

MAI 2010  
No. 10

NEWSLETTER INTERNATIONALE  
AMMA



African Monsoon Multidisciplinary Analyses

Supplément de la newsletter internationale  
AMMA n°10

**Thèses soutenues dans AMMA depuis  
2002**

Supplement of AMMA international  
newsletter n°10

**Theses presented in AMMA since 2002**

# Table des matières

**Français**

**English**

ADEAGA Olusegun	Modelling Rainfall-Runoff Relationship in Ungauged Basins: A Case Study of Yewa Basin	5
ALI, Abdou	Modélisation de l'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens : application aux algorithmes d'estimation et aux études de variabilité climatique	5
ALI EUGENE Kouadio	Relation entre les variations de la température de la surface de la mer et des précipitations le long de la bande côtière du nord du Golfe de Guinée.	6
AMOGU, Okechukwu	La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger moyen	6
ARNAULT, Joel	Evolution cyclogénétique des perturbations convectives de l'Afrique de l'Ouest et de l'Atlantique tropical	6
ATHIÉ de Velasco Gabriela	Etude de la structure spatio-temporelle de la variabilité intra-saisonnière dans les couches superficielles de l'océan Atlantique Tropical	7
BAIN Caroline L.	Interactions between the land surface and the atmosphere over West Africa.	8
BALME, Maud	Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil.	8
BAUP, Frédéric	Apport des données ENVISAT/ASAR pour le suivi des surfaces continentales: application a la zone sahélienne	9
BECHARA, Joëlle	Impact de la mousson sur la chimie photooxydante en Afrique de l'Ouest	9
BELLA MEDJO Marthe	Analyse multi-échelle de la variabilité pluviométrique au cameroun et ses conséquences sur le rendement du coton	10
BENREHOUMA Asma	Restitutions et analyse des paramètres climatiques mesurés par satellites sur l'Afrique et l'Océan Atlantique pour les deux dernières décennies. Tendances et variabilité des flux radiatifs en liaison avec les autres paramètres climatiques	10
BESSON, Lucas	Processus Physiques Responsables de l'Etablissement et de la Variabilité de la Mousson Africaine	10
BOU KARAM Diana	Mécanismes de soulèvement d'aérosols désertiques en Afrique de l'Ouest	11
BOUALI Lotfi	Prévisibilité des précipitations ouest africaines (échelles intrasaisonnières et saisonnières) au travers des simulations type DEMETER et des observations	11
BOUARAR Idir	Impact de la mousson africaine sur la composition chimique de l'atmosphère en Afrique équatoriale	12
BOUET Christel	Modélisation multi-échelle de la dynamique des panaches d'aérosols naturels en Afrique	14
BOULAIN, Nicolas	Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien.	15
CAIN Michelle	Transport and processing of ozone over the North Atlantic and in the West African monsoon	15
CAMARA Moctar	Cyclogenèse dans l'Atlantique Nord en relation avec le système de mousson en Afrique de l'Ouest	15
CAMINADE Cyril	Rôle de l'océan et influence des émissions d'origine anthropique sur la variabilité climatique en Afrique.	18
CAPES Gerard	Aging of biomass burning aerosols and formation of secondary organic aerosols over West Africa	18
CRUMEYROLLE, Suzanne	Impact des systèmes convectifs sur les propriétés hygroscopiques des aérosols: Analyse de deux cas d'étude durant la campagne AMMA	19
DERIVE Gaël	Estimation de l'évapotranspiration en région Sahélienne. Synthèse des connaissances et évaluation de modélisations. Application à la zone d'HAPEX-Sahel (Niger)	20
DIA Amadou Hamath	Décentralisation et développement local. Le cas de la vallée du fleuve Sénégal	20
DIATTA Samo	Etude Statistique des profils verticaux de Précipitation en Afrique de l'Ouest à partir du radar spatial de TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)	21
DIELLO Pierre Bonaventure	Inter-relation Homme-climat-environnement dans le sahel burkinabé. Impact sur les ressources en eau et la modélisation hydrologique	22
d'ORGEVAL Tristan	Impact du changement climatique sur le cycle de l'eau en Afrique de l'Ouest : Modélisation et incertitudes	23
DUPONT Richard	Emissions biogéniques de NO par les sols - Impact sur la chimie atmosphérique	23
EVARISTO, Raquel	Microphysique et dynamique des systèmes précipitants en Afrique de l'Ouest	24
GASTINEAU Guillaume	Les changements de la circulation atmosphérique tropicale et conséquences lors du changement climatique	24

GRUHIER Claire	Approche multi-échelle de la dynamique de l'humidité des sols en Afrique de l'Ouest : des observations terrain et satellitale à la modélisation régionale, dans le cadre de la préparation à la mission SMOS	25
GUYOT Adrien	Estimation de l'évapotranspiration sur un couvert complexe par utilisation de la scintillométrie infrarouge. Application à un bassin versant de zone soudano-sahélienne (Bénin).	26
JOLY, Mathieu	Rôle des océans dans la variabilité climatique de la mousson africaine	26
JOSSET, Damien	Etude du couplage radar lidar sur plates-formes spatiales et aéroportées : application à l'étude des nuages, des aérosols et de leurs interactions	27
JOURNET Emilie	Caractérisation chimique et minéralogique du fer dans les aérosols terrigènes au cours de leur cycle atmosphérique: Impact biogéochimique	28
KAMAGATÉ, Bamory	Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant en milieu tropicale socle au Bénin : bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé)	28
KEBE , Cheikh Mouhamed Fadel	Estimation des pluies par la méthode des aires fractionnelles appliquée aux données de télédétection radar et satellite	29
KOLODZIEJCZYK Nicolas	Analyse de la Circulation de Sub-surface et de sa variabilité dans le Golfe de Guinée	29
LAMRANI Nabil	Dynamique et microphysique des systèmes convectifs de l'Afrique de l'Ouest : Une analyse d'une ligne de grains par radar Doppler polarimétrique	30
LAVAYSSE Christophe	Etude des relations Onde - Convection - Pluie et influence de la variabilité du flux de mousson en Afrique de l'Ouest	31
LAWIN, Agnidé Emmanuel	Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin	32
LE LAY, Matthieu	Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin	32
LEROUX Stéphanie	Dynamique des ondes d'est africaines: origine, propagation et interaction avec leur environnement.	32
LOUVET, Samuel	Modulations intrasaisonnières de la mousson d'Afrique de l'Ouest et impacts sur les vecteurs du paludisme à Ndiop (Sénégal) : diagnostics et prévisibilité	34
MASSUEL Sylvain	Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003	34
MBENGUE Abdou Aziz	Estimation par satellite de l'humidité spécifique au-dessus de l'océan par radiométrie hyperfréquence	35
MESSAGER, Christophe	Couplage des composantes continentale et atmosphérique du cycle de l'eau aux échelles régionale et climatique – application à la mousson ouest Africaine.	37
MOUFOUMA-OKIA Wilfran	Régionalisation du climat de l'Afrique de l'Ouest.	38
MOUMOUNI Sounmaïla	Analyse des distributions granulométriques des pluies au Bénin : caractéristiques globales, variabilité et application à la mesure radar	39
MOUNIER Flore	La variabilité intra-saisonnière de la mousson d'Afrique de l'Ouest et centrale	39
NZEUKOU TAKOUGANG Armand Cyrille	Propagation micro-onde et variabilité spatiale à moyenne échelle des champs de précipitation en Afrique de l'Ouest	40
ONIBON, Hubert Gbolahan	Simulation conditionnée des champs de pluie événementiels au Sahel	41
PETER Anne-Charlotte	Variabilité de la température de la couche de mélange océanique en Atlantique équatorial aux échelles saisonnières à interannuelles, à l'aide de simulations numériques	41
PEYRILLÉ, Philippe	Etude idéalisée de la mousson ouest-africaine à partir d'un modèle numérique bi-dimensionnel	42
PHILIPON Nathalie	Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'ouest et de l'est : méthodes diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001)	42
POHL Benjamin	L'Oscillation de Madden-Julian et la variabilité pluviométrique régionale en Afrique Subsaharienne.	44
POSPICHAL Bernhard	Diurnal to annual variability of the Atmospheric Boundary Layer over West Africa: A comprehensive view by remote sensing observations	44
RAMEL Romain	Impacts des processus de surface sur le climat en Afrique de l'Ouest	45
REVILLET Claire	Cycle de vie des lignes de grains. Bilan d'eau et d'énergie.	45

RIO Catherine	Paramétrisation de la couche limite atmosphérique convective et représentation du cycle diurne des nuages dans un modèle de climat	46
RISI Camille	Les isotopes stables de l'eau: applications à l'étude du cycle de l'eau et des variations du climat	46
SAUNOIS Marielle	Bilan de l'ozone sur le continent africain. Rôles relatifs des transports interhémisphériques et intercontinentaux et des sources locales.	49
SAUVAGE, Bastien	Analyse des distributions d'ozone et de monoxyde de carbone en Afrique équatoriale à partir des données du programme aéroporté MOZAIC	49
SAUX-PICART Stéphane	Etude couplée modélisation/téledétection pour le suivi des états et bilans hydriques de surface en zone sahéenne	49
SOW Bamol Ali	Impact de la météorologie côtière sur l'upwelling sénégalais	50
SOW Mamadou	Quantification des flux verticaux d'aérosols terrigènes, résolus en taille au Sahel: mesures expérimentales, validation des modèles et climatologie	50
SULTAN Benjamin	Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles.	51
TRZASKA, Sylwia	Global SST impacts on the tropical atmosphere in the peri-atlantic region in the ARPEGE-Climat AGCM. Application to the climate variability in the Western and Southern Africa	52
VARADO, Noémie	Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée. Application au bassin versant de la Donga, au Bénin	52
VISCHEL, Théo	Impact de la variabilité pluviométrique de méso-échelle sur la réponse des systèmes hydrologiques sahéens : Modélisation, simulation et désagrégation	52
YAKA, Pascal	Rôles des facteurs climatiques et environnementaux dans l'apparition et la prédiction des épidémies de méningite cérébro-spinale en zone sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest	53
ZAHIRI, Eric-Pascal	Cycle de l'eau des systèmes convectifs Ouest Africains: préparation à l'exploitation des mesures radar Xport dans AMMA par simulation	54

**Retrouvez les publications AMMA sur la base bibliographique :**  
<http://biblio.amma-international.org/>

This study modelled rainfall - runoff relationships and probable flood magnitudes in the River Yewa drainage basin within Nigeria, with a view to simulating the basin systems response and ascertaining its effect on water resources regimes in the basin.

The Yewa River is a transboundary (International) river between the Republic of Benin and Nigeria with a catchment area of about 5000km<sup>2</sup>. The Nigeria side of the basin falls within Nigeria's hydrological Area 6 which is under the jurisdiction of the Ogun-Osun River Basin Development Authority.

The study employed the drainage morphometric analysis technique in examining and describing the basin topographic form and in explaining the strength and direction of fluvial and geomorphological processes in the Yewa drainage basin. In addition, a flow simulation exercise was carried out in order to examine the response of three of the Yewa sub-basins to rainfall input using a terrain based technique. The technique entailed automated analysis of the relationship between the geomorphological and hydrological indices within the drainage system of the sub-basins. The result of the simulation exercise was the generation of triangular hydrograph and Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph with their basic hydrodynamic parameters for all the sub-basins.

The major data used are monthly hydro-climatological data (rainfall and discharge data) and the topographical maps of the basin that were sourced from Ogun-Oshun River Basin Authority (OORBA), Abeokuta and Federal Surveys Department, Lagos respectively. It should be mentioned that the hydro-climatological datasets are not of the greatest accuracy due to the manual method of their measurements and recording.

The result of the study shows that Yewa basin has double rainfall and discharge maxima and a mean annual runoff coefficient of 0.27. The linear relationship between annual rainfall and annual runoff as well as monthly rainfall and monthly runoff are described by the regression equations:

$$Q = 0.02 P + 12.94) \dots\dots\dots (i)$$

$$Q = 0.02P + 1.17 \dots\dots\dots (ii)$$

The basin experiences a lot of flow irregularities and relatively lower peaks due to the non-synchronized flow in the elongated basin. The derived Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph using the morphological transfer function technique displays a multi-peak hydrograph in all the three sub-basins, an evidence of non-synchronized flow with probability of experiencing intermittent floods. The degree of relationship between the observed and the average simulated flow (1971) is 0.69 with coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of 0.48.

Finally, the study makes a point for the need to increase hydrological networks in the country and while it particularly points up the need for a multidisciplinary approach to river basin studies, it equally emphasizes the use of complimentary/ alternative hydrological predicting method especially the Prediction of Ungauged Basin (PUB) methods, for water resources studies in poorly gauged and ungauged basin, in order to resolve one of the 21st century challenges, which is to sustainable develop available water resources to the benefit of all.

**ALI, Abdou**

**Modélisation de l'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens : application aux algorithmes d'estimation et aux études de variabilité climatique**

Cette thèse porte sur l'élaboration d'un modèle d'invariance d'échelles de la structure spatiale des champs de pluie dans un contexte géostatistique et de son application pour évaluer des produits pluviométriques au Sahel. En identifiant les variabilités interne et externe des événement pluvieux comme des invariants climatologiques, une relation analytique permet de déduire la structure spatiale des champs pluri-événements en fonction du nombre d'événements. Le modèle ainsi établi a servi de cadre conceptuel pour définir une fonction d'erreur d'estimation des pluies. Une analyse comparative des méthodes de krigeage a, par ailleurs, permis de calculer de manière réaliste des valeurs de référence pour calibrer et valider la fonction d'erreur. Celle-ci est utilisée pour évaluer les réseaux pluviométriques et intercomparer des produits issus de l'estimation des pluies par satellite. Dans une dernière partie, les bases d'un modèle conceptuel régional de simulation des pluies en zone sahélienne, prenant en compte la dynamique des systèmes convectifs pluvio-gènes, sont proposées. Ce modèle servira à terme à produire des scénarios pluviométriques aux échelles régionales pour tester l'impact hydrologique ou agronomique de la variabilité climatique.

This thesis relates to the development of a scale invariant model for the spatial structure of Sahelian rainfields in a geostatistical context and its application for the evaluation of rainfall products. By considering the internal and external variability of the rain event to be invariant in the climatological sense, an analytical relationship makes it possible to deduce the spatial structure of cumulative event rainfields according to the number of events. The model is then used as the conceptual framework to define an error function for rainfall estimation.

On the other hand, a comparative analysis of kriging methods have made it possible to calculate, in a realistic manner, both the reference values for calibration and the validation of the error function. This error function is then used for the evaluation of the existing raingauge networks and the intercomparison of satellite rainfall products. Finally, the basis of a conceptual regional model for rainfall simulation in the Sahel is proposed, taking the dynamics of the convective rain systems into account. Upon completion, this model may be used to produce rainfall scenarios at the regional scale, in order to test the hydrological or agronomic impact of climatic variability

**ALI EUGENE Kouadio**

**Relation entre les variations de la température de la surface de la mer et des précipitations le long de la bande côtière du nord du Golfe de Guinée.**

Le principal objectif de ce travail est de comprendre l'impact du changement de couverture des sols sur la production et le transport de sédiments dans le bassin du fleuve Niger moyen. Ceci a nécessité des approches comprenant l'étude de données hydrologiques (1929 – 2008), de couvertures des sols (1965 – 2000) et des données sédimentaires mesurées (2005 – 2008). L'étude est centrée sur deux sous-bassins sahéliens (le Gorouol et la Sirba) comparés avec un sous-bassin soudanien (la Mékrou). L'augmentation des surfaces de sol nu, mesurée par télédétection, accroît le transfert de sédiments au fleuve par ses affluents jaugés comme par ceux, éphémères et non-jaugés, connus sous le nom de «koris», dont le nombre et la taille s'est beaucoup accru depuis les années 70. Les caractéristiques des sédiments, surtout celles des matières en suspension (MES) ont été mesurées à dix stations sur le fleuve et certains de ses affluents afin de quantifier le flux de sédiment et d'identifier les sources principales de sédiment. L'analyse hydrologique démontre l'impact de la diminution des précipitations sur les débits, la récente période sèche ayant modifié le régime du fleuve à Niamey avec un impact sur la forme du chenal. L'analyse du flux sédimentaire le long le fleuve indique qu'il y a d'autres sources importantes de sédiments outre les affluents principaux. Une simulation de la capacité de transport fluvial par classe granulométrique a été effectuée en utilisant des paramètres hydrodynamiques obtenus à partir d'un modèle 1-D du fleuve. La comparaison de cette capacité avec les valeurs de MES mesurées permet de localiser les zones en équilibre et les zones de dépôt de sédiments.

#### Sahelian land-cover degradation and its effects on the silting-up of the middle Niger River

In order to achieve the overall objective of this research which was to gain an understanding into the impact of land cover change on sediment production and transport in the middle Niger River basin, the application of various approaches was necessary. These approaches included the study of hydrological data (1929 – 2008) and land cover data (1965 – 2000), in addition to the measurement of sediment characteristics (2005-2008). The study focused on two Sahelian sub-basins (the Gorouol and the Sirba basins) in comparison to a Sudanian basin (the Mékrou basin). An evaluation of the evolution of land cover by remote sensing techniques showed an increase in disturbed bare soil surfaces favouring an increase of sediment transfer to the middle Niger via conventional tributaries as well as ungauged ephemeral streams that have increased in number and size since the 1970s. Field measurements of sediment characteristics were carried out at ten locations along the middle Niger River and some of its tributaries in order to quantify the sediment flux and sources in the study area. Hydrological analyses showed the impact of the reduction of precipitation on river discharge, with the most recent dry period, resulting in the alteration of the Niger River's regime at Niamey and affecting river planform. The sediment flux analysis for the middle Niger River points to the existence of other significant sediment sources apart from the main tributaries. A simulation of the sediment transporting capacity, by grain size class, using data from a 1-D model of the river enabled the localization of areas of sediment equilibrium and deposition, when compared to measured sediment concentration values.

#### ARNAULT, Joel

#### Evolution cyclogénétique des perturbations convectives de l'Afrique de l'Ouest et de l'Atlantique tropical

La formation des Cyclones du Cap Vert met en jeu divers processus : les thalwegs, dorsales de l'onde d'Est africaine et l'anticyclone saharien en moyenne troposphère, les thalwegs des moyennes latitudes en moyenne et haute troposphère, le flux de mousson et les alizés au large de la côte Ouest africaine en basse troposphère, les systèmes convectifs. Ces processus sont étudiés à l'aide d'une climatologie sur cinq ans d'analyses du Centre Européen de Prévision Météorologique à Moyen Terme et d'images Meteosat. Deux cas particuliers sont ensuite modélisés avec Méso-NH : celui de la perturbation qui a donné naissance à l'ouragan Helene (2006) et celui de la « Perturbation D », un cas de non-cyclogénèse observé pendant la campagne AMMA / SOP-3 à Dakar en septembre 2006. Les évolutions des perturbations simulées sont quantifiées à l'aide de bilans d'énergie et de tourbillon. Le résultat principal de cette thèse est que l'ajustement géostrophique du champ de vent à une perturbation de pression d'origine convective dans la région des Îles du Cap Vert ne se produit que lorsqu'il y a un apport d'énergie cinétique tourbillonnaire par une conversion barotrope, ainsi qu'une advection horizontale de tourbillon cyclonique. Ceci confirme l'hypothèse bien connue selon laquelle la cyclogénèse tropicale est le résultat d'une interaction entre systèmes convectifs et un environnement favorable.

#### Cyclogenetic evolution of convective disturbances in West Africa and Tropical Atlantic

The formation of Cape Verde Cyclones is the result of an interaction between several processes: mid-level African easterly wave's troughs and ridges, low-level monsoon flow and trade winds off the West African coast, convective developments, mid-level Saharan anticyclone, low level Saharan heat low, mid-and upper level troughs of mid-latitude origin. These processes are investigated in a climatologic study of five season of European Center for Medium-range Weather Forecast analyses and Meteosat images. This is complemented with two case studies modelled with Méso-NH: the perturbation which spawn Hurricane Helene (2006) and the so-called "Perturbation D", a non-developing case observed during AMMA / SOP-3 in Dakar in September 2006. The simulated evolutions are quantified with energy and vorticity budgets. The main result of this thesis is that geostrophic adjustment of wind field to a pressure perturbation of convective origin in the Cape Verde Islands area occurs only if there is a production of eddy kinetic energy through barotropic conversion and a horizontal advection of cyclonic vorticity. This confirms the well-known hypothesis that tropical cyclogenesis is the result of an interaction between convective systems and a favourable environment

**ATHIÉ de Velasco Gabriela**

**Etude de la structure spatio-temporelle de la variabilité intra-saisonnière dans les couches superficielles de l’océan Atlantique Tropical**

Dans l’Océan Atlantique Tropical, superposée au cycle saisonnier, de la variabilité aux échelles intra-saisonnières (2-50 jours) se manifeste en surface comme en sub-surface et avec des périodes différentes selon leur origine dynamique : le vent haute-fréquence ou les instabilités océaniques. Dans cette thèse, les modes spatio-temporels qui caractérisent cette variabilité intrasaisonnière sont étudiés d’une part à partir de séries de données satellite de longue durée (1999-2005) de température de surface de la mer (SST) et d’anomalies de niveau de la mer (SLA), et d’autre part à partir des sorties journalières d’un modèle de circulation générale océanique (2000-2004).

L’analyse des observations satellites révèle que des périodes entre 10 et 20 jours dominent la variabilité intra-saisonnière à l’Est de 10°W, dans le Golfe de Guinée. Des oscillations bimensuelles piégées à l’équateur sont observées chaque année en SST pendant l’été, alors que de la variabilité aux mêmes périodes est observée dans le vent tout le long de l’année. La comparaison entre ces deux variables montre que la variabilité bimensuelle en SST est forcée par le vent, mais modulée saisonnièrement par la présence d’un front de SST au Nord de la langue d’eau froide équatoriale.

Un deuxième signal, avec des périodes comprises entre 20 et 50 jours et composé par des anomalies se propageant vers l’Ouest entre 0.25 et 0.45 m/s, domine la variabilité intrasaisonnière dans les couches de surface de l’Atlantique Tropical à l’Ouest de 10°W. Ces anomalies correspondent à des ondes tropicales d’instabilité (TIWs) observées principalement à 5°N en SLA et à 2°N en SST. L’analyse des données satellite de SLA et SST a permis de montrer que des TIWs avec une moindre amplitude sont également présentes au Sud de l’équateur et reliées à celles du Nord par une structure cross-équatoriale principalement en opposition de phase à 5°N et 5°S et en quadrature à 2°N et 2°S. Cette étude met ainsi en évidence la nature ondulatoire des TIWs et suggère que les TIWs résultent de la combinaison de plusieurs ondes équatoriales intra-saisonnières. A l’aide du modèle NATL470 forcé par des vents satellite QuikSCAT mensuels, deux régions de variabilité entre 20-50 jours ont pu être identifiées dans l’Atlantique Tropical. La première est confinée dans une étroite bande équatoriale avec une structure en latitude correspondant à des ondes de Yanai à des périodes entre 25 et 35 jours.

La deuxième est localisée de part et d’autre de l’équateur, principalement entre 3° et 7° de latitude, où les TIWs présentent une structure cross-équatoriale plus complexe et plus variable dans le temps, ce qui suggère la présence de plusieurs ondes de Rossby intra-saisonnières avec des périodes légèrement plus grandes (30-50 jours) que le signal équatorial.

Une étude numérique, utilisant différents champs de vent comme forçages, révèle que les caractéristiques de la variabilité intra-saisonnière dans les couches supérieures de l’Atlantique Tropical sont fortement dépendantes du forçage du vent. Les vents haute-fréquence génèrent de la variabilité entre 2-10 jours qui diminuent de façon significative l’amplitude des TIWs dans la couche mélangée de surface, modifiant ainsi les caractéristiques de la variabilité intra-saisonnière de la SST. Cette étude montre que les simulations forcées avec les vents QuikSCAT reproduisent le mieux la variabilité intra-saisonnière de la SST. Par contre, les vents issus de la réanalyse NCEP/CORE présentent une variabilité haute fréquence (2-20 jours) très forte qui empêche le modèle numérique de reproduire de façon réaliste les TIWs.

**BAIN Caroline L.**

**Interactions between the land surface and the atmosphere over West Africa.**

The north-south gradient in surface temperature and rainfall in West Africa leads to the summertime monsoon circulation. Here, the full extent of the relationship between the land surface and the atmosphere is discussed with particular reference to the impact that soil moisture has on the atmosphere at different spatial scales.

Observations from the AMMA field campaign in 2005 and 2006 are combined with satellite analysis and model simulations to discuss various interactions between the land surface and the atmosphere. Tethered balloon observations from Mali in August 2005 are used to assess the characteristics of the nocturnal boundary layer. It is observed that a stronger surface temperature inversion after sunset leads to a faster nocturnal jet, and these findings are further investigated using surface station data. Case studies of two nights of observations are used to discuss the variation of observed boundary layer structures. It is found that on nights where the nocturnal jet is weaker, the winds align with African Easterly Wave (AEW) circulations on the larger scale.

Following this, the impact that AEWs had on surface properties is examined. Flux data from Niamey showed little statistical correlation with wave passage. It is suggested this could be partly due to the study year having more westerly initiating waves than climatology.

The inducement of circulations by soil moisture inhomogeneities are discussed in regard to previous literature, where a moist cool surface leads to high pressure and anticyclonic circulation. The relation of this theory to the synoptic scale is investigated using a case study from 25-29 July 2006. During this time, an unusually-structured AEW left a distinct synoptic ‘wave’ pattern of soil moisture in the Sahel region due to its modulation of convection. The structure of this wave and the initial conditions which lead to the soil moisture pattern are discussed.

The atmospheric impact of the soil moisture wave is investigated using the Met Office Unified Model. It is found that the enhanced soil moisture leads to a cooler, moister, thinner boundary layer. This leads to divergent winds at low levels and a reduction in the monsoon flow due to the reduction in the north-south pressure gradient. There is indication that low-level anticyclonic circulations are enhanced. The enhanced soil moisture wave also leads to an increase in easterly winds at the African Easterly Jet level: it is shown that this is due to a decrease in boundary layer height and a reduction in turbulence.

Inspection of wave energetics shows the case study wave appears to be in a decaying phase. There is evidence that the soil moisture wave increases the thermal decay by decreasing the temperature behind the trough in the warm region, reducing the temperature eddies and re-establishing the zonal temperature gradient. This study has implications for weather forecasting as the results suggest that patterns in soil moisture on the large scale are able to alter atmospheric dynamics at the synoptic scale within the time frame of a few days. This leads to further questions as to whether a realistic representation of soil moisture in models would lead to an improvement in the simulation of tropical synoptic dynamics.

**BALME, Maud**

### **Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil.**

Cette étude fait la synthèse des connaissances nouvelles acquises sur le régime pluviométrique sahélien et sa variabilité, à partir de l'analyse combinée de la série des pluies journalières de Niamey (Niger) de 1950 à 2002 et des données à haute résolution de l'observatoire AMMA-CATCH Niger de 1990 à 2002. L'accent est mis sur des échelles peu documentées jusqu'à présent, comme celles de l'événement pluvieux et des intensités des pluies. Dans une deuxième partie, on analyse l'impact de la variabilité pluviométrique sur la culture du mil, qui constitue la ressource alimentaire principale des populations de la région. Cette étude est menée à partir de simulations faites avec le modèle de cultures SARRA-H, qui simule le rendement potentiel sous la contrainte hydrique.

**BAUP, Frédéric**

### **Apport des données ENVISAT/ASAR pour le suivi des surfaces continentales: application à la zone sahélienne**

Le projet international AMMA, dans lequel s'inscrit ce travail de thèse, a pour objectif d'améliorer la compréhension des phénomènes liés à la mousson en Afrique de l'ouest, et en particulier les échanges d'énergie entre les surfaces continentales, océaniques et l'atmosphère. Au niveau des surfaces continentales, ces échanges sont principalement contrôlés par la quantité de végétation et par l'humidité de surface. Il est donc important de les estimer avec des résolutions spatiale et temporelle les plus fines possibles. Dans ce contexte, l'utilisation de capteurs radar, sensibles à l'humidité des sols et à la végétation, apparaît utile dans l'observation des zones où la couverture nuageuse est souvent marquée. Depuis une quinzaine d'années, des travaux basés sur l'utilisation de données radar ont permis de mettre en évidence les capacités de tels capteurs pour le suivi des zones semi-arides et pour l'extraction des paramètres géophysiques tels que la quantité de végétation, l'humidité et la rugosité des sols, etc. Cependant, aucun des capteurs utilisés jusque-là (diffusiomètres et SAR) n'offre à la fois des résolutions spatiale et temporelle élevées, associées à une large couverture spatiale, permettant le suivi de variables fugaces sur de grandes surfaces, comme l'humidité du sol. En effet, le diffusiomètre fournit des acquisitions avec une résolution temporelle élevée mais au dépend de la résolution spatiale, tandis que le SAR offre les possibilités inverses. Le développement des SAR de seconde génération, équipant les satellites RADARSAT et ENVISAT, permet de compenser ces limitations en offrant des résolutions spatiales souvent inférieures au kilomètre associées à une résolution temporelle de quelques jours. De plus le SAR d'ENVISAT offre aussi le choix des états de polarisations de l'onde radar contrairement à RADARSAT. Les travaux effectués dans le cadre de cette thèse sont basés sur l'utilisation des données ENVISAT/ASAR dont les caractéristiques permettent d'effectuer le lien, en terme de résolution, entre les diffusiomètres et les SAR du type d'ERS. Les travaux de recherche se sont organisés autour de trois axes complémentaires : Traitement et analyse des données ASAR pour les modes Global Monitoring et Wide Swath, montrant une meilleure aptitude de ce dernier pour la détermination de l'humidité du sol à des échelles de quelques kilomètres carrés...

The international project AMMA, in which this work of thesis is linked, aims to improve comprehension of the phenomena related to monsoon in West Africa, and in particular, exchanges of energy between continental, oceanic surfaces and the atmosphere. Concerning continental surfaces, these exchanges are mainly controlled by vegetation quantity and soil moisture. In this context, the use of radar sensors, sensitive to these two factors, appears useful in areas where the cloud cover is often marked. However, no sensors used up to now (Wind Scatterometers and SAR) offers at the same time a wide spatial cover combined to high space and temporal resolutions. The SAR of second generation, such as the one on board ENVISAT, offers an interesting compromise between spatial and temporal resolutions. This work is based on the use of ENVISAT/ASAR data and is organized around three complementary axes: (1) Treatment and analyzes data acquired in Global Monitoring and Wide Swath modes. This study showed a stronger aptitude of this last one for the estimations of the soil moisture at kilometric scales, while keeping a large space cover. The use of radar data in a bi-objective assimilation algorithm, associated with optical data, helped to improve biomass and LAI estimation. (2) Acquisition of ground data (soil roughness and soil moisture) allowed us to determine, via radar models, that the radar signal is mainly controlled soil characteristics. (3) Empirical estimate and cartography of the soil moisture from radar signal...

**BECHARA, Joëlle**

### **Impact de la mousson sur la chimie photooxydante en Afrique de l'Ouest**

Le changement climatique est relié à l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère et de sa capacité oxydante, impliquant le système COV-NOy-HOx-O3. La troposphère tropicale, de l'Afrique de l'Ouest en particulier, joue un rôle critique sur la composition atmosphérique globale pour trois raisons majeures : (1) l'existence d'importantes sources de précurseurs d'espèces photooxydantes, (2) une photochimie active, (3) une activité convective intense en période de mousson. Pour évaluer son rôle, il est nécessaire de bien caractériser ces différents processus et leur interaction. Cette question est au cœur du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) dans lequel s'inscrit cette thèse.



Ce travail a pour objectif de caractériser et d'évaluer l'impact de la convection nuageuse profonde sur la chimie photooxydante de la troposphère libre en Afrique de l'Ouest, en particulier pour les composés organiques volatils (COV), qui sont d'importants précurseurs d'ozone. Ce travail s'appuie sur les données physico-chimiques recueillies sur les deux avions de recherche français au cours de la campagne d'observation intensive de l'été 2006 de AMMA.

Afin de compléter le dispositif instrumental embarqué, une nouvelle instrumentation de mesure indirecte des COV a été d'abord développée. Puis, l'utilisation de traceurs physico-chimiques et la mise en place d'outils diagnostiques appliqués aux COV (profils verticaux de concentrations, rapport de concentration de COV ad hoc, horloge photochimique, réactivité totale vis-à-vis de OH) ont montré que la convection profonde assure un transport vertical rapide et efficace des espèces gazeuses réactives émises près de la surface vers la haute troposphère. Enfin, un modèle photochimique de boîte 0D a permis de renseigner l'évolution de la composition chimique des masses d'air post-convectives. Les simulations montrent que les espèces transportées par la convection participent activement à la chimie et conduisent à une production nette et significative d'ozone dans la haute troposphère. La sensibilité de la production d'ozone aux précurseurs gazeux (COV et NOx) a été également évaluée.

### **BELLA MEDJO Marthe**

#### **Analyse multi-échelle de la variabilité pluviométrique au Cameroun et ses conséquences sur le rendement du coton**

L'exploitation du coton représente une source importante de revenus pour les pays d'Afrique et pour le Cameroun. Avec les facteurs économiques et environnementaux, le climat est un des éléments déterminants dans la production et les rendements du coton. Cette thèse contribue à une meilleure compréhension du rôle des précipitations sur les rendements. La spécificité de ce travail est de chercher à relier la variabilité climatique de grande échelle à l'échelle locale des rendements sur le Nord Cameroun en déterminant l'échelle spatio-temporelle intermédiaire caractéristique de ce lien.

Ainsi, nous avons tout d'abord défini une régionalisation de la variabilité interannuelle des pluies pour les différentes phases du cycle saisonnier. Puis nous avons analysé ses liens avec les anomalies de températures de surface de mer dans les Tropiques (bassins Atlantique, Pacifique et Méditerranée) et les anomalies de circulation de mousson par des études diagnostiques et des ensembles de simulations climatiques. A l'opposé, nous avons étudié les relations entre les régimes pluviométriques et les rendements de coton à différentes échelles spatiales en se basant sur les données disponibles et un modèle agronomique. La date de démarrage des pluies, la durée de la saison de mousson, le cumul saisonnier pluviométrique et particulièrement le cumul mensuel du mois de Juin sont les variables qui expliquent le mieux la variabilité spatio-temporelle des rendements. Les corrélations, faible, à l'échelle des secteurs, deviennent significatives aux plus grandes échelles des régions et de la zone coton. Nous nous focalisons alors sur le mois de Juin à l'échelle de la zone coton pour interpréter le rôle de l'échelle intra-saisonnière à travers la détermination des dates de mise en place de la mousson et de la structure et de l'évolution des modes spatio-temporels de la convection. Cette étude propose ainsi une approche générique de l'étude des impacts du climat à l'échelle locale.

### **BENREHOUMA Asma**

#### **Restitutions et analyse des paramètres climatiques mesurés par satellites sur l'Afrique et l'Océan Atlantique pour les deux dernières décennies. Tendances et variabilité des flux radiatifs en liaison avec les autres paramètres climatiques**

### **BESSON, Lucas**

#### **Processus Physiques Responsables de l'Etablissement et de la Variabilité de la Mousson Africaine**

La Mousson Ouest Africaine est un système complexe, qui présente des variations interannuelles très importantes. Ces variations se traduisent par les fluctuations considérables des précipitations sur le continent. Avoir une meilleure compréhension du système complexe qu'est la mousson africaine peut permettre de mieux cerner les mécanismes qui influencent la production des précipitations sur le Sahel. La première partie de ce travail de thèse consiste en une comparaison entre deux saisons de mousson aux régimes de précipitations différents afin d'extraire les caractéristiques communes et différentes, pour les appliquer à l'étude de la saison de mousson durant laquelle s'est déroulée la campagne AMMA. Cette étude est complétée par une compréhension des processus dynamiques et thermodynamiques qui sont à l'origine du déclenchement de l'Onset de la mousson, et qui permettent l'installation des conditions favorables au développement des précipitations sur le Sahel. Le second volet est basé sur les mécanismes physiques qui entrent en compte dans le cycle de vie des lignes de grains sur le Sahel. Enfin, la dernière partie traite de l'impact des systèmes de méso - échelle sur leur environnement en terme de bilan de chaleur et d'humidité dans le quadrilatère sud de l'expérience AMMA.

#### **Physical Processus Responsible of the African Monsoon Establishment and Variability**

The West African Monsoon is a complex system, with some important inter-annual variations. These variations show up in significant fluctuations of precipitation on the African continent. A better knowledge of the complex system of the monsoon is needed in order to understand the mechanisms that influence the production of the precipitation over the Sahel. The first part of this work consists in a comparison between two monsoon seasons with different precipitation contents, to extract the main identical and different characteristics, and to apply them on the AMMA monsoon season. This study is completed by an analysis of the dynamical and thermodynamical process at the origin of the Onset, which permits the installation of the favourable condition for the precipitation over the Sahel. The second part is devoted to physical mechanisms implied in the life's cycle of the squall line. The last part discusses the impact of the meso - scale convective systems on their environment, in terms of heat and water budgets in the southern quadrilateral of the AMMA experiment.

Dans le cadre du présent travail de recherche, deux nouveaux mécanismes de soulèvements d'aérosols désertiques en Afrique de l'Ouest, durant la saison de mousson, ont été identifiés: 1- Le premier étant lié aux forts vents turbulents au niveau du front de mousson dans la région du front intertropical, très actif durant la nuit et les premières heures de la journée (Bou Karam et al., 2008). 2- Le deuxième est lié à la formation de cyclones dans la région du front intertropical, phénomène mis en évidence au cours de cette thèse, comme étant la réponse: (a) Au blocage orographique exercé par les massifs du Hoggar et de l'Air sur les masses d'air froides advectées au dessus du continent Nord Africain depuis la Méditerranée et (b) au cisaillement horizontal caractérisant le front intertropical (Bou Karam et al., 2009a). Les mécanismes identifiés, en plus de leur efficacité en termes d'émissions d'aérosols, offrent des conditions dynamiques nécessaires pour l'injection des aérosols mobilisés à des hautes altitudes, leurs donnant ainsi le potentiel pour contribuer au transport à grandes échelles spatiales et temporelles. La représentativité dans le modèle atmosphérique MesoNH de trois mécanismes forçant les émissions d'aérosols a été examinée. Ainsi, le modèle était capable de reproduire d'une manière très satisfaisante les soulèvements associés: Aux jets de basses couches (Todd et al., 2009), au front de mousson (Bou Karam et al., 2009b) et aux cyclones sahéliens (Bou Karam et al., 2009a). Par ailleurs, les études numériques ont permis de quantifier les émissions associées à chacun des mécanismes, les résultats du modèle ont suggéré que les émissions dans la région du front intertropical, durant la saison de mousson quand le front est positionné au-dessus des hot-spots de l'Afrique de l'Ouest, sont du même ordre (0.8 Tg en moyenne par jour) que celles estimées dans la région de Bodélé au Tchad, connue pour être la région source la plus importante de l'Afrique au nord de l'Equateur

### **Meteorological mechanisms involved in dust emissions over West Africa**

In the framework of the present research work, two new mechanisms for dust emissions and transport over the Sahel have been identified:

1- The first one is related to the monsoon nocturnal flow dynamics; high turbulent winds at the leading edge of the monsoon flow density-current like are at the origin of dust mobilization (Bou Karam et al., 2008).

2- The second one is associated with the cyclonic activity in the ITD region, new phenomena discovered also in the framework of the present research work, to be the response to: (a) The strong horizontal shear and low-level convergence existing along the ITD and (b) enhanced northeasterly winds associated with orographic blocking of cool air masses from the Mediterranean Sea (Bou Karam et al., 2009a). Beyond their role on dust emissions, the two identified mechanisms offer for the uplifted dust the potential to attend high altitudes to be made available for long range transport. In addition, the simulation of three mechanism involved on dust emissions over West Africa by the atmospheric model MesoNH has been examined. The model was able to reproduce very well the dust emissions associated with: Low level jets (Todd et al., 2009), Monsoon leading edge high turbulent winds (Bou Karam et al., 2009b) and Sahelian cyclones (Bou Karam et al., 2009a). Also, model results suggest that dust emissions in the ITD region during summer when the ITD is located over the hot spots of West Africa are in the same order of dust emissions from the Bodélé depression in winter time, recognized as the most important African dust source.

### **BOUALI Lotfi**

#### **Prévisibilité des précipitations ouest africaines (échelles intrasaisonnières et saisonnières) au travers des simulations type DEMETER et des observations**

Suite aux recommandations proposées par la communauté scientifique AMMA trois principaux objectifs étaient assignés à ce travail de recherche. Le premier était d'analyser les sorties directes des modèles de circulation générale de l'atmosphère utilisés dans le cadre du projet DEMETER. Le second était de proposer une nouvelle méthodologie de prévision des précipitations saisonnières au Sahel en utilisant les sorties directes des MCG les mieux simulées, c'est-à-dire celles relatives à la dynamique atmosphérique qui explique la pénétration de la mousson ouest africaine dans le continent, et, par conséquent, la pluie au Sahel pendant la saison de mousson d'été boréal. Le troisième objectif enfin, consistait à analyser et comparer les prévisions probabilistes issues du forum PRESAO et du projet ENSEMBLES. Pour répondre à ces objectifs, nous nous sommes appuyés sur 7 bases de données : 4 d'entre elles sont utilisées comme références (CRU, CMAP, réanalyses américaines -R1 et R2- et la TSM), les simulations (précipitations et dynamique atmosphérique) des projets européens DEMETER et ENSEMBLES et enfin les cartes numérisées du forum PRESAO.

Il est notamment démontré que:

- L'approche statistico-dynamique permet d'améliorer nettement les scores obtenus directement à partir des pluies brutes des MCGs DEMETER puisqu'on atteint 40% de la variance totale expliquée (contre 10% pour DEMETER), les performances étant meilleures lorsque la dynamique atmosphérique simulée est utilisée.
- Le score du modèle moyen (MMEM) est très proche de ce que peut donner le meilleur MCG utilisé individuellement, cela quelle que soit la méthode utilisée (par indice ou par champs). Ceci montre qu'une approche multi-ensemble est plus performante qu'une approche multi-runs sur un modèle et que seule l'approche d'ensemble permet de retrouver dans les MCGs les téléconnexions responsables d'une bonne prévision de la pluie au Sahel.

Following the recommendations proposed by the AMMA community three main objectives were set for this research. The first was to analyze the direct outputs of general circulation models of the atmosphere used in the DEMETER project. The second was to propose a new method for predicting seasonal rainfall in the Sahel using the direct outputs of GCMs the best simulated, that is to say, those related to atmospheric dynamics which explains the penetration of the West African monsoon in the continent, and therefore, the total rainfall during the monsoon season of boreal summer. The third goal finally was to analyze and compare probabilistic forecasts from the forum and PRESAO project ENSEMBLES. To meet these objectives, we relied on 7 databases: 4 of them are used as references (CRU, CMAP, reanalyses American-R1 and R2 and SST), simulations (precipitation and atmospheric dynamics) European projects ENSEMBLES and DEMETER and finally digitized maps from the PRESAO forum .

It is demonstrated that :

- The statistical-dynamic approach can significantly improve the scores obtained directly from wet raw GCMs DEMETER since reached 40% of the total variance explained (as against 10% for Demeter), performance is best when the dynamics simulated air is used.
- The score of the model mean (MMEM) is very close to what may be the best GCM used individually, that whatever the method used (index or field). This shows that a multi-ensemble approach is more efficient than a multi-runs approach on a single model and that the overall approach allows to find in the GCMs teleconnections responsible for a good prediction of rainfall in the Sahel.

### **BOUARAR Idir**

#### **Impact de la mousson africaine sur la composition chimique de l'atmosphère en Afrique équatoriale**

Des quantités importantes de gaz réactifs et de particules sont émises en Afrique équatoriale par l'activité humaine, les écosystèmes forestiers, les éclairs et les sols. La convection profonde et les processus de transport à longue distance (e.g. Jet d'Est Africain, Jet d'Est Tropical) qui caractérisent cette région pendant la saison de la mousson peuvent redistribuer ces émissions dans la troposphère et en dehors du continent africain. Le but de ce travail de thèse est d'étudier l'influence de ces processus sur la composition chimique de l'atmosphère en Afrique équatoriale. Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet AMMA. Les données collectées pendant la campagne de mesure en été 2006 en Afrique de l'ouest ainsi que les données fournies par le programme MOZAIK et par des observations satellites sont analysées et confrontées aux résultats du modèle global de chimie-climat LMDz\_INCA. Cela a permis d'évaluer les performances du modèle LMDz\_INCA en Afrique d'une part et, d'autre part, de mieux analyser l'influence des émissions et des processus de transport sur le bilan régional de l'ozone (O<sub>3</sub>) en Afrique équatoriale.

La première partie de ce travail a permis d'étudier l'influence du transport convectif, des émissions locales en Afrique et des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) produits par les éclairs sur l'ozone et ses précurseurs en Afrique équatoriale. La seconde partie est consacrée à l'analyse de l'impact du transport des émissions des feux de biomasse en Afrique centrale sur la composition chimique de la troposphère. La dernière partie est consacrée à l'étude de la contribution des sources d'émissions en Afrique (biogéniques, anthropiques, par les feux de biomasse, NO<sub>x</sub> produits par les éclairs et par les sols) au bilan régional de l'ozone en Afrique équatoriale. Des études récentes ont montré que, grâce au transport inter-continental, les émissions Asiatique peuvent influencer la composition chimique de la troposphère en Afrique de l'ouest. La contribution de ces émissions au bilan régional de l'ozone en Afrique équatoriale a également été analysée dans la dernière partie de ce travail de thèse.

### **BOUET Christel**

#### **Modélisation multi-échelle de la dynamique des panaches d'aérosols naturels en Afrique**

Le but de cette étude était de documenter aussi précisément que possible le bilan de masse des aérosols minéraux désertiques qui sont des acteurs importants du système climatique terrestre puisqu'ils présentent un flux en masse annuel égal à environ la moitié du flux d'aérosols total. La mise en évidence de certains cas délicats à modéliser a conduit à mettre l'accent, dans ce travail, sur deux problèmes clefs de l'Afrique du nord : la région de Bodélé, du fait d'une topographie locale complexe, et les lignes de grains sahéliennes dont l'interaction avec les émissions d'aérosols minéraux reste encore largement inconnue.

Cette étude a été réalisée à l'échelle méso haute résolution en utilisant le modèle Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) couplé en ligne avec le Dust Production Model (DPM) développé par Marticorena et Bergametti [1995] et Laurent [2005]. Afin d'examiner la capacité de ce modèle à reproduire les émissions d'aérosols minéraux dans la région complexe de Bodélé, nous avons tout d'abord modélisé la période correspondant à la campagne Bodélé Dust Experiment 2005 (BoDEx 2005). Notre modèle a ainsi été capable de reproduire les caractéristiques météorologiques locales (principalement le vent dans les basses couches) ainsi que les concentrations en aérosols minéraux et la structure du panache observées pendant la campagne. Nous avons aussi vérifié que les aérosols émis depuis cette région du monde atteignent le continent sud américain.

De plus, cette validation nous a permis de vérifier le constat établi par divers auteurs : les modèles à grande échelle (MCG) ont souvent du mal à reproduire correctement les champs de vent dans la région de Bodélé. Nous avons alors entrepris une étude climatologique (sur l'année 2001) sur une zone étendue autour de la région de Bodélé à différentes résolutions spatiales afin de caractériser les phénomènes de basses couches qui pourraient expliquer ce biais quasi-systématique des MCG. Ce travail a été validé grâce aux données de routine des stations de mesure de surface ainsi que grâce à l'imagerie satellite.

Le deuxième cas sur lequel la validation de notre outil était nécessaire est constitué par les événements de ligne de grains qui se succèdent sur la zone sahélienne lors de l'été boréal. Cette validation a été réalisée sur un événement bien documenté des périodes d'observations spéciales 1 et 2 de la campagne Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA).

#### **Multi-scale modelling of the dynamics of natural aerosol plumes in Africa**

The aim of this study was to document as precisely as possible the mass balance of desert dust, which is a major actor in the Earth's climate system as its annual mass flux is about half of the total aerosol annual flux. Recent studies revealed some cases difficult to model so that, in this work, we chose to focus on two key issues of North Africa: the Bodélé region, due to its complex local topography, and Sahelian tropical squall lines, the interactions of which with mineral dust remain largely unknown.

This study was conducted at high mesoscale resolution using the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) coupled online with the Dust Production Model (DPM) developed by Marticorena and Bergametti [1995] and Laurent

[2005]. In order to test the ability of this model to retrieve dust emissions in the complex area of the Bodélé, we first modelled the period corresponding to the Bodélé Dust Experiment 2005 (BoDEx 2005). Our model was able to reproduce the local meteorological features (mainly low level winds) and also the mineral dust concentrations and the structure of the plume observed during the experiment. Furthermore, we verified that mineral dust emitted from this region of the world reaches the South American continent.

In addition, during this validation, we checked a modelling problem reported by several authors: General Circulation Models (GCMs) often fail when trying to represent wind fields in the Bodélé depression. Then, we undertook a climate study (on year 2001) over an extended area around the Bodélé region at several horizontal resolutions in order to characterize the low level phenomena that could explain the quasi-systematic bias of GCMs. This work was validated using the routine data of the ground-based stations as well as satellite imagery.

The second case in which the validation of the model was necessary consisted in tropical squall lines that succeed in the Sahel during boreal summer. This validation was performed on a well documented event of the Special Observing Periods (SOPs) 1 and 2 of the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA).

**BOULAIN, Nicolas**

### **Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux: modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien.**

Le travail de thèse vise à élaborer un modèle «intégrateur» distribué, associant un modèle hydrologique de ruissellement et un modèle de production de biomasse. La zone d'étude se caractérise par l'absence d'écoulement généralisé (mis à part le fleuve Niger), et se présente comme une succession de bassins versants endoréiques (1 - 10 km<sup>2</sup>/sup), dont les exutoires sont des mares de bas-fond. Les pluies sont saisonnières (juin à septembre) et les écoulements sur les bassins versants sporadiques. Les mares sont la principale source de recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal, présente à 20-30 m de profondeur. Cet aquifère représente la seule ressource en eau pérenne, qui est exploitée pour les besoins domestiques (puits et forages villageois). Les mécanismes essentiels de renouvellement de la ressource ont lieu à l'échelle du bassin versant de mare. Les travaux menés dans la région montrent que le niveau de la nappe phréatique monte de manière significative et continue depuis 40 ans, en apparence contradiction avec la péjoration climatique observée depuis les années 1970, estimée à -20% en moyenne chaque année. Dans la même période, d'importantes modifications du couvert végétal, d'origine anthropique (défrichement et mise en culture) sont observées. Les processus de dégradation qui y sont liés (encroûtement, érosion) favorisent les écoulements de surface, et l'hypothèse retenue est que l'évolution actuelle de la ressource en eau (nappe) dans la région est essentiellement sous le contrôle des modifications environnementales, qui masquent l'impact climatique : la nappe étant majoritairement rechargée par infiltration sous les mares, la hausse de la nappe peut s'expliquer par l'augmentation des volumes ruisselés apportés aux mares. Pour étudier le fonctionnement d'un tel système, seul un travail de modélisation spatialisée peut permettre d'appréhender tous les processus (hydrologiques, climatologiques et biologiques) à l'échelle du bassin. Le modèle doit être capable de simuler les relations sol-végétation-atmosphère : l'utilisation de la ressource en eau par la végétation, essentiellement pendant la saison des pluies, c'est à dire l'extraction de l'eau dans les différents horizons du sol mais aussi la perte d'eau par évapotranspiration par rapport à la demande climatique et aux différentes résistances aux transferts ; il doit donc être capable de bien calculer le bilan hydrique à l'échelle du bassin versant en estimant pour chaque maille les volumes d'eau infiltrés, ruisselés et évapotranspirés.

**CAIN Michelle**

### **Transport and processing of ozone over the North Atlantic and in the West African monsoon**

Understanding the processes affecting air masses during transport is important for both air quality and climate issues, as long range transport of trace gases, including O<sub>3</sub> and its precursors, can affect their lifetime in the troposphere and lead to O<sub>3</sub> production downstream of pollution sources. This thesis investigates the interactions between physical and chemical processes influencing tropospheric O<sub>3</sub> during long range transport using the trajectory ensemble photochemical model developed in this work (CiTyCAT). Observed air mass composition and photochemical activity is reproduced by the model in North Atlantic transport cases with robust Lagrangian links. The integrated change in O<sub>3</sub> following air masses, O<sub>3</sub>, is reproduced to within the model and observational uncertainties. The model is used to investigate O<sub>3</sub> partitioned by process in different regimes: low altitude anthropogenic pollution transport over the N. Atlantic, high altitude boreal fire emissions and West African Monsoon (WAM) flow. In low altitude N. Atlantic transport, there is chemical and physical O<sub>3</sub> loss in the lowest layers. In the high altitude fire emissions case, chemical O<sub>3</sub> production dominates. Net chemical production of O<sub>3</sub> in the WAM is 4-5 times higher than in the boreal fire emissions case, as photolysis rates, temperature and humidity are higher in the tropics and the air mass is continually passing over fresh emissions. The large photochemical O<sub>3</sub> production in the WAM is counteracted by physical losses, particularly dry deposition over vegetation. The physical and chemical processes are inextricably linked and the processing responds non-linearly to perturbations. In all low altitude experiments, O<sub>3</sub> is most sensitive to changes to emissions and dry deposition rates. In the WAM inflow, dry deposition has the largest impact on O<sub>3</sub>, followed by anthropogenic, soil NO<sub>x</sub> and isoprene emissions. Wet deposition and cloud cover do not strongly affect O<sub>3</sub>. The northward advance of the monsoon flow is at night when photochemistry is inactive, allowing isoprene to be transported over bare soil to the north that emits NO<sub>x</sub>, together giving O<sub>3</sub> production after dawn.

## **CAMARA Moctar**

### **Cyclogenèse dans l'Atlantique Nord en relation avec le système de mousson en Afrique de l'Ouest.**

Nous avons abordé dans cette thèse l'étude du lien entre le système de mousson en Afrique de l'ouest et l'activité cyclonique dans l'Atlantique Nord. Nous avons particulièrement étudié les conditions environnementales sur l'Afrique qui influencent la cyclogenèse sur l'Atlantique Nord ainsi que le rôle des Ondes d'Est Africaines (OEA) dans la genèse des cyclones.

Une étude de la climatologie de la cyclogenèse sur l'Atlantique Nord au cours de la période 1980-2004 a été menée dans un premier temps et a permis de montrer l'existence de deux axes préférentiels de naissance des cyclones. L'axe sud est lié aux perturbations atmosphériques provenant du continent (OEA) tandis que l'axe nord provient des zones frontales et des dépressions froides d'altitude. Les cyclones, les ouragans et les ouragans intenses qui sont nés à l'ouest de 60°W ont généralement une courte durée de vie. Tandis que ceux qui prennent naissance aux larges des côtes ouest africaines semblent être de longue durée de vie et ont pour précurseurs les OEA. Les ouragans intenses qui sont responsables de la majeure partie des dégâts causés par les cyclones dans l'Atlantique Nord, ont une longue durée de vie, prennent majoritairement naissance dans la partie sud de la zone principale de génération des cyclones (Main Development Region en Anglais ; MDR) et aux larges des côtes Ouest Africaines. Ces ouragans intenses sont générés en majeure partie par les OEA. Une analyse composite des conditions de grande échelle en Afrique et sur l'Atlantique Nord prévalant avant la genèse des 269 cyclones de la période 1980-2004 a été menée pour évaluer la possibilité de prédire l'activité cyclonique à l'échéance de quelques jours. La moyenne des 3 jours précédant la genèse de ces cyclones a été comparée à la moyenne août -octobre de 1980 à 2004. Les résultats montrent que du point de vue dynamique et thermodynamique, les conditions environnementales en Afrique et sur l'Atlantique Nord sont favorables à l'organisation et au maintien de la convection profonde avant la cyclogenèse. Le nombre d'OEA est pratiquement constant d'une année à l'autre. Cependant la fraction d'OEA qui se développent en cyclones connaît une forte variabilité interannuelle. Une comparaison des caractéristiques des OEA qui génèrent des cyclones sur la partie Est de la MDR (Est de 40°W) et celles des OEA qui ne génèrent pas de cyclones lorsqu'elles se propagent dans cette zone, a été ainsi faite. Le but de cette étude était de montrer le lien qui existe entre le climat Ouest Africain et l'activité cyclonique à l'échelle intra- saisonnière et de détecter en Afrique quelques paramètres précurseurs du déclenchement de l'activité cyclonique dans l'Atlantique Est.

In this thesis, the links between the West African Monsoon system and the North Atlantic cyclonic activity is studied. Large scale conditions over Africa associated with North Atlantic cyclogenesis and the role of African Easterly Waves (AEWs) have been extensively investigated.

First, the study of the cyclogenesis climatology over the North Atlantic in the 1980-2004 period have been done. This study shows the existence of two preferential tracks of cyclogenesis. The southern track is linked to AEWs, while the northern one may be associated with cold upper levels lows and frontal mid-latitude systems. Cyclones, hurricanes and major hurricanes generated at the West of 60°W have generally short lifetimes while those born East of 60°W have long lifetimes and are initiated by African disturbances (AEWs). Major hurricanes which are responsible for the majority of human and material losses due to cyclones, have long lifetime; they are generated mainly over the southern part of the main development region (MDR) and West of 60°W. They are mainly generated by AEWs. Large scale conditions before the genesis of the 269 cyclones occurred in the 1980-2004 period have been diagnosed. The average of the 3 days before cyclogenesis have been compared to the August-October climatology of the 1980-2004 period. We found that dynamic and thermodynamic conditions are favourable for high convective activity before cyclogenesis traducing the existence of factors favouring cyclonic activity a few days in advance.

The number of AEWs is fairly constant from year to year but the fraction that developed into cyclones shows a substantial inter-annual variability. Thus, a comparison over Africa and the Eastern Atlantic Ocean of the characteristics of AEWs that develop into cyclones and those that did not develop into cyclones at the Eastern part of the MDR have been done to determine potential precursors of North Atlantic cyclonic activity on West Africa.

## **CAMINADE Cyril**

### **Rôle de l'océan et influence des émissions d'origine anthropique sur la variabilité climatique en Afrique.**

L'Afrique sub-saharienne est la région du globe qui a connu la sécheresse la plus marquée de 1970 jusqu'à la fin du 20ème siècle. Dans cette thèse on propose de revisiter l'influence respective des températures de surface océanique (SST) et des émissions des gaz à effet de serre (GES) et aérosols sulfatés sur la variabilité climatique en Afrique sur la période 1950-1999, en s'appuyant sur les observations et la modélisation numérique (modèle ARPEGE-climat). On examine ensuite les projections climatiques vers la fin du 21ème siècle.

Les résultats confirment l'influence forte des SST dans le pilotage de la sécheresse sahélienne après 1970, et montrent un impact faible de l'effet additionnel de l'augmentation des GES et aérosols sur la variabilité climatique en Afrique, excepté sur l'amplitude diurne des températures. En raison de très nombreuses incertitudes, on a pu constater la grande difficulté à suggérer une probable évolution du climat africain à la fin du 21ème siècle.

The Sahel is the region of the globe which has experienced the most severe drying, from 1970 to 2000. In this thesis we revisit the influence of sea surface temperature (SST) and increased greenhouse gases (GHG) and sulfate aerosols concentrations in the atmosphere upon African climate variability over the 1950-1999 period, using observations and modelisation. Then, we try to suggest an evolution scenario of African climate at the end of the 21st century.

The results highlight the importance of the SST in driving the sahelian drought after 1970, and show a relatively weak and non significant impact of the additional effect of enhanced GHG and sulphate aerosols in the atmosphere, excepted for the diurnal temperature range. A large range of uncertainties does not actually allow us to conclude on a preferred African climate change scenario at the end of the 21st century

Atmospheric aerosols represent an important but uncertain component of the atmosphere, and are known to affect the Earth's radiative budget by scattering and absorbing solar and terrestrial radiation, and by influencing the optical properties and lifetime of clouds. Organic aerosols are a ubiquitous feature of atmospheric composition around the globe, yet also represent a significant source of uncertainty with regard to the understanding of aerosol behaviour and their representation in regional and global models. Presented here are aircraft measurements of organic aerosols arising from biomass burning and biogenic production over West Africa; the predominant sources of submicron aerosols during the dry and wet seasons respectively in a region which has received comparatively little study in the literature.

Measurements were taken using an Aerodyne Quadrupole Aerosol Mass Spectrometer (Q-AMS) installed on the UK Facility for Atmospheric Measurements (FAAM) aircraft. The physical and chemical properties of biomass burning aerosols were investigated on a continental scale, with particular focus on the evolution of these characteristics as the aerosols aged during transport from the source region. Systematic evolution of the chemical composition of aerosols was observed and aerosols became increasingly oxygenated with increasing distance from source. Emission ratios were estimated for black carbon and organic carbon, which compare well with previous results though the estimates made here are on regional scales rather than from single fires. Evolution of the particle size distribution was dominated by coagulation rather than condensation, and negligible secondary organic aerosol (SOA) production was observed. The chemical evolution of biomass burning aerosols without an increase in mass from secondary production appears to be a consistent finding for biomass burning aerosols, when the same analysis was completed for biomass burning emissions from other regions.

SOA formation from biogenic precursors was also investigated over a tropical forested region, and very low mass concentrations were observed. These are compared with theoretical predictions and contrasted with organic aerosol measurements in polluted urban environments. Measured SOA concentrations in this tropical forest environment are under-predicted by around a factor of 4.5 - 15, compared to calculations of SOA formation using measured VOC concentrations in conjunction with the approach used in global models. This under-prediction is on a similar scale to equivalent comparisons of model predictions with measured organic aerosol mass concentrations in the mid-latitudes, indicating a general lack of predictive ability by the approach used in current global models over a range of environments. However, the range of mass concentrations predicted by global models for the region of West Africa is broadly consistent with the measurements. This apparent paradox points to further differences between model estimates and measurements of SOA - most likely relating to incorrect precursor emission inventories used in global model predictions of SOA in this region.

#### **CRUMEYROLLE, Suzanne**

#### **Impact des systèmes convectifs sur les propriétés hygroscopiques des aérosols: Analyse de deux cas d'étude durant la campagne AMMA**

En Afrique de l'ouest, sous l'influence de deux systèmes majeurs de transport atmosphérique, l'harmattan et le flux de mousson, trois types d'aérosols prédominent : les aérosols de feux de biomasse, les poussières désertiques et les sels marins. Ces aérosols qui ont des propriétés physico-chimique, optiques et hygroscopiques très différentes peuvent se mélanger au cours de leur transport, modifiant ainsi l'impact qu'ils peuvent avoir sur les propriétés radiatives de l'atmosphère. De façon à caractériser au mieux ces particules dans le cadre du projet AMMA, une veine de prélèvement aéroportée, ainsi qu'une plate-forme instrumentale adaptée ont été initialement développées et implémentées dans l'avion de recherche ATR-42. Lors de la campagne de mesure AMMA, différents plans de vols ont été effectués, chacun d'entre eux répondant à un objectif scientifique précis. Le but de cette étude est de mieux comprendre l'impact des systèmes convectifs de méso-échelle (MCS) sur la modification des propriétés hygroscopiques des aérosols. Pour cela, deux cas d'étude AMMA ont été sélectionnés : le premier au mois de juillet (SOP1) et le second au mois d'août 2006 (SOP2). L'analyse de ces deux cas d'étude révèle une augmentation de la capacité hygroscopique des aérosols après passage du MCS liée à la présence d'éléments solubles à la surface des particules d'aérosols. Afin de mieux comprendre les processus qui dans le MCS sont capables de modifier les propriétés de surface des aérosols, une modélisation numérique du premier cas d'étude a été réalisée. Cette simulation met en évidence un mélange en phase aqueuse des éléments solubles provenant des basses couches et des éléments insolubles provenant des couches supérieures, consécutif au mouvement des courants descendants et ascendants dans le MCS. Après évaporation, ces particules recouvertes d'une pellicule de surface composée d'éléments solubles tels que les nitrates, les sulfates ou les chlorures sont réinjectées dans l'atmosphère en ayant gagné des propriétés CCN. Les conséquences de ces résultats sont finalement discutées.

The Harmattan and the monsoon flux are the major systems of atmospheric transport in West Africa. Because of these two fluxes, three different types of particles prevail: biomass burning aerosols, desert dusts and sea salts. These particles, which have different physico-chemical, optical and hygroscopic properties, can mix during their transport and modify the impact on atmospheric radiative properties. To characterize these particles within the project AMMA, an isokinetic inlet and an instrumental platform were developed and deployed in the French research aircraft (ATR-42). The purpose of this study is to better understand the impact of the méso-scale convective systems (MCS) on the modification of the aerosol hygroscopic properties. For that purpose, two AMMA study cases were selected: the first one in July (SOP1) and the second in August (SOP2).

The analysis of these two study cases reveals after the MCS passage an increase of the aerosol hygroscopic capacity linked to the coating of soluble elements on the particle surfaces. A simulation of the first study case (SOP1) underlines the importance of MCS circulation in mixing air masses below and above the boundary layer. Our results show that water-soluble species (i.e. NaCl, or sulfate) found in the boundary layer are well-mixed with insoluble dust transported from the Saharan and Sahelian region. The mixing of soluble and insoluble aerosol appears to be in an aqueous phase (i.e. cloud droplets), which facilitates the addition of soluble compounds on dust particles. Upon evaporation, the addition of soluble species on dust particles enhances the aerosol hygroscopicity. The implications of these results are discussed.

#### **DERIVE Gaël**

#### **Estimation de l'évapotranspiration en région Sahélienne. Synthèse des connaissances et évaluation de modélisations. Application à la zone d'HAPEX-Sahel (Niger)**

En région sahélienne, l'estimation des divers composants évaporatifs (évaporation du sol, transpiration des plantes) demeure primordiale, que ce soit pour la connaissance du bilan hydrique au niveau de la surface, ou pour le phénomène de rétroaction que ces flux entraînent sur le régime des pluies, via l'atmosphère. Dix ans après l'expérience HAPEX-Sahel (Niger, 1992), l'impact du changement climatique ou d'occupation des sols sur les flux évaporatifs reste ouvert dans la mesure où les mesures sont limitées et aucun modèle n'a été testé sur l'ensemble des couverts végétaux (champs de mil, zones de jachère, brousse tigrée), ni sur un cycle hydrologique complet. Dans cet objectif, deux types de modélisation ont été proposés et évalués. Dans un premier temps, le schéma de surface SISVAT, à base physique, a été testé sur les principaux couverts (mil et jachère) et la sensibilité de ses paramètres (mesurés ou tabulés) est discutée. Son couplage avec le modèle atmosphérique de mésoéchelle MAR permettra bientôt d'étudier la rétroaction de la végétation vers l'atmosphère. Un modèle simple conceptuel, basé sur le modèle de Ritchie, complète cette étude. Il permet de simuler de façon réaliste le bilan hydrologique d'une année complète pour tous les types de couverts (mil, jachère et brousse tigrée) et pour différentes pluviométries.

#### Evapotranspiration assessment in the Sahel

Review and evaluation of two models (SISVAT, Ritchie). Application to the HAPEX-Sahel area. In the Sahel, estimation of the evaporative components (soil evaporation and vegetation transpiration) is of main importance, as well for the surface soil water balance understanding, as to investigate its retroaction on the rainfall regime, via the atmosphere water vapor content. Ten years after the HAPEX-Sahel experiment (Niger, 1992), the impact of a climatic or a land cover change on the latent heat fluxes is not yet closed. Indeed, in-situ data are limited, and no model was tested over all vegetation types (pearl millet, fallow savannah, tiger bush) nor on a complete annual hydrologic cycle. In this aim, two types of models have been adapted and evaluated. The first one is the SISVAT surface scheme, a physically based model, which has been tested over the two main vegetation types (millet and fallow savannah). Its parameters sensibility (both measured and tabulated parameters) is discussed. Its coupling with the mesoscale atmospheric model MAR will soon enable to quantify the retroaction of the vegetation on the atmosphere. The second approach is based on the conceptual Ritchie's model. This simple model is shown to fairly simulate the complete annual hydrological cycle over the three vegetation types of the area (millet, fallow savannah and tiger bush) and for various annual rainfall simulations.

#### **DIA Amadou Hamath**

#### **Décentralisation et développement local. Le cas de la vallée du fleuve Sénégal.**

Cette thèse se propose d'étudier les problèmes liés à la mise en oeuvre des politiques publiques de décentralisation articulées au développement local en milieu rural au Sénégal. Notre objectif est d'analyser dans quelles conditions la décentralisation peut donner une impulsion au développement en favorisant la valorisation des ressources locales. Il s'agit aussi d'analyser comment la décentralisation peut donner des effets déstabilisateurs sur les processus de développement local. En d'autres termes, notre propos est d'analyser comment une réforme venant d'en haut (le pouvoir central) est appropriée, de manière localisée, par les acteurs d'en bas (les administrations territoriales, les collectivités locales et la société civile).

#### Questions de recherche

Les positions différentes des acteurs locaux sur l'échelle locale ainsi que les ressources et les intérêts divergents pourront-ils s'harmoniser et converger pour répondre aux besoins en santé, en eau, en éducation, en ressources foncières aménagées, bref, en équipements collectifs des populations locales ? Comment, par rapport aux enjeux de développement agricole, de contrôle du foncier et de développement social ou communautaire, vont se restructurer les systèmes d'action locaux ? Quelles sont les nouvelles formes de coopération entre acteurs locaux liées à l'approfondissement de la décentralisation en milieu rural sénégalais ?

#### Problématique

La vallée du Sénégal est caractérisée par la coexistence de «trois mondes». Ces trois mondes résultent de l'action interventionniste de l'Etat, des processus migratoires, des politiques d'ajustement et de l'approfondissement de la décentralisation. On peut néanmoins penser que la décentralisation peut amener à des «réarticulations» ou encore à des «repositionnements» locaux entre ces trois mondes.

#### Le «monde politico-administratif»

Dans le contexte de la vallée du Sénégal, le transfert du pouvoir d'affectation et de désaffectation de la terre du sous préfet au Président du conseil rural marque une étape importante dans le contrôle et la gestion des ressources foncières par les élus locaux. On peut cependant se demander dans quelles conditions les élus locaux des communes et des

communautés rurales pourront gérer ces ressources, au regard du contrôle a posteriori qu'exerce le représentant de l'Etat et des résistances que ne peuvent manquer de développer les chefferies coutumières.

Le «monde paysan»

Le renforcement de la compétence des collectivités locales en matière foncière introduit aujourd'hui une nouvelle donne dans le contrôle des ressources aménagées. On ne peut dès lors manquer de se demander comment les collectivités locales et les associations paysannes vont - elles «coopérer» en vue de rentabiliser les infrastructures hydro-agricoles.

La «société migratoire»

Avec le renforcement des compétences des collectivités locales sur certains domaines d'intervention (santé, éducation, population et action sociale, etc.) «conquis» par les associations d'immigrés, on peut aussi penser que la décentralisation va impulser de nouvelles formes de coopération avec les associations de villages pour une cogestion durable des équipements collectifs des espaces ruraux.

L'hypothèse de travail que nous faisons est que la décentralisation qui a pour but d'impulser de «nouvelles» formes de développement, peut être un facteur de blocage ou de restructuration des processus de développement localisés et des équilibres qui lui sont antérieurs. Nous avons retenu comme champs d'observation l'échelon local en raison de l'hétérogénéité des acteurs et des enjeux locaux. Les collectivités locales (communes et communautés rurales) de la vallée du Sénégal constituent ainsi nos unités d'observation et d'analyse.

**DIATTA Samo**

**Etude Statistique des profils verticaux de Précipitation en Afrique de l'Ouest à partir du radar spatial de TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)**

**DIELLO Pierre Bonaventure**

**Inter-relation Homme-climat-environnement dans le sahel burkinabé. Impact sur les ressources en eau et la modélisation hydrologique**

**d'ORGEVAL Tristan**

**Impact du changement climatique sur le cycle de l'eau en Afrique de l'Ouest : Modélisation et incertitudes**

L'Afrique de l'Ouest a subi au cours des 50 dernières années une des plus fortes variations de pluviométrie observées à l'échelle du globe. Ces fluctuations climatiques ont non seulement affecté les caractéristiques des précipitations mais également l'ensemble du cycle de l'eau continental. Nous nous intéressons ici aux incertitudes liées à la modélisation des changements climatiques récents et à venir sur cette région. Dans un premier temps nous étudions l'impact du changement climatique anthropique sur les précipitations d'Afrique de l'Ouest dans différents modèles couplés. Ils montrent que seul un faible consensus existe sur une bande de pluie moins étendue en latitude et plus intense ainsi que sur un retrait tardif de la mousson. Diverses sources d'incertitudes dans cette impact sont mis en avant dans des tests de sensibilité avec LMDZ. Dans une seconde partie, des développements du modèle de surface ORCHIDEE sont inclus pour améliorer la représentation du cycle de l'eau africain dans des simulations forcées. On montre ainsi que le bilan énergétique pour le sol sous végétation, l'infiltration dans la zone racinaire, et le bilan énergétique au niveau de la feuille sont respectivement des processus de surface déterminants pour le Sahel, la zone Guinéenne et la zone Equatoriale. Le nouveau module hydrologique ainsi établi est valide en moyenne sur un ensemble de fleuves africains en le couplant au module de routage. Des paramétrisations pour les plaines d'inondations, les marécages et les mares sont introduites. Ces développements permettent de détailler les différentes sources d'incertitudes dans la simulation moyenne des débits de fleuves. En dernier lieu, la représentation des débits de fleuves africains par ORCHIDEE est évaluée sur les 50 dernières années. Elle souligne le rôle de l'évènement pluvieux dans le cumul évaporatif annuel par bassin versant. L'aptitude d'ORCHIDEE à représenter la variabilité hydrologique inter-annuelle sur cette période en mode force met en valeur la prépondérance de la variabilité du forçage atmosphérique devant l'impact de l'activité anthropique dans la relation pluie-débit au cours du dernier demi-siècle en Afrique de l'Ouest.

For the last 50 years, West Africa has suffered one of the highest observed rainfall variability over the globe. These climate fluctuations have not only modified the characteristics of precipitation but also the entire continental water cycle. We focus here on the uncertainty linked to simulating recent and future climate changes in this region. In a first part the anthropogenic climate change impact on precipitation in West Africa is studied among different coupled climate models.

It is shown that only a weak consensus exists on a narrower but more intense rainfall band and on a slower retreat of the monsoon. Different sources of uncertainty in this impact are highlighted through sensitivity experiments. Secondly, developments in the Land-Surface Model ORCHIDEE are made to improve the representation of the West African water cycle in offline simulations. It is shown that key processes in the Sahel, the Guinean region and the Equatorial region are respectively the energy balance for soil under vegetation, the rootzone infiltration and the energy balance for leaves. The new hydrological module is validated against African river discharges. Parametrizations for floodplains, swamps and ponds are introduced. These developments allow for the identification of different sources of uncertainties in the simulation of mean river flows. Lastly, the representation of African river discharges by ORCHIDEE is evaluated over the last 50 years. The role of individual rainfall events in the computation of total evaporation is highlighted for different river basins. The ability of ORCHIDEE to simulate the interannual hydrological variability during this period in offline mode shows that the variability of the atmospheric forcing has outweighed the impact of anthropogenic activities in the rainfall-streamflow relationship during the last half century in West Africa.



**DUPONT Richard**

### **Emissions biogéniques de NO par les sols - Impact sur la chimie atmosphérique**

Les émissions biogéniques de NO sont influencées par de nombreux paramètres du sol. Nous avons mis en évidence la diversité et la variabilité de ces influences sur l'activité biologique du sol, responsable de ces émissions de NO. Du fait de cette diversité, l'utilisation d'un outil statistique puissant, le réseau de neurones, s'est avérée indispensable. En milieux tempérés et tropicaux, il a permis de générer des équations de paramétrisation des flux de NO biogénique à partir de paramètres environnementaux pertinents. Une équation de paramétrisation « tropicale » a ensuite été introduite dans le modèle Meso-NH-C pour générer les émissions biogéniques de NO et modéliser leur impact sur la chimie atmosphérique au-dessus de l'Afrique de l'ouest. Nous avons constaté de grande modification de la répartition et de l'intensité des flux de NO simulés, ainsi que des concentrations troposphériques de NOx et d'O3. Ces modifications ont ensuite été validées à partir de mesures aéroportées.

Biogenic NO emissions are influenced by numerous ground parameters. We have observed influences diversity and variability impact on soil biological activity, responsible for these emissions. Because of this variability, the use of a powerful statistical tool, the neural network, turned out indispensable. In temperate and tropical conditions, it allowed to generate biogenic NO fluxes parameterisation equations according to relevant environmental parameters. Then, a tropical equation has been introduced into Meso-NH-C model to generate biogenic NO emissions and to represent their impact on atmospheric chemistry above western Africa. High modification of soil NO emissions distribution and intensity have been identified, as well as tropospheric NOx and O3 concentrations. These modifications were then validated from airborne measurement.

**EVARISTO, Raquel**

### **Microphysique et dynamique des systèmes précipitants en Afrique de l'Ouest,**

Sur l'Afrique de l'Ouest les lignes de grains ont une grande importance car elles apportent une grande quantité d'eau, spécialement dans la région soudano-sahélienne. Ces systèmes ont, à des nombreuses reprises, été étudiés soit à partir d'observations soit à partir de modèles de méso-échelle. Actuellement on connaît assez bien leur structure et leur dynamique, mais très peu d'attention a été apportée à leur microphysique, en raison d'un manque d'observations microphysiques de grande échelle. Pendant la campagne AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) des radars à double polarisation ont été installés en Afrique de l'Ouest pour la première fois, en particulier le radar RONSARD, appartenant au CETP. Les variables polarimétriques obtenues par ces radars dépendent des caractéristiques des cibles et donc permettent de faire la distinction entre les différents types d'hydrométéores. 43 événements précipitants ont été observés par le radar pendant la campagne de mesure, et, parmi eux 10 lignes de grains. La microphysique des lignes de grains africaines est documentée à partir de l'étude de trois de ces systèmes. L'interaction entre la microphysique et la dynamique est aussi décrite. Un cas purement stratiforme est aussi illustré, et les différences entre celui-ci et les lignes de grains sont soulignées.

Over West Africa squall lines are of great importance due to the water supply they carry, especially in the soudano-sahelian region. These systems have been widely studied either using real data or mesoscale models. Today much is known about their structure and dynamics, but little attention has been given to the microphysics of these systems, mostly because of the lack of large scale microphysical observations. During the AMMA campaign dual polarimetric radars were for the first time deployed in West Africa, in particular the CETP's RONSARD radar. The polarimetric variables obtained by this instrument depend on the characteristics of the targets and thus are very useful in discriminating between the different hydrometeor types. 43 precipitating events were observed by the radar during the field experiment, among which were 10 squall lines. The microphysics of West African squall lines is documented based on the study of three systems. The interaction between the dynamics and the microphysics is also described. One case of pure stratiform precipitation is also illustrated and the differences between this and squall lines are addressed.

**GASTINEAU Guillaume**

### **Les changements de la circulation atmosphérique tropicale et conséquences lors du changement climatique**

Les variations de la circulation tropicale de grande échelle lors du changement climatique peuvent avoir d'importantes conséquences en terme d'impact sur les activités humaines. Dans un premier temps nous étudions la circulation atmosphérique tropicale méridienne, dans les différents modèles climatiques couplés. Lors du réchauffement climatique, nous trouvons que les circulations méridiennes de Hadley et les jets subtropicaux sont significativement déplacés vers les pôles, et que l'intensité de ces circulations diminue faiblement lors du changement climatique. L'affaiblissement de la circulation tropicale est alors décrite comme une conséquence des changements de stabilité statique affectant la troposphère. Dans une seconde partie, des simulations idéalisées ont été mises en place pour expliquer les changements de circulation tropicale. Tout d'abord, des simulations d'ensemble utilisant le GCM LMDZ4, et mimant les résultats du modèle couplé IPSLCM4, ont été réalisées. On montre alors que l'intensité et le déplacement des cellules de Hadley sont reliés au changement uniforme de température de mer mais aussi au changement des gradients méridionaux de température. Ensuite, nous utilisons des simulations du modèle LMDZ4 en configuration aqua-planète. Les variations de la circulation de Hadley sont alors expliquées dans un cadre simplifié par la nécessité du transport énergétique de l'équateur vers les pôles. Enfin, nous étudions brièvement la vapeur d'eau et sa rétroaction lors du changement climatique. On montre que les changements de circulation de Hadley peuvent avoir un impact significatif sur la rétroaction de la vapeur d'eau.

**GRUHIER Claire**

**Approche multi-échelle de la dynamique de l'humidité des sols en Afrique de l'Ouest : des observations terrain et satellitale à la modélisation régionale, dans le cadre de la préparation à la mission SMOS**

La compréhension de l'influence de l'humidité du sol sur les échanges entre le sol, la végétation et l'atmosphère, est essentielle pour appréhender avec justesse les processus de surface et le cycle hydrologique. Des études révèlent qu'il existe un fort lien de rétroaction de l'humidité du sol sur les précipitations en Afrique de l'Ouest, ce qui en fait une région d'étude privilégiée. Le programme de recherche AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) a pour objectif d'améliorer notre connaissance du fonctionnement et la variabilité inter-annuelle de la mousson ouest-africaine, qui rend le Sahel particulièrement vulnérable. Pour cela, des mesures précises d'humidité du sol sur une longue période doivent être disponibles. La télédétection est une approche qui permet d'obtenir des mesures spatialisées à l'échelle globale à des fréquences temporelles élevées. De nombreuses références montrent que les micro-ondes sont les longueurs d'ondes les plus sensibles aux variations de l'humidité du sol.

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à la mesure du contenu en eau du sol en région sahélienne, par l'évaluation des performances d'inversion des produits d'humidité du sol actuellement disponibles et basés sur des mesures micro-ondes, actives et passives.

Trois principales études composent cette thèse. La première est une analyse de la variabilité spatiale et temporelle du réseau d'humidité du sol du site malien d'AMMA, dont le déploiement instrumental a été conçu notamment pour la validation de produits satellites. La seconde étude menée évalue les performances du produit d'humidité du sol officiel de la NASA sur deux sites aux conditions bio-climatiques contrastées (semi-aride et tempéré), mettant en évidence les disparités de qualité d'inversion selon le type d'environnement. Enfin, la dernière étude fournit une intercomparaison de cinq produits d'humidité du sol sur le site sahélien. Les résultats obtenus mettent en évidence une grande hétérogénéité des estimations de l'humidité du sol obtenues à partir de différents capteurs. Bien que les bandes micro-ondes jusqu'à disponibles ne soient pas optimales, certains produits fournissent des inversions de bonnes qualités grâce à un algorithme d'inversion performant. L'ensemble des analyses menées permettent d'aiguiller les utilisateurs vers les produits d'humidité du sol ayant les meilleures performances en accord avec leurs besoins sur cette région du globe. Elles sont également très prometteuses pour les futures estimations effectuées à partir des données en bande L de SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), le premier satellite dédié à l'observation de l'humidité du sol.

Understanding of soil moisture influence on the land surface atmosphere interactions, is very important to address land surface processes and the continental hydrologic cycle. Several studies showed that soil moisture feedback on precipitation is particularly strong over West Africa, making it an interesting study area. The aim of the AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) project is to improve our understanding of the West-Africa monsoon and its variability, which makes Sahel particularly vulnerable. To address this objective, availability of soil moisture estimates and quantification of estimates accuracy for long time series is necessary. Remote sensing approaches enable to provide measurements of surface soil moisture from space at global scale with a good revisit time. Based on several studies, microwaves that microwave remote sensing approaches at low frequencies have been shown to be well suited to capture soil moisture variations.

The main goal of this PhD thesis is to contribute to soil moisture measurement over Sahel, by evaluating the performances of soil moisture products currently available from active and passive microwaves sensors.

Three main studies compose this thesis. The first study investigates soil moisture variability and soil moisture scaling properties based on the AMMA ground measurements network in Mali which was specifically designed to address the validation of remotely sensed products. The second study evaluates the performance of the official soil moisture product of NASA on two sites with contrasted bio-climatic conditions (semi-arid and temperate). It indicates that, for this soil moisture product, comparison with ground observations (accuracy, bias, correlation) are strongly different depending on the study area. Last, an intercomparison of five soil moisture products on sahelian site is performed. The results show that the range of volumetric soil moisture values obtained over Sahel is drastically different depending on the remote sensing approach used to produce soil moisture estimates. Although microwave bands currently available are not optimal, some products are in very good agreement with ground data. It is shown that the inversion algorithm is very important for the accuracy of the volumetric soil moisture product. These results are of high interest to the scientific community interested to use soil moisture estimates over Sahel. Results are very promising for future estimates from the L-band used by SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), the first satellite dedicated to soil moisture observation.

**GUYOT Adrien**

**Estimation de l'évapotranspiration sur un couvert complexe par utilisation de la scintillométrie infrarouge. Application à un bassin versant de zone soudano-sahélienne (Bénin).**

Les modifications climatiques globales, et l'augmentation des contraintes démographiques créent une pression de plus en plus forte sur les ressources en eau, en particulier dans les régions arides et semi-arides, déjà fortement dépendantes des aléas climatiques.

Dans ces régions, les rétroactions entre le sol et l'atmosphère sont un des mécanismes fondamentaux de régulation des précipitations, et donc de l'apport en eau, à court et à long terme.

Ces régions ont des taux d'évapotranspiration de forte variabilité temporelle et spatiale. Celle-ci est une composante majeure du bilan en eau, et du bilan en énergie. Elle représente au niveau global 80 % des échanges énergétiques dans l'atmosphère, et au moins 50 % du bilan énergétique à la surface de la Terre. De plus, d'après les observations disponibles à ce jour, elle est le terme principal du bilan en eau dans les régions arides.

Pour autant, elle reste très mal quantifiée, et est extrêmement difficile à estimer sur des surfaces naturelles, complexes, hétérogènes, et avec de la topographie.

De récents progrès instrumentaux apportent un espoir quant à l'utilisation de la scintillométrie pour évaluer les flux évaporatifs à des échelles de plusieurs km<sup>2</sup>, sur ce type de surfaces.

Cette thèse présente une démarche d'observation, par scintillométrie infrarouge et bilan d'énergie, des flux évaporatifs à l'échelle d'un bassin versant en climat soudano sahélien, dans le cadre du programme AMMA d'étude de la mousson en Afrique de l'Ouest.

Cette thèse est articulée autour de deux axes : (1) une première partie présente une caractérisation aérodynamique de la surface d'étude, pour préparer la mise en place de la méthodologie de calculs des flux par scintillométrie, et bilan d'énergie ; (2) Ensuite, la variabilité des flux turbulents sur trois années est explorée à travers trois volets : (i) une étude sur la relation entre les conditions de surface et les flux radiatifs et turbulents ; (ii) une étude de cas sur une pluie en saison sèche montre la dynamique de l'eau dans le sol et l'évaporation ; (iii) une étude hydrologique sur le bilan en eau à l'échelle du bassin versant.

**JOLY, Mathieu**

### **Rôle des océans dans la variabilité climatique de la mousson africaine**

Les océans expliquent une part importante de la variabilité des pluies de mousson en Afrique de l'ouest. Quels sont les mécanismes physiques de ces interactions océan-atmosphère ? Comment sont-elles reproduites par les modèles de climat ? Ces deux questions sont ici abordées, en séparant d'emblée les échelles de temps interannuelles et décennales, et en confrontant les simulations réalisées pour le 4<sup>e</sup> rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) aux données observées du xx<sup>e</sup> siècle.

À l'échelle interannuelle, les anomalies de température à la surface du Pacifique équatorial, du golfe de Guinée, et de la Méditerranée sont statistiquement liées aux anomalies des pluies d'Afrique de l'ouest. La question de la stationnarité de ces liens au cours du xx<sup>e</sup> siècle est brièvement abordée. Les mécanismes physiques sont ensuite appréhendés dans les réanalyses atmosphériques et dans les simulations couplées du GIEC. Pour comprendre le comportement du modèle du Centre national de recherches météorologiques (CNRM), différentes expériences de sensibilité sont réalisées en prescrivant à l'océan une tension de vent réanalysée, sur le Pacifique tropical ou sur tout globe. Une simulation atmosphérique avec des températures de surface prescrites est aussi utilisée pour discuter du rôle du couplage océan-atmosphère.

Étant donné le caractère saisonnier de la mousson africaine, le phasage temporel de la variabilité océanique doit être considéré avec attention. Dans les modèles couplés, les biais de l'El Niño-Southern Oscillation (ENSO) et de l'Atlantic Niño conduisent en effet à des interactions océan-mousson différentes de celles observées. À terme, une meilleure compréhension et simulation de la variabilité océanique et de ses influences pourrait permettre d'améliorer les scores de prévision saisonnière sur l'Afrique de l'ouest.

Role of the oceans in the climatic variability of the African monsoon The oceans explain an important part of the variability of monsoon rainfall over West Africa. What are the physical processes of those ocean-atmosphere interactions? How are they simulated by climate models? Both issues are addressed, by considering the interannual and decadal time-scales separately, and comparing the simulations performed for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to the 20th Century observation record.

At the interannual time-scale, sea surface temperature anomalies in the equatorial Pacific, the Gulf of Guinea, and the Mediterranean, are statistically linked to the West African monsoon rainfall. The stationnarity of those links is assessed over the 20th Century. The physical processes are then studied in the atmospheric reanalyses and in the IPCC coupled simulations. To understand the behaviour of the Centre national de recherches météorologiques (CNRM) model, various sensitivity experiments are carried out, with a reanalyzed wind-stress prescribed to the ocean model, over the tropical Pacific or over the global ocean. An atmospheric simulation with prescribed sea surface temperatures is also used, to discuss the role of the ocean-atmosphere coupling.

Given the seasonality of the West African monsoon, attention has to be paid to the phase-locking of the oceanic variability. In the coupled models, the biases of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and of the Atlantic Niño lead indeed to ocean-monsoon interactions that are different from those observed. A better understanding and simulation of the oceanic variability and its influences could in fine enhance the seasonal forecasting skills over West Africa.

**JOSSET, Damien**

### **Etude du couplage radar lidar sur plates-formes spatiales et aéroportées : application à l'étude des nuages, des aérosols et de leurs interactions,**

L'effet des aérosols et des nuages sur le climat, qu'il s'agisse de leur forçage radiatif propre ou de leur interactions constitue actuellement la plus grande incertitude du système climatique. L'utilisation couplée d'un lidar et d'un radar fait partie des pistes de recherches retenues par la communauté scientifique pour résoudre ces incertitudes, et c'est un des buts justifiant le développement des nouveaux instruments embarqués sur les plates-formes de l'A-Train et le développement des algorithmes opérationnels associés.

Ces algorithmes possèdent certaines limitations intrinsèques, ce qui nous a amené à la révision des méthodes d'analyse standard des plates-formes spatiales de l'A-Train (CALIPSO, CLOUDSAT) et au développement de nos propres algorithmes à travers l'étude de l'écho de surface océanique, et à l'identification un modèle théorique de répartition des ondes de gravité et de capillarité compatible avec les observations multispectrales de ces instruments actifs. L'utilisation de ce modèle avec les observations actives et celles du radiomètre micro-onde AMSR-E a permis d'améliorer les procédures d'étalonnage absolu du lidar et du radar en offrant une référence systématique possédant un important rapport signal

sur bruit. L'amélioration de l'étalonnage de ces instruments permet ensuite d'améliorer la précision de la restitution des paramètres microphysiques dans les produits opérationnels de recherche, et doit donner accès à un plus grand nombre de produits dérivés.

La référence de surface issue des mesures des instruments micro-ondes actifs (radar) et passifs (radiomètre) permet ainsi de déterminer l'épaisseur optique des aérosols aux longueurs d'onde du lidar. Cette méthode de restitution ne fait aucune hypothèse sur la microphysique des particules diffusantes, est utilisable de jour et de nuit, possède un rapport signal sur bruit important à grande résolution spatiale et offre la possibilité de discriminer les aérosols et les nuages grâce aux mesures multispectrales sur la verticale. Les comparaisons avec les mesures du radiomètre MODIS montrent un bon accord statistique.

Ces mesures d'épaisseur optique au-dessus de l'océan et des nuages d'eau liquide ouvrent une nouvelle voie pour quantifier le forçage radiatif direct des aérosols en présence de nuage, hors de portée des mesures radiométriques actuelles. Les premières études que nous avons menées ont confirmé que lors des épisodes de feux observés pendant la campagne AMMA, le forçage est fortement positif sur le Golfe de Guinée. Le forçage négatif en air non-nuageux au-dessus de l'océan est inférieur d'un ordre de grandeur à celui positif au-dessus des nuages.

Le forçage radiatif positif observé sur le Golfe de Guinée est fortement dépendant de la couverture nuageuse que les mesures à petite échelle de l'A-Train permettent de mieux caractériser, et le réchauffement induit par l'effet direct des aérosols doit être mieux pris en compte dans les modèles climatiques.

L'émission d'aérosols absorbants (feux, pollution...) et leur transport à grande échelle représente une contrainte croissante du système climatique et des interactions environnement-climat. L'hypothèse usuellement admise d'un forçage direct négatif de  $-0,5 \text{ W.m}^{-2}$  pour caractériser l'effet radiatif des aérosols demande à être examinée avec attention.

The aerosol and cloud effect on climate is the main uncertainty on global warming prediction through their influence on the solar radiative forcing and their interactions. Using simultaneous lidar and radar measurements is one of the path explored by the scientific community to reduce this uncertainty. It is the reason for the development of new instruments onboard the A-Train platforms and the associated development of operational algorithms.

Those algorithms possess some intrinsic limitation which lead us to revisit the data analysis procedure of the A-Train spaceborne platform (CALIPSO, CLOUDSAT) and to develop our own algorithms through the analysis of sea surface echo, and to identify theoretical multi-wavelength oceanic surface model with self-consistent scattering properties observed by different instruments. Using this model and the observations of the micro-wave radiometer AMSR-E, allowed to improve the calibration procedure of both lidar and radar instruments with the identification of a systematic and high signal to noise ratio calibration reference. This calibration increases the accuracy of physical parameters retrieved on the research operational products and give access to a higher number of derived products.

Using the sea surface reference provided by the active (radar) and passive (radiometer) micro-wave sensors also allows to measure the aerosol optical thickness at the lidar wavelength. This measurement does not use any assumptions on the scatterers microphysical properties, is usable day and night, offers the highest available signal to noise ratio and allows a good aerosol-cloud discrimination with the lidar multispectral vertical information. The comparison with MODIS shows a good statistical agreement.

The new methodologies developed for the A-Train offer a complete tool to analyse both vertical structure of aerosols and clouds as well as the aerosol optical thickness over the ocean and the liquid water clouds. This opens a new way for aerosol direct radiative forcing quantification, which is out of range of present radiometric measurements. The preliminary studies we conducted confirm the significant positive radiative forcing on the Gulf of Guinea area in presence of the biomass burning aerosol plumes observed during the AMMA campaign. The negative forcing over the ocean is an order of magnitude lower than the positive forcing over the cloud layers.

#### **JOURNET Emilie**

**Caractérisation chimique et minéralogique du fer dans les aérosols terrigènes au cours de leur cycle atmosphérique: Impact biogéochimique**

#### **KAMAGATÉ, Bamory**

**Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant en milieu tropicale socle au Bénin : bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé)**

Dans le cadre du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), la haute vallée de l'Ouémé (centre ouest du Bénin), d'une superficie de  $10.000 \text{ km}^2$ , est instrumentée (pluie, débit) depuis 1997. Le sous-bassin de la Donga ( $586 \text{ km}^2$ ) est le cadre d'observations intensives précisant les processus hydrologiques essentiels et quantifiant les termes du bilan.

La recherche entreprise vise (i) à déterminer le fonctionnement hydrologique du bassin de la Donga par confrontation des données de précipitation, d'écoulement de surface, de nappe et d'évapotranspiration potentielle, (ii) à caractériser les écoulements par traçage naturel géochimique (paramètres physiques, éléments majeurs et traces) et isotopique (isotopes stables de l'eau :  $\text{d}18\text{O}$  et  $\text{d}2\text{H}$ ) afin de hiérarchiser les processus majeurs mis en jeu. Le croisement des informations hydrodynamiques et hydrogéochimiques permet de reconstituer un schéma cohérent du fonctionnement hydrologique sur le bassin. Le caractère temporaire des eaux de surface, l'asynchronisme entre le tarissement des rivières et la vidange des nappes ainsi que la très faible minéralisation des écoulements traduisent une origine superficielle des débits et une déconnexion apparente de la nappe libre du réseau hydrographique.

En accord avec les processus mis en évidence, une décomposition de l'hydrogramme en deux composantes (ruissellement rapide sur surface saturée et flux de subsurface) a été retenue pour 2003 et 2004, deux années à pluviométrie et écoulement contrastés.

Hydrological functioning and streamflow genesis of a tropical crystalline bedrock in Benin : Donga watershed (Upper Ouémé River)

Within the international AMMA project (African Monsoon Multidisciplinary Analysis), the Upper Oueme catchment has been selected as the southernmost site of the AMMA-Catch Observatory in Environment. Raingauge, limnigraph and piezometric networks have been gradually set-up since 1997 over the catchment (10 000 km<sup>2</sup>) and particularly on the Donga sub-catchment (586 km<sup>2</sup>).

The purposes of this work are (i) to identify the prominent hydrological processes on the Donga catchment by comparison of precipitation, streamflow, water table and potential evapotranspiration data and (ii) to determine and quantify the streamflow components by geochemical field surveys. A coherent hydrological scheme has been deduced from hydrodynamic and hydrogeochemical information. The seasonal character of surface water, the lag between the river drying up and the low groundwater level, the low streamflow mineralization lead to consider a poor connection between the deep groundwater and the hydrological network.

Based on this result, a two components (effective runoff and subsurface flow) hydrograph separation has been implemented for two hydrological-contrasted years (2003 and 2004). In each case, a major contribution of superficial groundwater to streamflow has been found.

**KEBE , Cheikh Mouhamed Fadel**

**Estimation des pluies par la méthode des aires fractionnelles appliquée aux données de télédétection radar et satellite**

La variabilité des relations reliant d'une part l'intensité de pluie moyenne,  $\langle R \rangle$ , à l'aire intégrale spatio-temporelle de la pluie, (ATI) $R$ , et d'autre part le volume de pluie cumulé,  $V$ , à l'intégrale spatio-temporelle de la couverture nuageuse, (ATI)  $TB$ , à la transition entre un climat aride et un climat équatorial est analysée. La zone d'étude, localisée dans la partie la plus à l'est des côtes sahéliennes, est caractérisée par deux forts gradients du cumul saisonnier du volume de pluie, l'un terre-mer et l'autre nord-sud. La zone d'étude est ainsi subdivisée en 4 sous-zones qui permettent l'analyse de la variabilité des coefficients linéaires des relations étudiées par rapport aux gradients terre-mer et nord-sud du cumul saisonnier de la précipitation. A partir d'une base de données de 6 années (1994-1999) collectées avec le radar météorologique de Dakar Yoff, nous montrons que le coefficient linéaire  $S(tR)$  reliant  $\langle R \rangle$  et  $F(tR)$  pour différents seuils  $tR$  d'intensité de pluie est reproductible pour les 4 sous-zones, en accord avec le caractère ergodique de la distribution de l'intensité de pluie observée dans la région. Ceci montre que  $S(tR)$  est indépendant des caractéristiques climatiques locales. Ce résultat est démontré aussi bien pour l'échantillon « Ligne de Grains » que pour les échantillons « Ligne de Convection » et « Région Stratiforme » pris séparément. On montre aussi que pour optimisation de la méthode, il faut se placer à des seuils d'intensité de pluie proches des moyennes climatiques des échantillons considérés. Avec les données infrarouges de Meteosat et le volume de pluie estimé par radar pour 23 événements pluvieux obtenus en regroupant les données de 4 saisons de pluie (de 1996 à 1999), nous établissons la relation entre  $V$  et  $I(ATI)TB$  à différents seuils de température de brillance radiométrique  $tTB$ . On montre que la variabilité du paramètre linéaire  $G(tTB)$  reliant  $V$  et  $I(ATI)TB$  est minimale pour les seuils  $tTB$  situés entre 243 et 235K, avec un coefficient de variation (CV) de seulement 8%, c'est à dire presque constant pour les 4 sous-zones. Pour  $tTB$  égal à 235K, la valeur moyenne de  $G(tTB)$  dans les 4 sous-zones est de 3,02 mmh<sup>-1</sup>, presque exactement la valeur trouvée pour l'indice GPI durant l'expérience GATE. La stabilité de  $G(tTB)$  suggère que les processus dynamiques et microphysiques qui soutendent la relation entre la pluie et l'intégrale spatio-temporelle de la couverture nuageuse correspondante sont faiblement influencés pas les caractéristiques climatiques locales. Ces résultats montrent, en accord avec, les conclusions d'études antérieures l'efficacité de la méthode ATI pour la mesure des précipitations cumulées depuis l'espace.

**KOŁODZIEJCZYK Nicolas**

**Analyse de la Circulation de Sub-surface et de sa variabilité dans le Golfe de Guinée**

Les observations in situ réalisées lors de campagnes océanographiques récentes dans le Golfe de Guinée ont permis de décrire la structure de la terminaison des courants équatoriaux de subsurface à l'est de l'Atlantique équatorial. La fréquence des campagnes océanographiques entre 1993 et 2007 ont permis d'établir à 10°W le cycle semi-annuel du Sous Courant Equatorial (EUC). Nous avons observé pendant l'hiver boréal, la recirculation vers l'ouest des masses d'eau subtropicales salées de la thermocline équatoriale dans les branches subsuperficielles du Courant Equatorial Sud (SEC) de part et d'autre de l'équateur. Une part de la recirculation s'effectue également le long de la côte dans le Sous Courant du Gabon-Congo (GCUC). Pendant l'été boréal, l'upwelling équatorial provoque l'érosion du noyau de sel de l'EUC dans la couche de surface. Les eaux subtropicales salées ( $> 36.00$ ) n'atteignent plus le bord est pendant cette saison et recirculent directement dans le SEC en surface. Pendant, cette saison l'EUC accélère dans la partie inférieure de la thermocline atteignant son maximum maximum annuel remarquable par une extension en profondeur du champ de vitesse zonale vers l'est. Cette extension profonde de l'EUC se renverse vers l'ouest en octobre-novembre. Enfin, l'analyse des courants zonaux dans le Golfe de Guinée simulés par le modèle CLIPPER permet de compléter la description du cycle saisonnier de l'EUC dans le Golfe de Guinée. Les eaux salées de la thermocline acheminées au bord Est bifurquent et recirculent vers l'ouest pendant l'hiver et le printemps boréal (saison peu échantillonnée à partir de campagnes) et sont upwellées pendant l'été boréal. Les masses d'eau de la thermocline sont également advectées vers le sud pendant l'été boréal. Nous montrons que le cycle semi-annuel de l'EUC est associé au renforcement des vents zonaux dans le Golfe de Guinée, particulièrement pendant le printemps et l'été boréal. Des ondes de Rossby longues  $l=1$  se propageant verticalement et reliées au cycle saisonnier de la terminaison de l'EUC sont également observées sous la thermocline à 10° W et expliquent la renverse de courants sous l'EUC en octobre-novembre.

**LAMRANI Nabil**

## **Dynamique et microphysique des systèmes convectifs de l'Afrique de l'Ouest : Une analyse d'une ligne de grains par radar Doppler polarimétrique**

Dans le cadre du projet international AMMA, visant à documenter la variabilité de la Mousson Africaine de l'Ouest (MAO), le radar polarimétrique Doppler en bande-C, RONSARD, ainsi qu'un récepteur bistatique Doppler ont été déployés dans le nord du Bénin durant l'été 2006 pour appréhender la dynamique et la microphysique des systèmes convectifs caractéristiques de la Mousson.

La phase de préparation de cette campagne a été l'occasion de proposer une solution au problème posé par un réseau de radar Doppler monostatique-bistatique : la contamination des données bistatiques par les lobes secondaires de la fonction d'antenne du radar monostatique. Cette solution basée sur l'analyse variationnelle permet de s'affranchir du rejet systématique de données bistatiques contaminées, pratiqué jusqu'alors. Testée avec des données synthétiques, puis réelles, cette méthode permet d'utiliser l'ensemble des données échantillonnées et donc d'assurer des restitutions 3D de champs de vent sur des domaines plus importants avec des méthodes Dual-Doppler classiques.

Durant la campagne, le récepteur bistatique n'a pas fonctionné, et, seul le radar RONSARD a assuré une acquisition de mesures exploitables sur le nord du Bénin. Aussi, l'étude de la ligne de grains du 28 juillet 2006, qui fait suite à la phase expérimentale, sera principalement basée sur ces données. La dynamique et la microphysique de ce système ont pu être détaillées à l'échelle convective et à la mésoéchelle. Sa dynamique, comparable à des études antérieures sur le même thème, nous a permis en la comparant à sa distribution particulière de mieux comprendre les processus microphysiques mis en jeu dans les différentes régions d'intérêt. Les restitutions microphysiques sont cohérentes avec les descriptions de la dynamique du système avec une évidente organisation des classes d'hydrométéores de la phase liquide en pluie fine, modérée et forte dans la partie convective, et en pluie fine à modérée dans la partie stratiforme. A proximité de l'isotherme 0°C, une couche de mélange composée de neige mouillée a été identifiée. Concernant la région convective, la phase solide nous a montré une structure mixte de neige roulée et de grêle, piégée dans un environnement de cristaux de glace et de neige sèche. La fonte des particules solides et la coalescence de particules fines de pluie contribuent au renforcement des précipitations en pluie moyenne. A la mésoéchelle, l'analyse composite a fait apparaître le lien entre les panaches de mélange de neige roulée et de grêle avec le renforcement de la pluie moyenne ainsi que le rôle joué par l'évaporation sous la partie stratiforme de la ligne de grains.

**Dynamics and Microphysics of West African Convective Systems : A Polarimetric Doppler radar Squall line analysis**  
During the AMMA international project, aimed to observe the variability of the West African Monsoon, the C-band polarimetric Doppler radar RONSARD and a bistatic receiver have been deployed in northern Benin during summer 2006 in order to document dynamics and microphysics of monsoon-related convective systems.

The preparation phase of this campaign gave us an opportunity to examine and to propose a solution to the problem involved in a monostatic-bistatic Doppler radar network: the sidelobe contamination of bistatic measurements by the monostatic radar antenna gain. This solution based on variational analysis, proposes an alternative solution to the forced rejection of bistatic Doppler data so far considered. Tests with synthetic and real data are performed and this method allow us to use the complete sampled dataset in order to retrieve 3D wind fields on more important domains, using classical dual-Doppler methods.

During the campaign, the bistatic receiver did not work and only the RONSARD radar provided exploitable measurements on northern Benin. In particular, the RONSARD data collected within the 28th July 2006 squall line were used to document the dynamics and microphysics at convective scale and mesoscale in this study. Dynamics, comparable to those from previous studies, and hydrometeor distribution allow us to better understand the microphysical processes involved in different regions of interest. Microphysical retrievals are consistent with the airflow description showing an evident hydrometeor organization in the liquid phase with light, moderate and heavy rain in the convective part, and light to moderate rain in the stratiform rain. Near the 0° C isotherm, a melting layer of wet snow could be identified. In the convective region, graupel-hail mixture was found to be embedded in an overall region of dry snow and ice crystal. Melting of solid particles and coalescence of lighter rain particles could contribute to the moderate rain reinforcement of the precipitations. At mesoscale, a composite analysis shows that moderate rain was strongly correlated with the presence of graupel-hail mixture aloft and highlights the role played by evaporation under the trailing stratiform region.

**LAVAYSSE Christophe**

## **Etude des relations Onde - Convection - Pluie et influence de la variabilité du flux de mousson en Afrique de l'Ouest**

Les variations climatiques en Afrique de l'Ouest ont un impact parfois catastrophique, particulièrement au Sahel où les populations sont exposées aux aléas des ressources en eau. Cette thèse s'inscrit dans la recherche des différents modes de variabilités atmosphériques et de leurs conséquences sur les processus qui génèrent les pluies, afin de mieux appréhender le climat et ses variabilités dans cette région.

Ce travail porte sur la part de la variabilité des précipitations au Sahel qui peut être expliquée par la variabilité atmosphérique. L'objectif principal est de comprendre comment les perturbations du champ de vent à 700 hPa - les ondes d'est africaines (AEWs) - agissent sur la convection qui est elle-même à l'origine des précipitations.

Après avoir exposé les connaissances actuelles de la climatologie en Afrique de l'Ouest, et expliqué la méthodologie développée pour étudier les ondes d'est, la variabilité des précipitations est étudiée à différentes échelles. La modulation de la convection et des précipitations par les ondes est ensuite traitée et permet de distinguer des secteurs propices aux fortes précipitations, ou au contraire inhibiteurs. L'impact des ondes sur la dynamique et la thermodynamique atmosphérique est également abordé, en particulier dans les basses couches atmosphériques. Un autre aspect original de cette thèse est d'étudier comment les ondes d'est s'insèrent dans la variabilité interannuelle et intra saisonnière du flux de mousson. Après avoir mis en évidence des phases actives et inactives du flux de mousson, le comportement des ondes, de la convection et des précipitations est discriminé en fonction des phases de l'onde.

Study of the Wave - Convection - Rainfall interactions and impact of the Monsoon flux variability over the West Africa. In the West Africa area and especially over the sahel, climate changing possess a great impact on the population where agricultural and breeding economies are exposed to drought threat. Therefore, the understanding of climate behavior and its variability, particularly the knowledge of atmospheric perturbations and their consequences on the rainfall dynamical processes are very important to define accomodate strategies.

This thesis point out rainfall variability due to atmospheric perturbations. The aims of this study are to understand how the perturbations in the 700 hPa wind field, the Africa Easterly Waves (AEWs) can modulate convective activity and rainfall, and the effects of these AEWs in the intra seasonal and interannual tie scales.

The first part of this thesis describes the state of art of the West African climate. In the second part, the AEWs detection methodology, as well as its main characteristics are presented. In the third part, the inter annual variability of the rainfall is analysed by signal treatment method. The fourth part shows the interaction between AEWs convective activity and rainfall. The impact of AEWs sector exhibits a great spatial variability. This study is extended by the local and large scale effects of AEWs. The low level conditions appear important to generate both convection and rainfall. In the last part, the intra seasonal variability of the Monsoon flux is analysed. The impact of AEWs and convection on these pulsations are shown.

**LAWIN, Agnidé Emmanuel**

**Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin**

L'objectif de notre travail est d'analyser la climatologie des événements pluvieux en région soudanienne. La zone d'intérêt est la région de la Haute Vallée de l'Ouémé située au Nord du Bénin et appelée Observatoire AMMA-CATCH Bénin. La première partie du travail présente une synthèse actualisée des principaux traits caractéristiques du régime pluviométrique de la région d'étude ainsi que sa variabilité interannuelle et intra saisonnière. Dans la deuxième partie, on analyse les caractéristiques climatologiques des événements pluvieux qui composent la saison des pluies, à partir de sept années d'observations grâce au réseau pluviographique dense AMMA-CATCH. Une étude de la distribution fréquentielle des intensités de pluie est faite et on analyse les différences entre les saisons humides et les saisons sèches. Les similitudes et différences avec les résultats bien connus sur les pluies sahéliennes sont également analysées. Enfin, dans la dernière partie, un retour est fait sur l'analyse de la variabilité interannuelle et intrasaisonnière des champs de pluie. On propose une modélisation de la structure des champs de pluie et on discute l'existence d'un gradient pluviométrique.

**LE LAY, Matthieu**

**Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin**

Ce travail de thèse, qui s'inscrit dans le cadre du programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), vise à modéliser le fonctionnement hydrologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (14400 km<sup>2</sup>) au Bénin. Il a pour but de réaliser une première estimation des bilans hydrologiques et de contribuer au développement d'outils capables de simuler les impacts climatiques et anthropiques sur la ressource en eau. Dans un premier temps, nous avons cherché à caractériser le fonctionnement hydrologique de la région, et à quantifier les principaux termes du bilan hydrologique à méso-échelle. Pour conceptualiser ces bassins versants, une démarche comparative a été adoptée, et deux modélisations parcimonieuses ont été mises en oeuvre: GR4J, structure empirique et générique, et TOPAMMA, formalisme dérivé de TOPMODEL et développé au cours de ce travail. Un cadre d'évaluation complet a été défini, permettant de juger les modèles en terme: (i) de performances, (ii) d'incertitudes associées à leurs prédictions ; (iii) de réalisme. Ainsi, bien que leurs performances pour simuler la relation pluie-débit soient comparables, ces modèles se distinguent lorsque les incertitudes sur les simulations et les autres composantes du cycle hydrologique sont considérées. La variabilité hydro-climatique observée dans la région au cours de 50 dernières années a également permis d'évaluer le pouvoir d'extrapolation des modèles et leur application dans des conditions non stationnaires. Nous nous sommes en particulier intéressés aux aspects méthodologiques de la détection de changements de la relation pluie-débit à partir des modèles hydrologiques. Enfin, une première estimation de la sensibilité de la réponse hydrologique au régime de mousson a été réalisée, à travers différents scénarios de forçage pluviométrique.

The aim of this PhD is to model the hydrological behaviour of the Upper Ouémé catchment (14400 km<sup>2</sup>) in Benin. It is a part of the AMMA project (African Monsoon Multidisciplinary Analysis). We estimate the water balance and develop tools to predict climatic and anthropogenic impacts on water resources. First, the hydrological behaviour of the catchments and the main parts of the mesoscale water balance have been characterized. To represent the catchments under study, two parcimonious models have been applied: GR4J, an empirical generic structure, and TOPAMMA, a modified version of TOPMODEL developed during this work. To evaluate these models, a complete framework has been defined, to assess the two models in term of: (i) performance, (ii) uncertainties, (iii) realism. Although runoff simulations are similarly good, the two models show significantly different uncertainties and water balance estimations. The hydro-climatic variability experienced by the region over the last fifty years allows us to study the application of models in non stationary conditions. First, we focused our work on the use of models to detect changes in hydrological behaviour. Finally, the sensitivity of the hydrological response to changes in monsoon regime has been explored through various rainfall scenarios.

**LEROUX Stéphanie**

**Dynamique des ondes d'est africaines: origine, propagation et interaction avec leur environnement.**

Les ondes d'est africaines (AEWs) sont des perturbations baroclines synoptiques (périodes 3-5 jours; longueurs d'onde 2000-5000 km) qui se propagent d'est en ouest sur le continent ouest-africain de manière intermittente au cours de la saison de mousson. Cette thèse a pour objectif de mieux comprendre l'intermittence intra-saisonnière des AEWs en combinant des considérations sur l'origine et le déclenchement des ondes, et sur l'influence de l'environnement de croissance, en particulier le jet d'est africain (AEJ). Une analyse statistique permet de souligner les relations complexes entre les fluctuations intra-saisonnières de l'AEJ, la convection et l'activité en AEWs dans les observations. Une approche de modélisation idéalisée est également adoptée, qui met en oeuvre un modèle atmosphérique global uniquement dynamique et guidé par un terme de forçage constant dérivé des observations. Dans une première configuration, des AEWs sont déclenchées sur un état de base fixe en réponse transitoire à un chauffage convectif appliqué localement en amont de l'AEJ. L'efficacité d'un tel déclenchement est testée sur un large jeu d'états de base constitués à partir des observations pour représenter la variabilité intra-saisonnière de l'AEJ. Il est mis en évidence une forte dépendance de la réponse transitoire à l'état de base. Une deuxième configuration du forçage laisse le modèle libre de développer sa propre activité transitoire. Des AEWs réalistes se développent de manière intermittente dans ce GCM simple. Il est montré qu'elles y sont déclenchées par des précurseurs de nature dynamique, originaires des moyennes latitudes (de l'Atlantique nord en particulier).

On the dynamics of african easterly waves: their origin, propagation and interaction with the environment. African Easterly Waves (AEWs) are synoptic baroclinic disturbances (wavelength 2000-5000 km; period 3-5 days) that propagate westward over West Africa in the monsoon season and display intraseasonal intermittence. This thesis work aims to investigate the question of the origin, growth and intermittence of AEWs through idealised modelling and analysis of observations. Factors such as possible precursors for the waves, and the relationship of the waves with the background environment - in particular the AEJ - and with convection are examined and discussed. A statistical climatological study is made of the relationship between the observed intraseasonal variations in the mid-tropospheric flow over West Africa, convection and AEW activity. An idealised modelling approach is also developed through the use of a dry global primitive equation model driven by a constant forcing term derived from the observations. This model is used in a first configuration to simulate linear AEWs on a set of various fixed basic-states using the same idealised convective heating localised upstream of the AEJ as an initial trigger. It is shown that these convectively triggered AEWs are strongly influenced by the intra-seasonal variability of the environment. A second forcing configuration allows the model to simulate observed distributions of jets and transient disturbances, and explicitly represents the interactions between them. This simple GCM produces realistic intermittent AEWs that are shown to be triggered by precursors coming from the North Atlantic storm track.

**LOUVET, Samuel**

**Modulations intrasaisonnières de la mousson d'Afrique de l'Ouest et impacts sur les vecteurs du paludisme à Ndiop (Sénégal) : diagnostics et prévisibilité**

L'objectif principal de ce travail a été de faire le diagnostic de la variabilité du système de mousson lors de son installation sur l'Afrique de l'Ouest et d'en mesurer la prévisibilité. Nous avons tout d'abord cherché si les fluctuations pluviométriques d'une année pouvaient être partiellement sous le contrôle d'une mémoire à long terme via des interactions entre surface continentale et atmosphère. Les résultats sont dépendants des jeux de données. Alors que l'humidité des sols des réanalyses ERA40 montre peu de sensibilité à l'excès pluviométrique automnal les données du SWI et les réanalyses NCEP-DOE AMIP-II révèlent que des anomalies positives automnales peuvent avoir des répercussions sur l'humidité des sols superficiels jusqu'en mai en zone soudanienne. Ces anomalies changent drastiquement les gradients horizontaux d'énergie dans les basses couches. La fin de la saison des pluies semble donc cruciale, aussi bien pour les conditions initiales de surface de la mousson suivante que pour les paramètres dynamiques de la mousson et les précipitations associées. Lors de son installation sur le continent le système de mousson enregistre des fluctuations caractérisées par une alternance entre les phases actives (pendant lesquelles les précipitations augmentent) et les pauses (pendant lesquelles les pluies stagnent, voire décroissent). Deux méthodes différentes de caractérisation et datation de ces fluctuations ont été mises au point sur deux jeux de données (CMAP et GPCP) apportant des résultats concordants. Les pauses significatives sont généralement au nombre de quatre. En moyenne, la 1ère est comprise entre le 19 mars et le 8 avril, la 2ème entre le 28 avril et le 13 mai, la 3ème entre le 2 juin et le 27 juin et, enfin, la 4ème entre le 22 juillet et le 11 août. La synchronisation entre les zones soudano-sahéliennes et guinéenne (pauses n°1 et n°2) permet de réviser la vision classique de la modulation intrasaisonnière de la mousson ouest-africaine et suggère que les événements détectés localement s'inscrivent dans une dynamique de plus large échelle. L'existence de ce type de modulation a également été prouvée au Sénégal où il a été démontré d'autre part que la péjoration pluviométrique (à partir de la fin des 60's) n'a ni modifié le schéma d'alternance « pauses/phases actives », ni son organisation annuelle (calendrier). Suite à la mise au point d'une méthode de détection du démarrage de la saison des pluies soudano-sahélienne une étude de prévisibilité a été effectuée. La détection s'est appuyée sur un indice décrivant la migration latitudinale de la ZCIT. En moyenne, la date de démarrage intervient entre les 22 et 23 juin. Le démarrage de la saison des pluies soudano-sahélienne est particulièrement sensible aux modulations de l'intensité des gradients de pression, de précipitations et d'énergie statique humide à 1 000 hPa. La meilleure modélisation statistique, basée sur les précipitations, permet d'expliquer 73 % de variance. Enfin, l'impact des paramètres climatiques sur la présence et l'abondance saisonnière des principaux vecteurs du paludisme a été recherché à Ndiop (Siné Saloum, Sénégal). Dans ce village, le complexe *An. gambiae* s.l. prédomine sur *An. funestus*. Le trait commun de la variabilité interannuelle de ces deux espèces est l'importante augmentation du nombre d'attaques lors de l'année 1999. Pour *An. funestus*, il s'agit, à cette latitude, du retour en nombre car il avait presque totalement disparu depuis la sécheresse. L'analyse de la relation entre précipitations et premières attaques vectorielles annuelles montre des résultats peu stables s'expliquant par :



non-prise en compte de paramètres primordiaux non mesurés localement (température et hygrométrie in situ, hauteur des mares, etc.) et la représentativité insuffisante de l'indice de précipitations utilisé par rapport à l'environnement pluviométrique réellement observé à plus petite échelle. Le phénomène de recrudescence vectorielle de 1999 trouve son origine dans les importantes précipitations des mois d'août, septembre et octobre ayant entraîné les plus grands cumuls pluviométriques annuels de la période 1993-1998. Dès septembre, l'humidité des sols associée a certainement joué un rôle important dans l'augmentation des densités agressives. La cartographie des anomalies de ces paramètres a suggéré que cet événement a pu potentiellement intervenir dans de nombreuses zones de la frange soudano-sahélienne. En termes de prévisibilité, il a été montré qu'aux pas de temps interannuel et intrasaisonnier, les densités d'An. gambiae s.l. peuvent être correctement reproduites. Au contraire, les densités d'An. funestus, vu ses préférences écologiques, ne sont pas très bien simulées par les modèles statistiques en raison de la mauvaise prise en compte des précipitations sur le long terme.

**MASSUEL Sylvain**

### **Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiadou sur la période 1992-2003**

Une augmentation à long terme des réserves de l'aquifère dans la région de Niamey a été mise en évidence en dépit de la sécheresse qui sévit dans cette région depuis 30 ans. Les profondes modifications environnementales depuis 50 ans sont à l'origine d'un accroissement du ruissellement et indirectement de l'augmentation de la recharge de la nappe libre. Le manque de données significatives sur le ruissellement à large échelle et l'absence de relation simple avérée entre la recharge et la pluviométrie a conduit les travaux de caractérisation de la hausse de la nappe phréatique vers une confrontation des modélisations de surface avec les données piézométriques.

Dans cet objectif, une régionalisation du modèle de fine échelle abc-rwf a été réalisée à partir d'un jeu simulé de 50 bassins endoréiques, pour lesquels des relations entre les descripteurs physiographiques et le ruissellement calculé sont apparues significatives. La formulation d'une fonction représentant fidèlement le ruissellement simulé d'un bassin, peut être étendue à un ensemble de bassins par l'adjonction de fonctions prédictives non linéaires paramétrées sur la base de seulement 5 descripteurs physiographiques des bassins. Le modèle de méso-échelle Zarbhy permet ainsi un calcul simplifié du ruissellement des 377 bassins endoréiques identifiés sur les 5000 km<sup>2</sup> du bassin tout en limitant l'imprécision supplémentaire par rapport au modèle abc-rwf.

La réalisation du couplage surface-souterrain soulève une insuffisance de la recharge forcée par le ruissellement calculé sur certaines années pour permettre la simulation de la hausse de la nappe dans des gammes de paramétrisation admissibles. Bien que l'extrême variabilité des processus hydrologiques disparaisse en partie à l'échelle régionale, la variabilité intersaisonnaire demeure encore difficile à reproduire.

Le schéma de la recharge ponctuelle spatialement distribuée est compatible avec la modélisation hydrodynamique réalisée, qui dans son état actuel ne permet cependant pas de quantifier avec précision l'influence de la recharge indirecte sur la dynamique de hausse de la nappe.

Face à l'insuffisance de la recharge calculée, une étude combinant géophysique électrique, géochimie et modélisation hydrologique a été entreprise. Elle suggère le lessivage d'une bande minéralisée entre 5 et 10 m de profondeur à l'aplomb des multiples chenaux sableux de la zone d'épandage de Wankama. Cette expérimentation prometteuse ouvre la voie à de nouvelles investigations vers la caractérisation des processus de recharge. L'existence d'une infiltration profonde (>25 m) au moins épisodique, sous les zones d'épandage sableuses peut être envisagée.

Near Niamey (Niger), a continuous rise in the groundwater level has been evidenced in spite of the drought that has been occurring for the last 30 years. Heavy environmental changes since 1950 have induced a runoff increase and indirectly the enhancement of the groundwater recharge. In order to better understand this rise, the strategy used in this study was to link runoff modelling with groundwater measurements because of the lack of significant runoff data at large scale and the lack of relation between rainfall and recharge.

To this aim, a regionalisation of the storm runoff production over a 5000 km<sup>2</sup> domain made of hundreds of ungauged, small endoreic surface-water catchments has been conducted. This is attempted through upscaling of an existing fine-scale, physically-based hydrologic model : abc-rwf. The upscaled model named Zarbhy combines three modelling components in a nested structure. A first component of rainfall filtering produces a very effective runoff-controlling storm descriptor. A relatively simple runoff functional structure can reproduce the fine-scale distributed model behaviour for a given basin. Finally, regionalization with respect to a subset of synthetic physiographic catchment descriptors allows to generalize the simplified runoff modelling structure within a global, non linear multi-catchment functional formulation. Runoff computation allows indirect recharge forcing for the simulation of the water table rise during the 1992-2003 period.

Coupled geophysical and geochemical survey and runoff modelling has evidenced the leaching of a mineralised band in the unsaturated zone situated between 5 and 10 m deep, systematically under sandy channels of an alluvial fan in the Wankama experimental basin. This promising experiment calls for further investigations for a better characterisation of local recharge processes.

L'océan joue un rôle très important dans la régulation du climat de la terre à travers les échanges de chaleur avec l'atmosphère, qui se font en grande partie sous forme de Flux de Chaleur Latente (FCL). Ce dernier dépend notamment de l'humidité spécifique à quelques mètres au-dessus de la surface. Cette dernière variable est encore mal maîtrisée dans les modèles météorologiques, et trop peu d'observations sont disponibles à l'échelle du globe pour calculer des champs d'humidité et de flux de chaleur latente, pourtant nécessaires pour forcer les modèles océaniques, par exemple. Dans ce travail, on analyse le potentiel des données de télédétection spatiale pour estimer l'humidité de surface. L'intérêt majeur des satellites est qu'ils nous permettent d'observer l'ensemble des océans à une échelle temporelle de quelques jours seulement.

Afin de restituer l'humidité spécifique, nous nous servons des données de températures de brillance mesurées par les radiomètres hyperfréquences AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit - A) et AMSU-B embarqués à bord des satellites NOAA 15, 16 et 17. AMSU-A comporte 15 canaux entre 23.8 GHz et 89 GHz, avec une résolution de 48 Km, et AMSU-B comporte 5 canaux entre 89 GHz et 183.31 GHz, et a une résolution de 16 Km. Nous utilisons les radiomètres AMSU parce qu'ils possèdent un nombre important de canaux (20 canaux au total), dont certains sont sensibles à la vapeur d'eau. Malgré leur potentiel intéressant, les radiomètres AMSU ont jusqu'ici été peu exploités pour la restitution de l'humidité de surface.

Deux approches sont utilisées pour faire cette restitution : la régression linéaire multiple et les réseaux de neurones artificiels.

Grâce à cette dernière méthode, nous avons pu restituer l'humidité de surface avec une amélioration de 21.8% par rapport à l'algorithme de référence (Bentamy et al., 2003). Ceci se traduit par un écart rms de 0.86 g/kg, par rapport aux données de validation, qui sont les observations horaires des mouillages TAO et PIRATA. L'ensemble des résultats trouvés au cours de cette étude indique clairement que le satellite apporte un point de vue complémentaire par rapport aux modèles opérationnels et par rapport aux observations, vis-à-vis de l'humidité de surface

Ocean plays a very important role in the regulation of earth climate through heat exchange with atmosphere, which are done for most part in the form of latent heat flux (LHF). LHF depends on specific humidity some meters over the ocean surface. This variable isn't well controlled in meteorological models and too few observations are available on global scale for calculating humidity fields and LHF, although necessary to force oceanic circulation models for example. In this work, we analyse potential of remote sensing data to estimate near surface humidity. Major interest of satellite is they enable observations of the whole ocean at temporal scale of some days only.

In order to estimate specific humidity, we use brightness temperatures data measured by microwave radiometers AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) and AMSU-B on board NOAA 15, 16 and 17 satellites. AMSU-A has 15 channels between 23.8 GHz and 89 GHz, with a spatial resolution approximately of 48 Km, and AMSU-B has 5 channels between 89 GHz and 183.31 GHz, with a spatial resolution of 16 Km. We use AMSU radiometer because they have important number of channels (20 channels), whose some are sensitive to water vapour. Despite their interesting potential, AMSU radiometers have not yet been used for the retrieval of surface specific humidity.

Two methods are presented: multiple linear regression and artificial neural networks. Using neural networks approach, we improve specific humidity retrieval of 21.8% in comparison to reference algorithm (Bentamy et al., 2003). This is equivalent to a rms error of 0.86g/kg in comparison to buoys (TAO and PIRATA) data used for validation. All the results found in this study show clearly that satellite supply a complementary point of view in comparison to operational models, and observations, in relation to surface humidity.

### **MESSAGER, Christophe**

#### **Couplage des composantes continentale et atmosphérique du cycle de l'eau aux échelles régionale et climatique - application à la mousson ouest Africaine.**

Le Modèle Atmosphérique Régional (MAR,  $dx=40$  km) est mis en œuvre sur l'Afrique de l'Ouest pour souligner la sensibilité du régime pluviométrique et de la dynamique simulée à la température de surface océanique du Golf de Guinée durant l'année sèche 1984. Cette influence est très marquée au sud de  $12^{\circ}N$ . Au-delà, il semble que les précipitations soient plus influencées par les interactions avec la surface continentale et les structures synoptiques. La zone Sahélienne apparaît donc pertinente pour étudier le couplage entre la surface continentale et l'atmosphère. Ainsi, une architecture originale fondée sur l'utilisation des codes patrimoines permettant modularité, portabilité, extensibilité et interopérabilité a été développé et utilisé en premier lieu en mode forcé de l'atmosphère vers le bassin versant de la Sirba (39000 km<sup>2</sup>) modélisé par le modèle hydrologique ABC ( $dx\sim 1.8$  km). Un algorithme de désagrégation des pluies convectives basé sur la prise en compte de plusieurs maximums convectifs pour un même événement a ainsi été testé avec succès. La prépondérance de la sensibilité de l'échantillonnage temporel sur le spatial est ainsi soulignée. Enfin, une expérience de couplage entre les modèles MAR et ABC interfacés à l'aide de modèles SVAT (Surface Vegetation Atmosphere Transfer) est réalisée sur le bassin de la Sirba.

La haute résolution du SVAT sur la Sirba entraîne alors des modifications dans le traitement des flux, de la température de surface, et dans le bilan en eau. La partie hydrologique montre, pour sa part, sa capacité à moduler les variations apportées par le SVAT haute résolution en modifiant le bilan en eau et par là même l'albedo et le bilan d'énergie.

Atmospheric and Hydrologic interactions at regional and climatic scales. The West African Monsoon case.

The use of the regional climate model MAR ( $dx=40$ km) over the West Africa showed that the simulated pluviometric regime and the simulated dynamics are mainly influenced by the Gulf of Guinea SST during 1984. This sensitivity is strongly marked up to  $12^{\circ}N$ . Beyond this limit, the precipitation regime seems mainly influenced by the interactions with the continental surfaces and the synoptic features. The Sahelian region thus appears as relevant in order to study the coupling between the atmosphere and the continental surfaces.

A new coupling architecture has been then built with the aim to use legacy models and to ensure modularity, portability, extensibility and interoperability. It has been first tested in a one-way configuration by a forcing of the hydrologic model ABC ( $dx \sim 1.8$  km) applied over the Sirba watershed (39000 km<sup>2</sup>) by rainfall fields. The use of a temporal disaggregation method considering several maximums in a single convective event has demonstrated the larger influence of the time sampling comparing to the spatial location of the rainfall over the basin.

Finally, a fully coupled experiment between the MAR model, a SVAT (Surface Vegetation Atmosphere Transfer) model and the ABC model has been performed over the Sahelian Sirba catchment. The effects of the SVAT grid refinement over the Sirba basin are responsible for changes in soil surface temperature, sensible and latent heat fluxes and soil water balance. However, these modifications can be modulated by the hydrologic model which is able to modify the infiltration and consequently the soil surface water balance and therefore the energy budget and the albedo as well.

### **MOUFOUMA-OKIA Wilfran** **Régionalisation du climat de l'Afrique de l'Ouest.**

Le modèle de climat régional MAR à 40 km de résolution horizontale et la méthode d'imbrication unidirectionnelle, d'un modèle à aire limitée de haute résolution spatiale dans un modèle de circulation globale (MCGA) de basse résolution, sont mis en oeuvre pour évaluer la variabilité du climat de l'Afrique de l'Ouest. Les performances du modèle MAR, piloté par des conditions aux limites latérales issues des ré-analyses du CEPMMT ERA15, sont validées sur trois années complètes et contrastées en termes de conditions pluviométriques : 1987 (sèche), 1988 (humide) et 1992 (normale). Les sorties pluviométriques du MAR sont comparées par rapport à 4 sources de données indépendantes en termes de cumuls juillet-septembre, cumuls journaliers, cumuls annuels, cycle moyen et le comportement du modèle est précisé sur le transect nord-sud de l'observatoire CATCH. Le modèle MAR reproduit favorablement la variabilité spatiale et temporelle des précipitations de l'Afrique de l'Ouest. Ces résultats s'écartent sensiblement des scénarii proposés par le MCGA LMD6. Les champs de vents, température et humidité simulés par le modèle MAR sont analysés et comparés par rapport aux mesures de radiosondages sur des stations d'observations. Le modèle MAR indique des aptitudes à reproduire les caractéristiques dynamiques de la mousson ouest africaine : flux de mousson, jet d'est africain, jet d'est tropical. On note cependant, de nombreux biais systématiques. Deux sources de biais systématiques du modèle MAR sont analysées en détails : (i) les biais externes, associés aux conditions de forçage latéral, à travers une inter-comparaison des performances du modèle piloté séparément par les ré-analyses du CEPMMT ERA40 et ERA15 ; (ii) les biais internes, associés avec la paramétrisation de la convection profonde. L'influence du modèle de surface sur les erreurs du modèle MAR est également examinée.

The regional climate model (RCM) MAR with a 40 km grid point spacing and the one-way nesting approach of high resolution limited-area model nested within a coarse general circulation model (GCM) are applied to investigate the variability of the west African climate. A set of three year long integrations of MAR, driven by the ECMWF reanalysis, has been carried out for contrasted atmospheric conditions: 1987 (dry), 1988 (wet) and 1992 (normal). The simulated rainfall is compared to 4 different datasets and evaluated in terms of cumulative (for the period July to September), daily and seasonal cycle. The behaviour of the model is detailed on the north-south window of the CATCH experiment. The spatial and the temporal variability of the rainfall simulated by the MAR model are in good agreement with the observations. The comparison of these results with the rainfall produced by the GCM LMD6 indicates improvements in the regional climate model. The wind, temperature and humidity fields simulated by the MAR model are compared to the observations. The main circulations of the West African monsoon system are realistic (monsoon flux, African easterly jet, tropical easterly jet), although the model shows some systematic biases. Two sources of systematic errors have been evaluated through sensitivity experiments: (i) external errors associated with the lateral boundary conditions, through the intercomparison of MAR simulations driven separately by ERA40 and ERA15 reanalysis; (ii) internal errors associated with cumulus parameterization. The impact of land surface model (LSM) to the performances of MAR model is also investigated.

### **MOUMOUNI Sounmaïla** **Analyse des distributions granulométriques des pluies au Bénin : caractéristiques globales, variabilité et application à la mesure radar**

Ce travail documente pour la première fois les caractéristiques granulométriques des pluies observées au sol dans la région de Djougou au Bénin grâce à la campagne d'observation du programme d'Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA). En particulier, on s'est attaché à : i= distinguer les différents types de pluie (convective et stratiforme) à travers leur signature disdrométrique ; ii= modéliser la distribution granulométrique des pluies observées et sa variabilité ; iii= analyser la variabilité temporelle des caractéristiques granulométriques et leur influence sur la mesure de la pluie par radar ; iv= comparer les caractéristiques des distributions granulométriques en zone soudanienne à celles des autres observations en Afrique et dans d'autres régions tropicales.

Les résultats de cette analyse mettent en évidence une variabilité très marquée de la microphysique des précipitations, entre les systèmes pluvieux et en leur sein, et démontrent ses conséquences sur l'estimation des précipitations par télédétection. Un modèle analytique paramétré a été proposé afin de représenter les distributions granulométriques des pluies africaines d'une manière réaliste, dans les modèles atmosphériques ou les algorithmes.

This work presents the first analysis of rain Drop Size Distribution (DSD) observed in Benin thanks to the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) campaign. Data from optical disdrometers were processed in order to : i= distinguish the various types of rain (convective and stratiform) through their disdrometric signature ; ii= model the rains Drop Size Distribution (DSD) observed and its variability ; iii= analyze the temporal variability in DSD characteristics and its influence on the radar measurement of rainfall ; iv= compare the DSDs observed in the Sudanese climatic zone with those previously studied in Africa and in other tropical areas.

The study reveals strong variations in the microphysics of precipitation within and between rainy systems, and shows its

consequences on precipitation retrieval by remote sensing. A parameterized analytical model is proposed for a realistic representation of African rain drop size distributions in atmospheric models or algorithms.

**MOUNIER Flore**

### **La variabilité intra-saisonnière de la mousson d'Afrique de l'Ouest et centrale**

La compréhension du climat des régions tropicales ainsi que la capacité à le prévoir reste un enjeu socio-économique majeur. Un grand nombre d'études ont déjà permis une analyse approfondie du système de la Mousson Ouest Africaine (MOA) et de ces étapes clés. Certaines ont aussi mis en lumière des fluctuations intra-saisonnières autour de 15 et 40 jours ayant des impacts évidents sur le rendement agronomique. Dans le cadre du projet AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), ce travail de thèse s'est concentré sur la caractérisation des événements qui structurent et modulent la variabilité intra-saisonnière de la MOA. A partir de l'analyse statistique de traceurs de la convection et de paramètres d'identification de la circulation atmosphérique associés, des modes de variabilité dans deux échelles de variabilité intra-saisonnière (15 et 40 jours de périodicité) ont pu être isolés et documentés. Deux modes dominent un premier sur la zone guinéenne et un second sur la zone sahélienne.

L'évolution de ces modes ainsi que la circulation atmosphérique qui leur est associée ont mis en exergue le caractère propagatif de ceux-ci. Cela a rendu nécessaire, l'analyse du lien de ces modes avec les ondes équatoriales décrites par le modèle en eau peu profonde de Matsuno. Des analyses sur des données filtrées par catégorie d'ondes ont détaillé l'amplitude et la période d'activité de ces ondes et ont souligné la significativité de la modulation de la convection par celles-ci pendant la MOA pour les ondes: de Kelvin (périodicité autour de 6 jours), de Rossby (périodicité autour de 20 jours) et hors des solutions du modèle pour les ondes d'Est (périodicité 4 jours) et le signal de MJO (Madden-Julian Oscillation) (périodicité autour de 40 jours).

La modulation par les ondes de Kelvin s'est révélée, dans cette analyse, d'amplitude équivalente à celle par les ondes d'Est pendant la MOA. Le lien et les interactions entre ces ondes et les modes de la variabilité intra-saisonnière ont ensuite été évalués. Des liens ont ainsi été établis entre les ondes de Kelvin et le mode «guinéen», les ondes de Rossby et le mode «sahélien» et le mode à 40 jours et le signal de MJO.

**NZEUKOU TAKOUGANG Armand Cyrille**

### **Propagation micro-onde et variabilité spatiale à moyenne échelle des champs de précipitation en Afrique de l'Ouest**

Nous avons étudié les caractéristiques des précipitations et leurs effets sur les conditions de propagation des ondes radioélectriques dans deux sites côtiers, au sud-ouest de la France et sur les côtes du Sénégal. Les données proviennent de deux radars météorologiques basés à Bordeaux et à Dakar. La méthode d'ajustement probabiliste a été utilisée pour étalonner les données radars.

Dans la première partie du mémoire, on étudie les caractéristiques de la microstructure de la pluie au Sénégal. On trouve que les Distributions Spectrales des Dimensions (DSD) de gouttes sont remarquablement reproductibles et peuvent être ajustées dans de très bonnes conditions à une distribution lognormale. La densité de probabilité de l'intensité de pluie  $P(R)$  ainsi que les relations entre paramètres intégrés de la DSD sont discutés.

Pour caractériser les précipitations, nous avons utilisé le cumul de pluie ( $H$ ), la durée totale des précipitations ( $T$ ), l'intensité moyenne de pluie ( $\mu R$ ) et l'écart-type sur l'intensité de pluie ( $\sigma R$ ). Nous montrons que  $H$  présente de forts gradients nord-sud et terre-mer. Ces gradients s'expliquent par des différences dans la durée des précipitations et non de leur intensité. On trouve que  $\mu R$  et  $\sigma R$  sont homogènes dans chaque région climatique. Nous avons montré que la densité de probabilité de l'intensité de pluie  $P(R)$  peut être ajustée à la distribution lognormale avec comme paramètres  $\mu R$  et  $\sigma R$ . L'homogénéité spatiale de ces paramètres conduit à conclure qu'il en est de même pour  $P(R)$ . Nous montrons ainsi que les champs de précipitation étudiés sont ergodiques.

Nous avons établi sur des trajectoires ( $d$ ) des statistiques de distributions de l'intensité moyenne de pluie ( $R_d$ ) et de l'atténuation des ondes radioélectriques ( $A_d$ ). On discute de la forme de ces distributions et des différences entre trajets de propagation sur terre, sur mer, au nord et au sud. On trouve que le coefficient de variation de l'atténuation dépend du coefficient puissance de l'atténuation spécifique.

Rainfield characteristics and microwave propagation conditions in two coastal sites, one in south-west of France and the other on the coast of Senegal are studied. The data are provided by two meteorological radars located at Bordeaux and Dakar. A probability matching method is used for calibration of the radar data.

In the first part of the thesis, the microstructure of the rain in Senegal is analyzed. The Drop Size Distributions (DSD) is found to be remarkably reproducible and very well fitted with a lognormal distribution. The probability density function of the main rate  $R$  or  $P(R)$ , and the relations between the DSD integrated parameters are discussed.

The parameters used for the rain characterization are the cumulative rain height ( $H$ ), the rain total duration ( $T$ ), the average rain rate ( $\mu R$ ) and the rain rate standard deviation ( $\sigma R$ ). Strong meridional and zonal gradients of  $H$  are observed. It is shown that these gradients are linked to a difference in the precipitation duration and that ( $\mu R$ ) and ( $\sigma R$ ) are homogeneous in each climatic region. The probability density function of  $R$  can be fitted with a lognormal distribution with ( $\mu R$ ) and ( $\sigma R$ ) as parameters. The studied rainfields are shown to be ergodic.

Statistics of rain rate of microwave attenuation by rain have been computed along several trajectories over sea and over land, north and south. The difference of behavior of the parameters along these trajectories is discussed.

**ONIBON, Hubert Gbolahan**  
**Simulation conditionnée des champs de pluie évènementiels au Sahel**

Le travail présenté dans ce document a pour objectif principal de développer un outil permettant de désagréger les champs de pluie basse résolution produits par des modèles climatiques ou des capteurs satellitaires en champs de pluie haute résolution utilisables comme entrées de modèles hydrologiques. Dans la première partie de l'étude, on procède à l'analyse des propriétés statistiques des champs de pluie observés sur une sous-région d'Afrique de l'Ouest et on les compare aux propriétés statistiques des champs de pluie simulés par un Modèle de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA). La deuxième partie est consacrée à la résolution des problèmes de disparités d'échelle entre les scénarios pluviométriques produits par ce type de modèle et ceux dont on a besoin en entrée de modèles hydrologiques pour procéder à des études d'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau. Le passage d'échelle doit obéir à deux contraintes i-) reproduire les propriétés statistiques des champs observés ; ii-) être capable de conditionner les champs de pluie simulés par une valeur intégrale sur un domaine de l'espace. Pour tenir compte de ces deux contraintes, nous avons proposé une méthode permettant la mise en oeuvre numérique du modèle gaussien anamorphosé à partir du tandem échantillonneur de Gibbs - algorithme des simulations par acceptation-rejet. L'application du modèle à la désagrégation spatio-temporelle des événements observés sur le Degré Carré de Niamey durant l'expérience EPSAT-Niger a permis d'évaluer son aptitude à reproduire convenablement les propriétés statistiques connues des champs de pluie sahéliens.

**PETER Anne-Charlotte**

**Variabilité de la température de la couche de mélange océanique en Atlantique équatorial aux échelles saisonnières à interannuelles, à l'aide de simulations numériques**

L'objectif de cette thèse est l'étude de la variabilité de la température de la couche de mélange océanique dans l'Atlantique équatorial, à l'aide de simulations numériques.

Les résultats obtenus montrent la prédominance des processus verticaux et des ondes tropicales d'instabilité (<35jours, ~500km) pour expliquer la variabilité de la température de la couche de surface à l'échelle annuelle.

L'étude d'événements interannuels a permis de distinguer deux processus distincts responsables de la variabilité interannuelle de la température de surface : l'un dynamique et distant créée par les anomalies de vent dans l'ouest du bassin et agissant par l'intermédiaire de la propagation d'ondes de Kelvin équatoriales et le second, thermodynamique et local à l'échelle du Golfe de Guinée, créé par les anomalies interannuelles de flux de chaleur.

[Oceanic Mixed Layer Temperature Variability in the equatorial Atlantic from seasonal to interannual time scales, with numerical simulations](#)

[In this thesis, we investigated the variability of the oceanic mixed layer temperature in the equatorial Atlantic, using numerical simulations.](#)

[The results show the predominance of vertical processes and tropical instability waves \(<35days, ~500km\) to explain the annual cycle of mixed layer temperature.](#)

[The study of interannual events allows distinguishing two different processes responsible for interannual variability of surface temperature. The first one is dynamic and remoted, created by wind stress anomalies in the western part of the basin and acts via equatorial Kelvin waves propagation. The second one is thermodynamical and local at Gulf of Guinea scale and is created by interannual anomalies of heat fluxes.](#)

**PEYRILLÉ, Philippe**

**Etude idéalisée de la mousson ouest-africaine à partir d'un modèle numérique bi-dimensionnel**

Les mécanismes qui régissent l'établissement et la variabilité des pluies durant la Mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO), éléments cruciaux pour les populations locales, sont aujourd'hui encore mal compris en raison du grand nombre de mécanismes et rétroactions qui interviennent dans ce système. La MAO est en effet un système complexe dans lequel interagissent de nombreux processus (convection, jets, processus de surface) et échelles spatio-temporelles (de l'échelle du nuage à l'échelle synoptique). Les modèles de circulation générale, que l'on peut considérer comme les outils les plus aboutis de par le grand nombre d'acteurs de la MAO qu'ils intègrent, éprouvent toujours des difficultés à reproduire une MAO réaliste en terme de positionnement de la zone de pluies et de sa variabilité. On peut donc penser que certains éléments fondamentaux de la MAO ne sont toujours pas bien compris et qu'une étude plus fondamentale des processus qui pilotent la mousson est nécessaire.

Dans le cadre du projet AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), cette thèse visait à simplifier ce système pour mieux identifier et comprendre les mécanismes clés de la MAO. La répartition des paramètres de surface présentant une forte symétrie zonale sur l'Afrique de l'Ouest, on peut représenter la circulation atmosphérique moyenne entre 10°W et 10°E à partir d'un plan vertical-méridien. Pour cela, on considère la mousson comme une réponse du système atmosphérique aux conditions de surface. Un cadre de travail idéalisé bidimensionnel a donc été développé, n'ayant pas pour objectif de reproduire la circulation de mousson la plus réaliste possible, mais plutôt de reproduire les ingrédients fondamentaux du fonctionnement de ce système. Un modèle numérique (Meso-NH) est ainsi utilisé pour simuler un régime simplifié de mousson africaine typique des mois de juillet-août et également un cycle saisonnier complet.

L'étude d'un régime permanent de mousson permet de retrouver les sensibilités classiques du régime de mousson aux températures de surface de la mer (TSM) dans le Golfe de Guinée et met en évidence le rôle fondamental des TSMs de la mer Méditerranée sur l'avancée vers le nord de la zone de pluie. Le désert saharien (Heat Low) joue également un rôle important dans le déplacement de la mousson vers l'intérieur du continent à travers les mécanismes d'advection de température et d'humidité et également par l'effet radiatif des aérosols. L'évolution diurne des équilibres

des zones de mousson et de désert est également analysée à partir de bilans de température et d'humidité. Enfin le cycle saisonnier obtenu présente les grandes caractéristiques de la MAO, avec un saut méridien brutal des pluies au cours du mois de juin. L'analyse de ce cycle saisonnier idéalisé montre le rôle de l'évolution saisonnière des deux bassins (Golfe de Guinée et Mer Méditerranée) sur le saut de mousson (onset) et permet d'établir un schéma conceptuel de propagation de la mousson vers l'intérieur du continent à partir de bilans de vapeur d'eau. Enfin l'intérêt que présente ce type de modèle pour l'étude de la MAO ainsi que pour la préparation de la campagne de terrain AMMA sont discutés.

**PHILIPON Nathalie**

**Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'ouest et de l'est : méthodes diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001)**

L'objectif de ce travail est de définir et tester une nouvelle approche d'étude diagnostique et d'application à la prévision statistique des précipitations saisonnières dans deux régions aux contextes climatiques et géographiques différenciés : l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique de l'Est. Cette approche est fondée sur 1) l'inclusion de prédicteurs d'échelle régionale relatifs au forçage continental voire à la variabilité interne de l'atmosphère ; 2) une période temporelle représentative du climat actuel, à variabilité homogène et dominée par la haute fréquence (soit 1968-1998).

La première partie est diagnostique et dédiée à la définition des « prédictants » (cumuls saisonniers pour un espace et mois donnés) et à la recherche de « prédicteurs ». L'analyse de la variabilité des cumuls mensuels de précipitations et de la des rythmes pluviométriques (fichiers CRC et CRU) conduit à la définition de 6 prédictants : avril-juin, juillet-août, septembre-octobre pour la région guinéenne, juillet-septembre pour la région sahélienne et mars-mai, octobre-décembre pour la région Kenya-Ouganda. Pour documenter le forçage atmosphérique et continental, plusieurs variables (hauteur géopotentielle et vent à différents niveaux géopotentiels, Energie Statique Humide à 1000hPa, ...) ont été extraites des réanalyses du NCEP/NCAR.

Avant le démarrage des saisons des pluies ouest africaines, des modifications significatives dans l'organisation du champ d'ESH et portant un potentiel prédictif fort, sont observées. Le signal le plus marqué et le plus précoce concerne le prédictant sahélien : les gradients de printemps entre golfe de Guinée/Basse Côte et Sahara sont plus intenses avant une saison excédentaire. Une relation statistique est par ailleurs observée entre précipitations sahéliennes d'été boréal et précipitations guinéennes de l'automne précédent. Elle indique l'existence d'une mémoire inter-saison portée par le contenu en eau du sol et la végétation sur la Basse Côte puis relayée au printemps dans le champ d'ESH.

Pour les saisons des pluies est africaines, les signaux prédictifs principaux sont liés à la dynamique atmosphérique. Les deux saisons s'inscrivant dans des contextes climatiques moyens et de variabilité distincts, les prédicteurs identifiés pour chacune d'elle sont très différents : relatifs à la dynamique de mousson sur le bassin indien ouest et la mise en place de la circulation cellulaire zonale sur le rail équatorial pour la petite saison (OND), d'échelles beaucoup plus fines (advections humide de la cuvette congolaise, gradient d'énergie entre hautes terres éthiopiennes et Sahel oriental) pour la grande saison (MAM). Des interactions avec les ondes d'altitude des latitudes subtropicales sont observées pour les deux saisons.

La seconde partie est méthodologique, dévolue au développement et au test de modèles statistiques de prévision. 3 méthodes complémentaires ont été utilisées pour minimiser les contraintes de linéarité et optimiser la robustesse des prévisions : la régression linéaire multiple, l'Analyse Discriminante Linéaire (méthode probabiliste) et les réseaux neuronaux (méthode non linéaire). La performance des modèles est testée grâce aux scores de corrélation et de Linear Error in Probability Space calculés en mode de validation croisée ou batching. La prise en compte, dans les modèles, de prédicteurs d'échelle régionale et ayant un sens physique ou dynamique permet d'obtenir un gain moyen de 27% en terme de variance expliquée par rapport aux modèles standards basés sur 5 composantes principales d'une ACP appliquée au champ global de Températures de Surface de la Mer. Les modèles établis sont utilisés en prévision opérationnelle pour quelques saisons récentes. De bonnes performances sont obtenues pour le prédictant sahélien (JAS) en 2000-2001. Les prévisions opérationnelles réalisées pour ces deux saisons à des échelles plus fines ont également été correctes.

[A new approach for West and East African seasonal rainfall statistical forecasting: methods, diagnoses \(1968-1998\) and applications \(2000-2001\)](#)

[A new approach for West and East African rainfall forecasting, based on continental and atmospheric forcing predictors and the 1968-1998 homogeneous period is developed.](#)

[The first part is devoted to the predictands \(rainfall index for given months and domain\) and predictors definition. 6 predictands were selected using the CRU and CRC databases and represent the main rainy seasons over the two regions: April-June, July-August and September-October for Guinea, July-September for Sahel, March-May and October-December for Kenya-Uganda. To document the continental and atmospheric forcing, several parameters \(geopotential height and wind at different pressure levels, Moist Static Energy at 1000hPa ...\) are extracted to the NCEP/NCAR reanalysis.](#)

[The West African rainy seasons are preceded by Moist Static Energy field anomalies. In particular, a stronger MSE gradient develops in April between the Guinean Gulf and the Sahara before the wettest Sahelian rainy. An inter-season memory involving soil moisture, vegetation then MSE over Guinea is found.](#)

[The East African ones are related to atmospheric dynamics signals: Indian monsoon and Walker-type circulation for the short rains, Congo basin air mass intrusion and Moist Static Energy gradient between East Sahel and Ethiopian Mounts for the long rains. For both seasons, significant signals are observed with subtropical stationary waves.](#)

[The second part is dedicated to statistical models development and test. 3 methods are retained: Linear Multiple Regression and Discriminant Analysis, Neural Networks. The models are tested using correlation and LEPS scores computed in cross-validation or batching mode. Compared to models based on the first five PC of a PCA performed on SST global field, a 27% variance explained gain is obtained using these "good physical basis" regional predictors. Applied in real-time forecasting of the 2000-2001 seasons, Sahelian rainfall models provide correct forecasts. At more local scale, operational forecast results are also convincing.](#)

**POHL Benjamin**

## **L'Oscillation de Madden-Julian et la variabilité pluviométrique régionale en Afrique Subsaharienne.**

Le rôle de l'Oscillation de Madden-Julian («MJO») sur la variabilité pluviométrique de l'Afrique Subsaharienne est ici examiné, à l'aide de relevés pluviométriques quotidiens et des réanalyses NCEP-DOE AMIP-II. Le signal convectif et dynamique associé à la MJO est extrait à l'aide de deux méthodes statistiques, les indices journaliers du BMRC (Wheeler & Hendon 2004) et une analyse en modes locaux («LMA», Goulet & Duvel 2000). Dans un premier temps, la variabilité temporelle de l'oscillation est abordée à l'échelle de la ceinture tropicale (période, amplitude, saisonnalité, localisation des anomalies convectives). Si l'amplitude globale du signal n'apparaît pas reliée à El Niño, les oscillations se produisant lors des années El Niño (La Niña) tendent à être plus courtes (longues). Les conditions de surface (dont les température de surface marine) et le cycle annuel sont également des paramètres influant fortement sur la localisation des anomalies convectives les plus marquées associées à la MJO. Dans un second temps, la réponse de la pluviométrie à la MJO est examinée dans 3 ensembles régionaux de l'Afrique Subsaharienne. Dans les 3 cas examinés, la (les) saison(s) des pluies est (sont) significativement affectée(s). Sur l'Afrique de l'Est Equatoriale (Kenya, nord de la Tanzanie), les Hautes Terres d'Afrique montrent l'alternance d'une phase humide et d'une phase sèche au cours du cycle de la MJO. Les mécanismes pluviogènes font intervenir essentiellement la convection atmosphérique profonde. Sur les Basses Terres de l'est en revanche, et sur les plaines littorales, le pic de pluie est enregistré en opposition de phase par rapport aux Hautes Terres, et est relié à un renforcement des alizés depuis l'océan Indien. Une influence significative est également trouvée en Afrique Australe (sud de 15°S), et résulte d'un renforcement de l'anticyclone des Mascareignes, qui favorise via une circulation anticyclonique sur l'Afrique, un apport d'humidité sur la région depuis l'océan Indien tropical. Sur l'Afrique de l'Ouest enfin, la MJO est avant tout impliquée dans une baisse récurrente de la pluviométrie, et très secondairement seulement dans une amplification des cumuls journaliers. Cette dernière ne semble pas résulter uniquement de processus convectifs. L'exemple des Long Rains d'Afrique de l'Est (mars à mai) est ensuite utilisé pour explorer les interactions d'échelle dont la MJO est à l'origine. Aux pas de temps «courts», le cycle diurne de la convection est sensiblement modifié d'une phase de la MJO à l'autre ; les dates de démarrage de la saison des pluies et les événements pluviométriques exceptionnels montrent également un calage très bon sur la phase de la MJO. Aux pas de temps «longs», une partie significative de la variabilité interannuelle des Long Rains est statistiquement corrélée à l'amplitude saisonnière moyenne de la MJO, qui semble donc rajouter régulièrement de la pluie sur la région plutôt que d'amplifier seulement les écarts entre les phases les plus humides et les plus sèches.

The Madden-Julian Oscillation and regional rainfall variability over Sub-Saharan Africa

The role of the Madden-Julian Oscillation («MJO») on rainfall variability in Sub-Saharan Africa is examined, based on daily rain-gauge records and the NCEP-DOE AMIP-II reanalyses. The convective and dynamical signal associated with the MJO is extracted using two differing methodologies, the BMRC daily indices (Wheeler & Hendon 2004) on the one hand, and a Local Mode Analysis («LMA», Goulet & Duvel 2000) on the other hand. The temporal variability of the MJO (in terms of period, amplitude, seasonality and location of the convective anomalies) is first analysed. Though the overall amplitude of the signal is not related to El Niño, the oscillations occurring under El Niño (La Niña) conditions tend to be shorter (longer). Surface conditions such as sea surface temperature and the seasonal cycle in the Tropics are two features that play a predominant role on the location of the associated convective clusters. The response of the African rainfall to the MJO is then examined for 3 distinct regional indices. The rainy season(s) is (are) in each case significantly triggered. In Equatorial East Africa (Kenya and northern Tanzania) the Highlands show the succession of a dry and a humid phase over the MJO cycle. The associated rain-causing mechanisms mainly involve deep convection. In the eastern plains and on the coast, the peak of rainfall is out-of-phase and results from a strengthening of the trade winds over the Indian basin. A significant influence of the MJO is also detected over Southern Africa (south of 15°S) and depends on an intraseasonal modulation of the SW Indian Ocean heights. Anticyclonic circulations over Tropical Africa favour northerly anomalies that advect moisture over the region from the tropical Indian Ocean. Over West Africa, the MJO is responsible of recurrent dry conditions, alternating with a weak wet phase. The latter does not seem to result from deep convection only. The case of the East African Long Rains (March through May) is finally considered to investigate scale interactions depending on the MJO. At the «shorter» timescales, the diurnal cycle of convection is modified, from one phase of the MJO to another. The onset of the rains and the extremely wet events are also strongly locked on the intraseasonal cycle. At the «longer» timescales, a significant fraction of the interannual variability of the Long Rains is statistically related to the MJO seasonal amplitude during the corresponding trimester. The MJO therefore «adds» rainfall over East Africa, rather than simply enhancing the differences between the humid and the wet phases of the Long Rains.

**POSPICHAL Bernhard**

## **Diurnal to annual variability of the Atmospheric Boundary Layer over West Africa: A comprehensive view by remote sensing observations**

Weather and climate in West Africa are determined by the pronounced contrast between tropical, moist air masses over the Gulf of Guinea in the south and the dry desert climate over the Sahara in the north. The sharp border between the two air masses exhibits a pronounced meridional annual cycle and follows the path of the sun northward. This circulation system is called "West African monsoon". In the past, the knowledge about the factors that control the monsoon and its strength was limited due to the small number of high-quality observations. Therefore, little is known about the reasons for the significant decline of annual rainfall over the Sahel area during the past 40 years which represents the most pronounced climatic signal worldwide. During the past few years, intensive atmospheric observations were performed in the framework of the international project "African Monsoon Multidisciplinary Analyses" (AMMA) in order to obtain high-quality data and to improve the process understanding. This work gathered and analyzed ground-based remote sensing observations which were performed in Benin and Niger during the AMMA field campaigns. These data give an insight into diurnal and annual cycles of atmospheric parameters, such as water vapor, temperature profiles, cloud cover, cloud liquid water content, or wind with a temporal resolution never reached before. Particular attention is paid to the

atmospheric water which is recognized to be a critical parameter for many other atmospheric variables, e.g. the vertical temperature distribution, the long-wave radiation balance, and many more. The new type of observations revealed a diurnal cycle of the position of the Intertropical Discontinuity (ITD) prior to the start of the rainy season. The ITD represents the convergence zone at the surface between the dry and hot north-easterly trade winds and the moist and cooler south-westerly monsoon flow. Associated with this sharp front between the two air masses, strong water vapour changes occurred which could be observed in detail. This data set was then used for a comparison with the mesoscale atmospheric model Méso-NH which was run for a case study in April 2006. It is shown that the model reproduces the observed processes quite well, despite the low number of in-situ data which were assimilated in the model. Therefore, the model is suited to describe the processes in the lower atmospheric layers around the ITD.

### **RAMEL Romain**

#### **Impacts des processus de surface sur le climat en Afrique de l'Ouest**

Le modèle climatique régional MAR (Modèle Atmosphérique Régional) est mis en œuvre pour la simulation du climat en Afrique de l'Ouest, piloté à ses frontières latérales par les réanalyses ERA-15. Une simulation de 10 ans, portant sur les années 1983 à 1992 est effectuée. Une validation des sorties pluviométriques du MAR est faite sur une large gamme d'échelles temporelles, depuis le pas de temps journalier jusqu'à la variabilité inter-annuelle. Le MAR reproduit favorablement les principales caractéristiques du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest. Deux déficiences sont soulignées : une sous-estimation des précipitations en zone sahélienne et une mauvaise représentation des précipitations à l'échelle journalière. Une comparaison des sorties du MAR avec les données pluviométriques journalières de l'IRD a permis de mettre en évidence le fait que le MAR se comporte de manière assez satisfaisante pour des échelles temporelles supérieures à 3-5 jours. La sensibilité du modèle à la prescription des états de surface est également étudiée à travers la simulation de l'année 1992. Enfin le MAR est utilisé dans une étude de processus afin d'analyser les mécanismes de la progression irrégulière de la mousson ouest-africaine. Une explication, basée sur des considérations thermiques et sur la distribution géographique de l'albédo de surface, est proposée.

#### Impacts of surface processes on west african climate

A 10-years simulation (1983-1992) of the west african climate is made using the regional climate model MAR, driven by the ECMWF reanalysis ERA-15. The validation mainly focuses on the analysis of the simulated rainy regime on various time scales (from daily to yearly). It is shown that MAR is able to simulate the main features of the west african rainy regime. Two defaults are identified : an underestimation of the simulated rainfall amounts over the sahelian area and a bad representation of the precipitation's daily structure. A comparison with daily rainfall data from IRD reveals the fact that the simulated rainfall is in agreement with observations for time scales larger than 3-5 days. The model's sensitivity to the prescription of surface's characteristics is also evaluated, through the simulation of the year 1992. Finally MAR is used in a process study in order to analyse the mechanisms acting in the unregular progression of the west african monsoon. An explanation is proposed, based upon thermal considerations and the spatial distribution of albedo.

### **REVILLET Claire**

#### **Cycle de vie des lignes de grains. Bilan d'eau et d'énergie.**

La mousson africaine est un phénomène météorologique saisonnier apportant jusqu'à 90% des précipitations annuelles sur l'Afrique de l'Ouest. Du fait d'une diminution observée de l'intensité de ce phénomène, une campagne internationale multidisciplinaire d'analyse de la mousson africaine a été mise en place, avec comme point culminant, une période d'observations intensives durant l'été 2006. Les éléments constitutifs de la mousson apportant le plus de précipitations étant les lignes de grains, nous nous sommes intéressés à l'étude des bilans d'eau et d'énergie de ces systèmes convectifs.

Ce travail consiste en une étude du cas de ligne de grains du 27-29 juillet 2006, effectuée via la modélisation mésoéchelle permise par le modèle Méso-NH (Météo-France/CNRS). Il a permis de documenter l'environnement de cette ligne de grains et son impact énergétique et hydrique. Les tests de sensibilités effectués montrent la forte sensibilité des champs simulés et des bilans à la configuration et aux champs initiaux du modèle.

The African monsoon is a seasonal meteorological phenomenon providing about 90% of the annual precipitations over West Africa. Since a decrease in the intensity of the monsoon has been observed, an international multidisciplinary analysis of the African monsoon has been set up. Its major point was its intensive observation period during the Summer 2006. The elements of the monsoon providing most of the precipitations being the squall lines, this work documents water and energy budgets within those systems.

The 27-29 July 2006 squall line is studied through mesoscale modelling using the Meso-NH model (Météo-France/CNRS). The sensitivity tests show that simulated fields and budgets are sensitive to the configuration and initial state of the model.

### **RIO Catherine**

#### **Paramétrisation de la couche limite atmosphérique convective et représentation du cycle diurne des nuages dans un modèle de climat**

L'objectif principal de cette thèse est d'améliorer la représentation du cycle diurne des nuages convectifs dans les modèles de circulation générale atmosphérique grande échelle. La sous-estimation des nuages bas, le déclenchement prématuré des précipitations convectives ainsi que leur arrêt prématuré en fin d'après-midi sont des biais communs à la plupart des modèles de climat. L'amélioration de ces différents aspects passe notamment par une représentation plus réaliste des mouvements convectifs de la couche limite atmosphérique.

Pour cela, les processus en jeu dans la turbulence de couche limite, la convection peu profonde et profonde sont étudiés en se basant sur des observations et des simulations haute résolution. Les développements sont testés principalement



dans une version uni-colonne du modèle LMDZ, développé au Laboratoire de Météorologie Dynamique, sur des cas particuliers de convection continentale, peu profonde et profonde, observés sur le site ARM en Oklahoma.

Pour essayer de prendre en compte toutes les échelles de turbulence observées dans la couche limite convective, on combine à un schéma diffusif classique une paramétrisation en flux de masse représentant les structures cohérentes de la couche limite: le modèle du thermique nuageux. La représentation explicite d'un panache ascendant entraînant et entraînant, ainsi que d'une subsidence compensatoire dans l'environnement, permet d'améliorer le cycle diurne de la couche limite et des cumulus qui se forment par beau temps. Cette meilleure représentation des nuages de couche limite permet aussi de contrôler le cycle diurne de la convection plus profonde associée aux orages. En effet, le dégagement de chaleur associé au développement des cumulus au cours de la journée induit une vitesse verticale de plus en plus forte dans le panache. La vitesse maximale atteinte permet d'évaluer une énergie de soulèvement fournie par la couche limite. Si cette énergie dépasse l'inhibition convective, la convection profonde se déclenche, et son intensité dépend des processus sous-jacents, de couche limite d'une part, et liés à l'existence de poches froides se formant sous le système convectif d'autre part. Le couplage entre processus de couche limite, convection nuageuse profonde et poches froides permet de retarder le déclenchement des précipitations de plusieurs heures et de les maintenir plus tard dans la soirée.

Enfin, les développements effectués sont exploités afin de représenter la convection induite par les feux de biomasse dans les Tropiques. Initialisé par les caractéristiques des feux dans ces régions, le modèle du thermique nuageux devient celui du pyro-thermique nuageux, avec des panaches qui restent confinés dans la couche limite mais peuvent aussi percer jusqu'à la moyenne troposphère.

Les différentes paramétrisations évoquées sont en cours d'intégration dans la nouvelle version 3D de LMDZ, en vue des simulations climatiques à effectuer dans le cadre du prochain rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC).

## **RISI Camille**

### **Les isotopes stables de l'eau: applications à l'étude du cycle de l'eau et des variations du climat**

L'eau se présente sous différentes formes. La plus fréquente est H<sub>2</sub>16O, mais il y a aussi de l'H<sub>2</sub>18O, de l'HDO, et un peu de H<sub>2</sub>17O. La fréquence relative de ces différentes formes s'appelle la composition isotopique.

La composition isotopique de l'eau est de plus en plus utilisée pour étudier le cycle de l'eau actuel et ses variations passées. Mais tandis que la composition isotopique enregistrée dans les glaces polaires est depuis longtemps à la base des reconstitutions des variations passées des températures polaires, beaucoup de questions subsistent concernant les facteurs contrôlant la composition isotopique dans les tropiques. Le but de cette thèse est donc de mieux comprendre les processus affectant la composition isotopique de l'eau (précipitation, eau atmosphérique), en particulier dans les tropiques. Comme la majeure partie des précipitations tropicales a une origine convective, et que la plupart des archives isotopiques se trouvent sur le continent, nous portons une attention plus particulière à la convection atmosphérique d'une part et à l'hydrologie de surface continentale d'autre part. En retour, que peut apporter la composition isotopique sur les processus convectifs et l'hydrologie de surface? Peut-elle aider à mieux contraindre la représentation de ces processus dans les modèles? A l'échelle inter-annuelle ou des changements climatiques, quelles informations apportent les archives isotopiques sur la variabilité du climat tropical? Ce sont autant de questions auxquelles nous essayons de répondre dans cette thèse.

#### 1) Les isotopes stables de l'eau et la convection atmosphérique

Tout d'abord, nous analysons l'influence de la convection atmosphérique sur la composition isotopique de l'eau tropicale. Nous combinons pour cela deux approches:

1. la modélisation numérique, avec une hiérarchie de modèles (modèle uni-colonne, modèle 2D de ligne de grains, modèle de circulation générale LMDZ dans lequel nous avons introduit les isotopes),

2. l'analyse de données isotopiques de pluies collectées au Niger au cours de la campagne de terrain AMMA (Analyse Multi-disciplinaire de la Mousson Africaine), aux échelles de l'événement et de l'intra-événement (quelques photos de la campagne).

Ces études montrent un impact fort de la convection sur la composition isotopique des précipitations, ainsi que l'importance de la réévaporation de la pluie et des subsidences convectives ou méso-échelles pour contrôler cette composition. La convection joue aussi un rôle important sur les profils isotopiques dans la haute troposphère-basse stratosphère.

#### 2) Les isotopes stables de l'eau et les variations du climat

Ensuite, nous étudions quelles informations sur la variabilité climatique passée la composition isotopique des précipitations enregistrent. Nous analysons des simulations LMDZ du climat actuel et des climats passés, et évaluons dans quelle mesure les archives isotopiques de précipitation tropicale peuvent être utilisées pour reconstituer les changements de précipitation passés. Nous explorons aussi la valeur ajoutée apportée par un nouveau traceur isotopique encore peu utilisé: l'H<sub>2</sub>17O.

#### 3) Les isotopes stables de l'eau et les processus à la surface continentale

Enfin, nous analysons l'influence des processus de surface continentale sur la composition isotopique des précipitations ou des réservoirs d'eau continentaux, grâce à des simulations avec le modèle d'hydrologie continentale ORCHIDEE, dans lequel nous avons aussi introduit les isotopes. Les compositions isotopiques de différents réservoirs d'eau du système surface continentales-atmosphère contiennent des informations sur le partitionnement de la précipitation en ruissellement, drainage, transpiration par la végétation ou évaporation du sol nu.

The stable isotopic composition of water (H<sub>2</sub>O, HDO, H<sub>2</sub><sup>18</sup>O, H<sub>2</sub><sup>17</sup>O) is a promising tracer of the present day water cycle and past climates. While the isotopic composition recorded in polar ice core have long been used to reconstruct past temperatures, however, what controls the isotopic composition of the tropical precipitation is more complex. The goal of this thesis is thus to better understand the processes that affect the isotopic composition of tropical precipitation and atmospheric water, more particularly in the tropics. Since most of the tropical precipitation arises from atmospheric convection, and most isotopic archives are on land, we focus more particularly on the impact of convective and land surface processes. In turn, what can be learned about convection and land surface processes using isotopic measurements? Can they help constrain their representation in models? At the inter-annual to climate change scale, what information about the tropical climate variability is recorded in isotopic signals observed in archives?

First, we investigate the influence of convection on water stable isotopes. We use both (1) numerical modeling, with a hierarchy of models (single column model, two-dimensional model of squall lines, general circulation model) and (2) data analysis, using isotopic data from rain collected in the Sahel during the African Monsoon Multidisciplinary Analysis campaign, at the event and intra-event scales. These studies highlight the strong impact of convection on the precipitation composition, and stress the importance of rain evaporation and convective or meso-scale subsidence in controlling the rain isotopic composition. Convection also plays an important role on isotopic profiles in the upper troposphere-lower stratosphere. Second, we study what information about climatic variability is recorded by water stable isotopes in precipitation. We analyze simulations of present day and past climates with LMDZ, and evaluate to what extent isotopic archives of tropical precipitation can be used to reconstitute past precipitation changes. We also explore the added value of a new but promising isotopic tracer: H<sub>2</sub><sup>17</sup>O.

Third, we analyze the influence of land surface processes on the isotopic composition of precipitation and land surface waters, using simulations with the land surface model ORCHIDEE in which we also introduced the isotopes. The isotopic composition of the different water pools of the land-atmosphere system may inform about the partitioning of precipitation into runoff, drainage, transpiration and bare soil evaporation.

### **SAUNOIS Marielle**

#### **Bilan de l'ozone sur le continent africain. Rôles relatifs des transports interhémisphériques et intercontinentaux et des sources locales.**

Ce sujet de thèse s'inscrit directement dans le programme international d'étude de la Mousson Africaine AMMA (Analyses Multi-disciplinaires de la Mousson Africaine). Les propriétés de l'ozone troposphérique (oxydant, gaz à effet de serre) en font un gaz dont l'observation et la prévision de son évolution à l'échelle climatique sont critiques. Or un élément clé du bilan global de l'ozone troposphérique est la contribution de la troposphère tropicale. En particulier, le continent Africain conjugue à la fois des sources et puits variés des précurseurs de l'ozone (fortes émissions biogéniques, feux de brousse, émissions d'oxyde d'azote par l'activité électrique des nuages d'orages, pollution urbaine, photochimie très active, ...), des circulations dynamiques complexes et multi-échelles (convection, lignes de grains, convergence intertropicale, cellules de Hadley et Walker, ...), une forte saisonnalité et des variations inter-annuelles très marquées des sources. A l'échelle globale, le continent africain est soupçonné de contribuer à l'anomalie de la distribution de l'ozone au dessus de l'Océan Atlantique tropical sud (Thompson et al., 1996, 2000) sans que cette contribution soit aujourd'hui proprement quantifiée, ni que les processus dynamiques associés soient identifiés. Le travail de thèse portera sur l'étude des processus de transport et de transformation chimique des précurseurs de l'ozone de grande échelle. Cette étude fait suite au sujet de stage proposé en M2 qui avait pour objectif d'analyser les résultats d'un modèle bi-dimensionnel simulant la redistribution et la transformation photo-chimique des précurseurs de l'ozone troposphérique dans le système atmosphérique composé de l'ITCZ (zone Intertropicale de Convergence) et des cellules de Hadley sur l'Afrique de l'Ouest. On cherchera à mettre en évidence et à quantifier les contributions de plusieurs processus :

- échanges inter-hémisphériques à travers l'ITCZ pendant la propagation des lignes de grains,
- import de la pollution de l'Inde (Chatfield et al., 2004) par l'anticyclone d'altitude de la Mousson Asiatique (Rodwell et Hoskins, 1996, 2001),
- export du continent Africain par la circulation d'Est (African Easterly Jet et Tropical Easterly Jet),
- contributions respectives des cellules de Hadley et de Walker dans la constitution du gradient méridien d'ozone et de l'anomalie d'ozone sur l'Atlantique tropical sud (Thompson et al., 2003 ; Sauvage et al., 2006 ; Sauvage et al., 2007),
- contributions respectives des sources des précurseurs de l'ozone (notamment par les feux et par l'activité électrique nuageuse),
- variations inter-annuelles de la distribution globale et caractérisation de l'année AMMA.

### **SAUVAGE, Bastien**

#### **Analyse des distributions d'ozone et de monoxyde de carbone en Afrique équatoriale à partir des données du programme aéroporté MOZAIC**

Dans le contexte du programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), l'objectif du travail effectué est de mieux comprendre et quantifier les processus de surface agissant sur les flux de chaleur sensible et latente en région sahéenne. Une approche couplant modélisation des échanges d'énergie et d'eau à l'interface Sol-Végétation-Atmosphère et téledétection spatiale permet une analyse spatialisée à différentes échelles. Le modèle SEtHyS\_Savannah a été développé et adapté aux zones semi-arides. Dans un premier temps un étalonnage des paramètres et une validation locale du modèle ont été effectués grâce aux mesures acquises dans le cadre du programme AMMA sur deux parcelles (mil et jachère) au Niger. Puis des méthodes spécifiques de traitement des données de téledétection multi capteurs ont été développées et/ou appliquées pour les besoins de la mise en place et de la validation de la modélisation spatialisée à l'échelle du super-site AMMA/Niger. Ainsi les données SPOT haute résolution ont permis de déterminer une classification de l'occupation du sol et les cycles d'évolution de la végétation. Les données ASAR/ENVISAT et les produits issus des capteurs SEVIRI/MSG et MODIS ont été utilisés pour proposer une première validation de deux variables clefs des bilans énergétiques et hydriques que sont l'humidité de surface et la température de surface. Cette étude montre que la modélisation mise en place donne des résultats pertinents et offre de nombreuses perspectives quant à l'étude des interactions surface-atmosphère et des impacts de modifications climatiques ou anthropiques sur les bilans de surface.

#### Hydric budget characterization over sahelian landscape by a model/remote sensing coupled methodology

In the framework of AMMA program (African Monsoon Multidisciplinary Analysis), the aim of the present work is to provide some elements to better understand and quantify surface processes that impact on sensible and latent heat fluxes over sahelian landscapes. An approach using remote sensing and a SVAT model (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer) has been developed at different spatial scales. The SEtHyS\_Savannah model has been adapted to semi-arid environments. The first step has been to calibrate parameters then to validate the model locally using AMMA measurements acquired over a millet and a fallow fields in Niger. Then specific methodologies have been used and developed in order to apply and validate the model at the scale of the AMMA/Niger super-site. Thus SPOT high resolution data have been used to estimate the landuse and the vegetation characteristics over the area. ASAR/ENVISAT data, SEVIRI/MSG and MODIS products have been used to propose a first validation of surface soil moisture and land surface temperature which are two key variables of the hydric and energetic budgets. The model simulations show good agreement with the ground truth measurements and the remote sensing products over the AMMA/Niger super site . This thesis provides multiple outlooks for the study of land-atmosphere interactions and surface hydric budget changes due to climate changes and anthropic pressure.

#### SOW Bamol Ali

##### **Impact de la météorologie côtière sur l'upwelling sénégalais**

Les objectifs scientifiques généraux rentrent dans le cadre d'un projet d'étude du système d'upwelling Nord-Atlantique, et sont de simuler, tester, et comprendre les variations du système physique, variations intrinsèques et en réponse aux variations de climat, et l'impact que ces variations environnementales produisent sur l'écosystème et les ressources halieutiques. Plus précisément, il s'agira d'étudier la réponse de l'océan au forçage de petite échelle dans le système d'upwelling Sénégalais, c'est-à-dire : - estimer la qualité des divers produits de vent disponible (climatologie, modèle atmosphérique basse et haute résolution, diffusiométrie) à l'aide de mesures locales. - simuler à partir d'un modèle régional à très haute résolution (ROMS), de manière réaliste la circulation forcée par le vent (en commentant par un forçage climatologique). - valider les résultats du modèle en comparant les solutions avec les observations satellitaires et observations in-situ disponibles. - analyser les solutions du modèle en utilisant des outils diagnostiques; l'analyse lagrangienne permettra d'identifier et quantifier les processus de rétention/dispersion, sous forme de cartes de temps de résidence, trajectoires dominantes et transports; la décomposition en EOF permettra de corréler les différents régimes de rétention/dispersion aux différents modes de la circulation. - comparer la réponse du modèle océanique aux divers forçages et quantifier cette réponse à l'aide des outils d'analyse. Ces objectifs devraient aboutir à l'estimation de la sensibilité du modèle d'océan au forçage atmosphérique local et à la détermination des processus dynamiques qui contrôlent la circulation, l'enrichissement nutritif et la rétention/dispersion des particules organiques dans la région Sénégalaise. L'analyse statistique devrait fournir une base de travail pour la prévision des variabilités spatio-temporelles du système Sénégalais.

#### SOW Mamadou

##### **Quantification des flux verticaux d'aérosols terrigènes, résolus en taille au Sahel: mesures expérimentales, validation des modèles et climatologie**

L'objectif de cette thèse est l'étude des caractéristiques d'émission des aérosols terrigènes ou poussières minérales avec les conditions aérodynamiques en zone source. Ces particules de poussière sont produites par érosion mécanique des sols sous l'action du vent dans les environnements désertiques et semi-désertiques. Ils sont un vecteur important de nutriments (N, P, Fer..) entre les écosystèmes terrestres et marins et influencent le bilan climatique global de par leur aptitude à diffuser et/ou absorber les rayonnements solaires et telluriques lorsqu'ils sont en suspension dans l'atmosphère.

Ce travail s'est déroulé en deux étapes avec dans un premier temps des mesures expérimentales en conditions naturelles dans un champ de mil au Niger lors de deux campagnes du programme de l'Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA) en été 2006 et 2007. Dans un second temps ces mesures ont été confrontées au modèle de production de poussière minérale le DPM (Dust Production Model) développé au LISA à partir de considérations théoriques et d'études en soufflerie. Durant les deux campagnes de mesures, trois événements érosifs dont deux modérés de type

'mousson' et un très énergique de type système convectif, contraints au maximum ont pu être étudiés de manière détaillée. Les mesures expérimentales confirment d'une part que le sandblasting est bien le moteur de la génération des aérosols terrigènes. Et, d'autre part comme cela avait été montré par les études en soufflerie, les flux d'émission d'aérosols terrigènes sont enrichis en particules de plus en plus fines lorsque la contrainte exercée par le vent au niveau du sol augmente. Nos résultats expérimentaux ont par la suite été comparés aux prédictions du DPM qui reproduit d'une manière plutôt satisfaisante les flux totaux en masse à condition de réduire les énergies de cohésions, déduites des mesures en soufflerie, et liant les particules fines entre elles. En revanche, lorsqu'on regarde les flux résolu en tailles, le modèle a tendance à surestimer les populations de particules les plus grossières. Ceci a nécessité de développer une nouvelle paramétrisation des flux d'émission avec les conditions aérodynamiques. Cette dernière a été testée avec satisfaction sur un événement d'érosion indépendant de ceux utilisés pour établir la paramétrisation.

### **SULTAN Benjamin**

#### **Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles.**

A partir de l'analyse des observations pluviométriques de l'IRD et des réanalyses atmosphériques du NCEP /NCAR sur la période 1968-1990, cette thèse aborde une caractérisation d'événements qui structurent et modulent le cycle saisonnier de la mousson en Afrique de l'Ouest. La mise en place de la mousson est étudiée à partir de la dynamique du déplacement méridien saisonnier de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Il est montré que cette dynamique est caractérisée par une transition rapide entre une première position d'équilibre à / en mai et en juin, et une deuxième latitude d'équilibre à / en juillet et en août. Une méthode basée sur des indices pluviométriques régionaux est proposée pour détecter ce «saut» de la ZCIT pour chaque année de la période 1968-1990. La circulation atmosphérique associée à la mise en place de la mousson est décrite au moyen d'analyses composites centrées sur cette date de «saut». Elle met en évidence une amplification des composantes méridiennes et zonales de la dynamique des basses pressions sahariennes. Dans une deuxième partie, on s'attache à décrire les fluctuations intra-saisonnières de la convection en Afrique de l'Ouest. Il est montré qu'elles s'expriment dans deux bandes de fréquences distinctes entre 10 et 25 jours, et entre 30 et 40 jours. Une analyse composite basée sur des indices pluviométriques régionaux sur le Sahel met en évidence que le signal le plus fort se traduit par des phases de renforcement et d'affaiblissement de la mousson appartenant à un signal quasi-périodique à 15 jours. Cette modulation de la convection est cohérente avec la dynamique atmosphérique dans les basses couches qui montre une propagation vers l'Ouest de larges circulations cycloniques et anticycloniques sur le Sahel s'associant avec des anomalies d'advection d'humidité à l'échelle intra-saisonnière. Ces résultats basés sur la période 1968-1990 sont validés et illustrés à l'échelle d'une année individuelle à travers une étude de cas sur l'année 1998. L'imagerie infrarouge de Meteosat-7 nous permet de décrire la mise en place de la mousson et les modulations intra-saisonnières de la convection à l'échelle des systèmes convectifs qui forment la convection profonde. Les applications agronomiques de l'étude du «saut» de la ZCIT et de la variabilité intra-saisonnière de la mousson sont abordées à partir d'expériences de sensibilité sur le modèle SARRA-H du CIRAD qui simule le rendement potentiel sous la contrainte hydrique. Il est montré que la prise en compte de la mise en place de la mousson pour le choix de la date de semis améliore significativement le rendement par rapport à un choix basé sur des critères paysans. On met également en évidence un impact fort de la variabilité intra-saisonnière sur le rendement à l'échelle locale pour des séquences sèches survenant pendant les phases de floraison et de remplissage des grains de la culture.

By using daily gridded rainfall data and NCEP/NCAR reanalyses over the period 1968-1990, we have documented two main aspects of the West African monsoon dynamics : the onset of the summer monsoon and the intraseasonal modulation of convection. It is shown that the onset stage of the summer monsoon over West Africa is linked to an abrupt latitudinal shift in late June of the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) from a quasi-stationary location at in May-June to a second quasi-stationary latitude at / in July-August. The atmospheric circulation associated with the onset of the summer monsoon is investigated through a composite analysis based on the shift dates over the 1968-1990 period. It is shown a close relationship between the abrupt shift of the ITCZ and the heat low dynamics. In the second part of this study, we show the evidence of large and coherent fluctuations in the rainfall and wind fields in two different spectral windows : between 10 and 25 days, and between 30 and 40 days. A composite analysis based on a filtered regional rainfall index suggests the existence of enhanced and weakened monsoon phases belonging to a quasi-periodic signal of about 15 days. These wet and dry sequences are characterized by a westward propagation of large cyclonic and anticyclonic anomalies over the Sahel consistent with a modulation of moisture advection over West Africa.

Through a case study of the year 1998, these results are extended to the mesoscale by using cluster analysis on Meteosat-7 infrared imagery to point out the Mesoscale Convective System (MCS) characteristics during the onset stage of the monsoon and the intra-seasonal modulations of convection. By using a crop model SARRA-H (CIRAD), we study the agricultural impacts of these aspects of the West African monsoon dynamics. It is shown that our definition of the onset of summer monsoon can improve the potential yield through a better choice of the sowing date. It is also shown a strong impact of intra-seasonal dry sequences on the potential yield when these dry sequences appear during the flowering and the grain ripening phases of the crop.

### **TRZASKA, Sylwia**

#### **Global SST impacts on the tropical atmosphere in the peri-atlantic region in the ARPEGE-Climat AGCM. Application to the climate variability in the Western and Southern Africa**

**VARADO, Noémie**

**Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée. Application au bassin versant de la Donga, au Bénin**

Dans le cadre du développement du modèle hydrologique distribué et à base physique POWER (Planner Oriented evaluative Watershed model for Environmental and socio-economic Responses), le test et la validation des différents modules doivent être menés avant de les agréger ensemble dans leur structure commune. Le travail de thèse s'inscrit dans cette démarche.

La version préliminaire de POWER, nommée REW\_v4.0 (Reggiani et al. 1998, 1999), a été mise en place pour une modélisation du bassin versant de la Donga, située au Bénin dans le cadre du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine). Cette modélisation permet de représenter de façon spatialisée l'ensemble des processus dominants du cycle de l'eau. L'analyse des données disponibles sur le bassin versant permet d'évaluer dans ce type de modélisation, la représentation des débits intermédiaires, la représentation d'autres grandeurs telles que l'évolution de la hauteur de nappe ou la saturation du sol, puis l'apport de la variabilité spatiale de la pluie par rapport à une pluie uniforme sur le bassin ou l'apport de la variabilité spatiale des propriétés sols. Dans le but d'améliorer la représentation des processus au sein du modèle POWER, un module de transferts verticaux dans la zone non saturée a été développé et validé. Ce module permet la résolution rapide de l'équation de Richards (1931) 1D selon la solution numérique de Ross (2003) dans laquelle ont été inclus les phénomènes d'interception, de transpiration et d'extraction racinaire. L'application du modèle POWER comprenant le module de zone non saturée ainsi développé devrait permettre de répondre à un certain nombre de questions soulevées dans la mise en œuvre du modèle REW\_v4.0.

In the aim of the development of the distributed, physically-based hydrological model POWER (Planner Oriented evaluative Watershed model for Environmental and socio-economic Responses), test and validation of the various modules should be conducted separately before incorporating them into the modelling structure.

The preliminary version of POWER, called REW\_V4.0 (Reggiani et al. 1998, 1999), was applied to the Donga catchment, Benin, in the context of the international program AMMA (Multidisciplinary Analysis of the African Monsoon). Data analysis allow to evaluate, in this particular modelling system, the representation of intermediate discharge, the evolution of the groundwater level, the evolution of the degree of soil saturation and then the improvement of the simulation when taking into account the spatial variability of rainfalls or soil properties. In order to improve the process representation into the POWER modelling system, a vadose zone module was developed and validated to represent more physically the vertical water transfers in the unsaturated zone. This module allows a quick resolution of the 1D Richards' equation (1931). This module is based on the numerical solution proposed by Ross (2003). Interception, transpiration and roots extraction phenomenon were added to the numerical solution in order to take into account soil surface covered by vegetation. The POWER application, with the vadose zone module developed would allow us to answer some questions raised by the REW\_v4.0 model.

**VISCHEL, Théo**

**Impact de la variabilité pluviométrique de méso-échelle sur la réponse des systèmes hydrologiques sahéliens : Modélisation, simulation et désagrégation**

Comprendre comment la variabilité du climat actuel interagit avec les modifications de l'hydrologie au Sahel est une nécessité pour anticiper ce que pourraient être les conséquences des changements climatiques futurs dans cette région, et définir d'éventuelles stratégies d'adaptation. Pour ce faire on doit disposer de modèles intégrés, permettant de relier les scénarios climatiques grande échelle aux bilans d'eau localisés sur de petits bassins ou des terroirs agricoles. Cette thèse traite des questions d'échelle qui sont centrales lorsque l'on cherche à forcer des modèles hydrologiques par des sorties de modèles climatiques. Les jeux de données utilisés permettent de documenter le continuum des résolutions spatiale et temporelle qui nous intéressent ici et on traite des deux grands types de systèmes hydrologiques qui caractérisent cette région, à savoir les petits systèmes endoréiques de rive gauche du eueve Niger et les systèmes exoréiques de plus grande taille qui constituent ses auents de rive droite.

La thèse est construite autour de trois grands axes. Le premier est une synthèse et une actualisation des travaux de modélisation de la variabilité pluviométrique de méso-échelle, telle que documentée à partir des données haute résolution de l'observatoire AMMA-CATCH Niger. Dans un deuxième temps, on cherche à comprendre comment la forte variabilité spatiale du forçage pluviométrique inue sur la réponse des systèmes hydrologiques et quelles sont les erreurs générées lorsque l'on utilise, en entrée des modèles hydrologiques, des données de forçage qui sous-échantillonnent cette variabilité. Enn, à partir des résultats précédents et des outils de modélisation développés pour les obtenir, on étudie comment les modifications de régime pluviométrique se traduisent sur le ruissellement de surface sur la base : (i) des modifications de régime observées au cours de la sécheresse 1970-1990, (ii) de diérents scénarios de modification du régime pluviométrique, tels que l'on peut les concevoir à partir de nos connaissances actuelles sur le changement climatique.

It is of primary importance to understand how the climate variability inuences the response of the Sahelian hydrological systems in order to anticipate the hydrological impact of future climate changes and to dene suitable strategies. Such studies require linking the large scale climate scenarios to the very localized water budget of small catchments. This work deals with such scale issues which are essential when outputs of climate models are used to force hydrological models. The data used here characterize the continuum of space-time scales displayed by the two types of hydrological systems of the Sahelian region : the small endoreic systems at the left bank of the Niger River and the larger right bank tributary exoreic systems.

Three main axes are investigated in the work. First we synthesize and update previous works about the description and the modelling of mesoscale rainfall variability, through the ne scale data from the AMMA-CATCH Niger observatory.

Then the impact of the spatial and temporal rainfall variability on runo is quantied by assessing the error committed when input hydrological model data used sub-sample this rainfall variability. Finally, regarding these results and by using the developed modelling tools, rainfall regime changes and their impact on runo are investigated through (i) the characterization of changes that have occurred during the particularly dry 1970-1989 period, (ii) hypothetic scenarios based on the actual knowledge of the potential climate changes that could occur in the future.

**YAKA, Pascal**

### **Rôles des facteurs climatiques et environnementaux dans l'apparition et la prédiction des épidémies de méningite cérébro-spinale en zone sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest**

Les variations de certains paramètres climatiques et la dégradation des écosystèmes, peuvent affecter la santé humaine, en influant sur la transmission, la répartition spatio-temporelle et l'ampleur des maladies infectieuses. C'est notamment le cas de la méningite cérébro-spinale (MCS) dont les épidémies surviennent particulièrement dans la zone sahélo-soudanienne d'Afrique de l'Ouest en des conditions climatiques assez précises. Malgré les normes, les stratégies de prévention et de contrôle des épidémies de MCS de l'OMS et des Etats, les pays de l'Afrique Sahélo-soudanienne sont fréquemment affectés par de désastreuses épidémies.

Dans ce travail, nous avons cherché à analyser les relations entre facteurs climatiques, la dégradation des écosystèmes et la MCS. Ceci pour une meilleure compréhension de la dynamique des épidémies de MCS et de leur prédiction. Nous avons montré que les épidémies de méningite cérébro-spinale, tant au niveau régional, national que local, surviennent en une période particulière de l'année, notamment durant les mois de janvier à mai, marqués par un temps sec, chaud et poussiéreux. Nous avons identifié des variables climatiques in situ et satellitaires, dont la variabilité saisonnière est prépondérante dans la transmission saisonnière de la MCS. C'est notamment la hausse saisonnière des températures, de l'évaporation, la vitesse du vent, des lithométéores et la baisse saisonnière de l'humidité de l'air, de l'Index de Différence Normalisée de la Végétation.

Des analyses statistiques ont permis de mesurer les liens entre la variation saisonnière de certains paramètres climatiques et la recrudescence saisonnière des cas de méningite afin d'élaborer des modèles de prédiction d'occurrence saisonnière des épidémies de MCS à différentes échelles spatio-temporelles. Une analyse spatio-temporelle de la dynamique de la transmission de MCS et de la translation des épidémies met en évidence une prépondérance des facteurs socio-économiques, culturels et démographiques. Les résultats de ces analyses pourraient aider à l'élaboration d'un système intégré de veille et d'alerte précoce pour un meilleur contrôle des épidémies de méningite cérébro-spinale en zone sahélo-soudanienne d'Afrique de l'Ouest, notamment au Niger et au Burkina Faso.

The variations of certain climatic parameters and the degradation of ecosystems, can affect human's health, by influencing the transmission, the spatiotemporal repartition and the intensity of infectious diseases. It is notably the case of meningococcal meningitis (MCM) whom the epidemics occur particularly in Sahelo-Soudanian climatic area of Western Africa in quite particular climatic conditions. In spite of standards, strategies of prevention and control of MCS epidemic from WHO and States, African Sahelo-Soudanian countries remain frequently afflicted by disastrous epidemics. In this study, we tried to analyse the relationships between climatic factors, ecosystems degradation and MCM. This, for a better understanding of MCM epidemic dynamic and their prediction. We have shown that MCM epidemics, whether at the regional, national or local level, occur in a specific period of the year, notably during the months of January to May that are characterised by a dry, hot and sandy weather.

We have identified both in situ and satellitaires climatic variables whom seasonal variability is dominating in MCM seasonal transmission. It is particularly the seasonal rise of temperature, evaporation, wind speed, lithometeors and the seasonal decrease of the level of humidity, Normalised Difference Vegetation Index. Statistical analysis have measured the links between seasonal variation of certain climatic parameters and seasonal recrudescence of MCM cases in order to elaborate seasonal occurrence of MCM epidemics prediction models on different spatiotemporal scales. A spatiotemporal analysis of the dynamic of MCM transmission and the translation of MCM epidemics highlights a dominance of socio-economic, cultural and demographical factors. The results of these analyses could help to elaborate an integrated system of survey and early warning for a better MCM epidemic control, in Sahelo-Soudanian, Western Africa area, particularly in both Niger and Burkina Faso.

**ZAHIRI, Eric-Pascal**

### **Cycle de l'eau des systèmes convectifs Ouest Africains: préparation à l'exploitation des mesures radar Xport dans AMMA par simulation**

Le travail de thèse a été planifié en deux phases. La première phase avait pour thème la simulation de lignes de grains ouest africaines à partir du modèle atmosphérique mesoNH et l'analyse critique des résultats. Ce travail s'est déroulé au CNRM, à Toulouse, dans l'équipe de directeur de thèse JP Lafore. La seconde phase, en cours, a pour objet l'utilisation des sorties mesoNH (réalisées dans la première partie) en entrée d'un simulateur radar afin d'évaluer l'apport quantitatif de la mesure radar pour l'estimation des pluies au sol et les profils verticaux de précipitations.

Based on a French initiative, AMMA was developed by an international scientific group and is currently funded by a large number of agencies, especially from France, the UK, the USA and Africa. It has been the beneficiary of a major financial contribution from the European Community's Sixth Framework Research Programme.

More information on the scientific coordination and funding is available on the AMMA International web-site: <http://www.amma-international.org>

AMMA  
Project Office Communication  
Contact: [amma.com@amma-int.org](mailto:amma.com@amma-int.org)  
Tél. : +33 (0)5 61 07 98 74  
[www.amma-international.org](http://www.amma-international.org)



#### Institutions fondatrices

#### Centres africains

#### Institutions soutenant AMMA

#### Avec la participation

Basé sur une initiative française, AMMA a été construit par un groupe scientifique international et est actuellement financé par un grand nombre d'agences, en particulier de France, du Royaume-Uni, des États-Unis d'Amérique et d'Afrique. Il a été le bénéficiaire d'une contribution majeure du sixième Programme-Cadre de Recherche et Développement de la Communauté Européenne.



**Algérie** Office National de la Météorologie • **Belgique** Université Catholique de Louvain • **Bénin** Centre National de Télé-détection et de Surveillance du Couvert Forestier, Direction Générale de l'Eau (DG-Eau), Direction de la Météorologie Nationale, Centre de Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin (CRHOB), Université d'Abomey-Calavi • **Burkina Faso** Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Direction Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie/Direction de la Météorologie, Direction Générale de l'Hydraulique, Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Université de Ouagadougou • **Cap Vert** Instituto Nacional de Gestao dos Recursos Hidricos, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofisica, Instituto Superior de Engenharia e Ciências do Mar • **Cameroun** Centre de Recherches Hydrologiques, Université de Dschang, Université de Yaoundé I • **Tchad** Direction de la Météorologie Nationale, Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie, Ministère de l'Environnement et de l'Eau • **Congo** Université du Congo • **Danemark** University of Copenhagen • **Finlande** Vaisala OY • **France** Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, École Normale Supérieure, École Polytechnique, Institut National Polytechnique de Grenoble, MEDIAS-France, Muséum National d'Histoire naturelle, Université de Bourgogne, Université de Grenoble, Université de Montpellier 2, Université de Versailles Saint-Quentin, Université des Sciences et Technologies de Lille, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie, Université Paris VII - Denis Diderot, Université Paris XII - Val de Marne, Université Paul Sabatier - Toulouse III • **Gambie** Global change Research Unit, Department of Water Resources • **Allemagne** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Forschungszentrum Karlsruhe, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, Ludwig-Maximilians-Universität München, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Universität Bremen, Universität Karlsruhe, Universität zu Köln • **Ghana** Ghana Meteorological Agency, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, University of Ghana - Legon, Hydrological Department • **Guinée Bissau** Serviço Meteorológico Nacional • **Guinée Conakry** Direction Nationale de la Météorologie de Guinée, Direction Nationale de l'Hydrologie • **Italie** Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ente per Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Università degli Studi di Perugia • **Côte d'Ivoire** Direction de l'Hydrologie, Direction de la Météorologie Nationale, Institut de Géographie Tropicale, Université de Cocody - Abidjan, Université de Abobo-Adjamé (Centre de Recherche en Ecologie / Station d'Ecologie de Lamto), Centre de Recherches Océanologiques (CRO) - Abidjan • **Mali** Direction Nationale de la Météorologie, Direction Nationale de l'Hydraulique, École Nationale d'Ingénieurs, Institut d'Économie Rurale, Institut National de Recherche en Santé Publique, Institut Polytechnique Rural de Katiouogou, Secrétariat Technique Permanent, Université de Bamako • **Maroc** Direction de la Météorologie Nationale • **Pays-Bas** Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut • **Niger** Centre Régional d'Enseignement Spécialisé en Agriculture, Direction de l'Hydrologie, Direction de la Météorologie Nationale, Université Abdou Moumouni - Niamey • **Nigeria** Federal Ministry of Agriculture, Federal University of Technology, Akure, Nigerian Meteorological Agency, Nigerian Institute for Oceanography and Marine Research (NIDMR), Obafemi Awolowo University, University of Jos, University of Lagos • **Sénégal** Centre d'Études Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse, Centre de Suivi Écologique, Direction de l'Hydraulique, Direction de la Météorologie Nationale, École Supérieure Polytechnique, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Université Cheikh Anta Diop de Dakar • **Espagne** Universidad de Castilla La Mancha, Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad Complutense de Madrid • **Togo** Direction de la Météorologie Nationale, Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Énergie, Université de Lomé • **Royaume Uni** Centre for Ecology and Hydrology, Chancellor, Masters and Scholars of University of Cambridge, Cranfield University, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Imperial College, Lancaster University, Ocean Scientific International Ltd, University College, London, University of East Anglia, University of Leeds, University of Leicester, University of Liverpool, University of Manchester, University of Oxford, University of Reading, University of York • **États Unis d'Amérique** Brookhaven National Laboratory, California State University, Colorado State University, Columbia University, Florida State University, George Mason University, Howard University, Massachusetts Institute of Technology, National Center for Atmospheric Sciences, Naval Research Laboratory, SPEC incorporated, University at Albany, University Corporation for Atmospheric Research, University of Connecticut, University of Cornell, University of Maryland-Baltimore, University of Miami, University of North Dakota, University of Oklahoma, University of Utah, University of Virginia