnétiques
6	VILMER Nicole Nicole.vilmer@obspm.fr	Soleil : activité solaire
2 ^{ème} semaine 12 au 16 décembre		
1	AMORY-MAZAUDIER Christine Christine.amory@lpp.polytechnique.fr	Les variations transitoires du champ magnétique terrestre
2	BLANC Elisabeth Elisabeth.blanc@cea.fr	L'atmosphère : dynamique et perturbations
3	GEORGIS Jean-François geojf@aero.obs-mip.fr	La radiométrie de l'atmosphère
4	OUATTARA fojals@yahoo.fr	GNSS: utilisation des GPS pour l'étude de l'ionosphère équatoriale
5	RICHMOND Art richmond@ucar.edu	Ionosphère/ l'électrodynamique
5	SOULA Serge sous@aero.obs-mip.fr	L'électricité atmosphérique

L'activité du Soleil

Karine Bocchialini

L'objectif de ce cours est de faire une introduction à la physique solaire. Nous nous intéresserons notamment à la génération et l'émergence du champ magnétique solaire à la surface de notre étoile, aux éruptions et éjections de matière qui lui sont associées, ainsi qu'au chauffage de la couronne et au vent solaire. Dans ce cadre, les principaux processus physiques élémentaires appartenant au champ de la physique des plasmas seront exploités : turbulence hydro- et **magnétohydrodynamique, reconnexion magnétique**.

Des exemples d'observations spatiales (SOHO, STEREO, SDO) illustreront ce cours.

Plan du cours

Chapitre 1 : ça brille

- 1.1 - Le Soleil, une étoile qui rayonne
- 1.2 - Quelques outils de diagnostic des plasmas solaires

Chapitre 2 : ça façonne

- 2.1 - Le champ magnétique solaire
- 2.2 - Structuration de l'atmosphère solaire

Chapitre 3 : ça bouge

- 3.1 - Activité solaire et Phénomènes éruptifs
- 3.2 - Processus de libération d'énergie magnétique

Chapitre 4 : ça chauffe

Chauffage de la couronne solaire

Chapitre 5 : ça se déplace

Le vent solaire : Bilan d'énergie, modèle simple de Parker, Vent rapide.

La magnétosphère terrestre

Dominique Fontaine

L'objectif de ce cours est de donner une première approche de l'environnement ionisé de la Terre ou « Magnétosphère Terrestre ». On s'intéressera en particulier à sa formation, sa structure et sa dynamique. Ces différentes thématiques seront illustrées par des observations *in situ* effectuées à bord des satellites qui gravitent dans les différentes régions de la magnétosphère. L'application de quelques éléments simples de la théorie des fluides et des plasmas permettra d'estimer l'ordre de grandeur de quelques uns des phénomènes observés.

Plan du cours

Chapitre 1 : Formation de la magnétosphère terrestre

- Les différents objets du système solaire
- Caractéristiques du milieu interplanétaire
- Interaction du milieu interplanétaire avec les objets du système solaire
- Cas de la planète Terre
- Comparaison avec les magnétosphères des planètes magnétisées

Chapitre 2 : Le transport magnétosphérique

- La dynamo vent solaire – magnétosphère
- Phénomènes de convection et corotation
- La circulation globale du plasma

Chapitre 3 : Sources, puits et dynamique du plasma magnétosphérique

- Les grandes régions de plasma
- Electrodynamique du système couplé ionosphère – magnétosphère
- Phénomènes impulsifs : orages et sous-orages magnétosphériques

La météorologie de l'espace : effets sur les systèmes technologiques

Alain Hilgers

Ce cours constitue une introduction aux effets de l'environnement interplanétaire ionisé sur les systèmes technologiques dans l'espace et au sol. Nous nous intéresserons en particulier aux effets de champ électrique et magnétique induits, de propagation et d'interférence sur les ondes radios, et des radiations sur les systèmes aéronautiques et spatiaux. Pour chacun de ces trois grands types d'effets nous passerons en revue les systèmes affectés, les phénomènes physiques associés et les mesures de prévention mis en œuvre.

Plan du cours

Chapitre 1 : Introduction

- 1.1 – La terre et son environnement spatial
- 1.2 – La prévention des effets sur les systèmes technologiques

Chapitre 2 : Champs électriques et magnétiques au sol

- 2.1 – Les champs induits au sol
- 2.2 – Systèmes affectés
- 2.3 – Mesures de prévention

Chapitre 3 : Effets de propagations et d'interférence en radio

- 3.1 – Phénomènes de propagation et d'interférences
- 3.2 – Systèmes affectés
- 3.2 - Mesures de prévention

Chapitre 4 : Effets des radiations sur les systèmes aéronautiques et spatiaux

- 4.1 – Les radiations d'origine spatiale
- 4.1 – Problèmes rencontrés
- 4.2 - Mesures de prévention

Observations radio du soleil

K.-L. Klein

Sujet : Le soleil observé en ondes radioélectriques, les éruptions solaires (observations radio), le lien avec les particules dans le milieu interplanétaire, relations soleil-terre.

Contenu : Ce cours/TD/TP vise à introduire des notions de radioastronomie solaire et à faire comprendre les données accessibles publiquement (images et spectres) et leur rôle dans l'interprétation de l'atmosphère calme et éruptive du Soleil. Il esquissera de plus des relations entre émissions radio au Soleil et dans le milieu interplanétaire et particules de haute énergie détectées par des sondes spatiales et le rôle des techniques radio astronomiques en météorologie de l'espace.

Plan du cours :

Imagerie radio du Soleil calme et modèle de densité de la couronne

- Illustration d'observations radio du Soleil : chromosphère et couronne calmes (imagerie en ondes mm – m ; comparaison avec d'autres domaines spectraux, notamment en EUV, lumière blanche)
- Notions sur le rayonnement de freinage (bremsstrahlung) aux longueurs d'ondes radio astronomiques
- Structure de densité de la couronne calme (modèle hydrostatique)
- Quelques notions sur les techniques d'imagerie en ondes radio; instruments et sources de données

Observations radio des régions actives

- Illustration d'observations (imagerie en ondes mm et cm ; comparaison avec d'autres domaines spectraux)
- Notions sur les ondes radio dans un plasma magnétisé ; polarisation circulaire ; résonance à la fréquence cyclotronique des électrons
- émission gyromagnétique : principe, application au plasma de la couronne
- techniques radio pour la mesure du champ magnétique dans la couronne ; principes et illustrations

Sursauts radio associés aux éruptions et éjections de masse

- Quelques notions sur les techniques de spectrographie en ondes radio ; instruments et sources de données
- Rayonnement synchrotron et sursauts en micro-ondes (mm-cm)
- Sursauts radio en ondes dm et plus : spectre dynamique, types de sursauts
- Emissions radio des ondes de choc et faisceaux d'électrons

Emissions radio et particules de haute énergie dans l'espace : relations empiriques et outils pour la météorologie de l'espace

- Particules solaires de haute énergie dans l'espace interplanétaire
- Emissions radio associées aux événements à particules
- Outils radio pour la météorologie de l'espace

L'Ionosphère

Frédéric Pitout

Physique de l'ionosphère

L'ionosphère, la partie partiellement ionisée de l'atmosphère, est une région importante en météorologie de l'espace puisque c'est la couche de l'atmosphère qui est conductrice de courant et qui peut donc perturber les transmissions (radio, GPS, etc.) et provoquer des courants induits dans les structures métalliques sur Terre (lignes électriques, oléoducs). Le but de ce cours est de cerner la formation et les propriétés de l'ionosphère, de comprendre ses couplages avec la magnétosphère, et enfin d'étudier sa dynamique en réponse aux stimuli du vent solaire et du champ magnétique interplanétaire. Nous passerons aussi en revue les moyens d'observations et de modélisation dont nous disposons.

Plan du cours :

1. L'ionosphère

- Formation de l'ionosphère, modèle de Chapman
- Les différentes régions ionosphériques : description en altitude
- Collisions et conductivités
- Équilibre énergétique
- Émissions lumineuses

2. Couplages magnétosphère-ionosphère

- Convection
- Précipitation de particules magnétosphériques
- Événements transitoires : effets de la reconnexion sporadique, des ondes MHD, des chocs de pression.
- Événements extrêmes : effets des SSC, des orages magnétiques.

3. Instrumentation et modélisation

- Instrumentation au sol : magnétomètres, caméra, ionosondes, radars
- Instrumentation embarquée : fusées, satellites de basse altitude.
- Modélisation de l'ionosphère : modèles fluides, modèles cinétiques.
- Description de données, comparaison données-simulations.

Soleil : activité solaire

Nicole Vilmer

Sujet : Le soleil éruptif :

le soleil accélérateur de particules (diagnostics X et gamma), les éjections de masse coronale au soleil et dans le milieu interplanétaire

Contenu : Ce cours/TD/TP présentera l'activité solaire se traduisant d'une part par la production de particules énergétiques et d'autre part par des éjections de matière coronale. Il présentera par ailleurs les liens entre les particules produites dans l'atmosphère solaire et y produisant des émissions à haute énergie et celles qui se propagent dans le milieu interplanétaire. Le lien entre les éjections de masse coronale observées au voisinage du soleil (par les coronographes) et dans le milieu interplanétaire (par des mesures in situ) sera discuté.

Plan du cours :

Généralités sur l'activité éruptive solaire

- Les éruptions solaires et leurs observations à diverses longueurs d'onde
- Généralités sur les éjections de masse coronale
-

Emissions X/ γ solaires

- Quelques exemples d'observations
- Notions sur les mécanismes d'émission
- Les caractéristiques des particules énergétiques au soleil
- Notions sur les mécanismes d'accélération des particules
- Notions sur les techniques de détection et d'imagerie des rayonnements X/ γ

Ejections de masse coronale

- Quelques exemples d'observations
- Les caractéristiques des éjections de masse coronale au soleil
- Notions sur les mécanismes de déclenchement des éjections de masse coronale
- Propagation des éjections de masse coronale dans la couronne et dans le milieu interplanétaire

Particules au soleil et dans le milieu interplanétaire-/Ejections de masse coronale au soleil et dans le milieu interplanétaire : quelques notions de météorologie de l'espace

- Particules énergétiques au soleil et dans l'espace interplanétaire (introduction)
- Les observations des éjections de masse coronale dans le milieu interplanétaire
- Liens entre éjections de masse coronales au soleil et dans le milieu interplanétaire
- Les éjections de masse coronale et leurs effets sur l'environnement terrestre

Les variations transitoires du champ magnétique terrestre

Christine Amory

Les variations transitoires du champ magnétique terrestre résultent principalement des courants électriques circulant dans l'environnement terrestre (ionosphère et magnétosphère). Dans ce cours nous présenterons une approche globale reliant les variations transitoires du champ magnétique terrestre aux dynamos de grande échelle du système Terre-Soleil qui sont :

- la dynamo solaire et ses deux composantes toroïdale et dipolaire
- la dynamo vent solaire /Magnétosphère
- la dynamo ionosphérique
- la dynamo terrestre

Ce cours s'appuie sur les cours de Karine Bocchialini, Dominique Fontaine et Art Richmond.

Plan du cours :

- les variations transitoires du Champ magnétique terrestre et leurs sources externes – approche historique
- l'analyse des variations du champ magnétique terrestre : méthode
- Définir le contexte solaire et géomagnétique d'un évènement
- les courants équivalents : leur utilisation et leur limite
- les indices magnétiques : leur utilisation et leur limite
- les bases de données utiles (TP)
- les réseaux de magnétomètres en Afrique, AMBER, INTERMAGNET, IGP, MAGDAS

L'Atmosphère et ses perturbations

Elisabeth Blanc

Plan du cours :

- I. Physique de l'atmosphère
 - Différentes régions de l'atmosphère et propriétés
 - Dynamique de l'atmosphère échelles régionale et globale
 - Vents et température
 - Modèles atmosphériques
- II. Ondes atmosphériques
 - Ondes acoustiques/infrasons - propagation dans l'atmosphère
 - Ondes de gravité - propagation
- III. Moyens d'observation
 - Au sol
 - Depuis l'espace
- IV. Perturbations de l'atmosphère
 - Houle, volcans, séismes
 - Aurores, météorites, cyclones
 - Activité humaine
 - Perturbations de grande échelle
- V. Effets des orages atmosphériques
 - Eclairs, sprites, jets, elves
 - Effets électromagnétiques, Effets atmosphériques
 - Convection
- VI. Projets atmosphère concernant l'Afrique:
en particulier ARISE

La Radiométrie de l'atmosphère

Jean-François Georgis

Plan du cours :

- I. On distinguera la radiométrie micro-onde active (par radar) de la radiométrie micro-onde passive (par radiomètre) en précisant leurs intérêts respectifs pour l'étude de l'atmosphère et des nuages.
- II. Bien évidemment, nous commencerons par étudier le comportement des micro-ondes dans l'atmosphère, à la traversée des nuages précipitants ou non, en montrant comment, selon leur fréquence et la nature du milieu rencontré, ils sont plus ou moins absorbés, diffusés, transmis.
- III. Nous présenterons ensuite le principe de la mesure radar et nous discuterons des informations que l'on peut ainsi obtenir en fonction des caractéristiques des différents types de radar (Doppler, polarimétrique). En particulier, nous verrons comment obtenir des informations sur le champ de vent à partir de la fonction Doppler et sur le contenu microphysique d'un nuage à partir de la fonction polarimétrique. Des exemples seront pris sur des expériences menées en Afrique (AMMA) et en Europe dans des régions plus montagneuses (MAP).
- IV. Pour ce qui concerne les radiomètres micro-onde, dirigés vers la surface terrestre, ils permettent d'étudier de nombreux paramètres en relation avec la nature des sols, leur humidité, l'état de la végétation, la salinité, etc. Dirigés vers l'atmosphère, les radiomètres microondes terrestres permettent d'observer les profils de vapeur d'eau troposphérique et stratosphérique ainsi que les profils du contenu en eau liquide des nuages. On montrera aussi les potentialités offertes par l'association d'un radar et d'un profileur radiométrique pour l'observation détaillée des paramètres physiques et dynamiques de l'atmosphère locale.

GNSS/ Utilisation des données GPS pour l'étude de l'Ionosphère équatoriale

Frédéric Ouattara

Plan du cours :

Le cours comprendra 4 grandes parties :

I. Généralités sur l'ionosphère et l'ionosphère équatoriale

Nous donnerons une description de l'ionosphère et de l'ionosphère équatoriale. Les lois physiques y seront abordées

II. Systèmes de mesures ionosphériques

Les différents procédés de sondages seront décrits succinctement et une large place sera accordée au système GPS

III. Utilisation des GPS pour la détermination du TEC

Seront décrits les processus de détermination du TEC à partir des données GPS. Un exposé de recherche de données nécessaires à sa détermination sera donné.

IV. Méthodes et procédures d'obtention du TEC par utilisation d'une station

Seront donnés les voies et moyens nécessaires pour l'obtention du TEC. Des recherches de données complémentaires sur WEB seront faites.

L'électrodynamique de la haute atmosphère

Art Richmond

Ce cours décrit les champs et courants électriques dans la haute atmosphère, ainsi que leurs sources, leurs influences sur la dynamique de la thermosphère et l'ionosphère et leurs effets observables sur le champ géomagnétique.

I. Rôle des champs et courants électriques dans la physique de la haute atmosphère

- a. Description des régions de l'espace où circulent les courants
- b. Histoire des observations et de la théorie des courants ionosphériques
- c. Loi d'Ohm et la conductibilité électrique dans la haute atmosphère

II. Théorie de l'électrodynamique ionosphérique

- a. Les équations de Maxwell appliquées aux conditions électrostatiques
- b. Mouvements des ions et électrons sous l'influence des champs électriques et magnétiques et des collisions atmosphériques.
- c. Les conductibilités parallèles et perpendiculaires au champ magnétique
- d. L'effet dynamo des vents thermosphériques

III. L'électrodynamique de l'ionosphère aux moyennes et basses latitudes

- a. Effets de marées atmosphériques solaires et lunaires sur la génération et variabilité des courants globaux S_q/S_R
- b. L'électrojet équatorial
- c. Rôle de l'électrodynamique dans l'anomalie ionosphérique équatoriale
- d. La dynamo de la région F

IV. L'électrodynamique du couplage ionosphère magnétosphère

- a. Sources des champs et courants électriques dans les forces et mouvements du plasma magnétosphérique
- b. Variabilité de l'électrodynamique globale liée au vent solaire et au champ magnétique interplanétaire
- c. Chauffage Joule et accélération de la thermosphère par les courants

Electricité atmosphérique

Serge Soula

L'objectif de ce cours est de présenter les principales propriétés électriques de la basse atmosphère et d'expliquer le fonctionnement des orages et leur rôle dans le circuit électrique global. Plusieurs notions de physique seront abordées, de la thermodynamique pour les premiers processus à l'origine du nuage d'orage à la physique des particules pour les effets de l'orage et des éclairs à haute altitude. Les éclairs occupent une place importante dans les manifestations de l'orage, leur détection est un enjeu majeur pour en comprendre la physique, pour évaluer et suivre la climatologie des orages et des phénomènes associés, et pour en prévenir l'occurrence et l'intensité. Les systèmes et les réseaux de détection d'éclairs (WWLLN, ZEUS, EUCLID, NLDN, LINET...) et leurs applications seront décrits. Les missions spatiales passées (OTD), actuelles (TRMM avec le capteur LIS) et futures (MTG avec le capteur LI ou GOES avec le capteur GLM) pour les éclairs seront également abordées. De même les projets spatiaux pour l'étude des décharges d'altitude et de leurs effets (TARANIS, ASIM, ISUAL) seront décrits.

Plan du cours

Partie 1 : Electricité de beau-temps – circuit électrique global

1.1 – Structure électrique de la basse atmosphère

1.2 – Circuit électrique global

Partie 2 : Les orages

2.1 – Le nuage d'orage

2.2 – Structure électrique du nuage d'orage

2.3 – Les éclairs

2.4 – La détection des éclairs

2.5 – Activité d'éclairs dans les orages

2.6 – Modélisation des processus électriques

2.7 – La face cachée des orages – décharges d'altitude

2.8 – Effets des orages sur la haute atmosphère

1 ^{ère} semaine						
	LUNDI 5/12	MARDI 6/12	MERCREDI 7/12	JEUDI 8/12	VENDREDI 9/12	SAMEDI 10/12
9h-10h30	Introduction à la Physique solaire Karine	Introduction à la Physique solaire Karine	Le soleil éruptif Nicole	La magnétosphère terrestre Dominique	Observations radio du soleil Ludwig	
10h30-11h	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	
11h-12h30	Le soleil éruptif Nicole	Introduction à la Physique solaire Karine	Météo de l'Espace Effets sur les systèmes technologiques Alain	Le soleil éruptif Nicole	Physique de l'Ionosphère Frédéric	
					Poster session 30'	
12h30-14h	Repas	Repas	Repas	Repas	Repas	
14h-15h30	Observations radio du soleil Ludwig	Physique de l'Ionosphère Frédéric	Observations radio du soleil Ludwig	TP	TP	
15h30-16h00	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	
16h00-17h30	La magnétosphère terrestre Dominique	La magnétosphère terrestre Dominique	La physique de l'ionosphère Frédéric	Météo de l'Espace Effets sur les systèmes technologiques Alain	Météo de l'Espace Effets sur les systèmes technologiques Alain	
					Poster session 30'	
18h30-19h30	Repas	Repas	Repas	Repas	Repas	

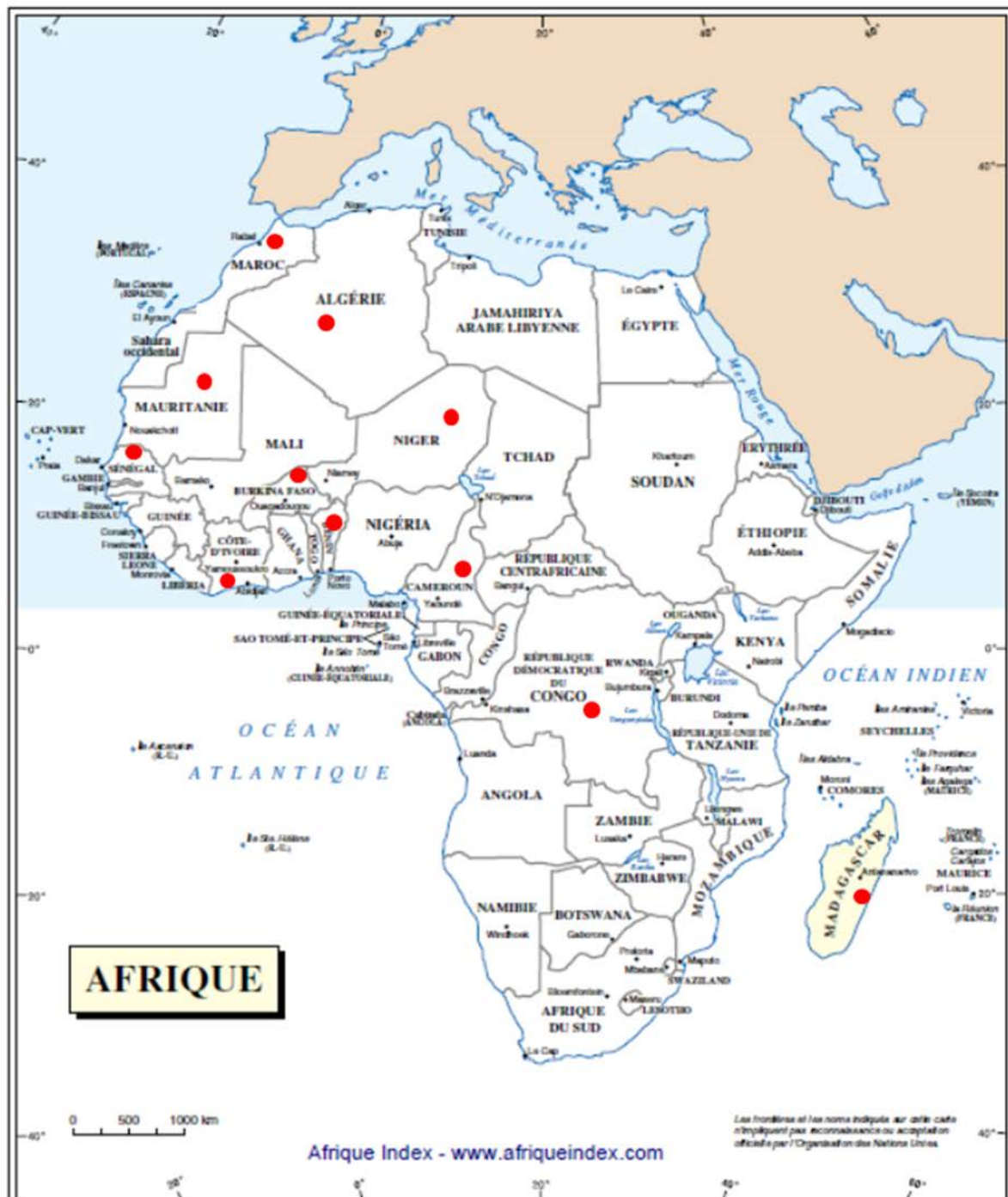
2^{ème} semaine					
	LUNDI 12/12	MARDI 13/12	MERCREDI 14/12	JEUDI 15/12	VENDREDI 16/12
9h-10h30	Ionosphère/Hte Atmosphère Art	Electricité atmosphérique Serge	Radiométrie de l'atmosphère Jean-François + 1/2h	Strato-Tropo: les perturbations Elisabeth	Champ magnétique Christine
10h30-10h45	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café
10h45-12h15	Radiométrie de l'atmosphère Jean-François	Ionosphère/Hte Atmosphère Art	Electricité atmosphérique Serge – 1/2h	Ionosphère/Hte Atmosphère Art	Ionosphère/Hte Atmosphère Art
12h15-14h	Repas	Repas	Repas	Repas	Repas
14h-15h30	Electricité atmosphérique Serge	Radiométrie de l'atmosphère Jean-François	Strato-Tropo: les perturbations Elisabeth	Electricité atmosphérique Serge + 1/2h	Strato-Tropo: les perturbations Elisabeth
15h30-15h45	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café	Pause café
15h45-17h15	Champ magnétique terrestre Christine	Session Poster 30 minutes avec question César Fatma Naïma	Ionosphère/base de données utiles TP Frédéric	Session Poster 30 minutes Etienne Pétronille	Champ magnétique terrestre TP Christine Clôture
17h15-17h30	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause
17h30-18h30	Session Poster 20 minutes avec question Bruno Richard Jean-Louis	Session Poster 20 minutes Serge Franck	Session Poster 20 minutes Mohamed Emmanuel Christian	Session Poster 20 minutes Karima Ilyasse Georges Noël	Session Poster 20 minutes Khalifa Ahmed

V.LES PARTICIPANTS

Les participants à l'école de Météorologie de l'Espace étaient de 11 pays francophones différents. Le tableau ci-dessous donne les noms, les adresses mail et pays des participants. Sur la page suivante une carte de l'Afrique permet de visualiser les pays des participants. Tous les participants à cette école font partie du réseau GIRGEA (Groupe Internationale de Géophysique Europe Afrique), www.girgea.org.

Participants à l'école de Météorologie de l'Espace		
	NOM	Pays
1	ACKAH Jean Baptiste jeanbaptisteackah@yahoo.fr	Côte d'Ivoire
2	ADECHINAN Adebisi Joseph adechinanajoseph@yahoo.fr	Bénin
3	ANAD Fatma f_anad@yahoo.fr	Algérie
4	AZZOUZI Ilyasse ilyasse.azzouzi@gmail.com	Maroc
5	BARRO Fabé Idrissa Fabe.barro@ucad.edu.sn	Sénégal
6	BENGHANEM Karima kbenghanem@yahoo.fr	Algérie
7	DAASSOU Ahmed Daassou1@yahoo.fr	Maroc
8	ENOW Richard Agbor enow_r@yahoo.fr	Cameroun
9	GAYE Idrissa idrissagaye3@hotmail.com	Sénégal
10	GRODJI Franck franckgrodj@yahoo.fr	Côte d'Ivoire
11	GUEMENE DOUNTIO Emmanuel eguemene@yahoo.com	Cameroun
12	HOUNGNINOU Bodoun Etienne houngb@yahoo.fr	Bénin
13	KAFANDO Pétronille kafandopetronille@yahoo.fr	Burkina Faso
14	KAHINDO Bruno bkahindo@gmail.com	RDC
15	KASMI Atika kasmiatika@gmail.com	Maroc
16	KOUASSI Komenan Benjamin benjamin.kouassi@gmail.com	Côte d'Ivoire
17	MADOUGOU Saïdou nassara01@yahoo.fr	Niger
18	MBANE César cesar.mbane@yahoo.fr	Cameroun
19	MALKI Khalifa mkprocedure111@gmail.com	Maroc
20	NDOMBI TSHISUNGU Christian chris_ndombi@yahoo.fr	RDC
21	OUATTARA Frédéric fojals@yahoo.fr	Burkina Faso
22	RANDRIANARINOSY Fanomezana fano.rn@gmail.com	Madagascar
23	SIDI CHEIKH Mohamed Ahmed ouldsidicheikh@yahoo.fr	Mauritanie
24	TANOH Serge Serge.koua@yahoo.fr	Côte d'Ivoire
25	TIERMONDO LONGANDJO Georges georgesnoeltiers@yahoo.fr	RDC
26	ZAOURAR Naima naimaboulasba@gmail.com	Algérie
27	ZERBO Jean-Louis Jeanlouis.zerbo@gmail.com	Burkina Faso
28	ZOUNDI Christian zounchr@yahoo.fr	Burkina Faso

Ecole de Météorologie de l'Espace au Maroc, Décembre 2011



VI. LE BUDGET

Coût des Billets

Financier	Coût	Nombre de billets
UN	7375,44€	11 billets participants
NASA	1086€ ~1378€	2 billets participants 1 billet professeur
ISESCO	315€	1 billet de participant
RDC	929€	1 billet participant
SCAC Algérie	1689,22€	2 billets participants
SCAC Maroc	1255,12€	4 billets professeurs
SCAC Côte d'Ivoire	2257,23€	3 billets participants
CNES	1678,10€	6 billets professeurs
CEA	3600€	2 billets participants
Total	21563,11€	

Coût Séjour

Financier	Coût / repas et logement	Nombre
NASA	11252€ + 366€ (Art)	21 participants 5 professeurs
CNES	3267,93€	6 professeurs + 2 participants
SCAC Côte d'Ivoire	2075€	3 participants
CEA	2600	1 professeur 2 participants
CRASTE-LF	458 €	Complément/ balance
GIRGEA	240€	1 participant
total	20258,93€	

Coût salles des cours, salle des machine , administration

Financier	Coût	Nombre
CRASTE-LF	5583,45€	28 participants 11 professeurs

	Institutions françaises	NASA	Nations Unis	CRASTE-LF	ISESCO+RDC
Transport	10479.67€	2464€	7375,44€	0€	1244€
hébergement	8182,93€	11618€	0€	458€	0€
Salles	0€	0€	0€	5583.45€	0€
Total	18662.93€	14082€	7375,44€	6041,45€	1244€
pourcentage	39,36%	29,7%	15,55%	12,74%	2,62%

Total général : 47405,49€

1€ = 1.33\$

1€ = 11,06DH

VII. ORGANISATION ET LOGISTIQUE

Photo du groupe : 1^{ère} semaine



Photos du groupe 2^{ème} semaine avec tous les professeurs



Salle de cours



Salle des travaux pratiques



La pause thé préparée par Hassan



Transport, Départ à 7h30 le matin pour le petit déjeuner en ville



Le départ tard le soir vers 18h30



Le logement au club des Agriculteurs dans un jardin



Le petit-déjeuner dans un café de Rabat près du centre -1^{ère} et 2^{ème} semaine



Le petit déjeuner suite



Pique nique au club : transfo en panne au CRASTE-LF



Repas le midi et le soir au Club des Cheminots



Le couscous du vendredi



VIII. CONCLUSION : LES RETOMBÉES DE L'ECOLE

THESES

- 2 thèses au Maroc
- 1 thèse au Bénin
- 1 thèse en Algérie

ECOLES

- Ecole en Algérie du 6 au 16 mai 2013
- Ecole au Burkina Faso en 2014

COOPERATION

- Coopération autour des données observatoires magnétiques à développer
Algérie, Espagne France, France
- Coopération Cameroun Algérie
- Coopération Burkina Faso Algérie

Etc....

Nombreuses discussions scientifiques ayant déjà conduit à l'acceptation d'un article.