

COMITE INTER-ORGANISMES ENVIRONNEMENT

Dossier à remplir pour l'évaluation des systèmes d'Observation labellisés (Reconduction pour la période 2010-2013)

Nom du service : **AMMA-CATCH**
<http://www.amma-catch.org>

Nom du responsable : **Thierry LEBEL, DR IRD, LTHE, assisté du comité de direction suivant :**
Christophe Peugeot, CR IRD, HSM
Eric Mougin, DR CNRS, LMTG
Sylvie Galle, CR IRD, LTHE

A noter : Le nom du responsable de ce comité de direction est susceptible de changer au cours de la période 2010-2013

OSUs de rattachement : **OSUG, OMP, OREME**

Autres laboratoires intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer en deux lignes maximum, le mode d'intervention, hors exploitation scientifique):

Le SOERE est porté depuis sa labellisation ORE en 2002 par trois laboratoires : le CESBIO, HSM et le LTHE. Plusieurs chercheurs et ITAs de ces trois laboratoires sont impliqués dans la mise en œuvre sur le terrain et dans l'exploitation scientifique des données. En 2010, la plus grande partie des chercheurs du CESBIO impliqués dans AMMA-CATCH migreront vers le LMTG ; la direction du CESBIO nous a fait savoir qu'en conséquence elle ne souhaite plus que son laboratoire soit impliqué en tant que tel dans AMMA-CATCH. Ceci n'exclut pas que certains chercheurs continuent à intervenir de manière ponctuelle sur notre région d'étude. Par ailleurs des chercheurs du CETP (maintenant au LSCE) et du LOCEAN ont participé à des observations de terrain complémentaires et à des études de modélisation en collaboration avec les chercheurs des trois laboratoires pré-cités et souhaitent maintenir leur activité dans le futur.

I DESCRIPTION DU SYSTEME d'OBSERVATION

• Le Système d'Observation

Depuis sa labellisation en ORE par le ministère en 2002 AMMA-CATCH est porté par trois laboratoires : le CESBIO, HSM et le LTHE. En 2005, l'ORE a été évalué positivement par l'INSU et labellisé Service d'Observation (SO). En 2010, la plus grande partie des chercheurs du CESBIO impliqués dans AMMA-CATCH migreront vers le LMTG. La demande de labellisation en SOERE (Systèmes d'Observation et d'Expérimentation pour la Recherche en Environnement) qui est associée à ce document d'évaluation est donc portée conjointement par le LTHE, HSM et le LMTG. Alors que le cœur des observations du SOERE sera assuré par des chercheurs et ITAs de ces trois laboratoires, des scientifiques du LOCEAN et du LSCE seront également étroitement associés à la mise en œuvre de certaines mesures et à leur exploitation, formant ce que l'on peut considérer comme un deuxième cercle du SO. Le cercle extérieur est celui des utilisateurs des données, qui appartiennent à une quinzaine de laboratoires différents.

• Le contexte scientifique

Le système d'observation AMMA-CATCH vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la Mousson Ouest-Africaine (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 deux tiers 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. Puis, à compter de la fin des années 1990 on a observé un retour à de meilleures conditions pluviométriques sur la sous-région Sahélienne située à l'est de 10°W, tandis que la partie ouest reste jusqu'à ce jour aussi sèche que durant la période 1970-1990. Les conséquences hydrologiques de ces modifications de régime pluviométrique se sont fait sentir dès le milieu des années 1970 et se sont accentuées ensuite, le fleuve Niger s'asséchant à Niamey en 1985 pour la première fois depuis que les enregistrements de débit existaient à cette station. En zone soudanienne, le tarissement des rivières est devenu plus fréquent et de plus longue durée. Les ressources en eau souterraine ont également été affectées, quoique de manière parfois paradoxale. Ainsi, alors que certains grands aquifères (au Mali et dans la région du Lac Tchad notamment) ont vu leur niveau baisser considérablement, d'autres, tel que la nappe du CT3 de la région de Niamey ont au contraire remonté. Ce comportement est lié à une augmentation des ruissellements de surface, collectés dans des mares, points de recharge privilégiés ; cette hausse du ruissellement est elle-même à mettre en relation avec la diminution observée de la couverture végétale dans la région, due à la pression anthropique (défrichement, mise en culture) et à la sécheresse des années 1980. Depuis le milieu des années 1990, on assiste, consécutivement à la remontée des précipitations, à une amélioration générale de la couverture végétale dans la région. Ce phénomène qualifié de 'reverdissement' affecte toutefois différemment la zone sahélienne et la zone soudanienne.

On ne dispose toujours d'aucun schéma validé, de manière globale et cohérente pour rendre compte de ces différents phénomènes atmosphériques et hydrologiques. 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 en effet avoir modifié la dynamique de la mousson, mais ces hypothèses sur le couplage entre dynamique des surfaces continentales et dynamique du climat régional n'ont jamais été confirmées par les observations, faute d'un dispositif adéquat s'intéressant à documenter toutes les variables impliquées aux différentes échelles concernées (du local au régional). 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 les données recueillies par les réseaux opérationnels sont loin de suffire à rendre compte de la variabilité pluviométrique locale et de son impact sur le cycle hydrologique et la végétation. En permettant de documenter plus finement ces variabilités, le dispositif SO-ORE fournit une base pour étudier les problématiques d'échelle au sein d'un système climatique régional tel que la MAO.

La stratégie d'observation retenue s'appuie sur trois sites de méso-échelle qui échantillonnent le gradient éco-climatique latitudinal caractéristique de l'Afrique de l'Ouest (voir figure 1 ci-dessous). Chacun de ces sites décline la problématique générale d'AMMA en incorporant certaines questions spécifiques liées à l'environnement et au climat local. L'intégration régionale est fournie par le suivi satellitaire qui sera particulièrement au cœur des actions du SOERE pour la période 2010-2013 du fait en particulier que les sites AMMA-CATCH ont été choisis pour les études CAL/VAL des satellites SMOS et MEGHA-Tropiques. La modélisation constitue l'autre outil privilégié d'intégration régionale. La première action en ce sens est l'exercice ALMIP (AMMA Landsurface Models Intercomparison Project) qui compare les performances de différents schémas de surface aux échelles régionales (ALMIP-1) et méso (ALMIP-2), en testant notamment l'apport des données haute résolution du SOERE sur les performances de ces modèles

La raison d'être fondamentale du SO-ORE AMMA-CATCH est, et restera, la documentation de la variabilité interannuelle des grands compartiments du cycle de l'eau (incluant la végétation) ou des variables clefs qui le contrôlent le long du transect éco-climatique d'Afrique de l'Ouest, dans un contexte d'évolutions environnementales et climatiques marquées dont le suivi est le deuxième grand objectif du SOERE. Certaines évolutions sont cependant prévues et explicitées dans la section III ci-dessous, dédiée aux perspectives.

Il faut également noter que les mesures du SO-ORE servent d'appui à des études de processus qui permettent de développer les modélisations visant à rendre compte de la variabilité interannuelle et décennale. Ce dispositif a été enrichi et a pris un sens particulier sur la période 2005-2007 avec l'EOP (Enhanced Observing Period) AMMA qui a vu le déploiement d'instruments spécifiques tels que radars, profileurs, avion, et ballons, venant compléter utilement les données sol du SO. Les données du SO, quant à elles, fournissent une base solide pour la mise en perspective spatiale et temporelle des mesures EOP et SOP (Special Observing Period) AMMA (voir notamment Janicot et al., 2008).

II BILAN

• Les protocoles de mesure

Description des protocoles de mesures conduisant à des précisions à même de répondre aux questionnements scientifiques (y compris les stratégies d'échantillonnage dans l'espace et le temps). La durée de fonctionnement du SO, dont la prolongation est demandée devra être explicitement accordée aux constantes de temps du phénomène étudié. Résultats de la démarche qualité (cas particuliers des SO multi-sites : cohérence, complémentarité). Pertinence des données par rapport aux missions/objectifs fixés initialement.

Les protocoles de mesure sont définis à deux niveaux : i) par le biais du choix de trois sites de méso-échelle afin de documenter la diversité éco-climatique de l'Afrique de l'Ouest le long du gradient latitudinal entre le Golf de Guinée et la limite Sud du Sahara (voir carte), dans des limites logistiques raisonnables ; ii) en homogénéisant, autant que faire se peut compte tenu des spécificités de chaque site, les stratégies d'échantillonnage entre site pour des types de variables semblables. Quatre grands groupes de variables, dont le suivi fait l'objet de 4 groupes thématiques, ont ainsi été identifiés : i) végétation ; ii) pluviométrie ; iii) flux de surface et humidité des sols ; iv) eau de surface, ruissellement et eau souterraine.

Les études de Végétation

Objectifs

Trois grands domaines éco-climatiques peuvent être identifiés en Afrique de l'Ouest subsaharienne : la zone guinéenne, la zone soudanienne et le Sahel ; chacun d'eux étant caractérisé par un type de végétation dominant (forêts, savanes humides et sèches) et soumis à une pression anthropique plus ou moins forte se traduisant principalement par des défrichements et une progression des surfaces cultivées qui suit l'accroissement démographique (3% par an au Sahel).



L'objectif principal est de documenter les variations saisonnières, inter-annuelles et décennales de la végétation naturelle et cultivée le long du transect éco-climatique, d'analyser la réponse de la végétation au forçage climatique et de fournir des éléments d'interprétation aux tendances observées.

Echelles caractéristiques

L'objectif final est d'atteindre une vision régionale des relations entre la dynamique de la végétation et la variabilité climatique. L'approche locale (stationnelle) reste indispensable pour la compréhension des processus dominants (photosynthèse, transpiration,...) et pour l'étude des interactions hydrologie – végétation à petite échelle liées en particulier à la redistribution de l'eau le long des pentes. Aux échelles supérieures on documente i) sur des super-sites, l'hétérogénéité spatiale liée aux types de sols et à la redistribution de l'eau en surface, et ii) à méso-échelle, l'impact des gradients pluviométriques. Pour ces échelles spatiales, les mesures sur le terrain sont associées aux observations satellitaires.

Stratégie d'observation

Les trois sites du SO sont distribués le long du gradient pluviométrique et échantillonnent les deux domaines éco-climatiques principaux de l'Afrique sub-saharienne, représentés par les zones des savanes sèches et humides. Seule la zone guinéenne n'est pas couverte mais des contacts ont été pris avec le Laboratoire d'Ecologie de l'ENS (Jacques Gignoux) qui est impliqué dans un suivi 'à long terme' de la végétation à la station de recherche de Lamto en Côte-d'Ivoire. Bien que des disparités subsistent encore au niveau des stratégies d'observation mises en place sur les différents sites, un effort d'homogénéisation des protocoles de suivi et d'évaluation des produits satellitaires a été engagé. Ceci est surtout vrai pour l'estimation de l'indice foliaire (ou LAI), principale variable caractéristique des couverts végétaux.

A l'exception des observations par satellite, les mesures sur la végétation restent difficilement automatisables et se heurtent au problème de l'hétérogénéité des couverts aux différentes échelles spatiales. Les méthodes mises en œuvre pour le suivi à long terme associent à une stratégie d'échantillonnage adaptée aux différents types de végétation étudiée (cultures, couverts herbacés ou ligneux) des prélèvements in situ, généralement de la masse végétale ou à des mesures de transmittance de la lumière dans les couverts (mesure du PAR absorbé). Des capteurs ont également été installés de manière permanente sous couverts forestiers et arbres isolés permettant de compléter le suivi phénologique manuel réalisé sur les ligneux. La fréquence des observations varie de la dizaine de jours à 1 mois suivant les sites durant la saison des pluies permettant un bon échantillonnage temporel. Le suivi des couverts ligneux est réalisé à un pas de temps plus grossier (2 à 4 ans) car leur dynamique s'effectue à une échelle de temps supérieure à celle des herbacées.

Instruments de mesure

A côté du suivi 'long terme' de la végétation décrit ci-dessus, des campagnes de mesures complémentaires ont été réalisées afin de préciser les facteurs influençant la croissance végétale (LF27, EF15, EF23, EF29) et préciser l'effet des stress hydriques sur le fonctionnement des plantes et couverts. La mise en place in situ de capteurs de flux de sève sur les principales espèces ligneuses du super-site de Hombori (Mali) et sur l'Ouémé (Bénin) fournit une estimation de la variation saisonnière et interannuelle de la transpiration des arbres en liaison avec leur cycle phénologique. Les campagnes de mesures intensives sur le terrain du PAR absorbé par la végétation et des estimations de l'indice de végétation normalisé NDVI servent à étudier les relations entre mesures satellitaires et végétation.

Tableau 1. Instruments liés aux études de végétation

#	Code	Nom du PI	E-Mail Address	Instrument	Site
LF7	CL_Veg_G	Eric Mougin	Eric.Mougin@cesbio.cnes.fr	Long term vegetation monitoring	Gourma meso
LF27	CL_VegNP_Gh	Pierre Hiernaux	pierre.hiernaux@cesbio.cnes.fr	Vegetation /Water /Biochemistry	Hombori
EF15	CE.VegSoil_G	Josiane Seghieri	josiane.seghieri@ird.fr	Stomatal conductance, water pot.	Hombori
EF16	CE.PAR_Ga	Valérie Demarez	Valerie.demarez@cesbio.cnes.fr	PAR and NDVI measurements	Hombori
EF17	CE.Sap_Ga	Valérie LeDantec	valerie.ledantec@cesbio.cnes.fr	Sapflow measurements on trees	Hombori
EF23	CE.Veget_Ncw	Nicolas Boulain	boulain@msem.univ-montp2.fr	Vegetation measurements	Niger
EF29	CE.Veg_Odc	Josiane Seghieri	Josiane.Seghieri@ird.fr	Vegetation measurements including sap-flow	Benin

On se reportera aux fiches instruments disponibles sur le site WEB pour plus de détails.

Les études de Pluviométrie

Objectifs

Les éléments de contexte donnés en section I montrent que la variabilité pluviométrique au sein du système de mousson africaine se manifeste sur une large gamme d'échelles spatiales et temporelles. L'objectif du dispositif dans ce domaine est donc de documenter cette variabilité de telle sorte que i) on puisse établir des relations d'échelle ; ii) on fournisse des champs de forçage pertinents pour les modélisations hydrologiques et les modélisations du fonctionnement des écosystèmes ; iii) on alimente les réflexions des atmosphériciens sur les processus permettant d'expliquer ces variations. La difficulté est bien sûr que l'on dispose d'une fenêtre d'observation spatio-temporelle limitée à quelques années et à trois sites de méso-échelle.

Echelles caractéristiques

Les études préliminaires effectuées à partir des données EPSAT-Niger (réseau de pluviographes fonctionnant sur le *degré-carré* de Niamey depuis 1990) ont permis de mettre en évidence trois échelles caractéristiques de variabilité : une échelle de l'ordre du km, une autre autour de 25-35 km et une troisième autour de 300 km, cette dernière étant fortement anisotrope du fait de la direction de déplacement privilégiée des systèmes convectifs dans cette région. Un enjeu du dispositif de mesure était donc de documenter ces échelles et leur stabilité au cours de la saison des pluies ou bien d'une année sur l'autre.

Instruments de mesure

On dispose pour cela : i) d'instruments classiques que sont les pluviographes enregistreurs, instruments robustes et fiables, qui peuvent être maintenus de nombreuses années à un coût raisonnable mais dont l'échantillonnage spatial est médiocre (faible surface de captation) ; ii) d'outils plus sophistiqués tels que les radars météorologiques, qui réalisent un très bon échantillonnage spatial, en surface couverte et en résolution, mais dont la fiabilité est incertaine, l'étalonnage délicat et instable et les coûts d'opération élevés. Le satellite constitue un complément indispensable à ces deux types d'instrument pour l'intégration régionale. Le lancement de MSG et le maintien en vol de TRMM pour une durée dépassant largement les prévisions ont bien amélioré les performances des algorithmes satellitaires sur la région.

Stratégie d'observation

Pour ce qui concerne l'observation de long terme, l'accent est mis sur l'échelle intermédiaire de la dizaine de kilomètres qui est bien résolue par des réseaux d'une cinquantaine de pluviographes couvrant les deux sites de l'Ouémé et du degré carré de Niamey « étendu » depuis 2002 et qui commence à être également bien documentée sur le site du Gourma depuis 2007. L'observation satellitaire (2009-33) et la modélisation statistico-dynamique ont permis, à partir de ces mesures pluviographiques des réseaux AMMA-CATCH d'établir une relation d'échelle entre la variabilité spatiale aux échelles inférieures à 30 km et la variabilité aux échelles 30-300 km (voir par exemple 2007-13 et les références qui y sont citées). On a pu également quantifier les erreurs associées à l'estimation des pluies moyennes sur les bassins versants ou sur des surfaces géométriques à partir de modélisations géostatistiques, ce qui était un produit attendu par les modélisateurs travaillant en aval sur le cycle de l'eau. Les échelles plus fines ont été étudiées grâce au déploiement des radars XPORT (EOP) et Ronsard (SOP) sur le site de l'Ouémé et du radar bande C du MIT sur le site du Niger en 2006 et 2007 (2009-34).

Tableau 2. Instruments liés aux études sur les précipitations

#	Code	Nom du PI	E-Mail Address	Instrument	Site
LF16*	CL.Rain_G	Marc Arjounin	Marc.arjounin@ird.fr	32 recording rain gauge network 12 direct reading rain gauges	Gourma meso
LF17	CL.Rain_N	Thierry Lebel	thierry.lebel@hmg.inpg.fr	30 recording rain gauge network	Niamey meso
LF4	CL.Rain_Nc	Luc Descroix	descroix@hmg.inpg.fr	66 direct reading rain gauges covering a 10x10 km ² square	Niamey SS central
LF18	CL.Rain_0	Marielle Gosset	Marielle.Gosset@ird.fr	30 recording rain gauge network	Ouémé meso
LF19	CL.Rain_0	Marielle Gosset	Marielle.Gosset@ird.fr	18 recording rain gauge network	Donga super site
EF18	CE.Rain_Nc	Luc Descroix	descroix@ird.fr	15 recording rain gauge network	Niamey SS central

Notons que lors des campagnes EOP AMMA deux radars et plusieurs disdromètres ont été déployés en appui à l'instrumentation SO/ORE. On se reportera aux fiches instruments disponibles sur le site WEB pour plus de détails à ce sujet. Le lancement de Megha-Tropiques, prévu en 2010 sera l'occasion de réactiver un déploiement radar sur le site de Niamey (MIT et XPORT) et d'étendre les réseaux de pluviographes au sol sur l'Ouémé et en rive droite du fleuve Niger pour améliorer la résolution et l'extension spatiales sur trois années.

Les études sur les eaux de surface et souterraines

Objectifs

L'objectif de ce groupe est de définir et mettre en œuvre des dispositifs de suivi servant à analyser les processus qui pilotent le cycle de l'eau, et à caractériser les variabilités interannuelle à décennale. En complément des techniques hydrométriques et piézométriques usuelles, la géochimie (ions majeurs, silice, isotopes de l'eau) a été utilisée pour identifier les «chemins de l'eau» et discriminer les contributions des différents compartiments. Ces analyses sont complétées par des campagnes géophysiques destinées à caractériser la géométrie et les propriétés hydrodynamiques des réservoirs souterrains (sondages électriques et électromagnétiques, RMP).

Echelles caractéristiques

Elles dépendent du contexte éco-hydro-climatique de la zone considérée. En zone sahélienne, ou l'endoréisme domine (sites du Mali et du Niger), les objets hydrologiques élémentaires sont les bassins versants de mare (1 à 10 km²) sur lesquels les écoulements sporadiques ne durent que quelques heures. Dans la région de Niamey, les mares alimentent une nappe phréatique de grande extension (10⁴-10⁵ km²) qui enregistre des fluctuations saisonnières et pluri-décennales ; les aquifères et leur recharge sont encore mal connus au Mali. Plus au sud dans le bassin de l'Ouémé (site du Bénin), les bas-fonds (1-10 km²) en tête du réseau hydrographique semblent jouer un rôle clé en surface ; les nappes perchées saisonnières (2 m de profondeur, d'extension kilométrique) surmontent des nappes d'altérites sur versants de dimension kilométrique. Dans cette zone plus humide la durée de crues varie de moins d'une heure à plusieurs jours (selon la taille du bassin) et la nappe enregistre un signal saisonnier de recharge-vidange, sans tendance interannuelle identifiée à ce jour.

Instruments de mesure

Les dispositifs est articulé autour d'enregistreurs automatiques de niveau installés en rivière, dans des mares, des puits ou des forages villageois, et dans des piézomètres de recherche, complétés par des relevés manuels (a minima quotidiens) en certaines stations. Les courbes de tarage des stations hydrométriques (relation hauteur-débit) sont mises à jour chaque année lors de des campagnes de jaugeage (moulinet ou profileur doppler acoustique-ADCP). Sur les sites sahéliens, la cubature des mares (relation hauteur-volume, déterminée par topographie en basses eaux) permet de dériver les volumes et débits apportés par le bassin versant. Des conductimètres automatiques installés en rivière ou dans les nappes (certaines stations seulement) permettent de suivre les fluctuations de la minéralisation des eaux, qui répond aux échanges entre les compartiments (apports par la pluie, vidange d'une nappe dans une rivière, ...). Lors des campagnes intensives d'AMMA, des prélèvements d'échantillons d'eau on été réalisés pour déterminer les compositions en ions majeurs, éléments traces, isotopes, qui sont autant de traceurs naturels des cheminements des eaux (analyses réalisées en France).

Stratégie d'observation

La stratégie d'observation est fondée sur un emboîtement de domaines d'observation, qui englobent les échelles (kilométriques) auxquelles s'observent les processus élémentaires, et les échelles plus agrégées (10²-10⁴ km²) auxquelles on observe leurs résultantes. Les connaissances préalables disponibles sur ces régions ont permis de structurer le dispositif, et la mise en œuvre des instruments est dictée par les caractéristiques de chaque site, et notamment leur caractère endoréique (sites sahéliens) ou exoréique (site du Bénin). Pour les eaux de surface, il comprend une série de bassins versants emboîtés au Bénin, et d'une série de bassins versants de mares sur les 2 autres sites. Pour le suivi des nappes souterraines, la structure des réservoirs très différente entre les sites nécessite un dispositif adapté : réseau de grande extension au Niger dans la nappe sédimentaire du Continental Terminal au Niger), série de piézomètres à plusieurs profondeurs sur transects de versant au Bénin (nappes perchées saisonnières, nappe d'altérites se prolongeant dans les fracture du socle). A noter

qu'au Mali, le dispositif est très léger et que les activités ont porté principalement sur le suivi des eaux de surface (mares temporaires et permanentes) par télédétection (échelles régionales et interannuelles).

Tableau 2. Instruments liés aux études sur les eaux de surface et souterraines

N°	Code	Responsable	Adresse électronique	Instrument	Plateforme
LF20	CL.Pond_Nc	G. Favreau	Guillaume.favreau@ird.fr	6 Enregistreurs automatiques de niveau dans mares	Niamey - méso
LF21	CL.Run_O	C. Peugeot	christope.peugeot@ird.fr	14 Enregistreurs automatiques de niveau et conductivité en rivière	Ouémé meso
LF22	CL.Run_Od	L. Seguis	luc.seguis@ird.fr	6 Enregistreurs automatiques de niveau en rivière	Ouémé -supersite Donga
LF23	CL.ADCP_O	C. Peugeot	christope.peugeot@ird.fr	Profileur de courant acoustique à effet Doppler acoustique (ADCP)	Ouémé - méso
LF24	CL.Gwat_N	G. Favreau	Guillaume.favreau@ird.fr	4 Enregistreurs automatiques de niveau de nappe dans puits	Niamey - méso
LF25	CL.GWar_Od	L. Seguis	luc.seguis@ird.fr	Suivi de niveau de nappe (manuel et automatisé) dans 36 puits	Ouémé, méso et super-site
EF 19	CE.Run_Nc	L. Descroix	luc.descroix@ird.fr	6 Enregistreurs automatique de niveau en rivière	Niamey - méso
EF20	CE.Gwat_Nc	G. Favreau	Guillaume.favreau@ird.fr	12 Enregistreurs automatiques de niveau de nappe dans piézomètres	Niamey - méso
EF24	CE.Run_Odc	L. Seguis	luc.seguis@ird.fr	Seuil jaugeur sur drain élémentaire	Transect super-site Donga
EF25	CE.WChem_O	C. Peugeot	christope.peugeot@ird.fr	Chimie des eaux surface/souterrain	Ouémé - méso
EF26	CE.WChem_Od	L. Seguis	luc.seguis@ird.fr	Chimie des eaux surface/souterrain	Ouémé -supersite Donga
EF27	CE.Gwat_Odc	L. Seguis	luc.seguis@ird.fr	27 Enregistreurs de niveau de nappe dans piézomètres	Transects super-site Donga

Flux de surface et humidité des sols

Objectifs

La variabilité saisonnière de l'humidité des sols et de l'évapotranspiration joue un rôle identifié par les modèles depuis plusieurs années (Philippon & Fontaine, 2002 ; Koster *et al.*, 2004). Etant donné le coût et la lourdeur de ces mesures, les sites instrumentés sont très rares en Afrique et la vérification *in situ* de ces concepts est encore à faire. Les objectifs du SOERE sont i) mesurer les flux d'eau pour comprendre le bilan hydrique, le rôle des différentes surfaces, de la végétation et de la redistribution latérale de l'eau ; ii) mesurer le bilan radiatif et les flux de chaleur pour comprendre les facteurs contrôlant ces variables et leur rôle dans les interactions surface-atmosphère; et iii) fournir des données pour étayer le développement et l'évaluation des modèles (hydrologie, SVAT, production végétale) des atmosphériciens comme ceux des hydrologues

Echelles caractéristiques

En Afrique de l'Ouest, l'humidité des sols et l'évapotranspiration varient d'abord avec le climat (gradient méridien). A une latitude donnée, l'humidité des sols et l'évapotranspiration varient avec le type de végétation et la position géomorphologique. Un enjeu du dispositif de mesure était donc de documenter ces échelles et leur stabilité au cours de la saison des pluies ou bien d'une année sur l'autre.

Stratégie d'observation

Notre stratégie d'échantillonnage se déploie à deux échelles: à l'échelle régionale, les trois sites de méso-échelle documentent le gradient méridien, sur chacun de ces trois sites nous avons ensuite sélectionné deux à trois types de végétation caractéristiques pour y échantillonner la variabilité spatiale et l'influence du land-use. Chaque station de mesure comprend un suivi automatique de l'humidité et de la température du sol, du bilan d'énergie et des flux turbulents.

Un objectif important est de documenter la variabilité interannuelle. Les stations d'humidité et de bilan d'énergie dont on a vu l'apport indéniable seront maintenues sur le long terme. Pour les stations de flux turbulents le coût de maintenance est important. On estime que 4 à 6 ans font une durée de vie idéale pour ces dispositifs (expérience des sites de mesures 'long terme' de flux net, résultant d'un compromis entre l'effort humain, financier et l'apport scientifique). Un déploiement jusqu'en 2012

apparaît important, mais sera accompagné d'une réduction des sites à trois fois deux sites (2 au Bénin, 2 au Niger, 2 au Mali).

Ce réseau est déployé en synergie avec les groupes *précipitation*, *végétation* et *hydrologie*, ainsi qu'avec les SO IDAF et PHOTONS.

Instruments de mesure

Les profils d'humidité du sol, sont suivis par un réseau de fosses équipé de sondes de type TDR (CS616) allant de la surface du sol (5 cm) à 1 ou 2 mètres de profondeur selon les sites. Ces sondes sont associées à des sondes de température.

Les stations météorologiques comprennent les mesures météorologiques classiques (vent, température et humidité de l'air, pression atmosphérique) ainsi que les rayonnements incident et réfléchi et le flux de chaleur dans le sol.

Les flux turbulents entre la surface et l'atmosphère: après des débuts difficiles en 2005 avec des prototypes qui se sont montrés très fragiles dans les conditions tropicales (OSIL), on dispose depuis 2007 d'un nouveau réseau de mesure des flux turbulents par « eddy-corrélation » (CSAT et Licor). Des mesures de flux de sève pour la transpiration des arbres s'ajoutent à ce dispositif depuis 2009 sur l'Ouémé et le Gourma (voir groupe végétation).

Tableau 4. Instruments liés aux études sur les flux et l'humidité du sol.

#	Code	PI Name	E-Mail Address	Instrument	Site
LF1	AL.Met_Gh	F. Timouk	timouk@cesbio.cnes.fr	Meteo stations	Gourma
LF2	AL.Met_Ncb	J. Demarty	demarty@msem.univ-montp2.fr	Meteo station	Niamey SS central
LF3	AL.Met_Od	S. Galle	Sylvie.galle@ird.fr	Meteo station	Donga basin
EB1/ EF7	AE.H2OFlux_G	F. Timouk,	timouk@cesbio.cnes.fr	2 Water Vapor Flux stations (Campbell)	Agoufou, Kelma
EF8	AE.H2OFlux_New	Bernard Cappelaere	bernard.cappelaere@ird.fr	2 Water Vapor Flux stations (Campbell), associated with soil moisture	Niamey-Wankama
EB3/ EF9	AE.H2OFlux_Odc	Sylvie Galle	sylvie.galle@ird.fr	2 Water Vapor Flux stations (Campbell)	Donga, transects
EF14	CE.SW_G	Manuela Grippa	Manuela.Grippa@cesbio.cnes.fr	Campbell CS616 for soil moisture: 12 sites	Gourma Meso Site
EF21	CE.SWc_Nc	Luc Descroix	Luc.descroix@ird.fr	2 soil moisture on 3 sites : 6 in total	Niamey SS central
EF28	CE.SW_Odc	Sylvie Galle	Sylvie.galle@ird.fr	3 soil moisture stations on 3 transects: 9 in total	Donga, transects

Les instruments ci-dessous ne font pas partie du SOERE. Ils viennent en appui de cet équipement pour des projets complémentaires. Leur durée d'observation peut être inférieure.

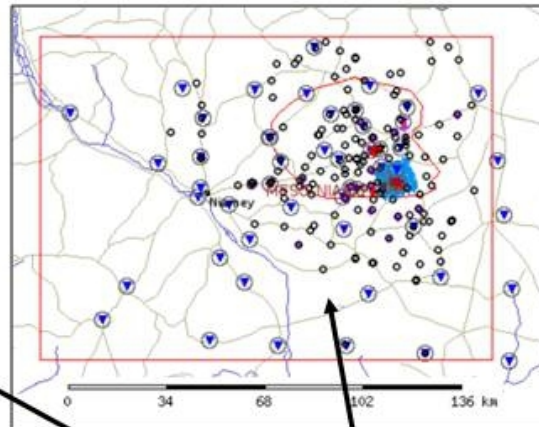
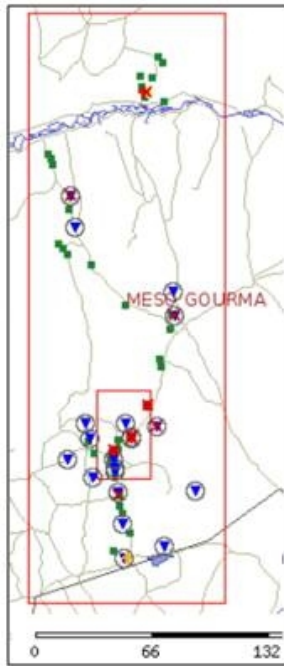
EB2 / LFx	AE.SHFlux_G	F. Timouk,	timouk@cesbio.cnes.fr	1 Sensible Heat Flux stations (OSIL) in Bamba	Gourma
EE5/ LF8	AE.SHFlux_Nc	Bernard Cappelaere	bernard.cappelaere@mpl.ird.fr	2 Sensible Heat Flux stations (OSIL)	Niamey-Central SS
EF10	AE.Scintil_Od	Jean-Martial Cohard	Jean-martial.cohard@hmg.inpg.fr	Scintillometer for Sensible Heat Flux measurement on a 2.4 km transect	Donga basin
	AE.Scintil_Nc	Bernard Cappelaere	bernard.cappelaere@mpl.ird.fr	Scintillometer for Sensible Heat Flux measurement	Niamey-Central SS
EF22	CE.SWsan_Nc	Luc Descroix	Luc.descroix@ird.fr	Soil water neutron probe: 24 sites in complement EF21	Niamey SS central
	CE.SWsan_Odc	Luc Séguis	Luc.seguis@ird.fr	Soil water neutron probe: 10 sites in complement EF28	Donga, transects

Figure 1. Localisation des sites et implantation des instruments.

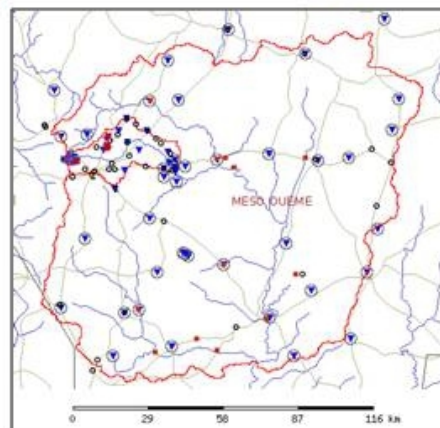
Pour des raisons de clarté, tous les instruments ne figurent pas sur ces cartes (voir la liste complète dans les tableaux 1 à 4 plus haut). On pourra aussi se reporter au site WEB pour avoir des zooms de l'instrumentations sur les super-sites de Hombori (Gourma), du Fakara (Niger) et de la Donga (Ouémé au Bénin).

Meso-site Gourma

Meso-site Niamey



- Recording rain gauges
- Linnigraphs
- Wells
- Vegetation sites
- Time Domain Electromagnetic soundings
- Recording rain gauges
- Daily reading rain gauges
- Linnigraphs
- Piezometers
- Meteo stations
- Flux stations
- Soil moisture profiles
- Evaporation pans
- Neutron probe access tubes
- Vegetation sites
- Radars



Meso-site Ouémé

• La durée d'observation

Le SOERE AMMA-CATCH a été labellisé ORE en 2002 et SO en 2005. Il s'est construit sur des observatoires déjà en place (milieu des années 1980 pour le Gourma au Mali, 1990 pour le site nigérien et 1997 pour le bassin de l'Ouémé au Bénin). La stratégie temporelle initiale a été conçue en 2002 dans la perspective d'un appui au projet AMMA. Ceci s'est traduit par une articulation temporelle en trois périodes emboîtées : une LOP (2002-2009) centrée sur la documentation de la variabilité interannuelle à partir des instruments du SO-ORE AMMA-CATCH, en conjonction avec les autres SO-ORE IDAF et PHOTONS ; une EOP (2005, 2007) visant une densification spatiale et l'ajout d'instruments difficiles à maintenir sur plus que quelques années, pour mieux cerner la variabilité intra saisonnière et les effets mémoires ; une SOP (2006), pour laquelle les données AMMA-CATCH fournissaient à la fois un environnement régional et des zooms locaux en ce qui concerne le cycle de l'eau continental et les conditions de surface.

Cette stratégie a été bien suivie, avec un déploiement instrumental dans le temps et l'espace conforme aux prévisions, sauf pour ce qui concerne les stations de flux, instruments EOP qui n'ont fonctionné nominalement qu'à partir de 2007.

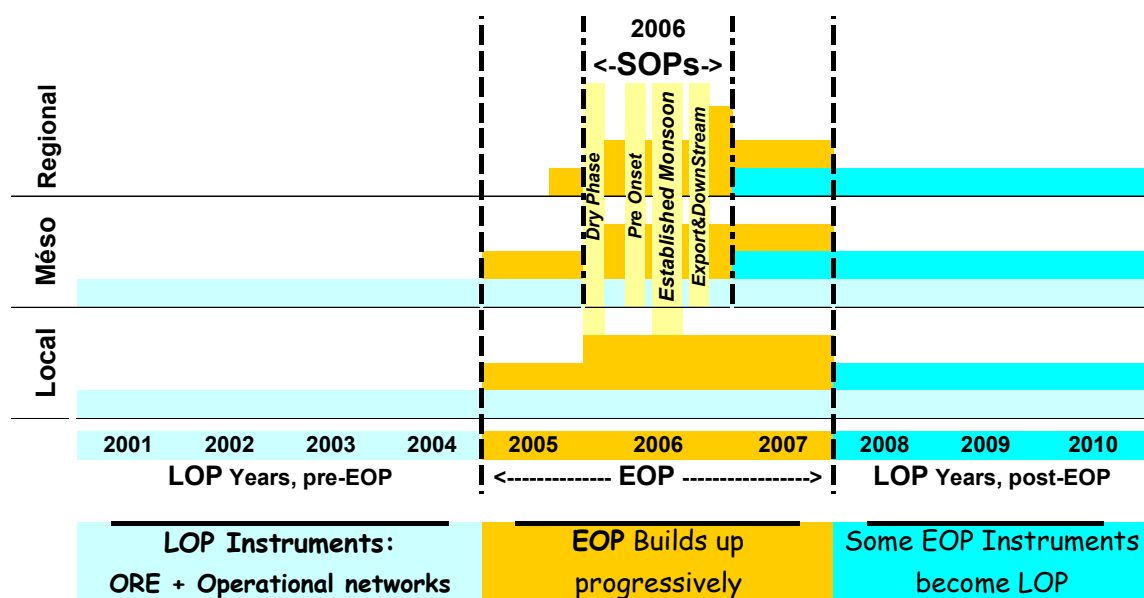


Figure 2. Périodes d'observations

Aujourd'hui il existe donc des séries de données de 20 ans pour certaines variables comme le suivi de la végétation sur le Gourma (voir Hiernaux et al., 2009) ou la pluviométrie et la piézométrie au Niger (voir e.g. Lebel et Ali, 2009, Favreau et al., 2009). Avec le réseau de stations de flux, nous sommes dans la situation tout à fait unique de pouvoir documenter la variabilité interannuelle et les tendances décennales du cycle de l'eau et de la végétation à l'échelle d'une grande région intertropicale par le biais du suivi de trois sites de méso-échelle équipés de manière relativement homogène et avec des possibilités d'intégration à l'échelle régionale grâce à des missions satellitaires spécifiques telles que Megha-Tropiques et SMOS.

L'ambition du SOERE dont nous demandons l'habilitation en tant que poursuite du SO-ORE est de maintenir ce dispositif tout à fait original par la densité de son instrumentation et sa couverture spatiale. Il est important de souligner que la forte communauté scientifique africaine, européenne et française mobilisée sur l'Afrique de l'Ouest grâce au programme AMMA est un gage d'utilisation sur le long terme de ces données par un grand nombre de scientifiques et de bénéficiaires.

• L'archivage des données et leur mise à disposition

Données brutes et/ou élaborées, structure, support, validation, archivage, séries disponibles, métadonnées, statut juridique, accessibilité, modes de distribution, responsable technique.

La base de données AMMA-CATCH a été développée et est maintenue par Véronique Chaffard, IR IRD du LTHE. Les cartes décrivant les types d'instruments disponibles à chaque échelle (régionale, méso-site et supersite) sont consultables sur le site <http://www.amma-catch.org>. Une fiche associée pour chaque site décrit les différents instruments mis en place (un instrument est un groupe d'appareils placés sous la responsabilité d'un scientifique PI qui en assure la critique et alimente la base de données). Durant la première phase d'AMMA les données étaient stockées et distribuées par la base de données AMMA (<http://database.amma-international.org/>), suivant la charte AMMA. Cette charte stipule que tous les participants au projet AMMA ont accès à toutes les données pendant 5 ans puis que ces données seront ouvertes à tous moyennant une simple inscription. Tout téléchargement de données déclenche un mail au PI de l'instrument. AMMA s'est engagé à maintenir cette base jusqu'en 2015. Nous envisageons en plus de ce mode d'interrogation de développer un logiciel pour accéder directement aux données à partir du site du SOERE par sélection géographique. Un avant projet est financé par l'IRD (Spirale).

• Lien avec la modélisation

Les données du SO sont utilisées pour la modélisation à deux niveaux. Tout d'abord pour répondre aux questions scientifiques qui sont à la base de sa mise en place par le biais de modèles hydrologiques simples ou couplés à des modèles prenant en compte la dynamique de la végétation voir par exemple 2009-17, 2009-31, 2009-37 dans la liste de références de l'annexe II).

Depuis cette année les données sont aussi utilisées dans les premiers exercices de validation de schémas de surface (e.g. 2009-35, 2009-36), en vue d'intégrations régionales dans le cadre d'ALMIP-2 (2009-2, 2009-7)

• L'exploitation et la valorisation des données

Dans la base de données CATCH (via la base AMMA) et sur la période 2008-2009, on dénombre plus de 250 requêtes sur une variable mesurée par un instrument du SOERE CATCH. S'y ajoutent les séries de données diffusées hors base après requête directe auprès des responsables d'instruments, requêtes dont le nombre est évalué à une cinquantaine environ.

Programmes réalisés avec l'aide des données du SO-ORE

AMMA-CATCH a constitué le cœur du dispositif de suivi des surfaces continentales et du cycle hydrologique dans AMMA. Il n'est pas totalement présomptueux de considérer que sans le dispositif déjà en place en 2002, le programme AMMA n'aurait pas eu le succès expérimental que l'on sait. Réciproquement AMMA a permis de donner une très grande visibilité internationale au dispositif de mesure du SOERE et a entraîné une large diffusion et utilisation des données. Une illustration de cet effet amplificateur a été donnée récemment par la troisième conférence internationale AMMA, à laquelle ont participé 500 scientifiques (40% africains, 40% français, 20% d'européens et américains) et où 440 communications ont été présentées lors de 5 sessions plénières et 15 sessions parallèles. Un tiers environ de ces sessions étaient consacrées à des recherches directement connectées aux thématiques AMMA-CATCH ou faisant usage des données collectées dans ce cadre.

Plusieurs projets déjà finalisés ou en cours d'exécution s'appuient sur les observations collectées par le SO dont les projets Ghyraf (2008-2010) et ECLIS (2009-2011) soutenus par l'ANR et le projet européen CARBOAFRICA. Le site malien sert aussi de site de référence pour l'amélioration du Système de surveillance de la zone pastorale sahélienne développé par l'ONG 'Action Contre la Faim' au Mali en partenariat avec le SOERE. Ce Système de Surveillance a été étendu au Niger en 2008.

Un acquis important du SOERE a été de générer, notamment à travers le FSP RIPIECSA du MAE des projets initiés par des partenaires africains et s'appuyant sur le dispositif AMMA-CATCH : Ouémé 2025 au Bénin, VASA au Niger, ainsi qu'un projet sur les Interactions Sociétés-Environnement-Climat dans ce même pays et au Bénin.

Au plan international, le site du Bénin a servi de base pour le projet allemand IMPETUS (http://www.glowa.org/eng/impetus_eng/impetus_eng.php).

Enfin, les sites AMMA-CATCH sont aussi reconnus comme sites servant aux études de CALVAL pour les nouveaux capteurs spatiaux (SMOS et Megha-Tropiques), de sites de référence pour l'évaluation et l'amélioration des produits spatiaux (projets MODLAND, VALERI) ou le développement de nouveaux produits (satellites ERS, ENVISAT, ALOS).

Production scientifique et technique

La liste complète des 92 publications parues dans des revues à comité de lecture (nomenclature ACL de l'AERES) sur la période 2006-2009 est donnée en annexe II. Cette liste ne concerne que des articles utilisant des données produites par le SO-ORE et dont un auteur au moins est un PI instrument du SO-ORE. Un numéro spécial de Journal of Hydrology, spécifiquement consacré à l'exploitation des données du SO-ORE AMMA-CATCH, est paru fin août 2009 (Vol. 375 (1-2)). Un nombre équivalent de communications ont été présentées dans des conférences internationales, sans compter celles présentées aux trois conférences internationales AMMA.

• L'ouverture et l'insertion du Service d'observation

Actions mises en œuvre pour ouvrir le SO à des équipes extérieures ; liens avec d'autres SO ; insertion du Système d'Observation dans le dispositif de recherche français (régional, national), européen et international (notamment GMES).

Comme déjà mentionné plus haut, le SO-ORE AMMA-CATCH a été un élément central des campagnes internationales AMMA sur la période 2005-2007. A cette occasion, des collaborations ont été nouées avec les SOs IDAF et PHOTON : des stations IDAF ont été installées sur les 3 sites AMMA-CATCH pour bénéficier de la co-localisation de mesures complémentaires (pluie, bilan d'énergie, suivi de la végétation environnante). Ces co-localisations ont également permis de partager la logistique sur ces sites et donc de réduire certains coûts de fonctionnement.

AMMA-CATCH a contribué à la *Coordinated Enhanced Observing Period* (CEOP) de GEWEX, qui visait pour 2004 et 2005 à disposer de sites instrumentés pour les calculs de bilans d'eau et d'énergie répartis sur toute la surface du globe. Depuis ce premier exercice, la CEOP assume une vision plus large et de plus long terme en tant que *Coordinated Energy and water-cycle Observations Project*. Bien que nous n'ayons pas pu participer à la première réunion de cette CEOP nouvelle mouture, qui s'est tenue en Août 2009, AMMA-CATCH a été approché pour constituer le dispositif de référence africain. Nous sommes également parties prenantes de l' *Africa Water Cycle Initiative* lancée dans le cadre de GEOSS.

Au niveau international, le SO est intégré au réseau de mesure de flux FLUXNET via le projet CARBOAFRICA et au réseau de sites de validation des produits satellites dérivés du satellite MODIS (réseau MODLAND).

Au plan régional, nous avons œuvré pour mettre en place des synergies avec les observatoires labellisés ROSELT/OSS (Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme/Observatoire du Sahara et du Sahel) et les institutions nationales en charge de ces observatoires dans la zone AMMA-CATCH au Niger et au Mali. L'initiative ROSELT a connu une période d'incertitude qui n'a pas permis de concrétiser véritablement nos souhaits hormis pour quelques collaborations ponctuelles, en particulier au Mali. Des rapprochements sont envisagés avec la nouvelle Unité Mixte de Recherche et de Service ESPACE-DEV (Espace pour le développement) et en particulier avec son groupe de recherche PASSAGE (PAYsage et obSERvatoire pour la Gestion Environnementale) qui a pour but d'accompagner les politiques publiques mises en œuvre dans les territoires fragiles, en développant des outils d'aide à la gestion et à la gouvernance socio environnementale. Cette dynamique dépasse celle du seul suivi écologique et ouvre le SOERE AMMA-CATCH vers des dimensions socio environnementales déjà abordées par le projet ANR ECLIS.

Au plan national, les mesures produites sont intégrées dans la base nationale de la Direction Générale de l'Eau au Bénin et dans celle du Réseau National de Surveillance Environnemental au Mali. Nos données météorologiques et pluviométriques sont fournies en routine aux directions nationales de la météorologie des pays concernés.



Enfin, les chercheurs impliqués dans AMMA-CATCH ont accordé une attention particulière à la formation des jeunes scientifiques africains, au travers des masters, des doctorats et des post-doctorats où ils représentent un peu plus de 40% des stagiaires encadrés. C'est ainsi qu'entre 2002 et 2009, 8 doctorants africains ont soutenu leur thèse, et 6 thèses sont en cours dans une des trois équipes du SO-ORE. On décompte également 22 M2 soutenus par des africains durant cette période.

La gouvernance

La structure de pilotage du SO au cours de la période écoulée, répondait avant tout à une logique de site, comme on peut le voir d'après l'organigramme ci-dessous, qui figurait dans le document d'évaluation 2005.

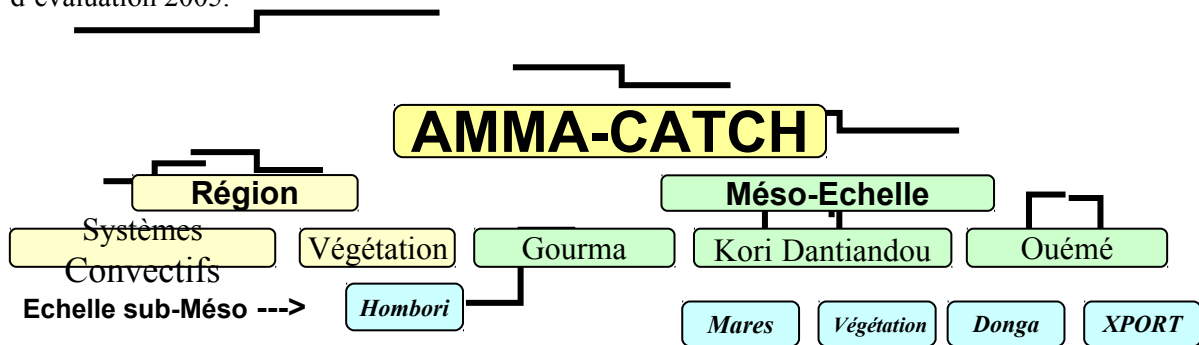


Figure 3. Organigramme pour la période 2005-2009

Ce schéma avait été totalement conçu dans une logique de gestion de sites et de déploiement instrumental dans une phase où la priorité était au resserrement des liens entre équipes ayant démarré des programmes d'observation dans des cadres distincts et avec des objectifs scientifiques non nécessairement convergents (les responsabilités des différentes boîtes ci-dessus étaient assez équitablement réparties entre des scientifiques des trois laboratoires). En 2007, une première évolution notable a eu lieu par la mise en place des groupes thématiques décrits plus haut, afin de favoriser des études transversales aux sites. A compter de 2010, le schéma de coordination et de gouvernance sera profondément revu pour tenir compte de nouveaux enjeux et de nouveaux objectifs (voir ci-dessous).

III PERSPECTIVES

• Difficultés rencontrées

Au plan technique :

Il s'est avéré difficile de suivre l'évolution de la couverture végétale et de l'utilisation des terres sur les trois sites de méso-échelle, d'une part, à l'échelle régionale d'autre part. Il s'agit d'un travail technique lourd, pas toujours facilement valorisable en terme de publications. Nous manquons du personnel nécessaire en interne et nous n'avons pas pu ou pas su nous appuyer sur les pôles thématiques tels que POSTEL pour réaliser ce travail. Les résultats d'un tel travail intéressent potentiellement une communauté plus large que le noyau dur d'AMMA-CATCH. Une impulsion est donc souhaitable au niveau national pour remédier à ce manque et ceci d'autant plus que la disparition envisagée de POSTEL nous prive d'une solution possible de ce côté là. En contrepoint de ces difficultés, il est intéressant de relever que le SO a su faire face à la carence des partenaires anglais du projet européen AMMA qui avaient en charge l'installation et le fonctionnement des stations de flux sur nos sites durant l'EOP. Nos équipes ont pris à leur charge de remplacer, installer et opérer les stations OSIL défaillantes, trouvant des financements pour cela et les intégrant au dispositif SOERE pour les 4 années à venir.

Au plan logistique :

Le SOERE AMMA-CATCH échantillonne, de manière unique, le gradient éco-climatique caractéristique de l'Afrique de l'ouest ce qui en fait tout son intérêt. La contrepartie est qu'en dehors du site de Niamey, aisément accessible, les deux autres sites sont éloignés des grandes villes et routes goudronnées ce qui implique une logistique lourde et coûteuse

Au plan financier :

Grâce aux financements convergeant sur le programme AMMA au cours de la période 2004-2008, via notamment l'API française et le projet européen, il a été possible de procéder à des mutualisations intelligentes qui ont permis de sécuriser le dispositif de base initial du SO-ORE tout en l'enrichissant, notamment pour ce qui concerne les mesures de flux et d'humidité des sols. Des inquiétudes existent donc pour l'avenir, dès lors que les moyens sur AMMA vont diminuer. Une solution consiste à encourager l'implication des équipes africaines, permettant ainsi d'accéder à des sources de financement spécifiques pour les pays en développement (exemple : CDEAO, PNUE-GEF).

Le partenariat :

La difficulté rencontrée dans ce domaine tient à trois choses : i) la faible capacité de mobilisation de financements nationaux en provenance des pays africains pour la recherche ; ii) la nécessité d'observer les systèmes naturels pour mieux comprendre leur fonctionnement et documenter leur variabilité est encore rarement perçue comme une priorité dans le tissu de recherche africain ; iii) l'inadéquation du système d'enseignement supérieur dans certains pays, qui ne propose pas toujours de formation doctorale dans les disciplines concernées. Cependant, la situation évolue. D'une part, il semble possible de mobiliser des financements régionaux sur des observatoires tels qu'AMMA-CATCH : CDEAO, GEF-Banque Mondiale, ICSU-ROA, .. ; d'autre, une nouvelle génération de chercheurs et de décideurs a intégré le fait que l'environnement est en évolution rapide en Afrique de l'Ouest et qu'il est important d'observer cette évolution sur le long terme et avec des dispositifs adaptés.

• Suggestions

Evolution de la gouvernance

La structure de gouvernance auparavant centrée sur les sites de mesure pour des raisons de facilités opérationnelles dans le cadre de la campagne AMMA va évoluer à partir de 2010, pour renforcer (i) la dynamique intersite avec un rôle central des groupes thématiques et (ii) la valorisation des observations. Nous proposons pour cela de mettre en avant trois grands thèmes intégrateurs.

- 1) La **modélisation intégrée régionale**: un certain nombre d'études de modélisation ont déjà été engagées autour des sites et des données du SO-ORE ; il s'agit ici de promouvoir une vision plus régionale de la modélisation du cycle de l'eau et de l'énergie. Plusieurs projets liés à la seconde phase d'AMMA proposent un cadre pour ces études : le projet ALMIP (AMMA Land Surface models Intercomparison Project), pour lequel les données du SO-ORE sont de haute valeur ajoutée (forçage et évaluation à méso-échelle), ou le projet AMMA-MIP (Inter-comparaisons de modèles de climat) pour lesquels des données sols sont sollicitées, notamment les flux de surface (évaluations). D'autres études en démarrage sur le bassin du fleuve Niger et ses affluents concernent la mise au point de modèles hydrologiques régionaux, capables d'estimer la sensibilité de la réponse hydrologique à la variabilité des forçages de surfaces (en liaison avec le thème suivant).
- 2) La **dynamique des surfaces continentales** : sur les 50 dernières années, le mode d'occupation du sol et le recouvrement de la végétation en Afrique de l'ouest ont connu des changements considérables ayant pu influencer la diminution des précipitations observée dans la sous-région. Ces évolutions ont aussi modifié l'hydrologie sahélienne, avec des paradoxes tel que la hausse du niveau de la nappe phréatique et de la surface des mares dans un contexte de péjoration des précipitations. Par ailleurs, les estimations de la production végétale dérivées de l'observation satellitaire ont révélé l'apparition, depuis le début des années 2000, de tendances à long terme divergentes entre le Sahel et la zone soudano-guinéenne, dont l'origine est sans doute à rechercher du côté des changements d'occupation des sols. Un effort particulier sera donc fait pour diagnostiquer ces évolutions en se basant sur les observations disponibles (satellites, photos aériennes, mesures terrain) et pour en analyser les causes (anthropiques, climatiques, dynamiques propres des écosystèmes) en collaboration avec tous les groupes thématiques.

- 3) Les **ressources en eau et agro-sylvo-pastorales** : l'accent portera ici sur l'analyse aux échelles intra-saisonnière à interannuelle de la sensibilité de la disponibilité de ces ressources aux forçages climatiques, anthropiques et à l'évolution des conditions de surface, dans un contexte de changements globaux ; ce thème sera en lien direct avec les préoccupations des partenaires dont les pays sont engagés dans des stratégies de prévision et de gestion durable des ressources.

Chacun de ces trois thèmes sera coordonné par un des membres du comité de direction du SOERE. La tâche du coordinateur général sera, elle, d'assurer l'interface avec les tutelles et les grands programmes internationaux auxquels AMMA est rattaché. Les groupes thématiques (voir plus haut) sont maintenus et permettront l'élaboration des stratégies d'observations les mieux adaptées pour répondre aux besoins des études intégratrices (cartes régionales, validations satellitaires, modélisation) ; ils assureront également le suivi du déploiement instrumental en liaison avec les responsables de site dont le rôle est de veiller à la cohérence d'ensemble du dispositif instrumental et des suivis réalisés par les différents partenaires et équipes intervenants sur le site.

En cohérence avec la volonté de voir s'accroître la participation d'équipes partenaires africaines aux tâches d'observation et de valorisation scientifique, nous proposons de créer un conseil d'orientation, instance qui réunit, autour du comité de direction, les représentants des partenaires, les responsables de groupes scientifiques, et les responsables de sites. Cette instance aura pour rôle de conseiller le comité de direction sur les orientations stratégiques, en prenant notamment en compte les contraintes et les souhaits des partenaires, tant au plan scientifique qu'opérationnel.

Compte tenu de la nature des données fournies, nous n'envisageons pas la mise en place d'un comité d'utilisateurs. Par ailleurs, le SOERE AMMA-CATCH s'inscrit étroitement dans la dynamique du programme AMMA, qui a été évalué bi-annuellement par un comité scientifique (CS API-AMMA – Action Programmée Incitative) jusqu'en 2009 ; les attaches avec le programme AMMA-Phase 2 resteront essentielles pour le SOERE et nous nous appuyerons sur les recommandations du Comité Scientifique qui sera mis en place.

Cette structuration est illustrée dans l'organigramme ci-dessous

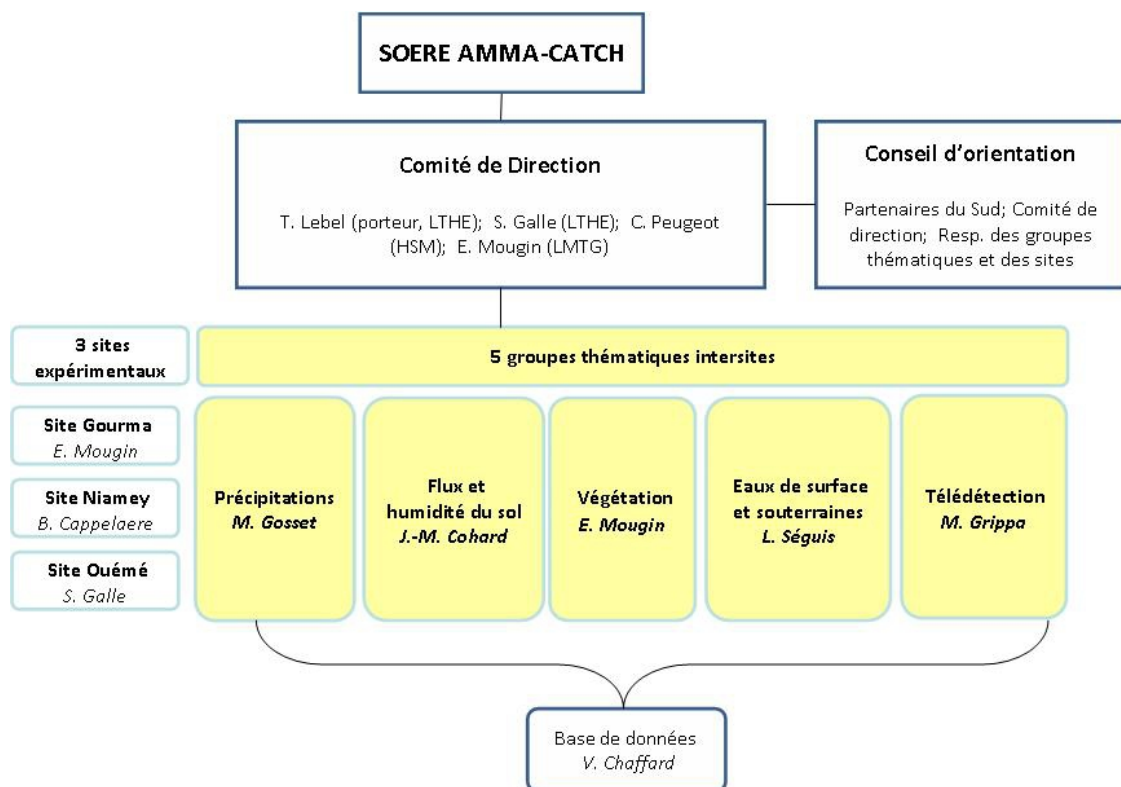


Figure 4. Organigramme pour la période 2010-2013, avec la nouvelle gouvernance

Besoins aval

Pour permettre une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) pour l'horizon 2025, la direction des ressources en eau du Bénin doit pouvoir dresser des inventaires prospectifs des ressources en eau correspondant à divers scénarii climatiques. C'est dans cet objectif qu'une équipe de chercheurs béninois a proposé le projet Ouémé-2025 (FSP RIPIECISA) qui s'appuie en le prolongeant sur l'observatoire AMMA-CATCH au Bénin.

Les cycles de l'eau et de la végétation sont fortement impactés par les activités humaines, à travers notamment les défrichements, les aménagements et les prélèvements. Réciproquement, les différentes variables et compartiments documentés par l'observatoire ont une grande importance socio-économique. L'intérêt pour les interactions entre géophysique et Sciences de l'Homme et de la Société s'impose donc de lui-même. Une action concrète a démarré pour explorer comment traiter cette question des Interactions Société-Environnement-Climat sur le site de Hombori au Mali avec une recherche sociologique sur la question de la gestion des ressources en eau ; l'ANR ECLiS qui s'appuie principalement sur le dispositif AMMA-CATCH (Contribution de l'élevage à la réduction de la vulnérabilité des ruraux et à leur adaptabilité aux changements climatiques et sociétaux en Afrique sub-saharienne), fournit également un cadre pour aborder les interactions entre sociétés humaines et dynamique des conditions de surface (végétation et occupation du sol), via les activités pastorales. Une collaboration avec des spécialistes de ces questions à l'unité mixte de recherche et de service ESPACE-DEV à Montpellier est également à l'étude.

Partenariats

Beaucoup de jeunes scientifiques africains formés à la recherche dans le cadre du programme AMMA sont actuellement en poste dans leur pays. Ils sont particulièrement sensibles aux besoins en observation et portent des problématiques liées au développement de leur pays.

Partenariat national

Au niveau de chaque pays, les Directions Nationales de la Météorologie et de l'Hydraulique sont les partenaires privilégiés avec qui nous échangeons observations et quelquefois outils d'analyse. Les Instituts Nationaux de Recherche Agronomique comme l'IER au Mali et l'INRAN au Niger sont aussi des partenaires importants avec qui nous collaborons dans le cadre du suivi des ressources naturelles.

Niveau régional

Les institutions à caractère régionale telles qu'AGRHYMET (centre technique du Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel – CILSS), et ACMAD (Centre Africain de Météorologie Appliquée au Développement), n'ont pas vocation à participer directement à un service d'observation tel qu'AMMA CATCH. Ils sont néanmoins intéressés aux opportunités ainsi ouvertes en terme de formation, de développements méthodologiques les aidant à mieux remplir leurs missions (par exemple pour AGRHYMET, la validation satellitaire) et même parfois en terme de recherche. C'est ainsi que sur le site du Niger, un programme de suivi des rendements agricoles a été initié par AGRHYMET en collaboration avec des chercheurs du SO-ORE sur des sites dont la pluviométrie est suivie avec précision pour mieux comprendre les relations entre démarrage de la saison des pluies et échec/succès des semis. Il est aussi envisagé de monter à compter de 2010 un partenariat tri-partite AGRHYMET-SOERE-Megha-Tropiques pour valider les algorithmes MT et les implanter au centre AGRHYMET, dont une des missions est le suivi de la saison des pluies et l'alerte précoce.

Par ailleurs, le SOERE accueille chaque année des étudiants de dernière année des deux grandes écoles régionales d'ingénieur : l'Institut Polytechnique Rural de Katibougou (Mali) dans le domaine de l'agronomie et et 2IE (Burkina-Faso) pour l'hydrologie et les sols.

Adaptation et Rationalisation pour diminuer les coûts

Les difficultés logistiques évoquées plus haut et les incertitudes sur les budgets de fonctionnement à venir nous incitent à réfléchir à une adaptation du dispositif et à une rationalisation de son exploitation de manière à en diminuer les coûts de fonctionnement, liés majoritairement aux missions de terrain, notamment sur les sites éloignés des grandes villes (Mali et Bénin). La première piste explorée est la télétransmission d'une partie des données, par GSM ou satellite, qui permet de travailler plus souvent sur alerte, l'état de fonctionnement des appareils étant connu en temps peu

différé. Une balise à télétransmission ARGOS installée sur une rivière au Bénin montre que la solution est viable. Sa généralisation représente néanmoins des coûts d'investissement importants. Un premier volet de financements pour tester la télétransmission de données de précipitation est acquis dans le cadre de la mission Megha-Tropiques et une étude technique préalable au choix des matériels est en cours.

La seconde piste concerne la réorganisation des tournées de terrain en mutualisant les moyens humains, matériels, voire financier que les partenaires souhaitent engager dans le SOERE. Une première étape sera franchie en 2010 sur le site du Bénin, la Direction Générale de l'Eau souhaitant participer activement (y compris financièrement) à une co-exploitation de l'observatoire.

ANNEXE I: LES MOYENS AFFECTES AU SO-ORE

A- MOYENS FINANCIERS

Liste des moyens financiers annuels récurrents actuels en précisant l'origine des crédits (INSU, Ministère, Université, etc.)

Coût total et répartitions:

Tableau A-1 : Crédits récurrents actuels (en k€)

* autres crédits : ANR ECLIS et GHYRAF, AMMA-IP, CNES-TOSCA, OSU, laboratoires

	Moyenne 2005-2007				2008				2009				Budget Moyen / an
	SO	API	Autre	Total	SO	API	Autre	Total	SO	API	Autre	Total	
Bénin	50,0	17,4	55,7	123,2	45,0	32,0	51,2	128,2	45,0	20,0	24,1	89,1	117,3
Mali	31,1	70,6	56,7	111,8	28,0	78,8	10,0	111,8	23,0	40,0	21,0	84,0	106,3
Niger	43,0	26,7	58,3	128,0	35,0	44,0	37,0	116,0	34,0	14,0	22,0	70,0	114,0
Animation	18,5				24,0				23,0				21,8
TOTAL	142,6	114,7	170,7	428,0	132,0	154,8	98,2	385,0	125,0	74,0	67,1	266,1	359,4

Tableau 2 : Origine des crédits SO et API (dépensés sur les instruments du SO).

	Moyenne 2005-2007	2008	2009	Budget Moyen / an
INSU	32,7	126,8	65	64,0
IRD	195	160	134	175,8
Ministère	19,6	-	-	11,7
TOTAL	257,3	286,8	199	251,5

Commentaire. La dotation ministère concernait l'ORE sur la période 2003-2005 : 44,1 k€ en 2005. Un reliquat de 14,7 k€ a été distribué en 2006. L'INSU a pris le relais en 2006, suite à la labellisation SO de fin 2005. Les coûts de fonctionnement sont moyennés sur la période 2005-2007 (EOP AMMA) au cours de laquelle les coûts étaient mutualisés entre les instruments SO-ORE stricto sensu et les instruments additionnels spécifiques de l'EOP. Le coût de 199 k€ en 2009 peut-être considéré comme un coût objectif pour les 4 années à venir avec une dotation souhaitée de 75% au titre strict du SOERE (soit 150 k€) en provenance des différentes sources (IRD, INSU, Ministère) et 25% (soit 50 k€) à partir des dotations OSU, laboratoires, et projets annexes.

B- RESSOURCES HUMAINES

Liste des personnels qui sont affectés au fonctionnement du service (en dehors de l'exploitation scientifique), en indiquant pour chacun son titre, son organisme de rattachement, son pourcentage d'implication, ainsi que sa tâche spécifique

Chercheurs – Enseignants chercheurs

^(N) Affecté(e) au Niger, ^(M) au Mali, ^(B) au Bénin

Nom Prénom	Titre	Rattachement	ETP	Tâche spécifique
Demarty Jérôme	CR IRD	HSM	15 %	Mesures de flux, télédétection modélisation - Niger
Favreau Guillaume	CR IRD	HSM ^(N)	10%	Mesures hydrogéologiques - Niger & Mali
Peugeot Christophe	CR IRD	HSM	30 %	Mesures hydrologiques, géochimiques, flux de sève – Bénin, comité de direction
Seghieri Josiane	CR IRD	HSM	30%	Mesures végétation, flux de sève – Bénin
Séguis Luc	CR IRD	HSM	30%	Mesures hydro ; hydrogéologiques, géochimiques,
Grippa Manuela	Phys.-Adj.	LMTG/OMP	40 %	Observation spatiale régionale, Végétation,

	CNAP			Humidité des sols, Inter-site, co-responsable CalVal SMOS
Kergoat Laurent	CR CNRS	LMTG	15%	Mesures couche de surface, Suivi des mares - Mali
Mougin Eric	DR CNRS	LMTG	30%	Dynamique de la végétation, Humidité du sol – Régional – Mali, comité de direction
Cohard Jean-Martial	MC - UJF	LTHE	30%	Scintillomètre – Bénin
Descroix Luc	CR IRD	LTHE	20%	Mesures hydro ;, suivi occupation du sol - Niger
Galle Sylvie	CR IRD	LTHE	30%	Stations de flux, humidité du sol - Bénin, comité de direction
Gosset Marielle	CR IRD	LTHE ¹	30%	Pluviométrie - Bénin
Laurent Jean-Paul	CR CNRS	LTHE	5%	Capteurs humidité du sol - intersite
Lebel Thierry	DR CNRS	LTHE	20%	Responsable du SOERE
Pellarin Thierry	CR CNRS	LTHE	15 %	Humidité du sol et télédétection, co-responsable CalVal SMOS - intersite
Vischel Théo	MC UJF	LTHE	15 %	Pluviométrie – échelle régionale
Vouillamoz Jean-Michel	CR IRD	LTHE ²	30 %	Eaux souterraines, mesures géophysiques

Ingénieurs et techniciens

Nom Prénom	Titre	Rattachement	ETP	Tâche spécifique
Cappelaere Bernard	IR IRD	HSM	30%	Stations de flux, humidité du sol - Niger
Oï Monique	TEC IRD	HSM ^(N)	30%	Appui technique tous instruments - Niger
Chazarin Jean-Philippe	TEC IRD	HSM	50%	Stations de flux, humidité du sol - Niger
Van-Exter Sandra	AI CNRS	HSM	10%	Analyses chimie de l'eau
Auda Yves	IR CNRS	LMTG	30%	Télédétection, Occupation du sol – Mali
Timouk Franck	IE IRD	LMTG ^(M)	100%	Stations flux, météo, humidité, photomètre- Mali
Arjounin Marc	TEC IRD	LTHE ^{(M) 3}	100 %	Réseau pluviographique – Niger & Mali
Boubkraoui Stéphane	TEC IRD	LTHE ²	100%	Appui technique tous instruments - Niger
Cazenave Frédéric	IE IRD	LTHE ³	15% ⁴	Radar météo X-Port
Chaffard Véronique	IE IRD	LTHE	100%	Base de données
Desclôîtres Marc	IR IRD	LTHE ²	15%	Eaux souterraines, mesures géophysiques
Dessay Nadine	IE IRD	LTHE	20%	Télédétection-Occupation du sol-Analyse paysage
Malinur Fred	TEC IRD	LTHE	15%	Appui logistique - intersite
Afouda Simon	TEC	CDI IRD ^(B)	100%	Appui technique tous instruments - Bénin
Ouani Théodore	TEC	CDI IRD ^(B)	100%	Appui technique tous instruments - Bénin
Alhassane Abassa	TEC	CDI IRD ^(N)	100%	Appui technique tous instruments - Niger
Kone Abdoulaye	TEC	CDI IRD ^(N)	100%	Appui technique tous instruments - Niger
Bodo Seyni	TEC	CDI IRD ^(N)	100%	Appui technique tous instruments - Niger
Dicko Harber	TEC	CDI IRD	50%	Suivi réseau pluviographes - Mali

Personnel non permanent

Nom Prénom	Titre	Rattachement	ETP	Tâche spécifique
Hieraux Pierre	CDD CNRS	LMTG	30%	Dynamique de la végétation, Suivi des mares, Occupation des sols – Mali & Niger
Soumaguel Nogmana	CDD IRD	LMTG	100%	Mesures de végétation - Mali
X	VI IRD	LMTG ^(x)	100%	Appui technique tous instruments - Mali
Boucher Marie	VI IRD	HSM ^(N)	50%	Mesures de flux, hydrogéophysique
Feurer Denis	CDD IRD	HSM	30%	Télédétection
Sogba-Goh Jules	TEC/CDD	IRD Bénin	100%	Appui technique, mesures de flux - Bénin
Wubda Maxime	IE	CDD/IRD Bénin	100%	Coordination technique générale - Bénin
Oumarou Idrissou	TEC	CDD/IRD Bénin	50%	Appui technique, hydrologie, hydrogéologie, géochimie - Bénin
Biron Romain	CDD IRD	LTHE ⁴	30%	Jouence instruments et maintenance
Muller Lucas	CDD IRD	LTHE	30%	Jouence instruments et maintenance
Ben Tahar Vanessa	VI IRD	LTHE ^(N)	100%	Appui technique tous instruments - Niger

1

Mobilité au LMTG en 2011

² Affectation au Bénin envisagée en 2010

³ Affectation au Niger envisagée en 2010

⁴ En remplacement d'un AI en disponibilité de longue durée ; situation évolutive en 2010

4



Jorigné Vincent	VI IRD	LTHE ^(B)	100%	Appui technique pluie et flux - Bénin
Quantin Guillaume	CDD AMMA-EU	LTHE	100%	Pluviométrie - intersite

Des recrutements supplémentaires sont-ils nécessaires pour le fonctionnement du SO dans les quatre années à venir?

La première priorité est l'ouverture à concours des deux postes d'ITAs IRD-LTHE en disponibilité longue durée. La priorité des priorités est qu'un de ces deux postes soit consacré au recrutement d'un IE qui serait en charge de superviser la mise en œuvre générale des observations et les protocoles de validation des données et de transfert vers la base de données.

Nous avons aussi demandé via l'OSUG l'affichage d'un poste de physicien-adjoint sur la thématique des flux pour superviser l'ensemble des mesures faites dans ce domaine et en humidité des sols.

Nous souhaitons aussi le remplacement au Mali de François Lavenue (ingénieur CNRS instrumentation) décédé en février 2007.

ANNEXE II: Liste des articles dans des revues à comité de lecture (ACL AERES)

Les noms en gras sont ceux des permanents intervenant dans le SOERE (certains de ces noms n'apparaissent pas dans le tableau B de l'annexe I, car ils n'interviennent plus ou n'interviendront plus dans le SOERE à compter de janvier 2010) et ceux en gras italique sont ceux des non permanents (doctorants et post-doc essentiellement).

2009 (44)

- [2009-1] Ali, A. and **Lebel, T.**, 2009. The Sahelian standardized rainfall index revisited. International Journal of Climatology, doi: 10.1002/joc.1832.
- [2009-2] **Boulain, N., Cappelaere, B., Ramier, D.**, Halilou, O., Bil-Assanou, I.H., **Seghieri, J.**, J., G. & **Timouk, F.**, 2009a. Towards an understanding of coupled physical and biological processes in cultivated Sahel - 2. vegetation and carbon dynamics. J. of Hydrology, 375(1-2): 190-203.
- [2009-3] **Boulain, N., Cappelaere, B., Séguis, L., Favreau, G.**, Gignoux, J., 2009b. Water balance and vegetation change in the Sahel: a case study at the watershed scale with an ecohydrological model. J. of Arid Environments. 73: 11251135.
- [2009-4] Boone A, **de Rosnay P**, Balsamo G, Beljaars A, Chopin F, Decharme B, Delire C, Ducharne A, Gascoin S, Guichard F, Gusev Y, Harris P, Jarlan L, **Kergoat L, Mougine E**, Nasonovae O, Norgaard A, Orgeval T, Ottlé C, Pocard-Leclercq I, Polcher J, Sandholt I, Saux-Picart S, Taylor CM, and Xue Y, 2008, The AMMA Land Surface Model Intercomparison Project (ALMIP), Bull. Am. Meteor. Soc., in press. doi:10.1175/2009BAMS2786.1
- [2009-5] **Boucher, M., Favreau, G., Vouillamoz, J.M.**, Nazoumou, Y. and **Legchenko, A.**, 2009. Estimating specific yield and transmissivity with Magnetic Resonance Sounding in an unconfined sandstone aquifer. Hydrogeology journal, in press: doi: 10.1007/s10040-009-0447-x.
- [2009-6] **Boucher, M., Favreau, G., Descloitre, M., Vouillamoz, J.M.**, Massuel, S., Nazoumou, Y., **Cappelaere, B.**, Legchenko, A. (2009 - accepté). Contribution of geophysical surveys to groundwater modelling of a porous aquifer in semiarid SW Niger: an Overview. C.R. Geoscience.
- [2009-7] Cairo, F., Pommereau, J.P., Law, K.S., Schlager, H., Garnier, A., Fierli, F., Ern, M., Streibel, M., Arabas, S., Berthelie, J.J., **Diedhiou, A.**,, **Lebel, T.** et al., 2009. An overview of the SCOUT-O3-AMMA stratospheric aircraft, balloons and sondes campaign in West Africa, August 2006: rationale, roadmap and highlights. Atm. Chem. Phys. Discuss., 9: 5299-5319.
- [2009-8] **Cappelaere, C., Descroix, L., Lebel, T., Boulain, N., Ramier, D., Laurent, J.-P.**, Le Breton, E., **Boubkraoui, S.**, Bouzou Moussa, I. et al., 2009. The AMMA Catch observing system in the cultivated Sahel of South West Niger- Strategy, Implementation and Site conditions. Journal of Hydrology, 375(1-2): 34-51.
- [2009-9] **de Rosnay, P.**, Drusch, M., Boone, A., Balsamo, G., Decharme, B., Harris, P., Kerr, Y., **Pellarin, T.**, Polcher, J. and Wigneron, J.P., 2009. AMMA Land Surface Model Intercomparison Experiment coupled to the Community Microwave Emission Model: ALMIP-MEM. Journal of Geophysical Research- Atmospheres, 114, D0510810.1029/2008jd010724.
- [2009-10] **de Rosnay P., Gruhier C., Timouk F., Baup F., Mougine E., Hiernaux P., Kergoat L., LeDantec V.**, 2008, Multi-scale soil moisture measurements over the Gourma meso-scale site in Mali. Journal of Hydrology, in press, 375(1-2): 241-252.
- [2009-11] Delon C., C. Galy-Lacaux, A. Boone, C. Lioussé, D. Serça, M. Adon, B. Diop, A. Akpo, **F. Lavenue, E. Mougine, F. Timouk**, 2009. Atmospheric Nitrogen budget in Sahelian dry savannas. Atmospheric Chemistry and Physics Discussion, 9, 14189-14233
- [2009-12] **Depraetere, C., Gosset, M., Ploix, S. and Laurent, H.**, 2009. The organization and kinematics of tropical rainfall systems ground tracked at mesoscale with gages: First results from the campaigns 1999-2006 on the Upper Ouémé Valley (Benin). Journal of Hydrology, 375(1-2): 143-160.
- [2009-13] **Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, J.-C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B.** et al., 2009. Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes Around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa: A Synthesis. Journal of Hydrology, 375(1-2): 90-102.
- [2009-14] Ezzahar, J., Chehbouni, G., Hoedjes, J., **Ramier, D., Boulain, N., Boubkraoui, S., Cappelaere, N., Descroix, L.**, Mougine, B. and Timouk, F., 2009. Combining scintillometer measurements and an aggregation scheme to estimate area-averaged latent heat flux during the AMMA experiment. Journal of hydrology, 375(1-2): 217-226.

- [2009-15] Favreau, G., Cappelaere, B., Massuel, S., Leblanc, M., Boucher, M., Vouillamoz, J.M., Seguis, L. & Leduc, C., 2009. Land clearing, climate variability and water resources increase in semiarid southwest Niger, Africa: a review. *Wat. Resour. Res.*, 45, W00A16, doi:10.1029/2007WR006785
- [2009-16] Flamant C., Knippertz P., Parker D.J., Chaboureau J.-P., Lavaysse C., Agusti-Panareda A., and Kergoat L., 2009, The impact of a mesoscale convective system cold-pool on the northward propagation of the inter-tropical discontinuity over West-Africa, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135, 139–159, doi: 10.1002/qj.357.
- [2009-17] Frappart, F., Mougin, E., Guichard, F., Kergoat, L., Hiernaux, P., Arjounin, M., Lavenu, F. and Lebel, T., 2009. Rainfall regime over the Sahelian climate gradient in the Gourma. *Journal of Hydrology*. Accepted. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 128-142.
- [2009-18] Galy-Lacaux, C., Laouali, D., Descroix, L., Gobron, N. and Lioussé, C., 2009. Long term precipitation chemistry and wet deposition in a remote dry savanna site in Africa (Niger). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(5): 1579-1595.
- [2009-19] Gaudart, J., Toure, O., Dessay, N., Dicko, A., Ranque, S., Forest, L., Demongeot, J. and Doumbo, O., 2009. Modelling malaria incidence with environmental dependency in a locality of Sudanese savannah area, Mali. *Malaria Journal*, 8 (1).
- [2009-20] Gerbaux, M., Hall, N., Dessay, N. and Zin, I., 2009. The sensitivity of Sahelian Runoff to Climate Change. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1): 5-16.
- [2009-21] Guichard F., Kergoat L., Mougin E., Timouk F., Baup F., Lavenu F., 2008, Surface thermodynamics and radiative budget in the sahelian Gourma. Seasonal and diurnal cycles. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 161-177
- [2009-22] Guichard, F., Asencio N., C. Peugeot, O. Bock, J.L-L. Redelsperger, X. Cui, M. Garvet, B. Lamptey, E. Orlandi, J. Sander, F. Fierli, M.A. Gaertner, S. Jones, J.-L. Lafore, A. Morse, M. Nuret, A. Boone, G. Balsamo, P. de Rosnay, B. Decharme, P. Harris, J.-C. Bergès, 2009. An intercomparison of simulated rainfall and evapotranspiration associated with a mesoscale convective system over West Africa. *Weather and Forecasting*. early online release, doi: 10.1175/2009WAF2222250.1.
- [2009-23] Guyot, A., Cohard, J.-M., Anquetin, S., Galle, S. and Lloyd, C.R., 2009. Combined analysis of energy and water balances to estimate latent heat flux of a sudanian small catchment. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 227-240
- [2009-24] Hiernaux, P., Ayantunde, A., Kalilou, A., Mougin, E., Gérard, B., Baup, F., Grippa, M., Djaby, B., 2009. Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in Southwest Niger: impact of land use, management and variable rainfalls. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 65-77.
- [2009-25] Hiernaux P., Lassine D., Trichon V., Mougin, E., Baup F., 2009, Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali). *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 103-113
- [2009-26] Hiernaux P., Mougin E., Diarra L., Soumaguel N., Lavenu† F., Tracol Y., Diawara M., 2008, Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 114-127
- [2009-27] Lebel, T. and Ali, A., 2009. Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990 - 2007). *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 52-64.
- [2009-28] Lebel, T., Cappelaere, C., Galle, S., Hanan, N., Kergoat, L., Levis, S., Vieux, B., Descroix, L., Gosset, M., Mougin, E. et al., 2009. AMMA-CATCH studies in the Sahelian region of West-Africa: an overview *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 3-13.
- [2009-29] Lebel, T., Parker, D.J., Flamant, C., Bourles, B., Marticorena, M., Mougin, E., Peugeot, C., Diedhiou, A., Haywood, J.M., Ngamini, J.B. et al., 2009. The AMMA field campaigns: Multiscale and multidisciplinary observations in the West African region. *QJRMS*, in press, doi: 10.1002/qj.486.
- [2009-30] Leroux, S. and Hall, N., 2009. On the relationship between African Easterly Waves and the African Easterly Jet. *J. of Atm. Science*: 66(8): 2303–2316.
- [2009-31] Merbold, L., Ardo, J., A., A., Scholes, R.J., Nouvellon, Y., A. de Grandcourt, Archibald, S., Bonnefond, J.M., Boulain, N., Bruemmer, C., Brueggemann, N., Cappelaere, B., Ceschia, E., El-Khidir, H.A.M., El-Tahir, B.A., Falk, U., Lloyd, C., Kergoat, L., Le Dantec, V., Mougin, E., Muchinda, M., Mukelabai, M.M., Ramier, D., Roupsard, O., Timouk, F., Veenendaal, M. & Kutsch, L., 2009. Precipitation as driver of carbon fluxes in eleven African ecosystems. *Biogeosciences Discuss*, 6, 1027-1041.
- [2009-32] Monsivais-Huertero A., Chênerie I., Baup F., Mougin E., 2009, Microwave electromagnetic modelling of Sahelian-grassland". *International Journal of Remote Sensing*, in press
- [2009-33] Mougin, E., Hiernaux, P., Kergoat, L., Grippa, M., de Rosnay, P., Timouk, F., Le Dantec, V., Demarez, V., Lavenu, F., Arjounin, M., Lebel, T. et al., 2009. The AMMA-CATCH Gourma observatory site in Mali: Relating climatic variations to changes in vegetation, surface in press, hydrology, fluxes and natural resources. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 14-33

- [2009-34] **Pellarin, T., Laurent, J-P, Cappelaere, B,** Decharme, B., **Descroix, L.** and *Ramier, D*, 2009. Hydrological modelling and associated microwave emission of a semi-arid region in South-western Niger. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 262-272.
- [2009-35] **Pellarin, T., Tran, T., Cohard, J.M., Galle, S., Laurent, J.P., de Rosnay, P., Vischel, T.**, 2009. Hourly soil moisture mapping over West Africa using AMSR-E observations and a satellite-based rainfall product, 6: 4035-4064.
- [2009-36] *Ramier, D., Boulain, N., Cappelaere, B., Timouk, F., Rabanit, M., Lloyd, C., Boubkraoui, S., Métayer, F., Descroix, L., Wawrzyniak, V.*, 2009. Towards an understanding of coupled physical and biological processes in the cultivated Sahel; 1- Energy and water. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 204-216.
- [2009-37] Roca R, P Chambon, I Jobard, PE Kirstetter, **M Gosset** and J.C. Berges : Comparing satellite and surface rainfall products over West Africa at meteorologically relevant scales during the AMMA campaign using error estimates. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Accepted
- [2009-38] Russell, B., Williams, E., **Gosset, M., Cazenave, F., Descroix, L., Lebel, T.**, Ali, A. and Metayer, F., 2009. Radar-Raingage comparisons on squall lines in Niamey, Niger for the AMMA. *QJRMS*, Accepted
- [2009-39] Saux-Picart, S., Otlé, C., Decharme, B., André, C., Zribi, M., Perrier, A., Coudert, B., *Boulain, N., Cappelaere, B., Descroix, L.* et al., 2009. Water and energy budgets simulation over the AMMA-Niger super-site spatially constrained with remote sensing data. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 287-298.
- [2009-40] Saux Picart, S., Otlé, C.P., A., Decharme, B., Coudert, B., Zribi, M., *Boulain N., Cappelaere, B., Ramier D.*, 2009. SEtHyS_Savannah: a multiple-source land surface model applied to sahelian landscapes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:1421-1432, 2009.
- [2009-41] **Seghieri, J.**, Vescovo, A., Padel, K., Soubie, R., **Arjounin, M.**, *Boulain, N.*, de Rosnay, P., **Galle, S., Gosset, M.**, Mouctar, A.H. et al., 2009. Relationships between climate, soil moisture and phenology of the woody cover in two sites located along the West African latitudinal gradient. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 784-89.
- [2009-42] **Timouk F, Kergoat L, Mougin E, Cohard, J.-M.**, 2009. Response of surface energy balance to water regime and vegetation development in a Sahelian landscape. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 178-189
- [2009-43] **Vischel, T., Lebel, T., Massuel, S. and Cappelaere, B.**, 2009. Conditional simulation schemes of rain fields and their application for rainfall runoff modeling studies in the Sahel.. *J. Hydrol.*, 375(1-2): 273-286.
- [2009-44] Zribi, M., Pardé, M., **De Rosnay, P.**, Baup, F., **Boulain, N., Descroix, L., Pellarin, T., Mougin, E.**, Otlé, C. and Decharme, B., 2009. ERS Scatterometer surface soil moisture analysis of two sites in the south and north of the Sahel region of West Africa. *Journal of Hydrology*, 375(1-2): 253-261.

2008 (19)

- [2008_1] Ali, A., Amani, A. and **Lebel, T.**, 2008. Signification et utilisabilité de l'indice pluviométrique au Sahel. *Sécheresse*, 19(4): 227-235.
- [2008_2] Ayantunde A., Briejer M., **Hiernaux P.**, Udo H., Tabo R., 2008. Botanical knowledge and its differentiation by age, gender and ethnicity in Southwestern Niger. *Human Ecology*, 36: 881-889.
- [2008_3] **de Condappa, D., Galle, S.**, Dewandel, B. and Haverkamp, R., 2008. Bimodal zone of the soil textural triangle: Common in tropical and subtropical regions. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1): 33-40.
- [2008_4] **d'Orgeval T.**, J. Polcher and **P. de Rosnay**, 2008, Validation of the continental hydrological cycle of the ORCHIDEE Land Surface Model over West Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 5, 2251-2292.
- [2008_5] **Gruhier C., P. de Rosnay, Y. Kerr, E. Mougin, E. Ceschia, J.C. Calvet, P. Richaume**, 2008, Evaluation of AMSR-E soil moisture products based on ground measurements over temperate and semi-arid regions. *Geophys. Res. Letters*, 35, L10405, doi:10.1029/2008GL033330.
- [2008_6] Janicot S., Ali A., Asencio N., Berry G., Bock O., Bourles B., Caniaux G., Chauvin F., Deme A., **Kergoat L.**, Lafore J.-P., Lavaysse C., **Lebel T.**, Marticorena B., Mounier F., Redelsperger J.-L., Ravegnani F., Reeves C., Roca R., **de Rosnay P.**, Sultan B., Thorncroft C., Tomasini M., Ulanovsky A. and ACMAD forecasters team, 2008, Large-scale overview of the summer monsoon over West and Central Africa during the AMMA field experiment in 2006. *Ann. Geophys.*, 26, 2569-2595.
- [2008_7] **Jarlan L.**, Balsamo G., Lafont S., Beljaars A., Calvet J.C., **Mougin E.**, 2008, Analysis of Leaf Area Index in the ECMWF Land Surface Model and Impact on Latent and Carbon Fluxes: Application to West Africa. *J. Geophys. Res. Atmosphere*, 113, D24117, doi:10.1029/2007JD009370.
- [2008_8] **Jarlan L.**, Mangiarotti S., **Mougin E., Hiernaux P., Mazzega P., Le Dantec V.**, 2008, Assimilation of SPOT/VGT-NDVI data into a sahelian grassland model. *Remote Sensing of Environment*, 112, 1381-1394.

- [2008_9] Janicot, S., C. Thorncroft, **A. Ali**, N. Asencio, G. Berry, O. Bock, B. Bourles, G. Caniaux, F. Chauvin, A. Deme, **L. Kergoat**, J.-P. Lafore, C. Lavaysse, **T. Lebel**, B. Marticorena, F. Mounier¹, J.-L. Redelsperger, C. Reeves, R. Roca, **P. de Rosnay**, B. Sultan, M. Tomasini, 2008. Large-scale overview of the summer monsoon over West and Central Africa during the AMMA field experiment in 2006, *Annales Geophysicae*, **26**, 2569-2595.
- [2008_10] **Kamagaté, B., Séguis, L.**, Lanciné, G. D., **Favreau, G.** & Kouadio, K. Processus hydrogéochimiques et séparation d'hydrogrammes de crue sur un bassin versant en milieu soudano-tropical de socle au Bénin (Donga, haute vallée de l'Ouémé), 2008. *Revue des sciences de l'eau*, **21(3)**: 363-372.
- [2008_11] **Le Lay M.**, G.-M. Saulnier, **S. Galle, L. Séguis**, M. Métadier, **C. Peugeot**. 2008. Model representation of the Sudanian hydrological processes: Application on the Donga catchment (Benin). *Journal of Hydrology*, **363(1-4)**, 32:41.
- [2008_12] Leblanc, M., **Favreau, G., Massuel, S.**, Tweed, S., Loireau, M. & **Cappelaere, B.**, 2008 Land clearance and hydrological change in the Sahel : SW Niger. *Global and Planetary Change*, **61**, 135-150.
- [2008_13] Mangiarotti S., Mazzega P., Jarlan L., **Mougin E.**, Baup F., Demarty J., 2008, Evolutionary bi-objective optimization of a semi-arid vegetation dynamics model with NDVI and σ satellite data. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 1365–1380.
- [2008_14] **Moumouni, S., Gosset, M.** and Houngrinou, E., 2008. Main features of rain drop size distributions observed in Benin, West Africa, with optical disdrometers. *Geophysical Research Letters*, **35(23)**.
- [2008_15] Parker, D. J., A. Fink, S. Janicot, J.-B. Ngamini, M. Douglas, E. Afiesimama , A. Agusti-Panareda, A. Beljaars, F. Dide , A. Diedhiou , **T. Lebel**, J. Polcher, J.-L. Redelsperger, C. Thorncroft, G. Wilson, 2008. The AMMA radiosonde program and its implications for the future of atmospheric monitoring over Africa, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **89**, 1015-1027.
- [2008_16] **Pellarin, T., A. Ali**, F. Chopin, I. Jobard & J. C. Berges, 2008. Using spaceborne surface soil moisture to constrain satellite precipitation estimates over West Africa. *Geophysical Research Letters*, **35**.
- [2008_17] Samain O., **Kergoat L.**, Hiernaux P., Guichard F., **Mougin E., Timouk F., Lavenu F.**, 2008, Analysis of the in-situ and MODIS albedo variability at multiple time scales in the Sahel. *JGR Atmosphere*, **113**, D14119, doi:10.1029/2007JD009174.
- [2008_18] **Vouillamoz, J.M., Favreau, G., Massuel, S., Boucher, M.**, Nazoumou, Y., Legchenko, A., 2008. Contribution of magnetic resonance sounding to aquifer characterization and recharge estimate in semiarid Niger. *Journal of Applied Geophysics*, **64** (3-4): 99-108 doi:10.1016/j.jappgeo.2007.12.006.
- [2008_19] **Zahiri, E.P., Gosset, M.**, Lafore, J.P. and Gouget, V., 2008. Use of a radar simulator on the output fields from a numerical mesoscale model to analyze X-band rain estimators. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **25(3)**: 341-367

2007 (13)

- [2007-1] Ayantunde A.A., M. Kango, **P. Hiernaux**, H. M. J. Udo and R. Tabo, 2007. Herders' perceptions on livestock breeds and breeding management in South-Western Niger. *Human Ecology*, **35**: 139-149
- [2007-2] Ayantunde A.A., S. Fernandez-Rivera, **P.H. Hiernaux** and R. Tabo, 2007. Implications of restricted access to grazing by cattle in wet season in the Sahel. Accepted for publication in *Journal of Arid Environment*, June.
- [2007-3] Baup F., **Mougin E.**, Hiernaux P., Lopes A., **de Rosnay P.**, Chênerie I., 2007, Radar signatures of sahelian surfaces using ENVISAT ASAR data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. **45**, n° 7, pp. 2354-2363.
- [2007-4] Baup F., **Mougin E., de Rosnay P., Timouk F.**, Chênerie I., 2007, Surface soil moisture estimation over the AMMA Sahelian site in Mali using ENVISAT/ASAR data. *Remote Sensing of Environment*, vol. **109**, 4, pp. 473-481.
- [2007-5] Boone, A. and **de Rosnay, P.**, 2007, Toward the improved understanding of land-surface processes and coupling with the atmosphere over West Africa, *iLEAPS Newsletter* 3.
- [2007-6] **Boulain, N.**, Simioni, J. & Gignoux, J., 2007 Changing scale in ecological modelling: A bottom up approach with an individual based vegetation model. *Ecological Modelling*, **203**, p. 257-269.
- [2007-7] Delon C., D. Serça, C. Boissard, R. Dupont, A. Dutot, P. Laville, **P. de Rosnay**, R. Delmas, 2007. Soil NO emissions modelling using Artificial Neural Network *Tellus B, ILEAPS Special Issue*, Vol. **59** (3), p. 502.
- [2007-8] Flamant, C., Chaboureaud, J.-P., Parker, D. J., Taylor, C. M., Cammas, J.-P., Bock, O., **Timouk, F.**, Pelon, J.. Airborne observations of the impact of a convective system on the planetary boundary layer thermodynamics and aerosol distribution in the inter-tropical discontinuity region of the West African Monsoon. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Q. J. R. Meteorol. Soc.* , **00**, 1-16. (2007).



- [2007-9] **Kamagaté B., Séguis L., Favreau G., Seidel J.-L., Descloitres M.** and Affaton P. (2007). Processus et bilan des flux hydriques d'un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin (Donga, Haut Ouémé). *C.R. Géosciences*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2007.04.003>
- [2007-10] **Le Lay M., S. Galle,** G. M. Saulnier, I. Braud (2007), Exploring the relationship between hydroclimatic stationarity and rainfall-runoff model parameter stability: A case study in West Africa, *Water Resour. Res.*, **43(7)**, W07420, doi:10.1029/2006WR005257.
- [2007-11] Philippon N., Jarlan L., N. Martiny, P. Camberlin, **Mougin E.**, 2007, Characterization of the interannual and intraseasonal variability of West African vegetation between 1982-2002 by means of NOAA-AVHRR NDVI data. *Journal of Climate*, vol. 20, n° 7, pp. 1202–1218.
- [2007-12] **Vischel, T. and T. Lebel**, 2007. Assessing the water balance in the Sahel: Impact of small scale rainfall variability on runoff Part 2: Idealized simulation of runoff sensitivity. *J. Hydrol.*, **333(2-4)**, 340-355.
- [2007-13] M. Zribi; S. Saux-Picart; C. André; **L. Descroix**; C. Ottlé; A. Kalle. 2007. Soil moisture mapping based on ASAR/ENVISAT radar data over a Sahelian region. *International Journal of Remote Sensing*, **28(16)**: 3547-3565

2006 (16)

- [1] **Balme, M., T. Lebel** et A. Amani, 2006. Années sèches et années humides au Sahel: quo vadimus? *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 51(2), 254- 271.
- [2] **Balme, M., T. Vischel, T. Lebel, C. Peugeot, S. Galle**, 2006. Assessing the water balance in the Sahel: Impact of small scale rainfall variability on runoff Part 1: Rainfall variability analysis. *J. Hydrol.*, 331, 336-348.
- [3] **Boulain N., Cappelaere B., Séguis L., Gignoux J. & Peugeot C.** (2006). Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment. *Regional Environmental Change*, 6:147-156.
- [4] **de Rosnay P.**, Boone A., Beljaars A., Polcher J., "AMMA Land Surface Modelling and Intercomparison Projects" GEWEX-news. *Global Energy and Water Cycle Experiment* 15(1).
- [5] Jamnadass R., Mace E. S., **Hiernaux P.**, Muchugi A., Hanson J., 2006. Population genetic responses of wild forage species to grazing along a rainfall gradient in the Sahel: A study combining phenotypic and molecular analyses. *Euphytica*, 151 (3): 431-445.
- [6] **Hiernaux P.** et H.N. Le Houérou, 2006. Les parcours du Sahel. *Sècheresse*, 17(1-2) : 51-71.
- [7] **Lavaysse, C., A. Diedhiou, H. Laurent and T. Lebel**, 2006. African Easterly Waves and convective activity in wet and dry sequences of the West African Monsoon. *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-006-0137-5.
- [8] Leduc C., **Favreau G.**, Guero A., Gaoh A.D., 2006. Comment on "Estimating groundwater mixing ratios and their uncertainties using a statistical multi parameter approach" by Rueedi, J. et al. (*J. Hydrol.*, 2005, 305: 1–14) . *J. of Hydrology*, 318: 3–6.
- [9] **Massuel, S.** et al., 2006. Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modelling. *Catena*, 67(2): 105-118.
- [10] **Message C., Gallée H., Brasseur O., Cappelaere B., Peugeot C., Séguis L., Vauclin M., Ramel R., Grasseau G., Léger L., Girou D.**, 2006. Influence of observed and RCM-simulated precipitation on the water discharge over the Sirba basin, Burkina Faso/Niger. *Climate Dynamics*, 27: 199–214.
- [11] Redelsperger, J.-L., C. Thorncroft, A. Diedhiou, **T. Lebel**, D. Parker, J. Polcher, 2006. African Monsoon, Multidisciplinary Analysis (AMMA): An International Research Project and Field Campaign, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(12), 1739-1746.
- [12] Rogel P., Tourre Y.M., Benoit V., **Jarlan L.**, 2006, Tropical Atlantic moisture availability and precipitation over West Africa: Application to DEMETER hindcasts. *Geophysical Research Letters*, 33 (21): Art. No. L21711.
- [13] Schlecht E., **P. Hiernaux**, I. Kadaouré, C. Hülsebusch and F. Mahler, 2006. A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behaviour of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 226-242.
- [14] Tracol Y., **Mougin E., Jarlan L., Hiernaux P.**, 2006, Testing a sahelian grassland functioning model against herbage mass measurements, *Ecological modelling*, n° 193, 437-446.
- [15] **Varado, N., Braud, I., Galle, S., Le Lay, M., Séguis, L., Kamagaté, B. and Depraetere, C.**, (2006). Multicriteria assessment of the Representative Elementary Watershed approach on the Donga catchment (Benin) using a downward approach of model complexity. *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 10: 427-442.
- [16] **Varado, N., Braud, I., Ross, P.J. and Haverkamp, R.**, 2006. Assessment of an efficient numerical solution of the 1D Richards' equation on bare soil. *Journal of Hydrology*, 323(1-4): 244-257.