



Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique

Bilan 2002-2005

AMMA-CATCH

Observation de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest
en interaction avec le cycle hydrologique et la dynamique de la végétation

Laboratoire porteur.

Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE), OSUG.
UMR 5564 (CNRS, INPG, IRD, UJF), BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9

Autres laboratoires directement participant.

Hydro Sciences Montpellier (HSM), UMR 5569 (CNRS, IRD, UM2).
Centre d'Études Spatiales de la Biosphère (CESBIO), UMR 5126 (CNES, CNRS, IRD, UPS).

Rapport établi par:

Thierry LEBEL, Directeur de Recherches IRD
LTHE, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, Thierry.Lebel@inpg.fr, Tél. : 04 76 82 52 85
Juin 2005- Décembre 2006: IRD, BP 11416, Niamey, Niger, lebel@ird.ne, (227)-75 31 15

Avec les contributions de:

Luc Descroix (LTHE), Sylvie Galle (LTHE), Laurent Kergoat (CESBIO), Josiane Séghieri (CESBIO), Luc Seguis (HSM).

Site web: <http://www.lthe.hmg.inpg.fr/catch/index.htm> ou <http://www.ore.fr/>

Résumé

Le système d'observation AMMA-CATCH vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la mousson Ouest-Africaine, en vue de mieux comprendre les interactions entre climat, végétation et cycle de l'eau dans cette région. Il est construit autour de 3 sites de méso-échelle qui échantillonnent le gradient climatique et le gradient de végétation associés, caractéristiques de l'Afrique de l'Ouest. Ces sites ont été mis sur pied de manière indépendante, des observations ayant été réalisées en continu depuis le milieu des années 1980 ou le début des années 1990. Le regroupement de ces systèmes d'observations fonctionnant jusque là de manière autonome a permis en 2001 de mettre en place un véritable observatoire à vocation régionale. Il a été labellisé ORE en 2002. La stratégie d'observation mise en œuvre est multi-échelle, tant dans l'espace - du petit système hydrologique de quelques km² jusqu'à l'ensemble de la sous-région - que dans le temps - la durée visée initialement est de 10 ans (2001-2010) avec des périodes plus courtes au cours desquelles des mesures renforcées seront mises en place. Les observations réalisées servent de base à des études diagnostiques sur les différents facteurs qui conditionnent la forte irrégularité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Elles fournissent aussi des éléments de validation pour les travaux de modélisation visant à mieux cerner les rôles respectifs du forçage océanique de grande échelle et des modifications régionales de la surface continentale dans la dynamique de la mousson. Enfin, elles alimentent des études d'impact sur les ressources en eau et la production agricole, prenant en compte tant la variabilité climatique stricto sensu que les facteurs d'origine anthropique.

L'ORE AMMA-CATCH constitue le noyau de la composante d'observation à long terme (2001-2010) du projet d'Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA).

NB : pour des raisons liées aux contraintes de volume imposées, les illustrations figurant dans ce rapport sont peu nombreuses. On se reportera au site WEB de l'ORE (<http://www.lthe.hmg.inpg.fr/catch/index.htm>) pour disposer d'illustrations plus nombreuses et plus détaillées sur les dispositifs d'observation de l'ORE et sur les résultats obtenus.

1. Problématique Scientifique

Le système d'observation AMMA-CATCH vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la Mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO). L'Afrique est au premier rang des régions concernées par la question de l'impact des fluctuations climatiques sur les ressources en eau. Plus des 2/3 du continent sont localisés entre les tropiques, et les grandes sécheresses qui ont frappé le Sahel en 1972-1973 et en 1984-1985 ont eu des conséquences dramatiques et durables pour les populations. Ces deux épisodes ont été la manifestation extrême d'une sécheresse ininterrompue qui a concerné toute l'Afrique de l'Ouest de la fin des années 60 au milieu des années 90, ce qui en fait le phénomène climatique de plus grande ampleur connu par notre planète au cours de ce siècle. On a assisté à compter du milieu des années 1990 à une déconnexion entre le signal pluviométrique sur la partie sud de la région (retour à des conditions pluviométriques proches de la moyenne des cinquante années précédentes) et celui enregistré sur le Sahel, qui est demeuré déficitaire, bien que moins fortement. La situation de disette très sévère sur une grande partie du Niger, l'Ouest du Tchad et l'Est du Mali en 2005, est une nouvelle illustration de l'impact désastreux des déficits pluviométriques pour les populations locales. A ce jour on ne dispose d'aucun schéma validé pour expliquer l'irrégularité de la mousson ouest-africaine, même si plusieurs théories, mettant l'accent sur les interactions entre l'atmosphère et les surfaces – océaniques (échelle globale) et/ou continentales (échelle régionale) – ont été proposées. Les importantes modifications environnementales qu'a connues la région depuis une cinquantaine d'années pourraient avoir modifié la dynamique de la mousson, mais les observations disponibles pour valider une telle hypothèse sont insuffisantes. D'une manière plus large il est nécessaire, pour comprendre la variabilité de la mousson africaine et son impact sur le cycle hydrologique, de disposer de données couvrant la large gamme d'échelles spatio-temporelles auxquelles se manifestent la variabilité atmosphérique, la variabilité hydrologique et la variabilité des couverts végétaux. En effet, la connaissance du total annuel obtenu par les réseaux opérationnels est loin de suffire à rendre compte de la variabilité pluviométrique locale et de son impact sur le cycle hydrologique et les cultures. En permettant de documenter plus finement ces variabilités, très liées à l'organisation de la convection, le dispositif de l'ORE fournit une base pour étudier les problématiques d'échelle au sein d'un système climatique régionale tel que la MAO.

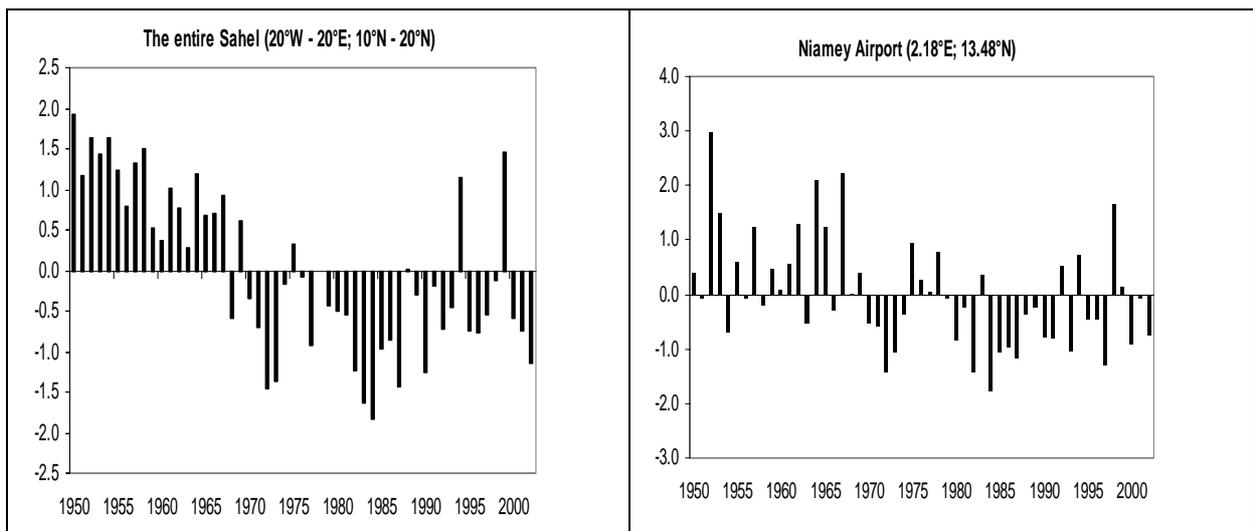
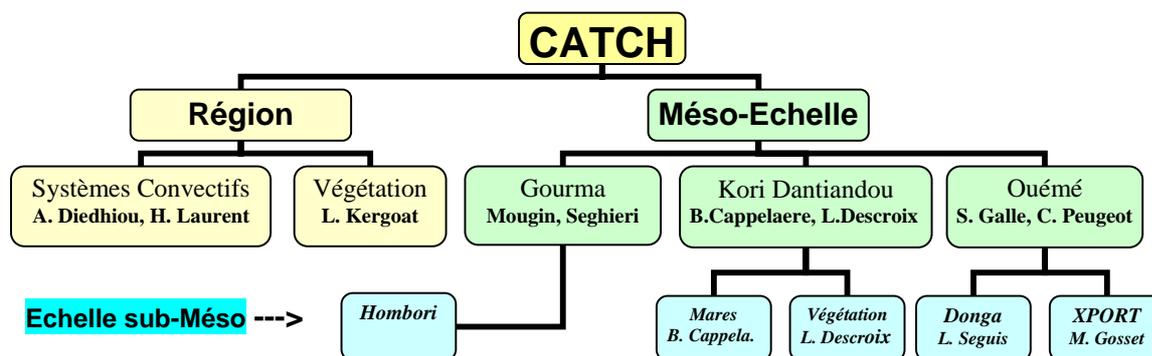


Figure 1. Indice pluviométrique calculé sur l'ensemble du Sahel et sur la seule station de Niamey. L'indice régional montre la sécheresse prononcée et continue de la période 1970-1997, qui se prolonge aujourd'hui, bien qu'un peu atténuée; l'indice local illustre les écarts significatifs entre la pluie locale et la pluie régionale (voir par exemple les inversions de signal sur les années 1998 et 1999).

2. Stratégie d'observation et déploiement instrumental

Le climat de l'Afrique de l'Ouest, et le cycle hydrologique qui lui est associé, sont pilotés par un régime de mousson. L'ensemble constitue un système multi-échelles conditionné par des facteurs : i) régionaux (gradients méridiens d'énergie liés au contraste zonal entre l'océan et le continent et aux gradients de végétation sur le continent), ii) synoptiques (ondes du Jet d'Est Africain), iii) de méso-échelle (systèmes convectifs), iv) localisés (compartiments hydrologiques très cloisonnés sur de petites surfaces, surtout au Sahel). Pour comprendre les liens entre la variabilité de la mousson et la variabilité du cycle hydrologique associé il est donc nécessaire de concevoir un système d'observations qui couvre le continuum d'échelles concernées. Le système d'observation CATCH est ainsi organisé autour de trois grandes échelles (voir cartes des Figures 2 à 4 ci-après) : i) l'échelle régionale (Figure 2) pertinente pour observer le cycle saisonnier de la mousson et les grands changements de végétation intervenus au cours de ces cinquante dernières années ; ii) la méso-échelle, avec trois composantes – deux sur le Sahel (zone pastorale, le Gourma malien et zone agricole, la région de Niamey) et une en climat soudanien (Haute Vallée de l'Ouémé) – pertinente pour l'étude du cycle de vie des systèmes convectifs, la quantification de leur variabilité interne et de l'impact de ces deux éléments sur le cycle hydrologique ; iii) l'échelle sub-méso des systèmes hydrologiques couvrant de quelques km² en milieu sahélien à quelques dizaines et centaines de km² en milieu soudanien, sur lesquels on cherche à fermer le bilan hydrologique et à mieux comprendre les interactions entre cycle de l'eau et cycle de la végétation.

L'agencement des différents sous-projets constitutifs de AMMA-CATCH est donné ci-dessous.



Les Figures 3 et 4 illustrent, sur le cas du site de l'Ouémé, les imbrications de réseaux lorsque l'on passe du site méso-échelle aux super-sites et aux sites intensifs locaux. Une imbrication similaire existe sur le site de Niamey. L'existence des trois sites de méso-échelle permet de comparer la variabilité hydrologique pour différents écosystèmes et régimes pluviométriques. Les questions d'échelle, centrales dans la thématique de l'ORE, sont traitées par intégration des mesures spécifiques, des mesures opérationnelles, des données de télédétection et par la modélisation (voir en liste biblio de la section 5, Ali et al., 2005 et Jarlan et al., 2005, pour deux exemples d'approche intégratrice dans les domaines respectivement de la pluie et de la végétation).

La stratégie d'observation est également multi-temporelle, en ce sens que les capteurs mis en œuvre permettent pour la plupart un échantillonnage temporel fin (quelques minutes dans certains cas) et qu'ils sont mis en œuvre sur une dizaine d'année. On pourra donc étudier les différentes échelles de variabilité temporelle: cycle diurne, cycle saisonnier, variabilités intra-saisonnière et interannuelle.

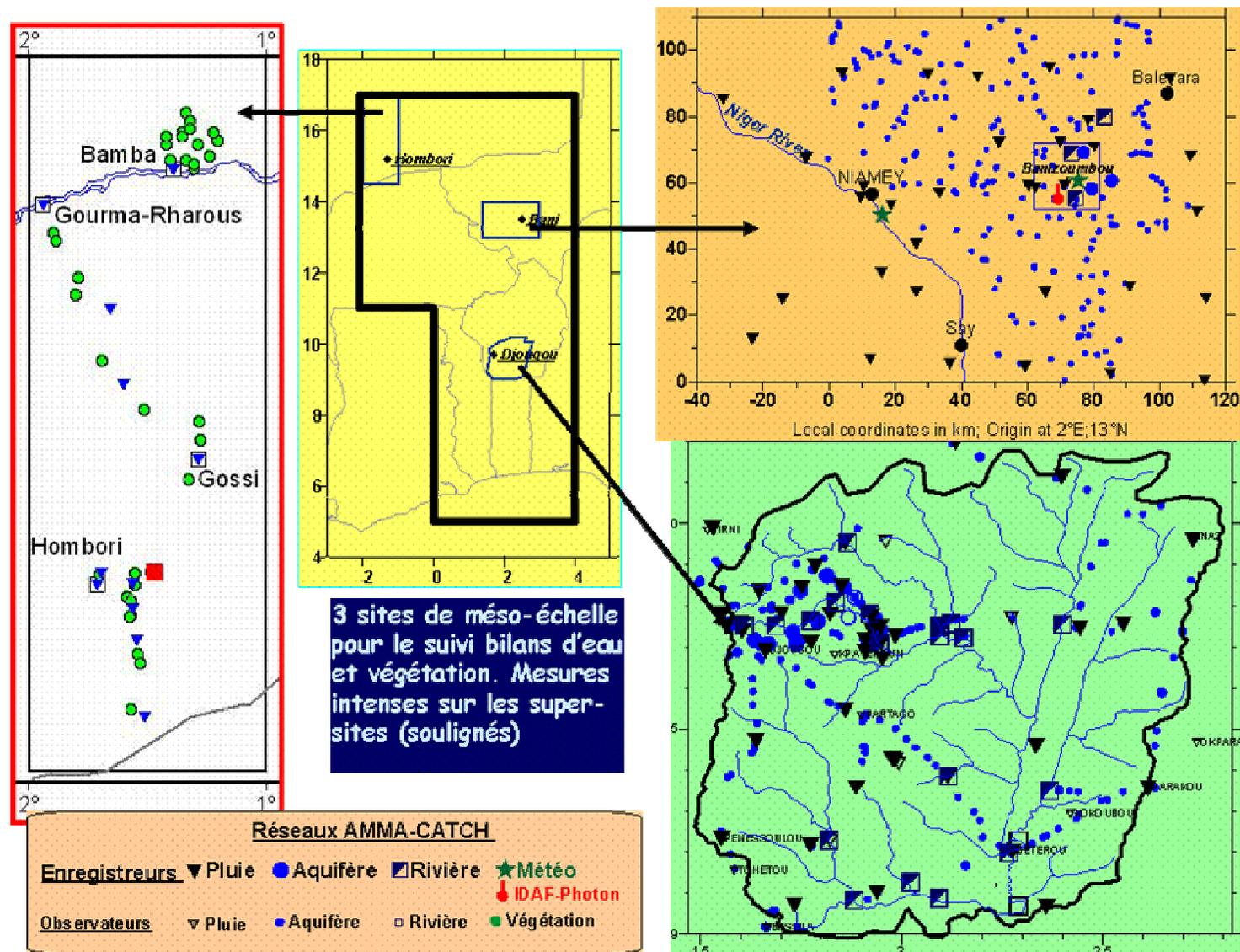


Figure 2. Localisation de la fenêtre CATCH en Afrique de l'Ouest et réseau pluviométrique journalier de la base BADOPLU.

A1.3 Meso-scale Ouémé site LOP/EOP equipment

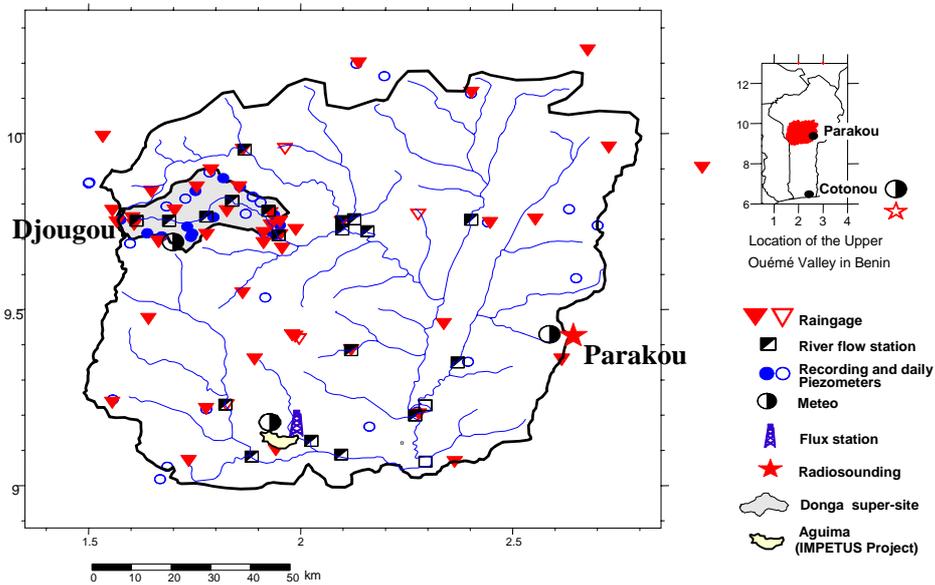


Figure 3. Détail de l'instrumentation sur le Haut Bassin de l'Ouémé.

A1.2 Donga super-site LOP/EOP equipment

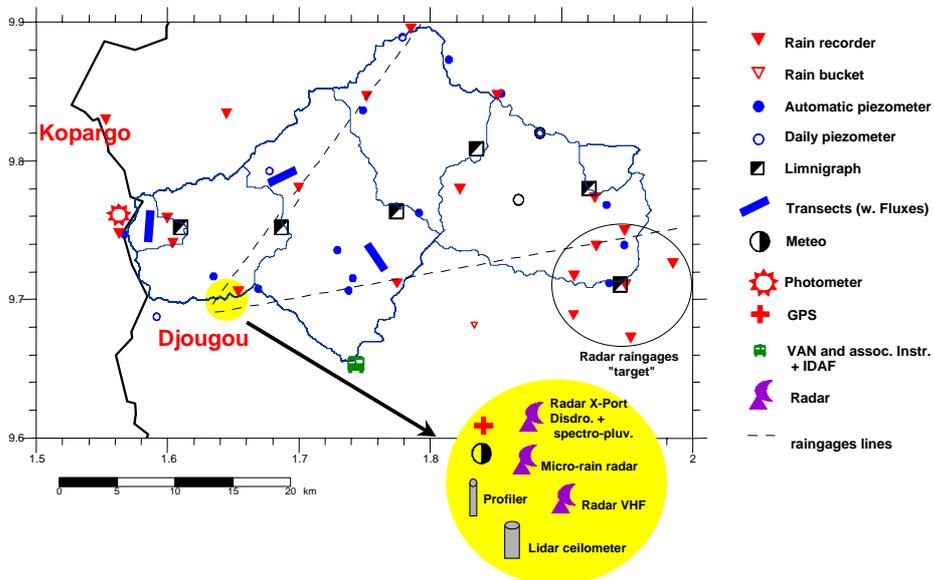


Figure 4. Le bassin de la Donga (600 km²). Les instruments apparaissant dans le cercle jaune sont des instruments EOP-AMMA qui n'ont pas vocation à rester au delà de 2007.

Variables mesurées

Trois familles de variables sont mesurées: 1) les différentes composantes du cycle de l'eau continental (pluie, ruissellement, aquifères, humidité du sol); 2) les variables caractérisant la dynamique saisonnière de la végétation (PAR, LAI, ...) acquises en combinant des mesures locales au sol et des mesures de télédétection; 3) les variables du forçage climatique obtenues par mesures sur quelques stations météorologiques spécifiques, accès aux mesures des stations synoptiques des réseaux nationaux et mesures satellitaires pour certains paramètres tels que les composantes du bilan radiatif. Une action spécifique a démarré dans le cadre de l'EOP AMMA (2005-2007) pour disposer également de mesures de flux turbulents (chaleur sensible et chaleur latente) sur quelques couverts végétaux caractéristiques de chacun des trois sites de méso-échelle. Dans la mesure du possible il est prévu de laisser ces stations en place après 2007, du moins pour certaines d'entre elles.

Déploiement instrumental

Les tableaux 1 et 2 ci-après fournissent la liste complète des instruments mis en œuvre sur les sites de l'ORE. Les instruments *LOP* sont les instruments spécifiquement ORE installés en 2001 et 2002 (certains préexistaient), prévus pour rester jusqu'en 2010. Les instruments *EOP* sont des instruments graduellement mis en place en 2004 et 2005 sur des financements AMMA-API et AMMA-UE, dont certains ont vocation à rester en place jusqu'en 2010, c'est à dire à être intégrés au dispositif central de l'ORE. Tous les détails sur ces différents instruments peuvent être trouvés en annexe, sous la forme d'une fiche par instrument récapitulant sa stratégie de mise en œuvre, l'équipe associée et les financements. Il faut préciser ce que l'on entend par instrument : c'est un capteur ou un ensemble de capteurs qui fournissent des mesures avec un échantillonnage homogène sur une ou plusieurs variables géophysiques: ce peut donc être un réseau de mesures ponctuelles (niveaux de nappes par exemple) ou un capteur isolé tel qu'un radar.

Dans le descriptif rapide donné ci-après, les codes entre parenthèses renvoient à ceux de la liste des instruments figurant dans les Tableaux 1 et 2 (page 9), ainsi qu'aux fiches-instruments fournies en annexe.

- Echelle régionale (à cette échelle la télédétection est la principale source de données).

Systèmes convectifs.

Le cycle de vie des systèmes convectifs est étudié à partir de l'imagerie Météosat (MSG depuis 2004). En association avec le Laboratoire de Météorologie Dynamique, un groupe Precipamma a été mis sur pied pour produire des estimations de pluie pentadaires/décadaires sur tout le Sahel et journalières sur les sites de méso-échelle en combinant données MSG et micro-ondes SSMI/TRMM avec données sols (données de l'ORE et données des réseaux opérationnelles auxquelles on accède par le biais de notre partenariat avec le centre régional AGRHYMET, voir infra section 8).

Végétation.

La combinaison des images satellites (AVHRR, VGT, MODIS, MSG2 ; diffusiomètres ERS, Quikscat et Nscat) et de sites de validation sol (certains déjà existant comme au Gourma malien, d'autres ont été définis en juin 2005 en collaboration avec F. Baret (INRA) et M. Zribi (CETP) sur le site de l'Ouémé) permet un suivi du cycle saisonnier de la végétation et de son rôle dans le bilan hydrique régional. La variabilité spatiale et surtout temporelle des couverts végétaux a pu être caractérisée par les données des satellites défilants : AVHRR, VGT, pour l'optique, diffusiomètre ERS pour les micro-ondes. Les questions qui se posent concernent l'identification des modes de variabilité, les diagnostics des variables explicatives, comme l'intensité du stress hydrique, et l'étude des corrélations avec par exemple les SST, mais aussi effet décalés dans le temps (effets mémoires)

Les approches à ces échelles reposent sur la validation des produits satellitaires. Des sites de validation ont été mis en place au Gourma, au Niger et sur l'Ouémé (CESBIO, CETP, collaboration INRA). Pour comprendre les mécanismes en jeu, des approches d'assimilation de données satellitaires dans le modèle STEP de croissance des herbacées Sahéliennes ont été développées.

- Méso-échelle

Gourma (LF1, LF16, EF14)

L'ORE a permis d'installer et de maintenir au Gourma un réseau de 8 pluviographes (LF16). Ces instruments servent à documenter le champ de pluie avec une fine résolution temporelle (utiles pour avoir l'intensité des pluies et pour la validation des produits précipitation satellitaires) et à combler les lacunes du réseau national Malien. L'ORE a également permis d'intensifier le suivi à long terme des écosystèmes et systèmes pastoraux Sahélien, qui couvre maintenant une période de 21 ans et compte 40 sites, chacun à l'échelle kilométrique. Un suivi de la productivité et de la biomasse herbacée est fait tous les ans sur tous les sites, avec une plus forte résolution temporelle sur les sites de dunes sableuses, les plus productifs. La densité de ligneux est estimée tous les 5 an. Les sites sont homogènes sur 3x3 km², et sont échantillonnés par deux transects perpendiculaires de 1 km, suivant une technique de tirage aléatoire stratifié.

Un tel réseau est indispensable pour diagnostiquer l'évolution du Sahel, l'impact des grandes sécheresses (ex celles de 83-84) sur la végétation (production des herbacées, changements de composition floristique et de recouvrement des ligneux, dynamique des ligneux, pourcentage de sol nu). Cette base de données permet maintenant de commencer à répondre aux questions sur le caractère réversible ou non des effets des grandes sécheresses Sahéliennes. De là découle une meilleure compréhension de l'évolution de plusieurs variables clés du système : accroissement du ruissellement, évolution de l'albedo de surface, cycle de l'eau et capacité de recyclage, soulèvement des poussières, érosion etc.

Degré carré de Niamey (LF17, LF24).

Les mesures pluviographiques (LF17, réseau de base de 30 pluviographes en fonctionnement depuis 1990) et de niveaux des nappes (LF24) sont réalisées à l'aide d'enregistreurs automatiques autonomes. Ces appareils sont visités tous les 4 à 6 semaines environ pour la collecte des données enregistrées, et la maintenance technique. Le suivi de la nappe phréatique, aux points où sa dynamique saisonnière est lente, est réalisé par mesures manuelles du niveau d'eau dans les puits correspondants. Ces tournées sont réalisées par deux techniciens nigériens sur contrat local, financés par l'IRD. Une nouvelle carte de végétation est en cours de réalisation (collaboration avec le CETP pour l'utilisation des données LANSAT et MODIS), qui permettra d'actualiser celle réalisée en 1992 et de quantifier les évolutions des couverts.

Ouémé (LF18, LF21, LF23, EF25).

Un réseau de base de 30 pluviographes (LF18) fonctionne depuis 2001, permettant de bien caractériser la dynamique des systèmes convectifs sur le bassin et d'estimer les lames d'eau associées. Associé à ce réseau on dispose d'un ensemble de 14 limnigraphes (LF21) qui permettent un suivi des écoulements sur l'ensemble du bassin. Les stations ont été tarées à l'aide de jaugeages au moulinet et par ADCP (LF23). Le site béninois du haut bassin de l'Ouémé est le moins bien connu des trois sites proposés. La compréhension du rôle des eaux souterraines est fondamentale pour la caractérisation du bilan hydrologique sur l'Ouémé. Les apports relatifs des eaux de surface et des eaux souterraines pour des bassins de taille croissante et situés sur des substrats géologiques différents seront estimées à l'aide d'un réseau de 9 conductimètres (5 automatiques) placés sur certains des sites de suivi des écoulements et

complétées par l'analyse des majeurs (EF25). Ce réseau n'a pas pu être mis place avant juillet 2005 pour des raisons d'arrivée tardive des crédits.

- Echelles sub-meso

Hombori (EF6, EF15, EF16)

Nombre d'études de processus, de caractère plus limité dans le temps (basé sur des campagnes intensives de plusieurs semaines par an) et dans l'espace reposent sur les sites équipés par l'ORE. Des études écophysiological (photosynthèse, respiration du sol, conductance stomatique, profondeur et dynamique racinaire, phénologie des ligneux) se sont déroulées chaque année. Des stratégies d'up-scaling ont été mises en application, avec des mesures à différentes échelles : feuille, couvert, tour de flux, couche limite nocturne (ballon captif) pour les échanges de CO₂, station, transect de 1 km, satellite à haute résolution (Envisat ASAR), satellite basse-résolution (AMSR-E, préparation à SMOS) à 25 km pour l'humidité du sol. Des stratégies seront mises en application pour l'up-scaling de l'évapotranspiration : feuille, couvert, tour de flux, couche limite convective, scintillométrie, vols avions.

Le supersite de Hombori est devenu un site attractif également pour les études de processus de surface (flux de NO_x, L.Aérologie, modélisation éco-hydrologique ENS). Les activités de l'ORE permettent aussi une synergie avec IDAF (une station permet d'étudier les liens entre précipitation, végétation et déposition), et avec Photon-aeronet (liens entre précipitations et aerosol/vapeur d'eau).

Mares sahéliennes (LF20, EF18, EF19, EF20, EF21, EF22, EF23)

Un suivi du volume d'eau de 4 mares (LF20: Kafina, Wankama nord, Wankama ouest, Banizoumbou) est réalisé depuis 1994. Il permet de documenter les volumes disponibles pour :

- l'infiltration, puisque les mares sont considérées comme les principales zones de recharge de la nappe
- l'évaporation, qui peut devenir non négligeable en fin de saison des pluies du fait de leur grand nombre, et surtout dans les années à venir, vu que le nombre, la taille et la durée de présence d'eau de ces mares se sont considérablement accrus ces dernières années.

Ce réseau a été complété par l'adjonction d'une mare de plateau en 2004, et une autre doit être équipée avant fin 2005. L'originalité de l'hydrologie sahélienne réside dans l'instabilité des limites de bassins versants des mares et dans leur « migration » liée aux apports croissants des versants, des stations de mesure hydrologique classiques sur les koris (cours d'eau temporaires) du site sub-méso du centre du kori de Dantiandou ont également été installées (6 stations en 2004 : EF19).

Par ailleurs, la rétro-action surface-atmosphère étant considérée comme l'un des éléments clés du questionnement scientifique sur ce site sahélien, plusieurs suivis de la végétation et de la teneur en eau du sol sont réalisés : LAI, phénologie et biomasse sur tous types de végétation (EF23), suivi spécifique du mil (en collaboration avec le centre régional Agrhymet), thèse sur le rôle « pluviogène » de *Faidherbia albida*, suivi humidimétrique continu à 4 stations (EF21), calibration « teneur en eau du sol » du satellite Envisat (2004 et 2005) sur 5 sites, et installation en août 2005 d'un réseau de 60 pluviomètres à lecture directe densifiant pour l'analyse spatiale des relations végétation/pluviométrie, en complément d'un réseau suivi depuis 2000 sur le Fakara par l'ICRISAT (instrument non encore répertorié).

Bassin de la Donga (LF19, LF22, LF25, EF9, EF24, EF26, EF27, EF28, EF29).

Sur ce bassin on réalise un suivi des processus de versants, pour l'étude des interactions entre écoulements (surface, sub-surface) et végétation et une étude de la variabilité des précipitations aux échelles convectives. On dispose également d'un réseau dense de suivi de l'aquifère pour étudier les relations entre écoulements de surface, subsurface et souterrains. Cinq stations de jaugeage sont implantées le long du cours de la Donga sur des bassins emboîtés (LF22). Le dispositif comprend en outre

le suivi de 2 petits bassins (Ara et Bokpéro) de surface comparable (12 km²) mais de couverture végétale distincte, en vue de comparer l'influence du couvert sur le rendement du bassin. L'ADCP (EF23) a permis d'établir les courbes de tarage des stations de jaugeage. Dix-huit pluviographes sont répartis sur le bassin ou à proximité (LF19) avec une densité renforcée sur le petit bassin d'Ara. Ce réseau de pluviographes servira en outre à la validation du radar Xport (EF2) grâce à une cible située à l'extrémité orientale du bassin et à deux radiales est et nord. Depuis 2002, la surface piézométrique est suivie à travers 21 puits villageois dont 11 équipés d'enregistreurs (LF25). L'ensemble des puits et des stations de jaugeage a été nivelé au GPS différentiel en février 2003. Ceci permet d'explorer les relations nappes-rivière à l'échelle du bassin. Pour rechercher l'origine des écoulements, sur des bassins de petite taille où le ruissellement de surface peut jouer un rôle majeur, deux conductimètres automatiques ont été installés (EF26) en 2003. Ils ont été complétés en 2005 par le réseau de conductimètres de l'Ouémé (EF25).

L'influence du type de couvert sur la redistribution au sol des précipitations est étudié sur 3 types de couverts: la forêt claire, la jachère herbacée et la savane arbustive composée d'arbustes et d'herbacées. Sur chacun de ces couverts une zone homogène de l'ordre de 1x1 km² a été sélectionnée pour instrumenter une toposéquence (transect s'étendant de l'interfluve au drain). Chaque toposéquence comprend 3 stations de suivi de l'infiltration (haut, milieu, bas de versant) (EF28) de la hauteur de la nappe et de sa conductivité à différentes profondeurs (38 piézomètres sur le bassin dont 25 avec suivi de la conductivité) (EF27). Le ruissellement de surface est suivi sur des drains d'ordre 1 équipés de Parshall (EF24). Les observations les plus récentes montrent l'importance des zones hydromorphes en tête des ravines d'ordre 1 ou le long des drains d'ordre supérieur en tant que réservoir pour le soutien des étiages ou en tant que surface saturée contributive durant les crues. Certains piézomètres et conductimètres seront donc déplacés pour suivre cette zone. Chaque toposéquence sera équipée en octobre 2005 d'une station de mesure de flux (EF9) afin de suivre la dynamique de l'évapotranspiration au cours de la saison pour différents couverts. Les toposéquences sont le lieu privilégié du suivi de la dynamique de la végétation herbacées et ligneuse (phénologie, biomasse, recouvrement) (EF29). Ces points de référence serviront à l'étalonnage et à la validation des produits végétation dérivés des images de télédétection.

Le substrat de la zone d'étude est un socle métamorphisé, altéré en surface. Deux missions de reconnaissance géophysique ont été effectuées en 2003 et 2004 sur les toposéquences de jachère et de forêt claire pour caractériser la géométrie des différents compartiments de la couverture de sol et d'altération. Deux méthodes ont été utilisées (1) *des coupes de résistivité électrique* mesurées avec un dispositif multiélectrodes (SYSCAL R2) permettant d'apprécier de façon détaillée la résistivité des différents matériaux du sous-sol sur environ 50m de profondeur. (2) *une cartographie de la conductivité électrique* de l'ensemble du bassin versant d'Ara permettant d'extrapoler ensuite les résultats des coupes.

Radar XPORT (EF2, EF3).

Il n'existe aucun radar météorologique au Bénin. Le LTHE a développé un radar bi-polarisation en bande X, qui a été installé à Djougou (ouest du bassin de la Donga) en début de saison des pluies 2005. Ce type de radar, doté de nouveaux algorithmes permettant de corriger l'atténuation qui biaise les mesures, représente une solution économique pour la surveillance hydrologique de petits bassins (en l'occurrence la Donga) et pour l'étude de la structure interne des systèmes convectifs. L'expérimentation béninoise permettra d'ajuster les algorithmes et de valider le concept de radar local fonctionnant en bande X, pour les zones tropicales. Un disdromètre (EF3) est associé à ce radar.

Tableau 1. Liste des instruments LOP gérés dans le cadre de l'ORE AMMA-CATCH (financements ORE)

Instruments LOP					
#	Code	Nom du PI	Adresse Mel	Instrument	Site
LF1	AL.Met_Gh	Franck Timouk	timouk@ird.fr	Campbell Met. Station	Hombori (Gourma)
LF2	AL.Met_Nc	Luc Descroix	descroix@ird.ne	Campbell Met. Station	Banizoumbou (Kd)
LF3	AL.Met_Od	Sylvie Galle	galle@ird.fr	Campbell Met. Station	Djougou (Ouémé)
LF16	CL.Rain_G	François Lavenu	Francois.Lavenu@ird.fr	8 recording raingauge network	Gourma
LF17	CL.Rain_N	Thierry Lebel	Thierry.Lebel@ird.ne	30 recording raingauge network	Kori Dantiandou
LF18	CL.Rain_0	Luc Le Barbé	Luc.Le-Barbe@ird.fr	30 recording raingauge network	Ouémé
LF19	CL.Rain_Od	Luc Le Barbé	Luc.Le-Barbe@ird.fr	Network of 18 recording raingauges	Ouémé-Donga
LF20	CL.Pond_Nc	B. Cappelaere	cappelaere@ird.fr	Network of 6 level recorders on pools	Niamey SS central
LF21	CL.Run_O	C. Peugeot	peugeot@ird.fr	14 recording streamgauge network	Ouémé
LF22	CL.Run_Od	Luc Seguis	seguis@ird.fr	Network of 6 recording streamgauges	Ouémé-Donga
LF23	CL.ADCP_O	C. Peugeot	peugeot	Acoustic Doppler Current Profiler	Ouémé
LF24	CL.Gwat_N	G.Favreau	Favreau@ird.fr	Level recorders in wells (aquifer)	Kori Dantiandou
LF25	CL.Gwat_Od	Luc Seguis	seguis@ird.fr	21 village sites (11 recorders)	Ouémé-Donga

Tableau 2. Liste des instruments EOP sur les sites de l'ORE AMMA-CATCH (financements API-AMMA et UE)

Instruments EOP					
#	Code	Nom du PI	Adresse Mel	Instrument	Site
EF2	AE.RadX_O	Marielle Gosset	Gosset@ird.fr	X Band Hydromet. Radar	Djougou
EF3	AE.Dsd_Or	Marielle Gosset	Gosset@ird.fr	Disdro Parsival	Nangatchouri (Ouémé)
EF6	AE.BaCO2_G	Laurent kergoat	kergoat@cesbio.cnes.fr	CO2 Baloon	Gourma-Agoufou
EF7	AE.H2OFlux_Nc	Bernard Cappelaere	cappelaere@ird.fr	2 Water Vapor Flux stations	Niamey-Wankama
EF8	AE.SHFlux_Nc	Bernard Cappelaere	cappelaere@ird.fr	2 Sensible Heat Flux stations	Niamey-Central
EF9	AE.H2OFlux_Od	Sylvie Galle	galle@ird.fr	2 Water Vapor Flux stations	Ouémé-Donga
EF14	CE.SW_G	Patricia de Rosnay	derosnay@cesbio.cnes.fr	Campbell CS616 for soil moisture	Gourma Meso Site
EF15	CE.VegSoil_G	Josiane Seghieri	segghieri@ird.fr	Vegetation monitoring	Gourma Meso Site
LF16	CE.PAR_Ga	Eric Mougin	mougin@cesbio.cnes.fr	PAR and LAI measurements	Gourma-Agoufou
EF17	CE.Sap_Ga	Valérie Le Dantec	ledantec@cesbio.cnes.fr	2 sap flow/ soil moisture stations	Gourma-Agoufou
EF18	CE.Rain_Nc	Luc Descroix	descroix@ird.ne	15 recording raingauge network	Niamey SS central
EF19	CE.Run_Nc	Luc Descroix	descroix@ird.ne	Network of 6 recording streamgauges	Niamey SS central
EF20	CE.Gwat_Nc	Guillaume Favreau	Favreau@ird.fr	Level recorders in 12 drilled boreholes	Niamey meso site
EF21	CE.SW_Nc	B. Cappelaere	cappelaere@ird.fr	4 sites Watermark et TDR	Niamey SS central
EF22	CE.SWsan_Nc	Luc Descroix	descroix@ird.ne	Soil water neutron probe	Niamey SS central
EF23	CE.Veget_New	Nicolas Boulain	boulain@ird.ne	Li COR LAI-2000 and Li COR 6400	Niamey-Wankama
EF24	CE.Run_Odc	Luc Seguis	seguis@ird.fr	1 Parshall flume on 3 transects: 3 total	Donga, transects
EF25	CE.WChem_O	Christophe Peugeot	peugeot@ird.fr	Chemical Analysis: surf/ground water	Ouémé
EF26	CE.WChem_Od	Luc Seguis	seguis@ird.fr	Chemical Analysis: surf/ground water	Ouémé-Donga
EF27	CE.Gwat_Odc	Luc Seguis	seguis@ird.fr	Network of 27 piezo in drilled wells	Donga, transects
EF28	CE.SW_Odc	Sylvie Galle	galle@ird.fr	3 stations on 4 transects: 12 in total	Donga, transects
EF29	CE.Veg_Odc	Josiane Seghieri	segghieri@ird.fr	Biomass, phenology, LAI surveys	Donga, transects

3. Moyens humains et Gouvernance

Moyens humains mobilisés pour 2004 et 2005.

Un décompte des moyens chercheurs et IT mobilisés sur la période 2004-2005 est présenté dans le tableau 3 ci-dessous. Ce décompte ne concerne que les observations ORE stricto sensu, à l'exclusion des observations AMMA-EOP mises en route en 2005 sur les différents sites de l'ORE, qui s'intègrent dans la stratégie d'observation à long terme mais n'ont pas vocation à durer plus que les trois années de l'EOP. Par ailleurs, les thésitifs ne sont pas comptabilisés ; on se reportera à la section 5 ci-après pour la liste des thèses soutenues ou en cours, s'appuyant sur les données de l'ORE. Ces thésitifs ont eu occasionnellement à participer aux mesures de terrain. Pour ce qui est des seuls organismes français, une trentaine de permanents au total sont mobilisés sur l'ORE, représentant une vingtaine d'ETP. Pour ce qui concerne les 14 chercheurs, le ratio moyen (grandement variable d'une personne à l'autre) entre temps passé aux tâches strictes d'observation et passé à des tâches d'analyse et de recherche se situe aux alentours de 50-50. Il est à noter que le volet modélisation hydrologique de l'ORE implique aussi le LMD le CETP et le CNRM.

Tableau 3. Personnes mobilisées sur l'ORE (moyenne annuelle en ETP sur 2004 et 2005)

	CESBIO		HSM		LTHE		Local
	Chercheurs	IT	Chercheurs	IT	Chercheurs	IT	
Ouémé	0,2		2		3,6	4	3
Niamey			2,15		1,3	1	3
Gourma	2,8	1					1
Intégration (coordination, BD,..)	0,4				0,5	0,8	
Total	3,4	1	4,15		5,6	5,8	7

Liste des personnels permanents impliqués au 1^{er} septembre 2005

Les moyens mobilisés au 1^{er} septembre 2005 sont plus importants que ceux affichés dans le tableau 3 (moyennes sur 2004 et 2005) du fait d'un renforcement récent (Notamment : ingénieure base de données, AI pour les stations de flux).

- **LTHE**

- Marc Arjounin, TE1 IRD, 100% (suivi pluvio sur l'Ouémé)
- Stéphane Boubkraoui, TE1 IRD, 100% (hydrométrie sur le Niger)
- Jean Michel Bouchez, AI IRD, 50% (suivi de terrain en collaboration avec techniciens de la DH)
- Frédéric Cazenave, IE IRD, 100%, (Radar XPORT)
- Véronique Chaffard, IE IRD, 100%, base de données et suivi site WEB
- Christian Depraetere, CR1 IRD, 50%, analyse de données et rapports de campagne
- Luc Descroix, CR1 IRD, 100% (Mesures et modélisation hydrologique)
- Nadine Dessay, IE IRD, 30% (SIG et études d'impact)
- Sylvie Galle, CR1 IRD, 100% (coordination, modélisation hydrologique, mesures de flux)
- Marielle Gosset, CR1 IRD, 100%, (Radar XPORT)
- Randel Haverkamp, DR2 CNRS, 50% (Dynamique de l'eau dans le sol)
- Jean-Paul Laurent, CR1 CNRS, 20% (suivi humidité des sols, Niger)
- Luc Le Barbé, CR1 IRD, 100% (Mesures pluviométriques et modélisation)
- Thierry Lebel, DR1 IRD, 50% (Coordination ORE)
- Fred Malinur, TE1 IRD, 100% (suivi de terrain)
- Isabella Zin, MC INPG, 30% (cartographie Ouémé et modélisation hydrologique)

- HSM
 - Nicolas Boulain, post-doc CNRS, 100%, études de végétation et stations de flux, Niger
 - Bernard Cappelaere, IR1 IRD, 100% (modélisation hydrologique sur le site du Niger)
 - Guillaume Favreau, CR2 IRD, 15 % (coordination réseau piézométrique, observatoire Niger)
 - Christophe Peugeot, CR1 IRD, 100% (modélisation hydrologique et coordination Ouémé)
 - Luc Séguis, CR1 IRD, 100 % (modélisation hydrologique, compartiment souterrain, Ouémé)
- CESBIO-Toulouse
 - Valérie Demarez, MCF UPS, 20% (photo hémisphérique, LAI, fPAR)
 - Benoît Duchemin, CR2 IRD, 20% (traitement de données satellitaires)
 - Laurent Kergoat, CR1 CNRS, 60% (ballon captif, mesures de flux, modélisation)
 - François Lavenu, IR2 CNES, 100% (suivi pluvio, logistique)
 - Valérie Le Dantec, MCF UPS, 30% (respiration de sol, flux de sève)
 - Eric Mougin, DR2 CNRS, 75% (caractéristiques des couverts et production primaire)
 - Patricia de Rosnay, CR2 CNRS, 40% (suivi humidité des sols et assimilation, Gourma)
 - Josiane Séghieri, CR1 IRD, 100% (caractéristiques des couverts, écophysiologie)
 - Frank Timouk, AI IRD, 100% (stations de flux)
- IRD- Niger
 - Abassa Alhassane, technicien nigérien rémunéré en contrat local sur crédits IRD.
 - Abdoulaye Kone, technicien nigérien rémunéré en contrat local sur crédits IRD.
- IRD- Bénin
 - Simon Afouda, assistant hydrologue en contrat local sur crédits IRD (représentation Bénin).
 - Théodore Ouani, assistant hydrologue en contrat local sur crédits IRD-LTHE
 - Josias Dossougoin, technicien électronique, en contrat local sur crédits IRD-LTHE
 - Idrissou Oumarou chauffeur saisonnier, en contrat local sur crédits IRD-LTHE

Personnel permanent des organismes africains ou internationaux mobilisé actuellement

- DRE- Niger et DRE
 - Balkissa Alzouma, technicienne DRE : 50%
 - Boubé Hamani, technicien DRE : 50%
- INRAN
 - Hamissou Alassane, technicien INRAN : 50%
- Université Abdou Moumouni (UAM), département de géographie
 - Ibrahim Bouzou Moussa, maître de conférence, 25%
- DH- Bénin
 - Antoine Ahongossou, technicien supérieur, 80% (suivi réseau pluviométrique et hydrométrie)
- Centre Régional AGRHYMET (Niamey, Niger)
 - Abou Amani, Chef de projet, 15% (Bases de données)
 - Seydou Traoré, chef de projet 30%

Gouvernance générale de l'ORE

La stratégie d'observation générale a été revue lors d'une réunion qui s'est tenue en novembre 2002 à Grenoble – cette stratégie a été présentée en section 1 de ce document. Il s'agissait alors de mieux intégrer les observations sur les trois sites, l'ORE constituant désormais le noyau du dispositif de suivi à long terme (2001-2010) du projet AMMA. Les budgets ont été réévalués en conséquence (fin de la période d'investissement et plus grande attention portée à la coordination d'ensemble). Les modes d'animation scientifique et de gestion opérationnelle ont également été repensés en tenant compte des structures de coordination mises en place dans AMMA (groupes LOP et EOP, d'une part; groupes de travail scientifiques (*WP*) d'autre part). L'ORE s'est organisé en désignant deux co-responsables pour chacun des trois sites de méso-échelle: E. Mougin (DR CNRS, CESBIO) et J. Seghieri (CR IRD, CESBIO) pour le site du Gourma; B. Cappelaere (IR IRD, HSM) et L. Descroix (CR IRD, LTHE) sur le site de Niamey; C.

Peugeot (CR IRD, HSM) et S. Galle (CR IRD, LTHE) sur le site de l'Ouémé. Ces responsables veillent à la cohérence de la stratégie d'observation, définissent leurs priorités opérationnelles et établissent leur budget annuel. Ils font partie du noyau de coordination des groupes LOP et EOP de AMMA. Eric Mougin est de surcroît coordinateur pour l'API-AMMA du WP 2.3 consacré aux processus de surface (il est également co-responsable de ce WP au niveau européen); Christophe Peugeot est coordinateur du WP 1.2 sur les bilans d'eau, aussi bien pour l'API française que pour AMMA-UE. Eric Mougin et Christophe Peugeot sont par ailleurs tous les deux membres du Comité de Coordination Mousson Africaine, co-présidé par Jean-Luc Redelsperger et Thierry Lebel.

Les principaux responsables de l'ORE se rencontrent en moyenne trois fois par an dans le cadre des diverses réunions de coordination AMMA et consacrent des séances de travail spécifiques à la LOP et à l'ORE. En 2003, une réunion générale s'est tenue à Grenoble en novembre. En 2004, deux réunions scientifiques ont eu lieu: une à Dijon en septembre (une vingtaine de scientifiques des trois laboratoires étaient présents) et une à Cotonou en décembre (une quinzaine de personnes). En 2005, la réunion d'automne est prévue à Biarritz, à l'occasion de la réunion annuelle de l'API AMMA, et la réunion de fin d'année à Dakar, à l'occasion de la première conférence internationale AMMA.

Depuis 2004, la programmation budgétaire annuelle de l'ORE se fait en conjonction avec la programmation budgétaire. Les budgets sont calculés et présentés pour les trois années à venir (2004, 2005, 2006 en 2004; 2005, 2006, 2007 en 2005, etc...). La répartition entre les différentes activités de l'ORE (incluant son animation) se fait en deux temps :

- i) budget prévisionnel lors d'une réunion qui se tient en septembre (voir paragraphe précédent) ;
- ii) arbitrage définitif lors d'une réunion se tenant en fin d'année, après retour des tutelles.

4. Acquisitions, étalonnage, contrôles

Sur ce point, des détails concernant chaque instrument sont donnés dans les fiches instrument jointes en annexe à ce document. Un récapitulatif général est fourni ci-après.

Hormis le radar XPORT installé sur le bassin de la Donga depuis juin 2005, les observations propres à l'ORE sont effectuées à l'aide de capteurs installés in situ et fournissant des mesures directes des paramètres physiques qui nous intéressent. La plupart de ces observations – LF23, ADCP; EF21, sonde à neutrons; EF15 et EF29, végétation – sont acquises numériquement et des outils d'analyse ont été développés pour faciliter la critique des données. Les pas d'acquisition varient de 5 minutes à 60 minutes. Les procédures d'étalonnage et de contrôle varient selon les capteurs considérés. Pour les pluviographes, les appareils sont démontés en fin de saison des pluies, sauf quelques appareils laissés en permanence pour détecter d'éventuelles précipitations de saison sèche. Le basculement des augets est étalonné en laboratoire avant réinstallation en fin de saison sèche. Des tournées de contrôle régulières (espacées de 10 jours à trois semaines selon le degré d'accessibilité des appareils) sont effectués pour vérifier que les entonnoirs ne sont pas obstrués et pour comparer les valeurs "seaux" aux valeurs "augets". En cas d'écart supérieur à 3%, les seuils de déclenchement des basculements augets sont reconfigurés sur site. On aboutit ainsi à des écarts moyens entre valeurs seaux et valeurs augets inférieures à 1% sur l'ensemble des appareils (cumuls saisonniers), avec des écarts maximaux qui ne dépassent qu'exceptionnellement 3%. Pour les mesures de débit on assure un étalonnage sur plusieurs saisons, soit par jaugeage classique, soit par ADCP. Les sondes piézo-résistives servant au suivi du niveau de l'eau dans les mares et dans les puits sont contrôlées par des visites espacées de 2 à 3 semaines, en comparant des lectures d'échelle (mares) ou de sondes électriques (puits) avec les valeurs enregistrées par le capteur piézo-résistif.

5. Exploitation, valorisation et mise à disposition des données

Exploitation et analyse

a. Données régionales

L'exploitation des données pluviométriques régionales (images IR Météosat et données pluviométriques journalières) a produit un certain nombre de résultats : mise en évidence du saut de mousson (Le Barbé et al., 2002), caractérisation des systèmes convectifs pluviogènes (Mathon et al., 2002), par exemple. En matière de variabilité pluviométrique les résultats attendus pour le futur concernent surtout les liens entre le cycle saisonnier et la variabilité interannuelle et la surveillance d'éventuelles modifications durables du cycle saisonnier liées aux perturbations du système climatique global de notre planète. Dans ce domaine la disponibilité de données pluviométriques haute résolution, tant sur le degré carré de Niamey que sur l'Ouémé est indispensable (voir ci-après). Les méthodes de suivi du LAI validées sur le Gourma ont été transférées sur le Niger et l'Ouémé. La synergie entre différents types de mesure et différents sites de méso-échelle montre ici tout son intérêt pour obtenir une vision régionale de l'évolution des écosystèmes ouest-africains dans le contexte climatique actuel.

En matière de végétation les mêmes échelles de variabilité restent à explorer ainsi que les effets mémoires. Jarlan et al. ont identifié les modes spatio-temporels de variabilité des couverts végétaux ainsi que les liens avec les températures de surface de l'océan (Jarlan L et al., 2005). Pour aller vers l'identification des mécanismes, Jarlan et al. (2004) ont utilisé un modèle de croissance de la végétation sahéenne (STEP) qu'ils ont contrôlé par assimilation de données ERS sur l'ensemble de la bande Sahélienne. Compte-tenu des hypothèses émises par Philippon et al. (2005) sur une relation entre l'intensité de la seconde saison des pluies en zone soudanienne et la saison des pluies sahéennes de l'année suivante par effet de stockage de l'eau dans les sols et la végétation et renforcement, il est important de poursuivre l'observation conjointe du cycle de la végétation et de la pluviométrie à l'échelle régionale.

b. Données sur les sites de méso-échelle et les supersites

L'apport de l'ORE prend toute son importance en permettant de quantifier de manière parallèle les champs de pluie et le suivi des sites de végétation. En effet, l'hétérogénéité du champ de pluie et celle des surfaces continentales font qu'il est nécessaire d'avoir une connaissance des précipitations et des écosystèmes aux mêmes échelles d'espace. A partir de cette connaissance couplée précipitation / végétation, on a pu mettre au point des approches de modélisation (modèle STEP), et des approches d'assimilation de données satellitaires (données optiques, micro-onde) seules à même de spatialiser les modèles de surface (végétation / bilan hydrique). Cette modélisation couplée végétation/bilan hydrique permet d'aborder les problèmes de tendance à long terme (sur plus de 20 ans), de variabilité interannuelle et saisonnière, de résilience, le problème des échelles spatiales de variabilité et leurs impacts sur le cycle de l'eau, sur le bilan d'énergie à la surface.

Quémé

Une étude diagnostique a permis de caractériser le régime soudanien aux échelles pertinentes pour l'hydrologie grâce à l'analyse des données collectées sur le haut bassin de l'Ouémé de 1950 à 2002. Comme au Sahel, la sécheresse marquée des décennies 70 et 80 y est observable, mais la variabilité interannuelle demeure ici importante. L'étude de la dynamique saisonnière, basée sur la distinction entre les régimes de mousson océanique et continentale, montre que l'essentiel des modifications

pluviométriques observées sont liées à la variabilité de la saison continentale. D'une part, la mise en place de ce régime, observée sur les cinquante dernières années, est de plus en plus précoce au cours de la saison. D'autre part, le caractère déficitaire ou excédentaire d'une année est principalement corrélé à l'occurrence des gros systèmes convectifs au sein de cette saison (Le Lay et Galle, 2005). La mise en évidence de l'évolution du cycle saisonnier des précipitations depuis 1950 est un résultat important pour l'étude du cycle hydrologique

Dans ce contexte de changement hydroclimatique, encore accentué par le changement d'occupation des sols les tests statistiques montrent une nette diminution de rendement du bassin de l'Ouémé supérieur vers 1970. Nous avons testé si ce changement de comportement hydrologique pouvait être détecté par une modélisation hydrologique simple. Ce type de modélisation est le seul susceptible de simuler de longues durées (50 ans) où peu de données sont disponibles. L'analyse des résidus de simulation en fonction de leur incertitude permet de mettre en évidence un changement de comportement hydrologique alors que l'étude de la modification des jeux de paramètres optimaux entre les deux périodes ne le permet pas (Le Lay et Galle, 2005 ; Le Lay, et al., *subm.*).

La mise en évidence d'un changement de comportement hydrologique par un modèle simple ne permet pas d'en expliquer les mécanismes. Pour cela une étude fine des processus est nécessaire. Les premiers jeux de données distribués sur le bassin de la Donga ont été utilisés pour tester les concepts du modèle physique distribué POWER dans sa version REW. Ce type de modèle permet de tester les concepts non seulement sur un écoulement à l'exutoire mais aussi sur des bassins intermédiaires et sur d'autres termes du bilan hydrologique (hauteur de nappe, profil d'infiltration) (Thèse de N. Varado). Les premiers résultats montrent la capacité du modèle à reproduire les écoulements, cependant mais le délai entre les premières pluies de la saison et le début des écoulements nécessite une « calibration » des caractéristiques du sol qui traduit une mauvaise représentation du sol et sans doute de l'hétérogénéité de sa couche de surface. Le pourcentage de surfaces saturées reste important même durant la saison sèche et la nappe simulée dans le modèle est trop profonde. La caractérisation hydrochimiques des écoulements et des nappes devrait permettre de sélectionner les processus prépondérants dans la formation des écoulements (Thèse de B. Kamagate) et contraindra le modèle. Le nivellement du réseau des puits villageois a montré que les niveaux piézométriques des nappes dans les altérites sont toujours supérieurs à ceux des drains même durant la saison sèche où paradoxalement les rivières sont taries. L'hypothèse de faible connexion entre ces aquifères et les rivières est confortée par la chimie : la minéralisation des écoulements même en fin d'étiage est bien inférieure à celle des nappes. L'installation des piézomètres sur les transects a permis de déceler la formation temporaire d'horizon saturée superficielle (moins de 2 m de profondeur) durant la saison des pluies. L'eau présente dans ces piézomètres a des caractéristiques chimiques plus proches des écoulements mais sa minéralisation est encore légèrement supérieur à celle des eaux de surface. Ces résultats indiquent le rôle important joué par les horizons saturés superficiels (flux de sub-surface) dans les écoulements à la fois en phase de crue ou d'étiage. Outre la nécessité de représenter une nappe perchée durant l'hivernage, les premiers résultats de modélisation mettent en évidence un problème de « surplus » d'eau entre les pluies et les débits. Cette « perte » peut s'expliquer par un drainage régional de la nappe ou une sous estimation de l'évapotranspiration. L'acquisition de données d'évapotranspiration pour fermer le bilan et mieux contraindre les modèles est donc une priorité.

Niamey

Le traitement des données recueillies depuis 1990 (donc avant le démarrage de l'ORE proprement dit) a conduit à un certain nombre de résultats (plus forte variabilité du nombre d'événements associés aux systèmes convectifs que de l'intensité de ces événements ; phénomènes de persistance aux échelles

convectives ; hausse de la nappe en période de déficit pluviométrique prolongé ; rôle des mares dans la recharge de ces nappes) dont on cherche maintenant à mieux comprendre les causes et les implications en se focalisant sur les liens entre la variabilité atmosphérique d'échelle synoptique et la variabilité aux échelles hydrologiques (mésos à sub-mésos).

En particulier, les observations sur les années récentes confirment la hausse des coefficients d'écoulement. Ce constat est à moduler tant spatialement que temporellement :

- dans les régions endoréiques, cet accroissement des écoulements se traduit par une augmentation sensible du nombre des mares, de leur taille et de leur durée ((Massuel et al, 2003) ; dans les secteurs non-endoréiques, la nappe phréatique voit plutôt son niveau baisser ;
- dans les régions exoréiques, ici essentiellement les bassins affluents du fleuve Niger, on constate que les écoulements augmentent en zone sahélienne et diminuent en secteur soudanien (Amani et Nguetora, 2002). La diminution rapide de la couverture végétale naturelle (brousse, forêt galerie, brousse tigrée, etc) et son remplacement par des cultures ou des jachères, ont provoqué l'accroissement des écoulements ; il faut noter que ce changement d'usage des sols continue mais va s'éteindre de lui-même dans les prochaines années : il n'y aura bientôt plus de végétation naturelle dans le Sahel, il n'y en a désormais plus dans le degré carré de Niamey, représentatif du Sahel nigérien. Le fait que les débits baissent là où la diminution des pluies est moindre alors qu'ils augmentent là où cette diminution est plus forte, est un excellent exemple de la complexité des systèmes hydrologiques. Ceci est lié au comportement à prédominance hortonien des bassins sahéliens, alors que les bassins soudaniens sont plus influencés les eaux du sol et de la nappe.
- Conformément à la dernière remarque, l'augmentation des débits (et donc de la remontée de la nappe dans les secteurs endoréiques) en région sahélienne est surtout remarquable les années où les pluies sont de forte intensité (comme en 2004, avec des lignes de grains nombreuses) alors que les années marquées par des précipitations de plus faible intensité sont favorables à la recharge du sol.
- on constate en parallèle une très forte progression de l'érosion des sols, qu'elle soit éolienne ou hydrique. Celle-ci est très fortement liée aux changements d'usage des sols, et se traduit par un fort ensablement des bas-fonds, des koris et du lit du fleuve Niger.

Gourma

L'intensification des suivis des écosystèmes et des champs de précipitation s'est faite relativement récemment et progressivement. En conséquence, la plupart des études sont en cours de valorisation. Néanmoins, on peut dire que l'ensemble des paramètres nécessaires aux modélisations des surfaces continentales (couplant SVAT et modèles de végétation) ont été recueillis. Par exemple, les conductances stomatiques des espèces présentes et leur réponses aux facteurs environnementaux, les taux de photosynthèse, les courbes A/Ci, les taux de respiration des feuilles, du sol et du couvert, la phénologie des herbacées et des ligneux, la profondeur racinaire et sa dynamique, les densités et architectures des ligneux. Parmi les résultats les plus frappants, on peut noter de très forts taux de photosynthèse des graminées en C4 (par exemple plus de 50 micromol CO₂ par m² par s pour *Tribulus* et *Tragus*). Côté respiration des sols et des écosystèmes, on trouve également des taux relativement forts, tout spécialement après les événements pluvieux, aussi bien à l'échelle du m² (mesure de chambre) que celle de 50 km² (mesure de ballon). Cela indique un fonctionnement en 'pulse', qui doit s'appliquer également à l'ensemble des processus microbiens (NOx). Les données des stations de flux complèteront ces résultats. Le suivi de la composition floristique montre une très forte variabilité temporelle. En effet, le couvert herbacé est dominé par des plantes annuelles, et l'on trouve sur le même site, d'une année sur l'autre, des compositions très différentes (l'analyse de 11 années de données a permis l'obtention d'un modèle dynamique de la

strate herbacée annuelle des sites de végétation du Gourma malien. Ce travail est en cours d'extension à l'ensemble de la période 1984-2005). Cela montre bien l'importance de la compréhension de la dynamique de la végétation sur plusieurs années. Les premières simulations de STEP (végétation) couplé à un SVAT ont été faites, et montrent un bon accord avec les mesures sur le site d'Agoufou (dune sableuses).

L'évaluation des produits satellitaires montre pour l'instant des résultats encourageants pour la productivité primaire (produit MODIS). Le LAI sera évalué sur les données 2005. L'humidité du sol montre un bon accord entre les transects de 1 km et les station de mesures fixes sur Agoufou, et un résultat préliminaire montre un accord étonnamment bon avec les produits humidité du sol issues d'AMSR-E. Cela confirme que le Gourma est une zone particulièrement bien adaptée à la télédétection de l'humidité du sol, variable clé en Afrique de l'Ouest.

La fenêtre meso-échelle du Gourma est devenue un site attractif également pour les études des interactions surface-atmosphère (participation du CEH Wallingford, du CNRM et de l'université de Leeds en plus du CESBIO) en partie grâce au suivi à long terme des écosystèmes et à l'intensification de la connaissance des champs de précipitation (ORE), en partie également parce que le terrain se prête naturellement à ce genre d'étude. Cela permet d'aborder, par exemple, l'influence des 'wet patches' sur la dynamique du flux de mousson (ex campagne ballon 2005), de documenter aussi le climat de surface sur les zones les plus au Nord du transect AMMA (occurrence des 'dry squall lines', cycle de la thetae, flux turbulents). On attend par ailleurs une amélioration des estimations des précipitations par satellite entre 14.5 et 17.5 de latitude Nord (collaboration LMD et precipamma sur des cas d'études).

Valorisation

On donne ici quelques publications essentielles (12 sur les 31 articles dans des revues internationales de rang A sur la période 2002-2005). Une liste plus détaillée est fournie en annexe 1. Il est à noter une accélération significative du rythme de publication en 2005 (12 sur les 30 articles dans des revues internationales de rang A de la période 2002-2005), qui traduit le retour sur investissement de la stratégie d'observation à long terme.

Articles dans des revues internationales de Rang A:

2005 (acceptés ou publiés)

Baron, C., B. Sultan, M. Balme, B. Sarr, S. Traore, T. Lebel, S. Janicot and M. Dingkuhn. 2005, From GCM Grid Cell to Agricultural Plot: Scale Issues affecting Modelling of Climate Impact., *Phil. Trans. Royal. Soc. London, Series B.*, **in press**.

Boulain N, Cappelaere B, Séguis L, Gignoux J, Peugeot C, Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment, *Regional Environmental Change*, **Revised paper**.

Le Lay, M. & S. Galle, 2005. Variabilités interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques. La mousson ouest-africaine en climat soudanien. *Journal des Sciences Hydrologiques* **50 (3)** : 509-524.

Philippon N., Mougin E., Jarlan L. and Frison P. L., 2005. Analysis of the linkages between rainfall and land surface conditions in the West African Monsoon through CMAP, ERS-WSC and NOAA/AVHRR data. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, **Revised paper**.

2004

Onibon H., T. Lebel, A. Afouda, G. Guillot, 2004. Gibbs sampling for conditional spatial disaggregation of rain fields, *Water Resources Research*, **40**, W08401, doi: 10.1029.

Séguis L., Cappelaere B., Milesi G., Peugeot C., Massuel S. Et Favreau G., 2004. Simulated impacts of climate change and land-clearing on runoff from a small Sahelian catchment. *Hydrological Processes*, **18**,3401-3413.

2003

Ali, A., T. Lebel, A. Amani, 2003: Scale invariance of Sahelian rainfields. *J. of Hydrometeorology*, **4(6)**, 996-1011.

Jarlan L., Mazzega P., Mougin E., Lavenu F., Marty G., Frison P.L., Hiernaux P., 2003, Mapping of sahelian vegetation parameters from ERS scatterometer data with an evolution algorithm, *Remote Sens. Environment*, **87**, 72-84.

Peugeot C., Cappelaere B., Vieux B., Séguis L. and Maia-Bresson A., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger. 1. Model-aided data analysis and screening. *Journal of Hydrology*, **279**, 224-243.

2002

Favreau G., Leduc C., Marlin C., Dray M., Taupin J.D., Massault M., Le Gal La Salle C. and Babic M., 2002. Estimate of recharge of a rising water-table in semi-arid Niger from 3H and 14C modelling. *Groundwater*, **40(2)**, 144-151.

Jarlan L., Mougin E., Frison P.L., Mazzega P., Hiernaux P., 2002a, Analysis of ERS wind scatterometer time series over Sahel (Mali). *Remote Sens. Environ.*, **81(2-3)**, 404-415.

Séguis L., Cappelaere B., Peugeot C. and Vieux B., 2002. Impact on Sahelian runoff of stochastic and elevation-induced spatial distributions of soils parameters. *Hydrological Processes*, **16**, 2, 313-332.

Encadrement de thèses

Huit thèses ont été soutenues et sept sont en cours. La liste complète est donnée en annexe 1.

Gestion et mise à disposition des données

En 2002, peu de temps après la labellisation ORE, le GIP MEDIAS-France a été sollicité pour développer une base de données permettant de rendre accessible à l'ensemble de la communauté les données et leur garantir une pérennité, indépendamment des aléas qui peuvent affecter un laboratoire (mouvements des personnels impliqués dans l'ORE, évolutions informatiques). Cette collaboration a été assez difficile à établir, l'ORE ne constituant pas une priorité bien identifiée du côté de MEDIAS-France jusqu'à ce que le GIP reçoive un mandat officiel de s'occuper des OREs. Néanmoins MEDIAS-France est devenu dépositaire de nos données, à charge pour le GIP de les rendre accessibles à la communauté. A terme, MEDIAS-France a pour mission de permettre un accès à la base de données CATCH à travers le portail ORE, d'une part, à travers la base de données AMMA, d'autre part.

Parallèlement le LTHE a demandé à l'IRD le recrutement d'un(e) ingénieur base de données. Ce recrutement s'est effectué au niveau IE et la personne recrutée (Véronique Chaffard) est installée au LTHE depuis la fin juillet 2005. Elle aura pour mission de servir d'interface avec nos interlocuteurs de MEDIAS, de sécuriser nos données en interne (sauvegardes automatiques sur deux supports), de développer des outils de mise en forme et de cartographie spécifiques, d'assurer la visibilité sur le WEB. Nous disposons également d'une ressource SIG en la personne de Nadine Dessay (IE IRD, LTHE) et nous nous appuyons sur les compétences du CESBIO pour ce qui est des données satellitaires: l'objectif est de disposer à terme d'une base de données spatialisées, base que MEDIAS n'a pas pour vocation de développer. Le recrutement d'un physicien des observatoires avait d'ailleurs été demandé par le CESBIO pour consacrer plus d'efforts à la combinaison des données sol et satellitaires, en vu notamment de fournir une vision intégrée régionalement des conditions pluviométriques et de l'évolution de la surface.

6. Ouverture vers l'extérieur

Autres OREs et laboratoires français

La période d'observation à long terme de AMMA (LOP, 2001-2010) s'est construite autour de trois systèmes d'observation qui ont été labellisés ORE en 2002: AMMA-CATCH, IDAF, PHOTONS-AERONET. Les équipes des trois OREs ont travaillé ensemble sur la reconfiguration de leurs réseaux de mesures pour bénéficier mutuellement des mesures d'intérêt général sur des sites communs. C'est ainsi que les trois super-sites qui constituent le cœur du dispositif des sites de méso-échelle d'AMMA-CATCH ont été équipés de stations IDAF et PHOTONS: Djougou sur l'Ouémé, Banizoumbou sur le site de Niamey, Agoufou sur le Gourma. Les mesures météorologiques (incluant les bilans radiatifs) hydrologiques et de végétation ont toute un intérêt pour mieux comprendre les mécanismes de soulèvement, transport et dépôt des aérosols et ceux qui conditionnent le cycle du carbone et d'autres espèces chimiques d'origine terrigène ou anthropique. Réciproquement la problématique de la modélisation hydrologique incorporant les phénomènes de transport et de spéciation d'espèces chimiques n'ont encore pratiquement pas été abordés dans cette région du monde, alors que les problèmes environnementaux – incluant la dégradation de la qualité des eaux – commencent à ne plus être négligeables. Lors de la phase post-EOP (2008-2010) la priorité sera donnée au maintien de ces stations.

Depuis la labellisation ORE, le renforcement des études de végétation sur les sites "hydrologiques" de l'Ouémé et de Niamey a constamment été recherché. Les équipes du CESBIO étant mobilisées sur le site du Gourma (avec un appui sur l'Ouémé) nous avons tenté d'impliquer le laboratoire d'écologie de l'ENS Paris. Une thèse co-encadrée entre ce laboratoire et HSM (Boulain, 2004), a permis de développer une première modélisation couplée hydrologie-végétation sur le petit bassin endoréique de Wankama (1,8 km²). Néanmoins il n'a pas été possible de mobiliser un appui terrain pour un suivi éco-physiologique. La collaboration avec l'ENS va maintenant se poursuivre par le biais d'une thèse, encadrée par J. Gignoux, et portant sur les interactions entre les populations d'*Accia F. Albida Sénégalensis* et la nappe dans la région de Niamey. Cette espèce était autrefois très présente dans l'éco-système sahélien; sa très forte régression doit donc être prise en compte pour reconstituer l'évolution des bilans hydrologiques sahéliens au cours des 50 dernières années.

Collaboration avec les partenaires africains

Les collaborations avec les partenaires africains se traduit de différentes manières. En 2003, quatre projets CORUS ont été financés pour permettre à des équipes béninoise, ivoirienne et nigérienne de travailler sur les sites de l'Ouémé et du Niger. Le suivi du réseau pluviométrique de Niamey se fait depuis 1990 dans le cadre d'une convention avec la Direction de la Météorologie du Niger. La base de données pluviométrique CATCH-Niger est implantée à la DMN. Au Bénin, le projet est hébergé par la Direction Générale de l'Hydraulique et, comme au Niger, les techniciens béninois sont associés au suivi de l'observatoire. Une deuxième antenne du projet CATCH vient d'ouvrir à la DMN du Bénin pour accueillir l'équipe du radar XPORT. Au plan de l'exploitation scientifique des données recueillies, plusieurs thèses d'étudiants africains se sont basées sur le traitement des données CATCH (A. Amani, 1995 ; D. Tapsoba, 1997 ; H. Onibon, 2001 ; W. Moufouma-Okia, 2002; A. Ali, 2004; M. Camara, M. Hamattan, E. Lawin, E.-P. Zahiri, tous en cours). Abel Afouda, professeur à l'Université National du Bénin a bénéficié d'un financement « *Echange Scientifique de Courte Durée* » de l'IRD, qui lui a permis de venir travailler dans notre laboratoire trois mois par an pendant 4 ans (2000-2003). Abou Amani, maître de recherches CAMES/AGRHYMET, bénéficie d'un contrat semblable sur la période 2003-2007. Enfin un étudiant béninois (Moumouni Soumaïla) a obtenu en 2005 une BDI "*étrangers*" du CNRS. Une demande de Jeune

Equipe Associée a également été déposée auprès du Département *Soutien et Formation* (DSF) de l'IRD par le docteur Moussa Karambé, de l'IER de Bamako qui travaille avec l'équipe du site Gourma.

Il est prévu pour les deux ans qui viennent de développer des collaborations avec nos collègues burkinabés de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) qui travaillent sur le bassin du Nakambé (33000 km²), situé dans la partie Nord-Ouest de la fenêtre CATCH sur des formations pédologiques différentes de celles rencontrées autour de Niamey ou sur l'Ouémé. Ils souhaitent s'associer à nos travaux et prolonger ainsi les collaborations déjà existantes avec l'unité HSM.

Par ailleurs, un programme « hydrologie et santé » a été monté avec le CERMES et le MIT durant la saison des pluies 2005 pour deux ans au moins, sur un financement NOAA, visant à caractériser les paramètres micro-climatiques (température, hygrométrie, teneur en eau du sol, etc) pouvant expliquer la prévalence paludéenne dans les villages.

Enfin, une collaboration se noue avec l'ABN (Autorité du Bassin du Niger) et l'Université de Minna (Nigéria) en vue d'étudier l'influence des changements d'usage des sols sur l'ensablement des koris et du fleuve Niger, dans le but d'étudier le rôle « intégrateur » du plus grand fleuve sahélien et d'analyser l'impact hydrologique des changements d'usage des sols dans un secteur exoréique, les bassins en rive droite du fleuve Niger.

7. Insertion dans les réseaux nationaux et internationaux

AMMA

La stratégie d'observation de CATCH est étroitement associée à la stratégie multi-échelle du projet AMMA, basée sur trois échelles temporelles: l'échelle décennale (LOP, 2001-2010), l'échelle interannuelle (EOP, 2005-2007) et enfin l'échelle du cycle saisonnier (SOP, 2006). L'étude approfondie de la variabilité interannuelle et du cycle saisonnier de la mousson ouest-africaine fournira un complément naturel aux observations menées par CATCH, permettant d'explorer les liens entre variabilité décennale et variabilité aux échelles temporelles inférieures – ainsi, pour le démarrage de l'EOP, on a installé au début de la saison des pluies 2005 des stations de mesure de flux turbulent dans la couche atmosphérique de surface sur deux des trois sites de méso-échelle (Gourma, Niamey, installation prévue en octobre 2005 sur le site de l'Ouémé). Réciproquement le dispositif à long terme de CATCH permettra de détecter d'éventuelles modulations de la variabilité interannuelle par les modifications durables de l'environnement en Afrique de l'Ouest. Tout en maintenant sa logique propre centrée sur les surfaces continentales, CATCH s'intègre donc totalement dans le projet AMMA, dont certains objectifs scientifiques sont dérivés de ceux initialement identifiés dans CATCH. La construction de AMMA, et son financement par le 6^{ième} PCRD, ont permis de créer un réseau européen au sein duquel les études de suivi à long terme sont bien intégrées dans une vision d'ensemble des différentes échelles de variabilité à prendre en compte.

Partenariat européen

Le dispositif ORE a joué un rôle attracteur pour les équipes étrangères : i) en affichant une stratégie cohérente sur plusieurs années; ii) en permettant de mobiliser un noyau actif et motivé de scientifiques français doté d'un financement pluri-annuel ce qui a donné une forte crédibilité à l'observatoire; iii) en attirant sur nos sites des partenaires africains et européens. Il faut en particulier mentionner le projet allemand GLOWA-IMPETUS géré par les universités de Cologne et de Bonn avec l'appui du DLR (agence spatiale allemande). Ce programme a démarré en 2001. Il est financé par le ministère allemand de la recherche pour une durée de 10 ans et est donc exactement en phase avec CATCH. Nos partenaires

allemands mènent des mesures complémentaires aux nôtres : radiosondage sur le site de Parakou, petit bassin versant sur socle sur le site de l'Aguima, suivi de la végétation par observations terrain et télédétection. Le projet IMPETUS comporte également un volet socio-économique (étude des migrations des populations liées aux problèmes d'approvisionnement en eau) et un volet santé (étude des pathologies liées à la qualité de l'eau). Ces collaborations ont facilité la mise sur pied du projet européen AMMA-UE,

Réseaux internationaux

Au niveau international, le système d'observations CATCH est partie prenante des opérations labellisées par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) et ce à travers deux de ses composantes : i) le sous-programme GEWEX (Global Energy and Water cycle Experiment) et le sous-programme CLIVAR (Climate Variability and Predictability). CATCH est représenté au GEWEX Hydrometeorological Panel (GHP) dont la mission est de coordonner les observations d'échelle régionale sur les interactions entre l'atmosphère et les surfaces continentales. Par ailleurs CATCH est le système d'observation pilote du panel CLIVAR-Afrique¹ (VACS – Variability of the African Climate System). Les données du système d'observation CATCH sont intégrées dans le dispositif mondial *Coordinated Enhanced Observing Period* (CEOP) depuis 2002 (une page a été consacrée à la contribution CATCH dans la *CEOP newsletter* N° 7 de Janvier 2005, <http://www.ceop.net>).

8. Implications opérationnelles

Les observations de l'ORE sont menées en coopération avec les services opérationnels africains: Direction de l'Hydraulique au Bénin et DMN (pour la partie radar); DRE et DMN au Niger; IER au Mali. Ce partenariat permet de former des techniciens locaux qui pourront un jour assurer le suivi de base des systèmes instrumentaux, comme cela se fait déjà sur le site du Niger.

Un partenariat privilégié s'est aussi développé avec le centre régional AGRHYMET au Niger. Un transfert des outils développés au sein de l'ORE permet à AGRHYMET d'établir des cartes de la pluviométrie sur le Sahel qui sont publiées dans un bulletin mensuel (<http://www.agrhymet.ne/>).

9. Moyens humains et financiers

Investissement initial sur les différents sites avant la labellisation ORE

L'ensemble de l'instrumentation spécifique du site de Niamey a nécessité un investissement initial de 300 K€ environ effectué entre 1991 et 1993. La jouvence a représenté en moyenne 15 K€ par an sur la période 1995-2001. Pour l'observatoire de l'Ouémé, l'investissement sur la période 1997-2001 a représenté 250 K€. Les financeurs ont été l'ORSTOM, l'INSU et l'Europe (4^{ème} PCRD) pour le site Nigérien. L'investissement sur le bassin de l'Ouémé a été réalisé essentiellement par l'IRD, avec une contribution d'appoint du PNRH (1997, 1999). En ce qui concerne le site du Gourma, les investissements ont été réalisés sur des financements CNES au cours des années 1990.

Investissements ultérieurs dans le cadre de l'ORE (2002-2004)

Ces investissements ont concerné des compléments d'équipement sur les sites de l'Ouémé et du Gourma pour tendre vers une homogénéisation du dispositif de mesures hydrologiques. Cet objectif n'a été

¹ CLIVAR Africa Implementation Plan. International CLIVAR Project Office Publication Series N°35. Juin 2000. Disponible sur <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/GEWEX/GHP/ceop.html>

que partiellement atteint du fait d'un manque de forces pour tenir un dispositif hydrologique complet sur le site du Gourma. Les équipements ont donc été essentiellement des pluviographes.

Par ailleurs un important effort de jouvence sur le site de Niamey a du être entrepris.

Budget annuel de fonctionnement pour le suivi de long terme dans la configuration 2002-2004

Le budget annuel de fonctionnement pour la période 2002-2004 s'est monté à 125 k€ au total pour les trois sites, cette somme incluant les salaires des personnels locaux et des gardiens mais pas ceux des personnels statutaires des organismes français impliqués. La répartition moyenne de cette somme entre les différents contributeurs est donnée dans les tableaux 4 et 5 ci-après.

Equipements complémentaires dans le cadre de l'EOP AMMA

L'EOP d'AMMA vise à affiner le suivi des variabilités interannuelle et intra-saisonnière de certains processus clefs contrôlant la mousson d'Afrique de l'Ouest, dont les processus hydrologiques et ceux liés à la végétation. En conséquence un renforcement instrumental important a été consenti sur les trois sites de méso-échelle: 2 stations de flux en complément de celles acquises sur le programme européen AMMA-EU et de celles apportées par les britanniques du CEH-Wallingford; des dispositifs complets de suivi de l'eau dans le sol. Ces mesures seront très utiles pour mieux appréhender le cycle hydrologique aux échelles locales et pour être assimilées dans des modèles régionaux. A ce titre on peut considérer qu'elles font partie intégrante de l'ORE à compter de 2005 et l'objectif est de les maintenir pour la période 2008-2010. Il n'existe en effet aucun monitoring de ce type en Afrique et le maintien de ces équipements sur plusieurs années permettra de disposer de références précieuses dans ce type d'environnement.

Campagnes de mesure exceptionnelles (études de processus, prospections géophysiques).

Un certain nombre de campagnes de mesure exceptionnelles ont été ou seront réalisées sur les sites de l'ORE, notamment en matière de relevé de végétation, de prospection géophysique et de **tracage géochimique**. Le coût de ces campagnes a été financé par des crédits spécifiques qui ne sont pas à proprement parler des crédits ORE; par contre ces campagnes contribuent à améliorer la connaissance des sites instrumentés, donc permettront de mieux valoriser les données de l'ORE. On peut aussi mentionner des campagnes de mesure de flux de chaleur sensible par scintillométrie, mais elles rentrent plus dans le cadre de l'EOP d'AMMA que de l'ORE stricto sensu.

Récapitulatif financier

Un récapitulatif du budget sur 4 ans est donné dans les deux tableaux ci-après.

Tableau 4. Budget de dépenses de l'ORE (k€), HT et hors salaires des personnes des organismes français.

	Avant 2002	2002-2005	
Nature de la dépense	Dépense globale	Montant unitaire	Total
Investissement initial	625		
Fonctionnement annuel (inclus la jouvence)		125	500
Nouveaux Equipements ORE			78
Nouveaux Equipements EOP*			188
TOTAL (hors EOP)	625	125	578

Tableau 5. Budget de recettes de l'ORE (k€), avec décomposition par organisme financeur.

Nature de la dépense	Répartition par tutelle pour la période ORE					TOTAL
	IRD-ORE	IRD: Soutien programme	ORE-Ministère (HT)	INSU Direct + PNRH	API (EOP)	
Investissement initial	286		118,0			
Fonctionnement annuel (inclus la jouvence)	286	55	40	119		
Nouveaux Equipements ORE			78			
Nouveaux Equipements EOP*					188	
TOTAL (hors EOP)	286	55	118	119	188	578

*Ces nouveaux équipements, acquis grâce à la mise en place de l'EOP, n'auraient pas été acquis dans le seul cadre de l'ORE. Par contre, un certain nombre d'entre eux resteront pour la période 2008-2010 si un soutien de fonctionnement existe pour cela (par exemple les stations de flux)

Moyens humains spécifiquement mis à disposition depuis la labellisation

A proprement parler, en dehors de la liste de chercheurs et ITA mobilisés avant même la labellisation ORE – et donnée en section 3 de ce rapport – il y a eu une seule personne spécifiquement recrutée pour soutenir l'ORE AMMA-CATCH. Il s'agit de Véronique Chaffard, IE IRD base de données qui a commencé son travail en juillet 2005.

Personnel complémentaire souhaité

Tant du côté du LTHE que de HSM, la carence la plus évidente de notre dispositif est l'absence d'une personne qualifiée pour la supervision d'ensemble du dispositif et le contrôle opérationnel des mesures. La qualification requise est celle d'un ingénieur d'études compétent en mesures physiques et en traitement de données. Une solution serait de recruter (en externe ou en mobilité interne) un IE IRD, qui pourrait être indifféremment affecté au LTHE ou à HSM; une autre serait d'utiliser des complémentarités au niveau des structures fédératrices. La réflexion sur ce point mérite d'être approfondie, en concertation avec nos tutelles. **En tout état de cause, ce poste est un poste clé pour la bonne marche de notre observatoire et il constitue pour nous une priorité absolue.**

Dans l'objectif de renforcer le volet "observation spatiale" de l'ORE, nous avons proposé en 2004 une tâche de service sur un poste de physicien de l'Observatoire. L'idée est de faire bénéficier l'ensemble des partenaires de l'ORE d'une expertise dans le domaine des données satellitaires, aussi bien micro-onde qu'optique. On comprend bien l'intérêt de disposer d'estimation de l'humidité de surface sur l'ensemble de la région (Afrique de l'Ouest) mais surtout il faut avoir une bonne connaissance de la précision de ces estimations, en s'appuyant sur les campagnes de validations menées en Afrique, mais aussi ailleurs (données TMI, AMSR-E, futur SMOS, données GRACE). De la même façon, les données optiques et thermiques sont précieuses pour le suivi à long terme et sur l'Afrique de l'ouest du cycle de l'eau et des écosystèmes terrestres. Les données à haute résolution (Ikonos, SPOT, ASAR) sont aussi indispensables pour les changements d'échelle et les études de processus. Un physicien connaissant bien les écosystèmes africains permettrait de plus de renforcer la caractérisation de la végétation sur le site de l'Ouémé.

10. Difficultés rencontrées

En interne à l'ORE

L'histoire des trois sites d'observation conduit à un déséquilibre des disciplines : les écologues et télédéTECTEURS au Mali et les hydrologues et climatologues au Niger et au Bénin. Il est dommage qu'aucun écologue n'ait pu faire du site de l'Ouémé – qui constitue le site de la plus forte production de biomasse – son terrain d'étude privilégié. Réciproquement, il est dommage que le site qui se prête le mieux à l'estimation de l'eau du sol par satellite (le Gourma) ne dispose pas de l'appui d'un hydrologue. Cette situation résulte de l'inertie disciplinaire, de la perte en effectifs de certains laboratoires dépositaires du savoir-faire tropicaliste et de l'impuissance des tutelles à mener des politiques incitatives fortes s'appuyant sur des analyses stratégiques. Ces difficultés pourraient être partiellement résolues par quelques appuis bien ciblés, tels que décrits ci-dessous en section 11.

Un autre point faible actuel de l'ORE est le retard pris dans le développement de véritables approches régionales transversales aux sites s'appuyant sur l'intégration observations au sol- télédéTECTION-modélisation. Cette situation relève en partie aussi des facteurs cités plus hauts. Il est notoirement plus "rentable" à court terme pour un chercheur d'investir son champ de compétences que de développer des approches transverses et intégratrices. La réponse à cette difficulté réside en partie dans la prise en compte des efforts de transversalité dans les évaluations, que ce soit celle des programmes ou celle des individus. Il faut néanmoins souligner que l'ORE a permis à des équipes et des scientifiques qui s'ignoraient largement jusque là de se connaître et de travailler ensemble. Il existe un bon esprit de collaboration et cela devrait se traduire par des avancées dans le domaine de l'intégration régionale au cours des 4 années à venir. Une ébauche en ce sens existe déjà en ce qui concerne les études d'albedo.

Outre les facteurs institutionnels et épistémologiques cités plus haut, une des causes du maintien d'un certain cloisonnement entre sites est due à la faiblesse de l'appui technique mobilisable à HSM et au CESBIO (cf tableau 3, p. 12). Ceci oblige les chercheurs à un grand investissement sur le terrain au détriment du temps disponible pour développer des visions intégratrices d'ensemble.

En externe à l'ORE

Il existe des difficultés évidentes à former les scientifiques et le personnel d'appui technique africain aux démarches d'observation sur le long terme, alors que la ligne directrice de CATCH est de développer de véritables réseaux de recherche impliquant des scientifiques africains autour de ces observatoires. Ceci est dû à la situation des organismes de recherche africains, à la valorisation traditionnellement plus difficile des tâches d'observation et au manque de mécanismes institutionnels qui permettraient de former de véritables équipes mixtes dont les tâches d'observation constituerait le ciment. Ces mécanismes ne sont pas totalement inexistant (voir par exemple les procédures de jeunes équipes associées de l'IRD), mais jusqu'à présent ils n'ont pas été utilisés pour favoriser des projets de type ORE.

Au plan national, on a déjà mentionné certains facteurs généraux relevant de nos tutelles qui constituent un frein au développement de projets intégrateurs du type de celui de l'ORE AMMA-CATCH. Une meilleure coordination entre les différents organismes impliqués dans la démarche de labellisation des ORE permettrait probablement d'améliorer la situation, en permettant de mieux optimiser l'attribution des ressources en appui technique.

11. Besoins futurs

Les besoins identifiés pour les 5 années à venir (2006-2010) se situent à trois niveaux: i) maintien d'un niveau de financement de l'ordre de 125 k€ par an pour le dispositif d'observation, en particulier pour la période 2006-2007 (EOP AMMA); ii) renforcement de l'appui scientifique et technique tel que défini à partir des manques listés ci-dessus en section 10; iii) rotation des effectifs à compter de 2007, sur la base d'une plus grande implication des partenaires africains et d'une diminution du nombre de chercheurs expatriés, compensé par l'affectation d'un coordinateur technique (niveau IE) sur chaque site.

Les besoins particuliers suivants ont d'ores et déjà été identifiés:

- Pour favoriser les études transversales et régionales, le recrutement d'un physicien des observatoires avait été demandé par le CESBIO en 2005. Ce recrutement n'a pas eu lieu en 2005, mais le candidat a été bien évalué et devrait se représenter l'année prochaine. En cas de recrutement il pourrait se consacrer en partie aux études sur la dynamique de la végétation sur le site de l'Ouémé.
- Sur le site du Gourma, la priorité est clairement du côté des études hydrologiques. On peut regretter que l'affectation par l'IRD d'hydrologues au Mali ne comporte pas un volet d'appui sur le Gourma. A défaut, l'affectation d'un technicien hydrologue est très souhaitable.
- Sur le site de Niamey, un renforcement est recherché pour effectuer l'intégration entre champs de pluie (événementiel et isohyètes) et étude de la végétation et de son évolution temporelle intra-saisonnière et interannuelle, à travers les trois indicateurs ciblés comme pouvant influencer la rétro-action : albedo, rugosité, évapotranspiration. Ce travail se ferait en collaboration étroite avec les chercheurs du CESBIO qui ont déjà bien avancé sur cette thématique sur le site du Gourma.
- L'impact anthropique sur les ressources en eau, est bien documenté en zone sahélienne (Niger) et semi-aride (Gourma) (encroûtement et augmentation du ruissellement etc.). En zone soudanienne, les conséquences de la déforestation sur les sols sont peu connues (lessivage, modification de structure etc.). Un pédologue géochimiste aurait toute sa place pour travailler sur le site de l'Ouémé.

12. Evolution du champ thématique porté par l'ORE

La thématique centrale du couplage entre forçage climatique, évolution de la végétation et impact sur le cycle de l'eau portée par une stratégie d'observations conjointes des différentes composantes du bilan hydrologique en liaison avec des observations sur la végétation va demeurer; ceci d'autant plus qu'il reste encore un trop fort découpage entre un site à dominante "Végétation" et deux sites à dominante "Hydrologie" et que les modélisations intégrées ne sont pas au rendez-vous. Les deux questions centrales qui se posent sont les suivantes: i) compte tenu des déficits de moyens humains signalés plus haut, doit absolument maintenir trois sites (on pourrait par exemple envisager de regrouper les deux sites sahéliens d'une manière ou d'une autre); ii) quelle sera la démarche à adopter pour favoriser les études transversales entre les différents sites pour servir de base à une intégration régionale ?

Dans l'état actuel des mesures recueillies et des analyses effectuées, le maintien des trois sites semble nécessaire. Il est incontournable pour les deux années restantes de l'EOP AMMA (2006-2007) car les trois sites de méso-échelle font partie intégrante de la stratégie validée par les tutelles françaises et les experts européens. Les différences de densité végétale sur les 3 sites sont un élément clef pour mieux répondre aux questions sur les rétro-actions. L'installation des stations de flux constitue à cet égard un élément nouveau et leur exploitation doit être maintenue jusqu'en 2008 au moins, car les installations tardives et les problèmes inévitables de démarrage connus en 2005, feront de cette première année une

année de mise au point. Malgré un sous-effectif certain, plusieurs opérations transversales aux sites sont prévues dans les deux ans à venir (suivi écologique par J. Séghieri sur l'Ouémé, mesures avec le ballon captif de L. Kergoat à Djougou en 2006, stations flux/humidité des sols identiques sur les trois sites, généralisation des photos hémisphériques pour les estimations de LAI). En ce qui concerne le forçage climatique la possibilité de disposer de plusieurs années de mesures pluviométriques à pas de temps et d'espace fin sur le transect climatique devrait permettre des analyses très intéressantes. Il en est de même pour les mesures de rayonnement et les mesures satellitaires (notamment disponibilité de MSG).

Parallèlement au développement des études intégratrices, certaines études spécifiques en matière de processus et d'études d'impact sont rendus possibles par les nouvelles mesures installées récemment.

Processus

Sur le site soudanien, le déploiement du dispositif lourd d'analyse des processus s'achèvera fin 2005 par la mise en place des stations de flux.. Une étape d'analyse des données puis de modélisation est nécessaire avant d'explorer de nouveaux champs thématiques. Un parallèle est à faire avec le site nigérien où la phase intensive d'acquisition des données essentiellement hydrologiques(Hapex) a fait place à une période d'analyse et de modélisation avant de déboucher sur une relance du dispositif à travers la thématique du couplage hydrologie-végétation.

Sur le site de Niamey, la nouveauté pour les années à venir va se situer du côté des mesures d'évapotranspiration et de suivi de l'albedo. Parallèlement, il faudra mettre au point un protocole spécifique de mesure de la rugosité de la végétation, adapté à la fois aux bandes végétales de la brousse tigrée, aux rares arbres encore en place, très dispersés, aux champs de mil et aux jachères.

Sur le Gourma, l'essentiel du déploiement des instruments et des campagnes aura eu lieu en 2006. La phase d'exploitation et de modélisation commence à peine. On souhaite cependant faire des mesures de flux de sève: c'est la seule façon de caractériser l'évapotranspiration des arbres isolés ou en linéaire (ce qui est très répandu en Afrique de l'ouest). Il s'agit d'une priorité absolue qui sera à généraliser au plus vite sur le Bénin quand la méthodologie sera au point.

Impacts

Un programme de recherche sur les impacts sanitaires de l'hydrologie et du climat démarre au Niger. L'objectif est d'étudier les corrélations entre la prévalence paludéenne dans les villages, estimée par le taux d'infection des habitants et des moustiques (*Anopheles gambiae* et *Anopheles funestus*) et l'environnement climatique et hydrologique des habitations. En collaboration avec le CERMES (Centre d'études et de recherches médicales et sanitaires) et le MIT, un dispositif comprenant des thermomètres et des hygromètres (dans et hors des cases), ainsi que des stations de mesure de l'humidité du sol, a été installé durant la saison des pluies. Des pièges à moustiques ont également été posés, et des tests d'infestation au paludisme sont réalisés chaque mois dans les villages concernés.

Un autre domaine concerne l'érosion des sols et l'ensablement des mares, des bas fonds et de la vallée du fleuve Niger. Un programme a été lancé par une équipe du département de géographie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey avec un appui de l'ORE. L'objectif est de cerner les paramètres du comblement des mares ainsi que de leur « migration », liée à la coupure de mares existantes par les cônes de déjection des émissaires, ainsi qu'au renforcement des zones de dépôt de mi-versant, causé par l'augmentation des apports sableux venus de l'amont, et en particulier des plateaux de brousse tigrée où s'effectue actuellement l'essentiel du déboisement au Sahel. Ces études d'érosion sont associées à une étude sur la dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger, en collaboration avec l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) et l'Université de Minna (Nigeria).

ANNEXE 1

Liste de publications

Seuls sont listés ici les articles parues dans des revues à comité de lecture. Les communications à congrès ayant donné lieu à publication sont en nombre à peu près équivalent aux articles.

Articles dans des revues internationaux de Rang A:

2005 (acceptés ou publiés)

Ali A., T. Lebel, A. Amani, 2005. Rainfall estimation in the Sahel. Part 1: Error Function. *J. of Applied Meteor.*, **in press**

Ali A., A. Amani, A. Diedhiou, T. Lebel, 2005. Rainfall estimation in the Sahel. Part 2: Evaluation of Raingauge Networks in the CILSS Countries and Objective Intercomparison of Rainfall Products. *J. of Applied Meteor.*, **in press**.

Baret F., Weiss M., Garrigues S., Allard D., Guinot J.P., Leroy M., Jeanjean H., Bohbot H., Bosseno R., Dedieu G., Di Bella C., Espana M., Gond V., Gu X.F., Guyon D., Lelong C., Mougin E., Nilson T., Veroustraete F., Vintilla R., 2005. VALERI : a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products. *Remote Sensing of Environment*, **Revised paper**.

Baron, C., B. Sultan, M. Balme, B. Sarr, S. Traore, T. Lebel, S. Janicot and M. Dingkuhn. 2005. From GCM Grid Cell to Agricultural Plot: Scale Issues affecting Modelling of Climate Impact., *Phil.Trans.Royal.Soc. London, Series B.*, **in press**.

Boulain N, Cappelaere B, Séguis L, Gignoux J, Peugeot C, 2005. Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment, *Reg. Environ. Change*.

Boulain N, Simioni G, Gignoux J, 2005. Accounting for small-scale heterogeneity in mixed and sparse tree-grass cover ecophysiological models, *Agricultural & Forest Meteorology*, **in press**.

Braud, I., D. de Condappa, J. Soria, R. Haverkamp, R. Angulo, S. Galle and M. Vauclin, 2005. Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties (the Beerkan method), *European Journal of Soil Science on line* (doi 10.1111/j.1365-2389.2004.00660.x.)

Jarlan L., Tourre Y., Mougin E., Philippon N., Mazzega P., 2005, Dominant patterns of AVHRR NDVI interannual variability over the Sahel and linkages to key climate signals (1982-2002), *Geophysical Research Letters*, **32**, L04701, doi:10.1029/2004, GL021841.

Le Lay, M. & S. Galle, 2005. Variabilités interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques. La mousson ouest-africaine en climat soudanien. *Journal des Sciences Hydrologiques* **50 (3)** : 509-524.

Massuel S, Favreau G, Descloîtres M, Letroquer Y, Albouy Y, Cappelaere B, 2005, Deep infiltration through an alluvial fan in semiarid Niger: evidence using subsurface geophysics, vadose zone chemistry and hydrological modelling, *Catena*.

Philippon N., Mougin E., Jarlan L. and Frison P. L., 2005. Analysis of the linkages between rainfall and land surface conditions in the West African Monsoon through CMAP, ERS-WSC and NOAA/AVHRR data. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, **Revised paper**.

Tracol Y., Mougin E., Jarlan L., Hiernaux P., 2005, Testing a sahelian grassland functioning model against herbage mass measurements, *Ecological modelling*, **Revised paper**.

2004

Gosset, M., 2003: Effect of non uniform Beam Filling on the propagation of Radar Signals at X-band frequencies. Part 2 : Examination of Differential Phase shift, *J. Tech.*, **21**, 358-367.

Jarlan L., Mougin E, Mazzega P., Schoenauer M., Tracol Y., and Hiernaux P., 2004. Using coarse remote sensing radar observations to control the trajectory of a simple Sahelian land surface model, *Remote Sens. Environment*, **94/2**, 269-285.

Onibon H., T. Lebel, A. Afouda, G. Guillot, 2004. Gibbs sampling for conditional spatial disaggregation of rain fields, *Water Resources Research*, **40**, W08401, doi: 10.1029.

Séguis L., Cappelaere B., Milesi G., Peugeot C., Massuel S. Et Favreau G., 2004. Simulated impacts of climate change and land-clearing on runoff from a small Sahelian catchment. *Hydrological Processes*, **18**, 3401-3413.

2003

Ali, A., T. Lebel, A. Amani, 2003: Scale invariance of Sahelian rainfields. *J. of Hydrometeorology*, **4(6)**, 996-1011.

Lebel, T., A. Diedhiou, H. Laurent, 2003: Seasonal cycle and interannual variability of the Sahelian rainfall at hydrological scales, *J. Geophys. Res.*, **108(D8)**, 8389, doi:10.1029.

Cappelaere B., Vieux B., Peugeot C., Maia-Bresson A. and Séguis L., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger. 2. Model calibration and uncertainty characterization. *Journal of Hydrology*, **279**, 244-261.

Jarlan L., Mazzega P., Mougouin E., Lavenu F., Marty G., Frison P.L., Hiernaux P., 2003, Mapping of sahelian vegetation parameters from ERS scatterometer data with an evolution algorithm, *Remote Sens. Environment*, **87**, 72-84.

Peugeot C., Cappelaere B., Vieux B., Séguis L. Et Maia-Bresson A., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger. 1. Model-aided data analysis and screening. *Journal of Hydrology*, **279**, 224-243.

2002

Elbaz-Poulichet F., Favreau G., Leduc C. Et Seidel J.L., 2002. Major ion chemistry of a Sahelian aquifer (Continental Terminal water table, Niger). *Applied Geochemistry*, **17**, 1343-1349.

Elizondo D., Cappelaere B., Faure C., 2002. Automatic versus manual model differentiation to compute sensitivities and solve non-linear inverse problems. *Computers and Geosciences*, **28(3)**, 309-326.

Favreau G., Leduc C., Marlin C., Dray M., Taupin J.D., Massault M., Le Gal La Salle C. and Babic M., 2002. Estimate of recharge of a rising water-table in semi-arid Niger from 3H and 14C modelling. *Groundwater*, **40(2)**, 144-151.

Jarlan L., Mazzega P., Mougouin E., 2002b, Retrieval of land surface parameters in the Sahel from ERS Wind Scatterometer data: a brute force method. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sen.*, **40(9)**, 2056-2062.

Jarlan L., Mougouin E., Frison P.L., Mazzega P., Hiernaux P., 2002a, Analysis of ERS wind scatterometer time series over Sahel (Mali). *Remote Sens. Environ.*, **81(2-3)**, 404-415.

Le Barbé, L., Lebel, T. & Tapsoba, D. (2002) Rainfall variability in West Africa during the years 1950-90. *J. Climate* **15(2)**, 187-202.

Mathon V., A. Diedhiou and H. Laurent, 2002. Relationship between easterly waves and mesoscale convective systems over the Sahel, *Geophys. Res. Lett.*, vol. **29(8)** : 57-1/57-4.

Mathon V., H. Laurent and T. Lebel, 2002: Mesoscale convective system rainfall in the Sahel. *J. Applied Meteor.*, **41**, 1081-1092

Redelsperger J-L., A. Diongue, A. Diedhiou, J. P. Ceron, M. Diop, J.F. Guerey and J. P. Lafore, 2002. Multi-scale description of a Sahelian synoptic weather system representative of West African monsoon. *Quart. Journ. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 1229-1257.

Séguis L., Cappelaere B., Peugeot C. and Vieux B., 2002. *Impact on Sahelian runoff of stochastic and elevation-induced spatial distributions of soils parameters. Hydrological Processes*, **16**, 2, 313-332.

Autres Articles:

2005

Balme M., S. Galle and T. Lebel, 2005. Démarrage de la saison des pluies au Sahel : Variabilité à des échelles hydrologique et agronomique. *Sècheresse*, **16(1)**, 15-22..

Le Lay, M. and S. Galle, 2005. How changing rainfall regimes may affect the water balance. A modelling approach in West Africa. in « Regional hydrological impacts of climatic changes-Hydroclimatic variability » *IAHS Publ.* n°**296**: 203-210.

2004

Ali A., T. Lebel, A. Amani, 2004. Estimation des pluies au Sahel : utilisation d'un modèle d'erreur pour évaluer réseaux sol et produits satellitaires. *Sécheresse*, **15(3)**, 1-8.

Bigot S., T. Y. Brou, Y. Oszwald, A. Diedhiou, and C. Houndenou, 2003. Facteurs d'explication de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, *Sécheresse*, **soumis**

Favreau G., Guero A. Et Seidel J.L., 2004. *Comment on "Improving noble gas based paleoclimate reconstruction and dating using $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ ratios" by F. Peeters et al (2003)*. *Geochimica et Cosmochimica*, **68(6)**, 1433-1435.

Lebel, T. et T. Vischel, 2004. Climat et cycle de l'eau en zone tropicale : un problème d'échelle. *CR Acad. Sciences, Géosciences*, **337**, 29-38.

2003

Cappelaere, B., Peugeot, C., Séguis, L., Maia, A., & Vieux, B. 2003. Associer données et modèle incertains: une expérience en petit bassin sahélien. *Hydrology of Mediterranean and Semi-Arid Regions. IAHS Publ n° 278*, 151-156.

Martin Rosales W. Et Leduc C., 2003. *Dynamiques de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud-Ouest du Niger)*. *Comptes Rendus Géosciences*, **335(5)**, 461-468.

Massuel, S., Séguis, L., Niel, H., Cappelaere, B., Delclaux, F., and Peugeot, C. 2003. Typologie de bassins versants en préalable à la modélisation hydrologique d'une région sahélienne. *Hydrology of Mediterranean and Semi-Arid Regions. IAHS Publ n° 278*, 157-162.

2002

Amani, A. and Nguetora, M., 2002. Evidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey. In Van Lannen, H., Demuth, S. (Eds). *FRIEND 2002 regional Hydrology: bridging the gap between research and practice. Proc. of Friend Conf. Cap Town, S.A., IAHS Pub. 274*: 449-456.

Favreau G., 2002. *Le déboisement : origine d'une hausse durable de la recharge et des nitrates en aquifère libre semi-aride (Sahel, Niger)*. *Pangea*, **37/38**, Juin/Décembre 2002.

Favreau G., Leduc C., Marlin C. Et Guero A., 2002. *Une dépression piézométrique naturelle en hausse au Sahel (Sud-Ouest du Niger)*. *Comptes Rendus Géosciences, Paris, série II*, **334(6)**, 395-401.

Taupin J.D., Gaultier G., Favreau G., Leduc C. Et Marlin C., 2002. *Variabilité isotopique des précipitations sahéliennes à différentes échelles de temps à Niamey (Niger) entre 1992 et 1999 : implication climatique*. *Comptes Rendus Géosciences, Paris, série II*, **334**, 43-50.

Vulgarisation

Lebel, T., C. Peugeot, S. Galle & A. Diedhiou, 2003. "Capricieuse mousson." *Sciences au sud* **18**: 8-9.

Lebel T., J.-L. Redelsperger and C. Thorncroft, 2003. African Monsoon Multidisciplinary (AMMA) : An international research project and field campaign. *Exchanges*, **27(8)**, 52-54.

Lebel T., J.-L. Redelsperger and C. Thorncroft, 2003. The African Monsoon Multidisciplinary Analysis Project (AMMA). *GEWEX Newsletter*, **13(4)**, 8-9.

Lebel T., 2003. Fluctuations climatologiques et impact sur les marchés africains. *Marchés tropicaux et méditerranéens*, **3000**, 1018-1019.

ENCADREMENT DE THESEES :

Thèses soutenues

Massuel S., 2005. Fonctionnement hydrologique d'une zone sahélienne de 1500 km² (Niamey, Niger): identification et modélisation des processus de surface et souterrains sur la période 1990-2000. **Université Montpellier 2 (juillet 2005).**

Abdou ALI : "Modélisation de l'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens. Application aux algorithmes d'estimation et aux études de variabilité climatique". *Institut National Polytechnique de Grenoble*. Thèse sur articles soutenue le 21 décembre 2004.

Maud BALME : "Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil". *Institut National Polytechnique de Grenoble (Co-direction avec Sylvie Galle)*. 160 p. Décembre 2004.

Tracol Y., 2004, Etude des variations interannuelles de la production herbacée des pâturages sahéliens : Exemple du Gourma malien. **Thèse de l'Université Paul Sabatier, 264 p.**

Boulain N., 2004. Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien. **Thèse de Doctorat, Université Paris VI (mai 2004).**

Guero A., 2003. Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure sud-ouest du bassin des lullemeden (Niger) - Approches géochimiques et hydrodynamiques. **Thèse de Doctorat, Université Paris XI - Orsay (septembre 2003).**

Jarlan L., 2001, Inversion des données du diffusiomètre-vent des satellites ERS pour le suivi de la végétation en zone aride. **Thèse de l'Université Paul Sabatier. Décembre, 263 p.**

H. Onibon : "Simulation conditionnée des champs de pluies événementiels au Sahel: application de l'algorithme de Gibbs". *Thèse préparée en co-tutelle Institut National Polytechnique de Grenoble/ Université Nationale du Bénin, en co-direction avec le Professeur A. Afouda*. Novembre 2001.

Thèses en cours

BAUP, Frédéric. Utilisation des données Radar pour contrôler les simulations couplées végétation/humidité du sol en zone Sahélienne. Université de Toulouse

KAMAGATE, Bamori. Relation nappe-rivière en milieu tropical fracturé : approches hydrodynamique et géochimique. Cas du bassin de la Donga (centre ouest Bénin). Université Montpellier 2.

LELAY, Mathieu. Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydroclimatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique de méso-échelle au Bénin. Thèse INPG démarrée en octobre 2002 sur allocation Ministère. A soutenir en 2005.

LAWIN, Emmanuel: Etude des propriétés d'invariance d'échelle des systèmes hydrologiques ouest-africains. Thèse co-tutelle Université d'Abomey-Calavi et INPG, démarrée en octobre 2002 sur allocation IRD et co-encadrée avec A.. Afouda. A soutenir en 2005

MOUMOUNI, Soumaïla, Caractérisation des pluies au Bénin à partir d'observation radar météorologique, disdrométrique et pluviométriques., allocation CNRS BDI-étranger. Double tutelle INPG et UAC, à démarrer en nov. 2005.

VISCHEL, Théophile : *Impact de scénarios climatiques et de pression anthropique sur la réponse des systèmes hydrologiques sahéliens*. Thèse INPG démarrée en octobre 2002 sur allocation Ministère. A soutenir en 2005.

ZAHIRI, Eric-Pascal. Contribution à l'étude des systèmes convectifs par radar : tests de faisabilité du radar XPort par simulation numérique. Soutenance prévue en avril 2006. Thèse de l'UPS, coencadrement LAPA- Abidjan, CNRM, LTHE, allocation IRD.

ANNEXE 2

Fiches des instruments déployés dans le cadre de l'ORE AMMA-CATCH

Il existe une fiche par instrument déployée dans le cadre du projet AMMA. Treize instruments LOP dans le domaine des études de végétation et du cycle hydrologique (Tableau 1, Page 11) sont des instruments ORE CATCH stricto sensu. Vingt-deux instruments EOP (Tableau 2, Page 11) sont des extensions naturelles de l'ORE, certains d'entre eux ayant vocation à rester en place au delà de l'EOP d'AMMA. Il serait trop volumineux d'inclure dans cette annexe ces 35 fiches instruments. On s'est donc limité à quelques fiches représentatives de la diversité des instruments et des protocoles de mesure.

Fiche Instrument AMMA

LF17

Code CL.Rain_N	PI (Nom, E-Mel) L. Descroix descroix@ird.ne	Labo et TT AMMA LTHE + HSM TT4	Période AMMA 2004-2010	Source du Financement ORE Amma-Catch
--------------------------	--	---	----------------------------------	--

Description de l'instrument. Réseau de 30 pluviographes installés sur le degré carré de Niamey et sur le super site du kori de Dantiandou ; capteurs Précis Mécanique avec enregistreurs Œdipe Elsyde (29) ou HoBo (1). En fonctionnement depuis 1990.

Données fournies pour la Base de données. Enregistrement continu de la pluie (5 minutes, journalière).

Equipe scientifique et technique. Luc Descroix, Stéphane Boubkraoui, Bernard Cappelaere (IRD, HSM, LTHE)

Objectifs Scientifiques. Documentation de la pluviométrie dans le degré carré de Niamey et les super sites. La pluie représente la donnée d'entrée nécessaire à tous les chercheurs travaillant dans ce secteur ;

Stratégie d'observation. Le réseau du degré carré permet de connaître la variable pluie à méso-échelle, de connaître la forme des champs de pluie et la variabilité interannuelle des pluies à échelle fine ; les appareils posés sur les super sites documentent la donnée d'entrée nécessaire à toute étude hydrologique ;

Liens avec d'autres instruments. cet équipement est en lien avec le réseau de mesure piézométrique installé dans le kori de Dantiandou ainsi qu'avec le réseau de limnigraphes, en fournissant la donnée d'entrée au système.

WPs utilisateurs: 2.3

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement (lieu, dates, logistique associée). Les 30 appareils sont distribués régulièrement dans le degré carré afin de documenter au mieux l'ensemble de l'espace

Collaborateurs africains. Direction des Ressources en eau du Niger,

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence. remplacement Œdipe par HoBo : $0,2 \text{ k€} \times 10 = 2 \text{ k€}$ (ORE). Fonction des résultats obtenus avec les Hobos, prévoir une jouvence des acquisitions les années suivantes, toujours sur crédits ORE, donc sans incidence sur les autres sources de financement.

Equipements annexes requis.

Transport et installation sur site :

Fonctionnement: 14k€ par an financé ORE AMMA Catch **+20% = 2.8 k€ an** participation logistique ORE
Missions :

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument (2004-2010): 119.6 k€

Montage financier (k€)

API- France					
ORE	16,8	18,8	16,8	16,8	16,8
IP Europe					
Participation étrangère					
TOTAL	16,8	18,8	16,8	16,8	16,8

Ref. Biblio:

LeBarbé, L. et Lebel, T., 1997: Rainfall climatology of the Hapex Sahel region during the years 1950-1990. J. of Hydrol., **188-189**, 43-73; Ali, A., Lebel, T., Amani, A., 2003. Invariance in the spatial structure of sahelian rain fields at climatological scales. Journal of Hydrometeorology, (4) **6**, 996-1011. .

Version 28 juillet 2005

Fiche Instrument

LF20

Code CL.Pond_Nc	PI (Nom, E-Mel) B. Cappelaere Bernard.cappelaere@mpl.ird.fr	Labo et resp. AMMA HSM + LTHE TT4	Période AMMA 2001-2010	Source du Financement ORE Amma – Catch + DRE Niger
--------------------	--	---	---------------------------	--

Description de l'instrument. Réseau de mesures limnimétriques installées sur 5 mares, équipées d'appareils de diverses marques : Elsyde Chloe, Campbell,

Données fournies pour la Base de données. Enregistrement continu du niveau de l'eau dans les mares.

Equipe scientifique et technique. Bernard Cappelaere, Guillaume Favreau, Luc Descroix, Stéphane Boubkraoui, (IRD, HSM, LTHE)

Objectifs Scientifiques. Documentation du niveau de l'eau dans les mares, afin de contrôler les écoulements dans le bassin versant connu et de mesurer les processus d'infiltration préférentiels sous les mares;

Stratégie d'observation. Suivi de 4 mares équipées depuis 1998 en bas fonds dont on sait qu'ils sont des zones de recharge de la nappe, afin de contrôler les relations mares-nappes ; équipement d'une mare de plus en plateau, sur une bande de végétation, zone d'infiltration supposée ; les mares équipées sont dans le secteur de Wankama-Banizoumbou.

Liens avec d'autres instruments. cet équipement est en lien avec le réseau de mesure piézométrique installé dans le kori de Dantiandou ainsi qu'avec le réseau de pluviographes qui permettent d'avoir la donnée d'entrée du système.

WPs utilisateurs: 2.3

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement (lieu, dates, logistique associée). 4 mares de bas fonds sont équipées depuis 1998, mais un appareil est à remplacer. 1 mare de plateau a été équipée en 2004 (Sofia) ;

Collaborateurs africains. Direction des Ressources en eau du Niger,

Autres. Un stagiaire nigérien (ou de la sous-région) doit suivre chaque année le réseau d'appareils et en utiliser les données pour son travail de recherche

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence.: 1.2 k€ pour 1 acquisition en 2004 ; 1,2 k€/an pour 1 jouvence/an à partir de 2005

Equipements annexes requis.

Transport et installation sur site : 5 k€ (1k€/appareil= 1 par an)

Fonctionnement : 4 k€/an, financés par l'ORE AMMA Catch +20% = 0.8 k€/an participation logistique ORE + 1,2 k€ chaque année de surcoût de fonctionnement pour le stagiaire

Missions :

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument (2004-2007): 57.4 k €

Montage financier (k€)

Source du financement	2004	2005	2006	2007	2008
API- France					
ORE	7	8,2	8,2	8,2	8,2
IP Europe					
Participation étrangère	1,2				
<i>à trouver</i>					
TOTAL	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2

Ref. Biblio:

Cappelaere, B., Vieux, B., Peugeot, C., Maia, A., Séguis, L., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in Sahelian West Niger, 2: Model calibration and uncertainty characterization. J. of Hydrol., 282: 130-137.

Version 28 juillet 2005

Fiche Instrument AMMA

EF6

Code AE.BaCO2_G	PI (Nom, E-Mel) Laurent Kergoat Laurent.kergoat@cesbio.cnes.fr	Labo et resp. AMMA CESBIO, Eric Mougin	Période AMMA 2004-2007	Source du Financement ECCO-2004 API-2005
---------------------------	---	--	----------------------------------	---

Description de l'instrument. Ballon captif + cerf-volant + sondes et analyseur pour profils de CO₂, vent, H₂O, temp.

Données fournies pour la Base de données. Profils de CO₂, Tair, RH, vent sur 0-200m,

Equipe scientifique et technique. Kergoat L, Ceschia E, Baup F, Timouk F, Mougin E (CESBIO, Toulouse), F Guichard (CNRM), F Lohou (LA)

Objectifs Scientifiques.

-Estimation des flux de CO₂ nocturnes à la surface à l'échelle du supersite (50 km) à partir des profils de concentration en CO₂. Comparaison avec l'upscaling des flux (WP 2.3.3)

-Estimation des flux de surface diurnes LE, H et CO₂ à l'échelle du supersite (50 km) par bilan de couche limite convective. Comparaison avec l'upscaling des flux (WP 2.3.3)

-Documentation des basses couches (0-200 m) de l'atmosphère. (stable boundary layer, ...)

Stratégie d'observation. 7 nuits effectuées sur une période de 20 jours (Août 2004). Objectif de 8 nuits en 2005 (Août) pour les flux nocturnes. Double manip. Djougou/Hombori en prévue en 2006. (10 jours les flux diurnes H₂O/sensible heat/CO₂ à Djougou quand l'UHF et/ou le SODAR y seront).

Liens avec d'autres instruments. Mesures de chambre et foliaire d'échange de CO₂ et H₂O (AE-VEG-G). Humidité du sol (E-SW-G) stations flux de surface (H₂O/CO₂/énergie) installées en 2005 par C. Lloyd. Télédétection spatiale (végétation). UHF/SODAR sur Djougou.

WPs utilisateurs: WP 2.3.3 en 2004 et 2005, WP 1.3 WP 1.2, WP 2.3.3 en 2006.

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement. Hombori (Gourma/Mali) août 2004.

Planifié en Août 2005 sur Hombori.

Manip prévues à Djougou/Bénin et Hombori en 2006.

Collaborateurs africains. IER-Mali, IRD Bamako, à définir sur Djougou / 2006.

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence. 2004 : 4. k€ (Ballon, cerf-volant, tube, location sonde PTU)

2005 : 3 k€ (révision/calibration de l'analyseur -LICOR 6262)

Equipements annexes requis. 2004 : 0.2 k€(batteries + petits équipements).

2005 : 0.2 k€

Transport et installation sur site : 2004 : 3.7 k€ (3.4 k€ pour avion +véhicule +essence +0.3 k€installation).

2005: 3.7 k€

Fonctionnement : 2004 : 1.5 k€ (1 x 9m³ bouteille d'Hélium)

2005 : 3 k€ (2 x 9m³ bouteilles d'Hélium).

Missions : 2004 : 6 k€ (3x20 personne.jour + billet avion)

2005 : 6 k€ (idem)

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument pour AMMA : 2004 15.4 k€

2005 15.9 k€

Pour 2006, une double campagne sur Djougou et sur Hombori est estimée à 20 k€ au total. Les détails de la campagne 2006 sur Djougou ne sont pas arrêtés, et dépendent du déploiement de l'UHF/SODAR. On envisage la même chose en 2007 (15 k€).

Montage financier (k€)

Source du financement	2004	2005	2006	2007	2008
API- France	0	15,9	20	15	
Autre source française	15,4				
Participation étrangère					
TOTAL	15,4	15,9	20	15	TBD

Références :

Cleugh, Raupach, Briggs and Coppin, 2004, Regional-scale heat and water vapour fluxes in an agricultural landscape: An evaluation of CBL budget methods at Oasis. Boundary Layer Meteor.

Version 20 octobre 2004

Fiche Instrument AMMA

EF14

Code CE.SW_G	PI (Nom, E-Mel) Patricia de Rosnay patricia.derosnay@cesbio.cnes.fr	Labo et resp. AMMA CESBIO, Eric Mougin	Période AMMA 2004-2007	Source du Financement API
------------------------	--	--	----------------------------------	-------------------------------------

Description de l'instrument. Réseaux de 9 profils d'humidité et de température du sol sur le site méso échelle du Gourma.

5 profils sur sol sableux, avec pour chacun 7 CS616 et 4 PT108 (sur 4 profils) jusqu'à 2.5m de profondeur (2005).

1 profil sur sol sableux, avec 6 CS616 et 5 PT108 jusqu'à 2.5m de profondeur (2004).

1 profil sur sol sableux, avec 6 théta probes, 1 CS616 et 5 PT108 jusqu'à 2.5m de profondeur (2002).

1 profil sur sol sableux, avec 5 CS616 et 2 PT108 jusqu'à 2.5m de profondeur (2004).

1 profil sur sol argileux avec 4 théta probes et 4PT108 sur 1m de profondeur (2005).

Données fournies pour la Base de données : Profils d'Humidité du sol et températures avec une résolution verticale de 20 cm.

Equipe scientifique et technique. P. de Rosnay, Frank Timouk, François Lavenu, Eric Mougin, Frédéric Baup

Objectifs Scientifiques. Documentation de la dynamique de l'humidité du sol en zone sahélienne. L'intérêt est de caractériser la variabilité spatiale, en particulier le long d'un gradient méridien dans la fenêtre méso-échelle du Gourma, ainsi que la variabilité verticale et temporelle qui sont très marquées. Ces données seront utilisées tant à des fins de compréhension et modélisation/validation des processus de surface (WP2.3) et des rétroactions surface-atmosphère (WP1.3), que pour la quantification des bilans d'eau des surfaces continentales (WP 1.2) et pour l'utilisation et la validation de données satellitaires d'humidité des sols (WP4.3) et leur assimilation dans les modèles (WP4 .1.2).

Stratégie d'observation. La stratégie consiste à documenter de manière exhaustive les processus de surface et leur variabilités spatiales et temporelles. L'observation terrain est conduite dans une optique d'utilisation en synergie avec les approches de modélisation et télédétection. Ces mesures sont complémentaires des mesures intensives de végétation et les mesures météorologiques pour caractériser le système sol-plante-atmosphère.

Liens avec d'autres instruments. Réseaux de pluviographes et météo (CL.Rain_G, AL.Met_G), mesures de végétation (CE.VegSoil_G).

WPs utilisateurs: 1.2, 1.3, 2.3, 4.1

References: Campbell Scientific, 2003: CS616 Water content reflectometer. User Guide-rev. 01/04/03. Technical report, Campbell Scient. Inc.

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement (lieu, dates, logistique associée). Implémentation en 2002 d'un profil, en 2004 de 2 profils (Hombori-Agoufou et Bamba), phase d'étalonnage et validation en août 2004. Installation des 6 nouveaux profils en 2005. Alimentation électrique par panneaux solaires.

Collaborateurs africains. IER-Mali, CRRA-Gao, Direction de la Météorologie Nationale-Mali.

Autres.

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence. Installation d'un profil en 2002, 2 en 2004, installation de 6 profils en 2005 le long d'un transect nord-sud entre Agoufou et Bamba. L'installation inclut les équipements annexes (centrales d'acquisition, panneaux solaires, sondes de température de sol) et la jouvence du matériel en 2006 et 2007.

Au total pour l'équipement : 37 k€(8 k€ en 2004 ; 25 k€ en 2005, 2 k€ en 2006, 2 k€ en 2007).

Transport et installation sur site : Fonctionnement : 7 k€(3 k€ en 2005 et 2 k€ en 2006 et 2007).

Missions : 11 k€(2 k€ en 2004, 3 k€ en 2005, 3 k€ en 2006, 3 k€ en 2007)

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument: 55 k€

Montage financier (k€)

Source du financement	2004	2005	2006	2007
API- France		31	7	7
ORE	10			
IP Europe				
TOTAL	10	31	7	7

Version 14 novembre 2004

Fiche Instrument AMMA

EF19

Code CL.Run_O	PI (Nom, E-Mel) Christophe Peugeot peugeot@ird.fr	Labo et TT AMMA HSM, TT5	Période AMMA 1997-2010 (débits) 2005-2010 (conduc.)	Source du Financement ORE AMMA-CATCH, API, IRD
-------------------------	--	------------------------------------	--	---

Description de l'instrument. Réseau à méso-échelle de stations de mesure du débit et de la conductivité électrique de l'eau sur 14 sous-bassins de l'Ouémé (293 à 14 600 km²) dont 6 stations du réseau national béninois. Chaque station est équipée d'un enregistreur de niveau et automatique. En 2005, 10 stations sont mises à niveau avec un conductimètre automatique, et 3 sont suivies avec des mesures manuelles épisodiques.

Données fournies pour la Base de données. Séries chronologiques de débits et conductivité électrique instantanés et débits moyens journaliers.

Equipe scientifique et technique. C. Peugeot (CR IRD/HSM), A. Gohoungossou (DGH/SH), J.M. Bouchez (AI IRD/LTHE), T. Ouani, S. Afouda, (Tech. IRD- Bénin).

Objectifs Scientifiques. Mesure à long terme (LOP) des débits et de la conductivité électrique de l'eau des sous-bassins de l'Ouémé supérieur. Permet de diagnostiquer les fluctuations des écoulements, en relations avec les fluctuations pluviométriques. La conductivité électrique en rivière est une mesure intégratrice qui permet de documenter indirectement l'origine de l'eau (pluie, ruissellement de surface, de sub-surface, vidange de nappe). Complétées par la caractérisation hydrochimique des eaux (instrument CE.Wchem_O) ces mesures permettent de comprendre les processus de génération des écoulements, de calculer les termes du bilan hydrologique et de constituer des jeux de validation des sorties des modèles hydrologiques.

Stratégie d'observation. Mesure automatique à pas de temps fin (5min à 1h) de la conductivité électrique et des hauteurs d'eau aux stations. Conversion de la hauteur d'eau en débits via la courbe de tarage débit=f(hauteur) de chaque station. Etalonnages des stations réalisée avec un ADCP (instrument CL.ADCP_O).

Liens avec d'autres instruments. Réseaux de pluviographes (CL.Rain_O, CL.Rain_Od), mesures de débit (CL.ADCP_O, CL.Run_Od), mesures hydrochimiques (CL.Wchem_O, CL.Wchem_Od)

WPs utilisateurs: 2.3, 1.2, 4.1.2

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement (lieu, dates, logistique associée). 6 stations historiques (réseau national) et 8 stations déployées depuis 1997 sur crédits IRD puis ORE. 10 Conductimètres automatiques à déployer en 2005.

Collaborateurs africains. Service de l'Hydrologie (Direction Général de l'Hydraulique du Bénin), UAC

Autres.

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence. Jouvence parc limnigraphes : **1.5 k€ an (AMMA-CATCH)**
 Conductimètres automatique: 10 appareils * 2.5 k€ **25 k€(API) ;**
 Conductimètres manuels : 4 appareils * 125 € **0.5 k€(ORE)**

Equipements annexes requis. ADCP (étalonnage des stations ;, CL.ADCP_O)

Fonctionnement : Maintenance et collecte des données : **7 k€ an (ORE)**

Missions : en pool avec autres instruments

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument pour AMMA : **68 k€**
 (25 k€ API et 43 k€ ORE AMMA-CATCH)

Montage financier (k€)

Source du financement	2004	2005	2006	2007	2008
API- France		25			
ORE	8,5	9	8,5	8,5	8,5
IP Europe					
Participation étrangère					
TOTAL	8,5	34	8,5	8,5	8,5

Ref. Biblio:

Version 14 avril 2005

Fiche Instrument AMMA

EF28

Code CE.SW_Odc Toposéquence eau du sol	PI (Nom, E-Mel) Sylvie Galle galle@ird.fr	Labo et resp. AMMA LTHE, T. Lebel	Période AMMA 2004-2008	Source du Financement PNTS, ECCO-PNRH, API
---	--	---	----------------------------------	--

Description de l'instrument. Réseau de stations automatiques de mesure de la teneur en eau, tension capillaire et température du sol (Campbell), sur un profil vertical de 5 à 300 cm.

Données fournies pour la Base de données. Teneur en eau (6 profondeurs), tension capillaire (9 profondeurs) et température du sol (5 profondeurs), pas de temps horaire

Equipe scientifique et technique. S. Galle (CR IRD/LTHE), J.-P. Laurent (CR CNRS/LTHE), J-M. Bouchez (AI LTHE).

Objectifs Scientifiques. Documenter les processus de redistribution verticale de l'eau dans les horizons superficiels du sol sur 3 versants caractéristiques des principales formations végétales (jachère, forêt, savane), bassin de la Donga.

Stratégie d'observation. Déployées selon un transect (2 à 3 stations sur une toposéquence) et associées à un pluviographe, des piézomètres et une station de mesure de flux, ces appareils permettent de suivre la redistribution verticale de l'eau dans les sol, et de comprendre les processus de percolation vers les nappes et d'évaporation/transpiration.

Liens avec d'autres instruments. Pluviographes (CL.Rain_Odc), Ecoulements de surface sur versants (CE.Run_Odc), Piézomètres de versant (CE.Gwat_Odc), Station de flux (AE.Flux_Odc), campagne géophysique électrique (CC.geophy_Odc), suivi de la végétation.

WPs utilisateurs: 2.3, 1.2, 1.3, 4.1.2, 4.3.8

MISE EN ŒUVRE et COLLABORATIONS

Déploiement (lieu, dates, logistique associée). 5 stations acquises en 2003 sur crédits PNTS et ECCO-PNRH. 4 Stations à acquérir (API). 2 Stations déployées en 2003 et 2004, 7 à déployer en 2005.

Collaborateurs africains.

PARTIE FINANCIERE

Acquisition ou Remise à niveau / Jouvence. 4 stations à 6.5 k€ = 26 k€(API)

Transport et installation sur site : 8 k€(API) ; Entretien/jouvence :

Fonctionnement : coût marginal annuel par rapport aux tournées sur le réseau pluvio, limni. et piézo. : 1.5 k€an de missions et 2 k€an de jouvence en 2006 et 2007.

Missions :

Coût total de la mise en œuvre de l'instrument pour API : 42.5 k€ ; pour AMMA : 43.5 k€

Montage financier (k€)

Source du financement	2004	2005	2006	2007	2008
API- France	34	1,5	3,5	3,5	
PNRH	1				
IP Europe					
Participation étrangère					
TOTAL	35	1,5	3,5	3,5	tbd

Ref. Biblio: Galle, S., Laurent, J.-P., and Séguis, L., 2004. Monitoring water fluxes in soils within the Donga river basin, Bénin, West-Africa, EGU. 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts

Version 3 novembre 2004