



**Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine
Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique**

AMMA - CATCH

**Un Observatoire de la Variabilité Climatique Tropicale
et de son Impact Hydrologique en Afrique de l'Ouest**

Laboratoire responsable.

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

Laboratoires associés.

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

Résumé des motivations et objectifs du projet

Le système d'observation AMMA-CATCH vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la mousson Ouest-Africaine. Ce système fonctionne en tant que tel depuis 1997, mais intègre des observations réalisées sur la région depuis 1950, soit par la biais de réseaux opérationnels, soit à l'occasion de campagnes de recherche (HAPEX-Sahel notamment). La stratégie d'observation mise en œuvre est multi-échelle, tant dans l'espace -du petit système hydrologique de quelques km² jusqu'à une fenêtre régionale couvrant 5° en longitude et 9° en latitude- que dans le temps -le dossier présenté ici couvre une période d'une dizaine d'années (2001-2010) au sein de laquelle des mesures renforcées seront mises en place sur des durées plus courtes. Les observations réalisées serviront de base à des études diagnostiques sur les différents facteurs qui conditionnent la forte irrégularité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Elles fourniront aussi des éléments de validation pour les travaux de modélisation visant à mieux cerner les rôles respectifs du forçage océanique de grande échelle et des modifications régionales de la surface continentale dans la dynamique de la mousson. Enfin, elles alimenteront les études d'impact sur les ressources en eau et la productivité agricole de la variabilité climatique stricto sensu, d'une part, et des facteurs d'origine anthropique, d'autre part.

L'observatoire CATCH constitue le noyau de la composante d'observation à long terme du projet d'Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine (AMMA) soutenu par 5 programmes nationaux (PATOM, PNCA, PNEDC, PNRH, PNTS) et par l'ACI Eau et Environnement.

Scientifique en charge du projet.

Thierry LEBEL, Directeur de Recherches IRD

LTHE, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9, Thierry.Lebel@inpg.fr, Tél. : 04 76 82 52 85

Responsable de l'équipe Hydrométéorologie au LTHE (UMR 5564 - CNRS, UJF, INPG, IRD)

Coordinateur au Niger de l'expérience HAPEX-Sahel (1990-1994)

Membre du Comité de Coordination du projet *Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine*

Membre du GEWEX Hydrometeorological Panel et du Comité CLIVAR-Afrique (VACS)

Un CV détaillé est joint en annexe de ce dossier.

Problématique Scientifique

Le système d'observation CATCH vise à documenter la variabilité climatique et hydrologique associée à la mousson Ouest-Africaine. L'Afrique est au premier rang des régions concernées par la question de l'impact des fluctuations climatiques sur les ressources en eau. Plus des 2/3 du continent sont localisés entre les tropiques, et les grandes sécheresses qui ont frappé le Sahel en 1972-1973 et en 1984-1985 ont eu des conséquences dramatiques et durables pour les populations. Ces deux épisodes ont été la manifestation extrême d'une sécheresse ininterrompue qui a concerné toute l'Afrique de l'Ouest de la fin des années 60 au milieu des années 90, ce qui en fait le phénomène climatique de plus grande ampleur connu par notre planète au cours de ce siècle. A ce jour on ne dispose d'aucun schéma validé pour l'expliquer, même si plusieurs théories, mettant l'accent sur les interactions entre l'atmosphère et les surfaces continentales ont été proposées. Les importantes modifications environnementales qu'a connues la région depuis une cinquantaine d'années pourraient avoir modifié la dynamique de la mousson, mais les observations disponibles pour valider une telle hypothèse sont insuffisantes. D'une manière plus large il est nécessaire, pour comprendre la variabilité de la mousson africaine et son impact sur le cycle hydrologique, de disposer de données couvrant la large gamme d'échelles spatio-temporelles auxquelles se manifestent la variabilité atmosphérique, la variabilité hydrologique et la variabilité des couverts végétaux. Le système d'observation CATCH fonctionne en tant que tel depuis 1997, mais intègre dans ses bases de données, des observations qui remontent au début des années 1950. Les observations réalisées servent aux études diagnostiques sur les causes de la forte irrégularité des précipitations en Afrique de l'Ouest. Elles fournissent des éléments de validation pour les travaux de modélisation visant à mieux cerner les rôles respectifs du forçage océanique de grande échelle et des modifications régionales de la surface continentale dans la dynamique de la mousson. Enfin, elles alimenteront les études sur les modifications observées depuis plusieurs années en matière de ressources en eau et de productivité agricole (parts respectives de la variabilité climatique et des changements environnementaux).

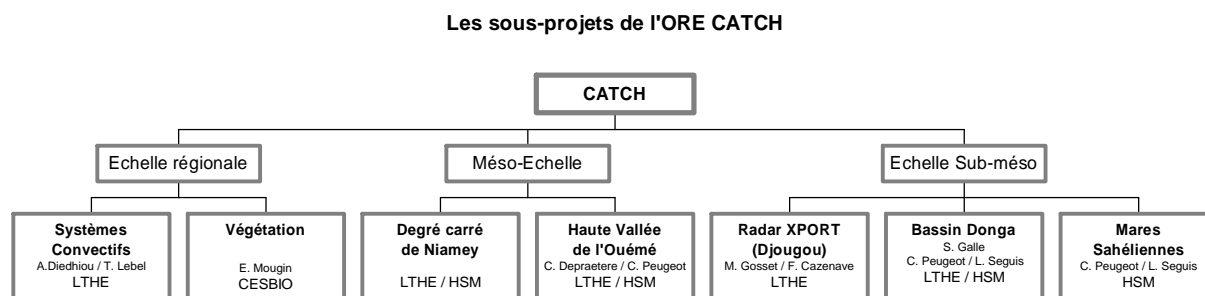
Stratégie d'observation

Le climat de l'Afrique de l'Ouest et le cycle hydrologique qui lui est associé sont déterminés par un régime de mousson. L'ensemble constitue un système multi-échelles conditionné par des facteurs : i) régionaux (gradients méridiens d'énergie liés au contraste zonal entre l'océan et le continent et aux gradients de végétation sur le continent), ii) synoptiques (ondes du Jet d'Est Africain), iii) de méso-échelle (systèmes convectifs), iv) localisés (compartiments hydrologiques très cloisonnés sur de petites surfaces, surtout au Sahel). Pour comprendre les liens entre la variabilité de la mousson et la variabilité du cycle hydrologique associé il est donc nécessaire de concevoir un système d'observations qui couvre le continuum d'échelles concernées. Le système d'observation CATCH est ainsi organisé autour de trois grandes échelles (voir cartes des Figures 1 à 4 ci-après) : i) l'échelle régionale (fenêtre définie par les longitudes 0° à 5°E et par les latitudes 6°N à 15° N) pertinente pour observer le cycle saisonnier de la mousson et les grands changements de végétation intervenus au cours de ces cinquante dernières années ; ii) la méso-échelle, avec deux composantes –une sur le Sahel (degré carré de Niamey) et une en climat soudanien (Haute Vallée de l'Ouémé) – pertinente pour l'étude du cycle de vie des systèmes convectifs, la quantification de leur variabilité interne et de l'impact de ces deux éléments sur le cycle hydrologique ; iii) l'échelle locale de systèmes hydrologiques couvrant de quelques km² en milieu sahélien à quelques dizaines (voire centaines) de km² en milieu soudanien, sur lesquels on cherche à fermer le bilan

hydrologique et à mieux comprendre les interactions entre cycle de l'eau et cycle de la végétation. L'existence des deux sites de méso-échelle permet en outre de comparer la variabilité hydrologique sahélienne et la variabilité hydrologique soudanienne.

Les échelles temporelles associées vont de un an à une dizaine d'années, selon les observations concernées. Les observations sur le degré carré de Niamey durent depuis 1990 et nous espérons, à travers l'ORE maintenir ces observations haute résolution sur 10 années supplémentaires.

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



Paramètres mesurés

Le principal objectif visé est de documenter au mieux la variabilité des différents termes du bilan hydrologique continental aux différentes échelles décrites précédemment : pluviométrie (pluviographes à acquisition numérique), débits des rivières sur l'Ouémé et niveau des mares au Sahel (limnigraphes à acquisition numérique), variations de niveau des aquifères. L'ensemble de ces capteurs permet de connaître les fluctuations des variables d'intérêt avec une résolution temporelle de 5 minutes, voire inférieure dans certains cas. Une station micro-climatique fonctionne sur chaque site, pour permettre au moins une première estimation de l'évapotranspiration. Sur le bassin de l'Ouémé, il est prévu d'installer un radar météorologique bi-polarisation en bande X, sachant par ailleurs qu'il existe un radar opérationnel de l'ASECNA à Niamey qui pourrait être changé dans les deux années qui viennent. Ces différentes observations spécifiques sont menées en collaboration avec les services météorologiques et hydrologiques nationaux, permettant ainsi d'assurer une continuité d'échelle entre les réseaux peu denses spatialement mais suivies depuis longtemps par ces services et les observations de haute résolution assurées par le projet CATCH. Des observations de végétation sont également en cours ou prévues. En association avec des partenaires allemands et béninois une composante socio-économique est sur le point de démarrer (impact des pénuries d'eau sur le développement des populations). Des observations atmosphériques renforcées seront mises en place entre 2004 et 2006, dans le cadre du projet international en cours de montage sur l'étude des différentes composantes de la mousson africaine. La télédétection donne accès au rayonnement solaire, à l'indice de végétation, à l'albedo, à l'humidité superficielle des surfaces.

Protocoles expérimentaux

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

Systèmes convectifs :

Le cycle de vie des systèmes convectifs est étudié à partir de l'imagerie Météosat (GPM à partir de 2003 et capteur micro-ondes de la mission MEGHA-TROPIQUES, prévu pour 2006), en relation avec les données pluviométriques collectées auprès des services nationaux sur l'ensemble de la fenêtre CATCH.

Végétation :

La combinaison des images satellites (AVHRR, VGT, MODIS, MSG2 ; diffusiomètres ERS, Quikscat et Nscat) et de sites de validation sol (certains déjà existant comme au Gourma malien, d'autres à définir sur le site de l'Ouémé) permet un suivi du cycle saisonnier de la végétation et de son rôle dans le bilan hydrique régional.

- Méso-échelle

Degré carré de Niamey :

Les mesures pluviographiques et de niveaux (en nappes ou dans les eaux de surface) sont réalisées à l'aide d'enregistreurs automatiques autonomes. Ces appareils sont visités tous les 4 à 6 semaines environ pour la collecte des données enregistrées, et la maintenance technique. Le suivi de la nappe phréatique, aux points où sa dynamique saisonnière est lente, est réalisé par mesures manuelles du niveau d'eau dans les puits correspondants. Ces tournées sont réalisées par deux techniciens nigériens sur contrat local, financés par l'IRD. De 1990 à 1993, nous avons eu accès au radar bande C géré par l'ASECNA sur le site de l'aéroport de Niamey. Les données recueillies ont permis de caractériser les vitesses de déplacement des systèmes convectifs et leur degré d'organisation, en complément du travail réalisé à l'échelle régionale (voir supra). Ce radar est néanmoins obsolète et l'ASECNA doit le remplacer prochainement.

Ouémé :

Le site béninois du haut bassin de l'Ouémé est le moins bien connu des trois sites proposés. Une campagne de caractérisation des surfaces (nature et dynamique du couvert végétal), et de sub-surface (caractéristiques des niveaux altérés contenant des nappes temporaires) est donc à prévoir à partir de 2003. Les outils et techniques de la géophysique de surface sont pressentis comme prometteurs de ce point de vue (sondages électriques, résonance magnétique protonique).

Radar XPORT :

Il n'existe aucun radar météorologique au Bénin. Le LTHE a développé un radar bi-polarisation en bande X, avec le soutien de l'ACI *Eau et Environnement*, qu'il est prévu d'installer à Djougou en 2003, dans l'ouest du bassin de la Donga. Ce type de radar, doté de nouveaux algorithmes permettant de corriger l'atténuation qui biaise les mesures, représente une solution économique pour la surveillance hydrologique de petits bassins et pour l'étude de la structure interne des systèmes convectifs. L'expérimentation béninoise permettra d'ajuster les algorithmes et de valider le concept de radar local fonctionnant en bande X, pour les zones tropicales.

- Echelles sub-meso

Bassin de la Donga :

Sur ce bassin on réalisera un suivi à échelle fine des processus de versants, pour l'étude des interactions entre écoulements de surface, de sub-surface, et végétation et une étude de la variabilité des précipitations aux échelles convectives semblable à celle menée à bien au Niger (Taylor and Lebel, 1998). On disposera également d'un réseau dense de suivi de l'aquifère pour améliorer notre compréhension des relations entre écoulements de surface et souterrains dans cette région.

Mares sahéliennes :

Un programme existe depuis 1991, qui a permis de préciser le rôle joué par ces mares dans le bilan hydrique régional et la recharge des nappes (thèses J.C. Desconnets, 1994 ; C. Peugeot, 1995 ; G. Favreau, 2000). Ce programme se poursuit avec pour objectif de modéliser les processus d'infiltration sous les mares.

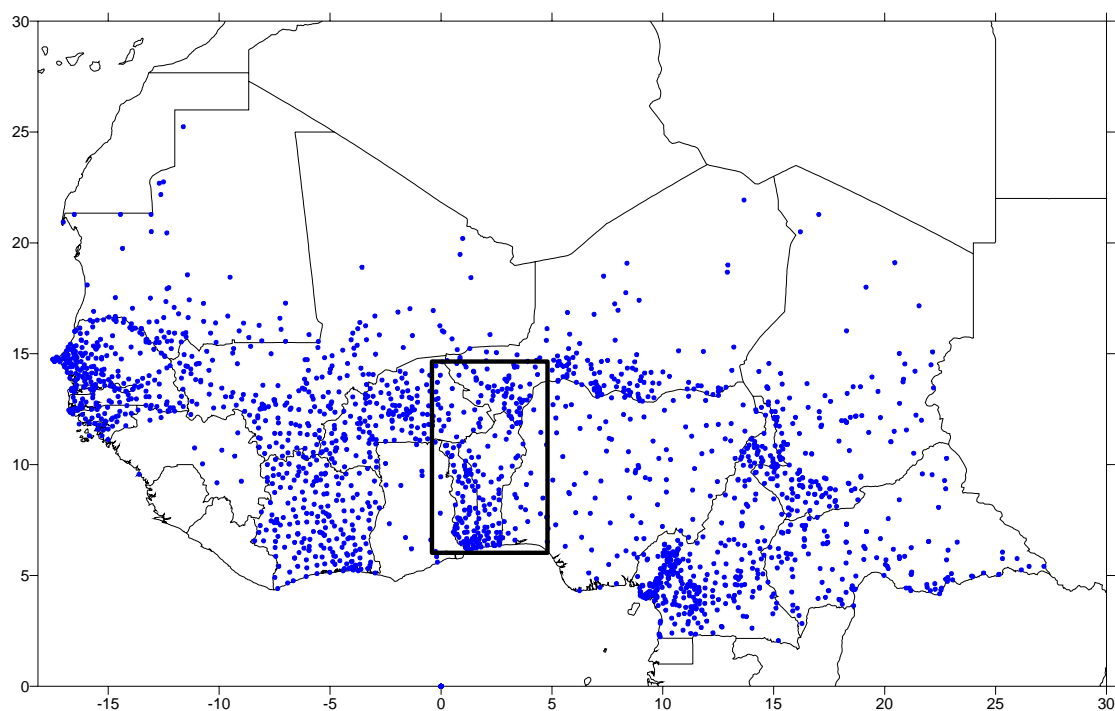


Figure 1. Localisation de la fenêtre CATCH en Afrique de l'Ouest et réseau pluviométrique journalier de la base BADOPLU.

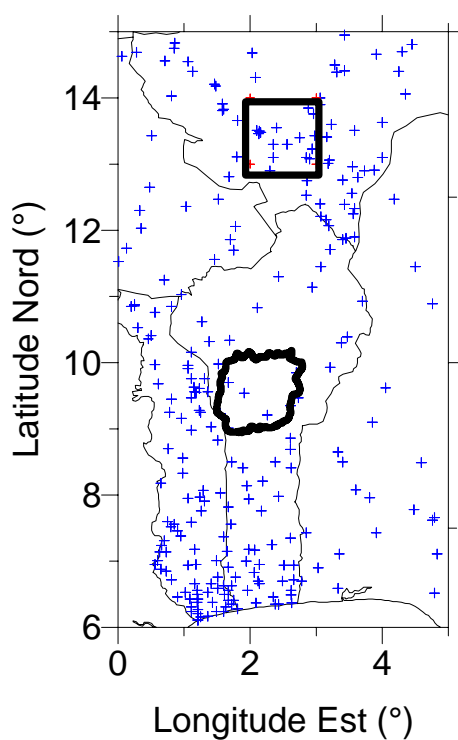


Figure 2. Localisation des deux sites de méso-échelle au sein de la fenêtre CATCH et réseau pluviométrique journalier de la base BADOPLU.

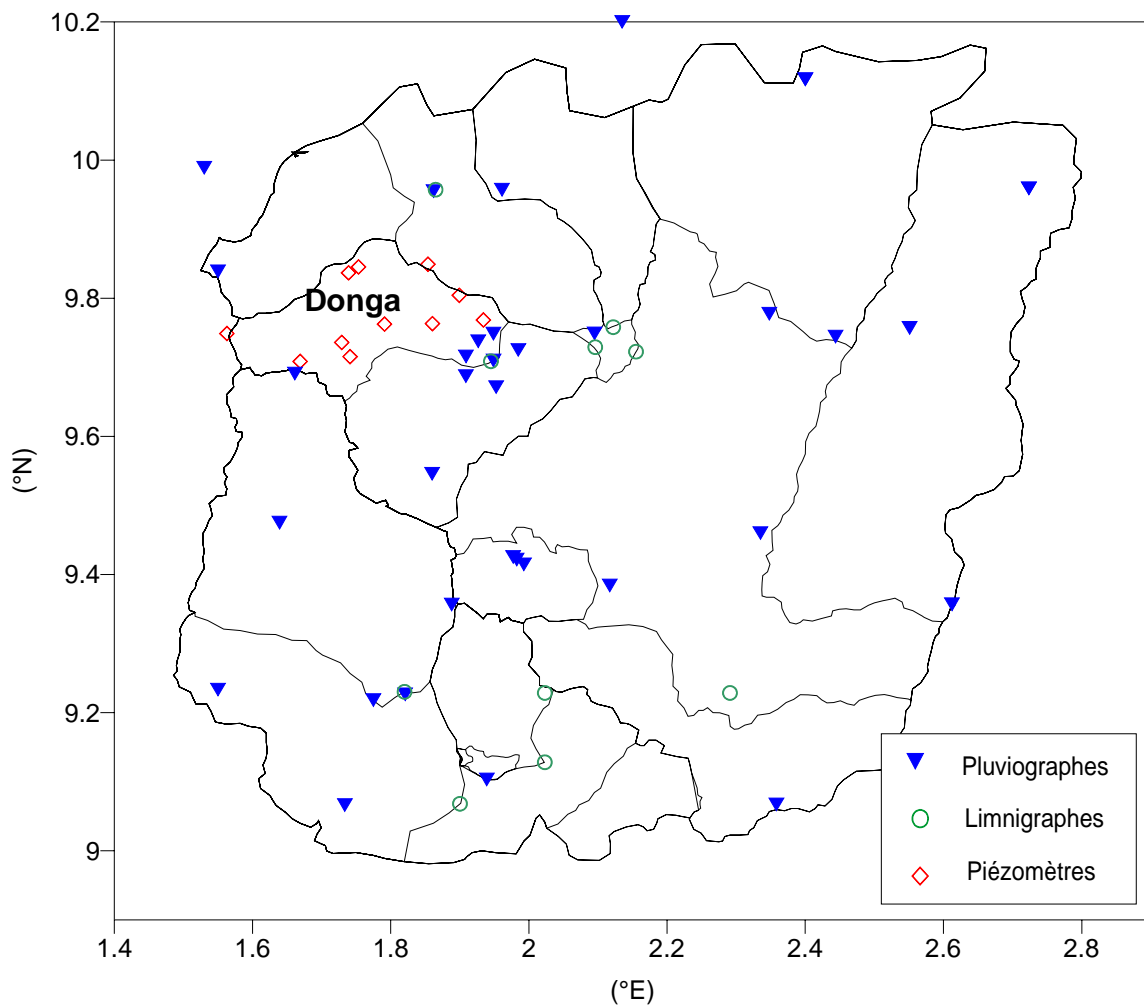


Figure 3. Détail de l'instrumentation sur le Haut Bassin de l'Ouémé.

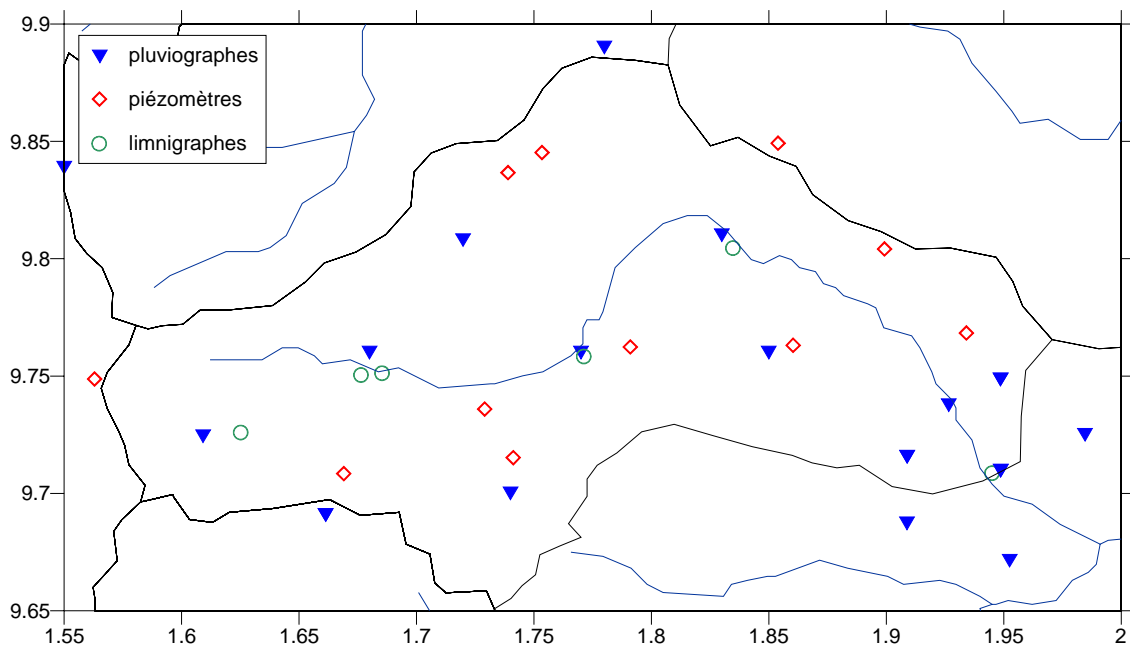


Figure 4. Le bassin de la Donga (600 km²).

Durée d'observation envisagée

Période de mise en place

Comme mentionné plus haut certaines observations ont démarré en 1990, d'autres en 1997. On peut considérer que le système intégré fonctionne depuis 2000.

Période de validation

Il s'agit a minima de la période d'observation à long terme de AMMA, c'est à dire 2001-2010.

Structure scientifique responsable principale de l'ORE

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

Structure gestionnaire

**Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
213 Rue Lafayette, 75480 Paris cedex 10**

Unités impliquées et organismes associés

Unités impliquées

Les trois unités impliquées en tant que telles sont, outre le LTHE :

Hydro Sciences Montpellier (HSM), UMR 5569 (CNRS, IRD, USTL).

Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO), UMR 5126 (CNES, CNRS, IRD, UPS).

Par ailleurs le laboratoire d'écologie de l'ENS a noué une collaboration avec HSM pour les études hydro-écologiques sur le site de Niamey (thèse encadrée en commun et travail de terrain) et souhaite étendre sa contribution à d'autres sites. L'échéancier de l'appel d'offres n'a pas permis de développer plus avant ce volet mais, notamment dans le cadre de AMMA, l'année 2002 devrait voir naître des propositions d'action plus précises en la matière.

Organismes associés

Le CNRS (INSU) apporte son soutien scientifique à cet observatoire qui contribue à la cohérence du projet AMMA en assurant la liaison entre différentes échelles temporelles et spatiales. Le département SDV est également impliqué notamment à travers la participation de J. Gignoux et L. Abadie au suivi écologique sur le site de Niamey. D'autres développements sont à l'étude pour la participation du laboratoire d'écologie de l'ENS au suivi du cycle saisonnier et de la variabilité interannuelle de la végétation sur les bassins de l'Ouémé et du Nakanbé.

Moyens matériels et financiers

Investissement initial pour le suivi de long terme

L'ensemble de l'instrumentation spécifique des deux sites de méso-échelle représente un investissement de 300 K€ environ pour l'observatoire sahélien, le plus ancien, et de 250 K€ pour l'observatoire de l'Ouémé qui nécessite un équipement complémentaire pour une somme d'environ 75 K€ supplémentaire sur les deux années à venir (2002-2003) afin de suivre correctement les différents termes du bilan hydrologique sur la Haute Vallée de l'Ouémé et sur le bassin de la Donga. Ces investissements ont été financés par l'INSU (dans le cadre d'HAPEX-Sahel) et l'IRD pour ce qui concerne le site de Niamey, par l'IRD, le projet allemand IMPETUS et le PNRH (bassin de la Donga) pour ce qui concerne le site Béninois. **Sur un total de 550 K€, la part de l'IRD est de 420 K€** L'entretien de ces sites est assuré par des équipes de l'IRD en collaboration avec des partenaires nigériens et béninois. Un important effort de rénovation et de mise à niveau des équipements les plus anciens –qui fonctionnent maintenant dans un environnement difficile depuis plus de 10 ans– est à envisager (voir ci-dessous).

Budget annuel de fonctionnement pour le suivi de long terme dans la configuration 2001-2002

Le budget annuel consolidé de fonctionnement est, en l'état actuel, de 50 K€ environ pour le site de Niamey (dont 20 K€ hors salaires) et de 80 K€ environ pour le site de l'Ouémé (dont 35 K€ hors salaires). Ces coûts sont actuellement couverts pour l'essentiel par l'IRD (salaires, contrats locaux et dotations de soutien de programmes). Un tiers environ (12 K€) du fonctionnement sur l'Ouémé a été couvert en 2002 par des crédits PNRH (en principe non renouvelables) et par un soutien récurrent du programme allemand IMPETUS (8 K€ par an). L'élargissement du dispositif sur l'Ouémé, dans le cadre notamment de l'EOP de AMMA, conduit à estimer que le budget annuel de suivi – hors salaires – pourrait passer à 45 K€ pour la période 2004-2006, ce qui nécessiterait un soutien complémentaire de 10 K€ de la part du ministère.

Modernisation des équipements

Il faut envisager de changer toutes les acquisitions des pluviographes acquis entre 1990 et 1992, dont 30 unités ont été transférées au Bénin. Ces systèmes sont anciens et vieillissent de manière accélérée dans l'environnement humide de la haute vallée de l'Ouémé. La solution envisagée est le remplacement des acquisitions (EDIPE par des systèmes *PLUVIO-91* (SERPE), à raison de 1200 € l'unité, soit un total de 36 K€ sur trois ans.

Equipements complémentaires

Trois dossiers sont en cours d'examen. **Premièrement** un renforcement du suivi des eaux souterraines sur la haute vallée de l'Ouémé, impliquant le forage de sites piézométriques propres et l'acquisition d'une vingtaines de piézographes complémentaires. Un financement a été demandé à l'Agence Française de Développement pour cette opération dont le montant avoisine 162 K€. **Deuxièmement**, la mise en place de 5 sites de jaugeage supplémentaires sur le bassin de la Donga dans le cadre de l'opération financée par le PNRH, nécessite de disposer d'un système de jaugeage performant. Nous envisageons en conséquence l'acquisition d'une ADCP (Workhorse Rio Grande 1200 kHz dont la zone morte réduite à 5 cm permet le jaugeage de cours d'eau de faible profondeur) pour un montant de 31 K€. Le financement est demandé dans le cadre de cet appel d'offres. **Troisièmement**, il est nécessaire de disposer au LTHE d'un serveur de base de données qui permette d'implanter le miroir de la base

développée à MEDIAS. Le financement de cet achat (6 K€) est demandé dans le cadre de cet appel d'offres.

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

Un certain nombre de campagnes de mesure exceptionnelles sont envisagées. Deux d'entre elles visent à mieux documenter le milieu souterrain sur l'Ouémé dont l'importance est capitale pour fermer le bilan hydrologique : campagne de prospection géophysique (sondages électriques, résonance magnétique protonique) et campagne de traçage géochimique. Les deux autres sont destinées à étudier des processus pour lesquels certaines questions précises se posent suite à plusieurs années de recherche : infiltration sous les mares en milieu sahélien, qui conditionne la recharge des nappes ; caractérisation des systèmes convectifs sur la zone de transition climatique aux alentours de 9°N à 10°N à l'aide d'un radar à double polarisation. Les coûts indicatifs de ces dernières campagnes sont donnés dans la tableau ci-dessous.

Récapitulatif des moyens demandés dans le cadre de l'appel d'offres ORE

1. Les chiffres fournis concernent le système d'observation CATCH stricto sensu, sachant que, soit par le biais du projet IMPETUS, soit dans le cadre de AMMA, nous bénéficions pour nos recherches d'observations complémentaires aux nôtres.
2. Ce chiffrage concerne la période 2003-2006, étant entendu que l'observatoire a vocation à rester en activité sur toute la période 2001-2010
3. Les financements escomptés sont calculés par extrapolation à partir des budgets de fonctionnement 2001-2002 (cas du fonctionnement) ou des dossiers de financement déjà déposés –auprès des programmes nationaux ou autres (AFD par exemple) – et pour lesquels nous avons de bons espoirs d'obtenir une réponse positive (cas des équipements).
4. Tous ces chiffres sont fournis **HORS TAXES et hors salaires**

	Coût total	Financements acquis	Financements escomptés	Soutien demandé à l'AO ORE
Investissement initial	625 K€	550	75	/
Modernisation des équipements	36 K€	/	12	24 K€
Equipements complémentaires	199 K€ dont:	/	162	37 K€
Equipements piézométriques	162 K€			/
ADCP	31 K€			31 K€
Serveur base de données	6 K€			6 K€
Campagnes de mesure exceptionnelles	171 K€ dont:	15 K€	75 K€	85 K€
Prospection géophysique	21 K€	/	21 K€	/
Traçage géochimique	35 K€	/	10 K€	25 K€
Radar hydrométéorologique	85 K€	15 K€	40 K€	30 K€
Infiltration sous les mares	30 K€			30 K€
TOTAL équipements	1031 K€	565 K€	320 K€	146 K€
Fonctionnement annuel récurrent	65 K€/ an	12, soit 48 K€sur 4 ans	43, soit 172 K€sur 4 ans	10/an, soit 40 K€sur 4 ans

Moyens humains

Deux laboratoires nationaux sont actuellement impliqués dans les études de terrain : HSM et le LTHE. Pour les observations in situ, cinq personnes de l'IRD, rattachées au LTHE, sont affectées sur le site béninois pour 2002. Il est prévu un remplacement d'au moins un des chercheurs LTHE par deux chercheurs HSM à horizon 2003. Au Niger, un assistant ingénieur IRD de HSM, partant en retraite fin 2001, est affecté à Niamey ; il est secondé par deux techniciens nigériens recrutés par l'IRD. Au total, les équipes françaises exploitant les données ainsi accumulées représentent l'équivalent de 6 chercheurs et 5 ITA environ, à HSM et au LTHE. A ce chiffre doit être ajoutée la contribution des partenaires des pays concernés. Le volet modélisation implique d'autres laboratoires, notamment le LMD et le CNRM. Les travaux de télédétection s'appuieront sur un projet en préparation devant occuper 2,5 chercheurs plein temps (CESBIO et partenaires), mais qui ne couvrira pas tous les besoins en moyens humains nécessaires à la réalisation d'un tel projet hydroclimatique régional.

Personnel permanent mobilisé actuellement

- **LTHE- Bénin**
 - Marc Arjounin, AI IRD, 100% (suivi de terrain en collaboration avec techniciens de la DH)
 - Jean Michel Bouchez, TE1 IRD, 100% (suivi de terrain en collaboration avec techniciens de la DH)
 - Christian Depraetere, CR1 IRD, 100% (coordination de l'OHHVO et études environnementales)
 - Luc Le Barbé, CR1 IRD, 100% (Mesures et modélisation hydrologique)
 - Fred Malinur, TE1 IRD, 100% (suivi de terrain en collaboration avec techniciens de la DH)
- **LTHE- Grenoble**
 - Stéphane Boubkraoui, TE UJF, 20%
 - Isabelle Braud, CR1 CNRS, 25 % (Projet DONGA, modélisation)
 - Frédéric Cazenave, IE IRD, 100%, (Développement radar hydrométéorologique)
 - Arona Diedhiou, CR2 IRD, 30% (Base de données, Atlas, Validation modèles)
 - Sylvie Galle, CR1 IRD, 70% (Dynamique de l'eau dans le sol, liaison avec le projet SMOS)
 - Marielle Gosset, CR2 IRD, 50%, (Développement radar hydrométéorologique)
 - Randel Haverkamp, DR2 CNRS, 10% (Dynamique de l'eau dans le sol)
 - Thierry Lebel, DR2 IRD, 60% (Coordination du projet)
- **HSM**
 - Bernard Cappelaere, IR1, xx%**
 - Christian Leduc, CR1 IRD, 5 % (coordination réseau piézométrique, observatoire Niger)
 - Gil Mahé, CR1 IRD, 5%
 - Monique Oï, TER IRD, 30 % (dépouillement/critique des données, observatoire Niger)
 - Christophe Peugeot, CR1 IRD, 60% (modélisation hydrologique et coordination observatoire Haut Bassin Ouémé à compter de 2003)
 - Luc Séguis, CR1 IRD, 60 % (modélisation hydrologique et coordination observatoire Haut Bassin Ouémé à compter de 2003)
- **CESBIO-Toulouse**
 - Benoît Duchemin, CR2 IRD, 20%, (traitement de données satellitaires)
 - François Lavenu, IR2, 20%, (caractéristiques des couverts)
 - Bernard Mougenot, CR1 IRD, 20%, (modes de couverture des terres)
 - Eric Mougin, CR1 CNRS, 75%, (caractéristiques des couverts et production primaire)
 - + partenaires nationaux
- **IRD- Niger**
 - Abassa Alhassane, technicien nigérien rémunéré en contrat local sur crédits IRD-HSM.
 - Abdoulaye Kone, technicien nigérien rémunéré en contrat local sur crédits IRD-LTHE.

- DMN- Niger
Gandha Aboubakar, Technicien supérieur, 100% (suivi réseau pluviométrique)
- IRD- Bénin
Simon Afouda, assistant hydrologue en contrat local sur crédits IRD (représentation Bénin).
- DH- Bénin
Antoine Ahongossou, technicien supérieur, 80% (suivi réseau pluviométrique et hydrométrie)
- Centre Régional AGRHYMET (Niamey, Niger)
Abou Amani, Chef de projet, 15% (Bases de données)

Personnel complémentaire souhaité

Tant du côté du LTHE que de HSM, la carence la plus évidente de notre dispositif est l'absence d'une personne qualifiée pour la supervision d'ensemble du dispositif et le contrôle opérationnel des mesures. La qualification requise est celle d'un ingénieur d'études compétent en mesures physiques et en traitement de données. Plusieurs solutions sont envisageables pour pallier ce manque. La première serait celle du recrutement (en externe ou en mobilité interne) d'un IE par l'IRD, qui pourrait être indifféremment affecté au LTHE ou à HSM. La seconde serait de faire jouer des complémentarités au niveau des structures fédératrices. On pourrait ainsi concevoir le recrutement d'un physicien adjoint CNAP pour l'OSUG de Grenoble, affecté au LTHE et travaillant pro parte pour l'ORE CATCH et pro parte pour l'ORE Cévennes-Vivarais. Une solution analogue est peut-être envisageable sur Montpellier. La réflexion sur ce point mérite d'être approfondie, en concertation avec nos tutelles. **En tout état de cause, ce poste est un poste clé pour la bonne marche de notre observatoire et il constitue pour nous une priorité absolue.**

Un autre besoin important se situe au niveau du remplacement de l'Assistant-Ingénieur affecté à Niamey et qui part en retraite en milieu d'année 2002. Un renfort est également à envisager en matière de traitement des données de télédétection, mais ceci reste à préciser dans la mesure où une solution pourrait être trouvée dans le cadre élargi du projet AMMA, qui va générer une grosse demande dans ce domaine

Bases de données

L'approche suivie en matière de bases de données découle naturellement de la stratégie d'observation et de valorisation.

Tout d'abord, à l'échelle régionale, nous travaillons avec les services nationaux (DMN, Directions de l'Hydrauliques) et régionaux (centre AGRHYMET, réseau FRIEND-AOC), pour compléter certaines bases existantes et surtout pour créer des données élaborées à partir des données brutes. C'est ainsi qu'une action commune avec AGRHYMET a conduit à calculer des grilles de pluie moyenne sur l'ensemble du Sahel depuis une dizaine d'années. Ces grilles sont calculées pour différentes résolutions allant de 0.5°x 0.5° à 5°x 5° et pour différents pas de temps allant de la décade à la saison. Ces grilles (grilles des valeurs estimées et grilles d'erreurs) sont librement disponibles auprès d'AGRHYMET ou du LTHE. Nous avons aussi procédé à un inventaire complet des données hydrologiques, météorologiques et environnementales disponibles au Bénin. Ces données ont été numérisées et sont disponibles sur CD-ROM (Depraetere, 2001). Par ailleurs, nous nous sommes engagés dans le développement d'une base de données

hydrométéorologiques sur la fenêtre CATCH, en collaboration avec les services nationaux des pays concernés (Bénin, Burkina-Faso, Niger, Togo), sans avoir à ce jour résolu le problème de l'accès aux données du Nigéria. Enfin, il faut signaler la constitution d'une base de données METEOSAT pleine résolution couvrant la période 1989-2000 et d'une base de données dérivées sur les systèmes convectifs de méso-échelle, construite à partir d'un algorithme de tracking (thèse V. Mathon, 2001 ; Mathon and Laurent, 2001 ; Mathon et al., 2002). Cette base sera transférée au centre régional AGRHYMET dans le cadre de la thèse en cours d'Abdou Ali, étudiant nigérien.

Les données des sites d'observation de méso-échelle font l'objet d'un effort particulier. Sur le degré carré de Niamey, de nombreux produits dérivés ont été développés : grilles et cumuls temporels pour différentes résolutions, cartes. Une démarche analogue est en cours concernant les données de l'Ouémé. Une base de données radar (BADORA) a également été développée pour les observations de la période 1991-1993 (radar bande C de Niamey) et est accessible en ligne sur le site du LTHE.

Les bases de données régionales sont développées en collaboration avec les organismes régionaux tels qu'AGRHYMET. Les données des sites de méso-échelle font l'objet de bases de données élaborées au LTHE et accessibles sur <http://www.hmg.inpg.fr/Intranet/BADOPLU> à l'aide d'une interface développée par MEDIAS-France et adaptée pour faciliter l'accès à toute la communauté scientifique. Coté LTHE, le scientifique responsable de ce travail est Arona Diedhiou. Notre interlocuteur à MEDIAS-France au plan informatique est Hassan Maramara

L'ensemble de ce dispositif est susceptible de modifications en fonction des décisions qui seront prises pour la base de données AMMA. Néanmoins nous maintiendrons une identité pour les données CATCH, ne serait-ce que du fait de notre politique d'observation à long terme.

Insertion de l'ORE dans le tissu de la recherche

Programmes nationaux et ACI

CATCH constitue le noyau de la composante de suivi à long terme du programme en cours de montage sur la mousson africaine (*AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine*). Ce programme réunit une vingtaine de laboratoires nationaux et reçoit depuis 2000 le soutien du PATOM, du PNCA, du PNEDC, du PNRH. Un appui du PNTS est demandé cette année. Le système d'observation CATCH a été financé par l'ACI "Eau et Environnement" pour ce qui concerne l'instrumentation radar.

Collaboration avec d'autres programmes d'observation

Sur le site Béninois, une collaboration est engagée avec le projet allemand IMPETUS géré par les universités de Cologne et de Bonn avec l'appui du DLR (agence spatiale allemande). Ce programme a démarré en 2001. Il est financé par le ministère allemand de la recherche pour une durée de 10 ans (avec deux évaluations intermédiaires) et est donc exactement en phase avec CATCH. Nos partenaires allemands mènent des mesures complémentaires aux nôtres : radiosondage sur le site de Parakou, petit bassin versant sur socle sur le site de l'Aguima, suivi de la végétation par observations terrain et télédétection. Le projet IMPETUS comporte également un volet socio-économique (étude des migrations des populations liées aux problèmes d'approvisionnement en eau) et un volet santé (étude des pathologies liées à la qualité de l'eau). Nous partageons avec le projet allemand un certain nombre de frais liés à la logistique de terrain et l'IRD a financé conjointement avec lui la construction et l'équipement d'un

bâtiment, dans l'enceinte de la Direction de l'Hydraulique du Bénin à Cotonou, qui nous sert de centre opérationnel.

Il est prévu pour les deux ans qui viennent de développer des collaborations dans deux directions. D'une part, nos collègues burkinabés de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) qui travaillent sur le bassin du Nakanbé (33000 km²), situé dans la partie Nord-Ouest de la fenêtre CATCH sur des formations pédologiques différentes de celles rencontrées autour de Niamey ou sur l'Ouémé, souhaitent s'associer à nos travaux dans le cadre notamment de AMMA. D'autre part, un programme sur les savanes, coordonné par le laboratoire d'écologie de l'ENS Paris, est en cours de démarrage et il existe des convergences à approfondir entre CATCH et ce programme.

Enfin, il existe bien évidemment une imbrication forte entre la stratégie d'observation de CATCH et la stratégie multi-échelle du projet AMMA. Ce dernier a identifié trois échelles temporelles : l'échelle décennale (LOP), l'échelle interannuelle (EOP, 2004-2006) et enfin l'échelle du cycle saisonnier et des études de processus (SOP, IOP). L'étude approfondie de la variabilité interannuelle et du cycle saisonnier de la mousson ouest-africaine, à l'aide d'observations renforcées voire localement intenses, fournira un complément naturel aux observations menées par CATCH, permettant d'explorer les liens entre variabilité décennale et variabilité aux échelles temporelles inférieures. Réciproquement le dispositif à long terme de CATCH permettra de détecter d'éventuelles modulations de la variabilité interannuelle par les modifications durables de l'environnement en Afrique de l'Ouest. Tout en maintenant sa logique propre centrée sur le cycle de l'eau, CATCH s'intègre donc totalement dans le projet AMMA, dont certains objectifs scientifiques sont dérivés de ceux initialement identifiés dans CATCH.

Collaboration avec les partenaires africains

Les collaborations avec les partenaires africains sont également importantes. Le suivi du réseau pluviométrique de Niamey se fait depuis 1990 dans le cadre d'une convention avec la Direction de la Météorologie du Niger et nous procédons à des échanges de données réguliers. La base de données pluviométrique EPSAT-Niger est implantée à la DMN. Au Bénin le projet est hébergé par la Direction de l'Hydraulique et, comme au Niger, les techniciens béninois sont associés au suivi de l'observatoire. Au plan de l'exploitation scientifique des données recueillies, plusieurs thèses d'étudiants africains se sont basées sur le traitement des données CATCH (A. Amani, 1995 ; D. Tapsoba, 1997 ; H. Onibon, 2001 ; W. Moufouma-Okia et A. Ali, en cours). Abel Afouda, professeur à l'Université National du Bénin bénéficie d'un financement « *Echange Scientifique de Courte Durée* », qui lui permet de venir travailler dans notre laboratoire trois mois par an depuis 2000.

Réseaux internationaux

Au niveau international, le système d'observations CATCH est partie prenante des opérations labellisées par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) et ce à travers deux de ses composantes : i) le sous-programme GEWEX (Global Energy and Water cycle Experiment) et le sous-programme CLIVAR (Climate Variability and Predictability). CATCH est représenté au GEWEX Hydrometeorological Panel (GHP) dont la mission est de coordonner les observations d'échelle régionale sur les interactions entre l'atmosphère et les surfaces continentales. Par ailleurs CATCH est le système d'observation pilote du panel CLIVAR-Afrique¹ (VACS – Variability of the African Climate System).

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

Exploitation et valorisation attendue des données

Données régionales

L'exploitation des données pluviométriques régionales (images IR Météosat et données pluviométriques journalières) ont produit un certain nombre de résultats : mise en évidence du saut de mousson (Le Barbé et al., 2002), caractérisation des systèmes convectifs pluviogènes (Mathon et al., 2002), par exemple. En matière de variabilité pluviométrique les résultats attendus pour le futur concernent surtout les liens entre le cycle saisonnier et la variabilité interannuelle et la surveillance d'éventuelles modifications durables du cycle saisonnier liées aux perturbations du système climatique global de notre planète. Dans ce domaine la disponibilité de données pluviométriques haute résolution, tant sur le degré carré de Niamey que sur l'Ouémé est indispensable (voir ci-après).

En matière de végétation les mêmes échelles de variabilité restent à explorer ainsi que les effets mémoires. Des hypothèses ont été émises sur une relation entre l'intensité de la seconde saison des pluies en zone soudanienne et la saison des pluies sahéliennes de l'année suivante par effet de stockage de l'eau dans les sols et la végétation et renforcement des gradients méridiens d'énergie. Il est donc important de pouvoir suivre conjointement cycle de la végétation et pluviométrie à l'échelle régionale.

Degré carré de Niamey

On peut distinguer plusieurs phases. Tout d'abord le traitement des données recueillies depuis 1990 a déjà conduit à un certain nombre de résultats (plus forte variabilité du nombre d'événements associés aux systèmes convectifs que de l'intensité de ces événements, D'amato and Lebel, 1998 ; phénomènes de persistance aux échelles convectives, Taylor and Lebel, 1998 ; hausse de la nappe en période de déficit pluviométrique prolongé, Favreau, 2000 ; rôle des mares dans la recharge de ces nappes, Desconnets et al. 1997). Les résultats attendus pour les années à venir concernent surtout la compréhension plus globale des liens entre la variabilité atmosphérique d'échelle synoptique et la variabilité aux échelles hydrologiques (mésos à sub-mésos). C'est ainsi que, dans le cadre du programme PNEDC, les interactions entre ondes d'Est, convection et précipitations ont été plus précisément analysées (Diedhiou et al., 1999, 2001, 2002). A travers une étude de cas, la variabilité intra-saisonnière, l'échelle synoptique ainsi que le cycle de vie associé à une ligne de grain ont été étudiés sur un cas survenu durant Hapex-Sahel (22 août 1992) afin d'en faire un cas de référence pouvant servir aux études numériques multi-échelles avec la mise en place de la modélisation emboîtée depuis les modèles de circulation générale jusqu'aux modèles méso-échelles (Redelsperger et al., 2002). Il s'agit d'une onde d'Est africaine typique avec une activité convective à l'avant du talweg. On cherchera par la suite à comprendre en quoi ce cas sahélien peut se distinguer des systèmes convectifs se propageant plus au sud, en région guinéenne, par comparaison avec l'activité synoptique associée à un cas durant l'expérience COPT (21-24 Juin 1981).

Par ailleurs, la disponibilité des données pluviométriques haute résolution sur le degré-carré HAPEX-SAHÉL a permis de discriminer, alors que nous sommes en régime d'onde, des événements convectifs humides (associés à de fortes pluies au sol) et des événements convectifs secs (associés à de faibles pluies en surface). Afin de mieux cerner la relation onde - convection - pluie, nous nous proposons de tester avec le modèle uni-colonne du LMD (Laboratoire de Météorologie Dynamique), l'hypothèse selon laquelle les ondes 'sèches' (i.e. associées à un nuage froid mais sans précipitation au sol), seraient liées à l'évaporation de toutes les précipitations avant qu'elles ne parviennent à la surface. Pour cela, des

cas d'ondes 'sèches' seront sélectionnés à partir de l'analyse des données de pluie HAPEX-SAHÉL et des réanalyses du Centre Européen.

Données Ouémé

Cette partie du système d'observation est en phase de démarrage. Dans un premier temps on s'attachera à documenter au mieux la variabilité du cycle hydrologique depuis l'échelle interannuelle jusqu'à l'échelle inter et intra événementielle, selon une démarche semblable à celle suivie pour la région de Niamey. On visera à caractériser les liens entre ces différentes échelles de variabilité et les lissages ou amplifications introduites par les systèmes hydrologiques. Une comparaison fine avec les résultats obtenus en milieu sahélien seront ainsi possibles, notamment pour ce qui concerne le cycle de vie des systèmes convectifs et les processus de recharge des aquifères, qui peuvent être considérés comme les deux maillons extrêmes du cycle hydrologique.

Parallèlement, on s'attachera à comprendre les interactions dynamiques entre cycle de l'eau et cycle de la végétation en zone de savane humide.

Campagnes aux échelles sub-méso

Elles servent pour l'essentiel aux études de processus, nécessaires à la compréhension des interactions d'échelle entre les différentes composantes du cycle hydrologique. Un exemple de résultat escompté peut être trouvé sur le site sahélien où l'étude du fonctionnement des mares temporaires (dont les bassins d'alimentation sont de l'ordre de quelques km²) a permis de proposer un schéma explicatif pour la hausse continue de l'aquifère alors que la péjoration pluviométrique se poursuivait (Bromley et al., 1997 ; Leduc et al., 2001). On espère pareillement que les mesures réalisées sur le bassin de la Donga serviront à mieux comprendre les interactions entre évolution de la végétation et cycle hydrologique en climat soudanien, à l'image de ce qui a été réalisé pour une végétation typique des milieux semi-arides à l'aide des données HAPEX-Sahel (Galle et al., 2001a). Les mesures à cette échelle sont également essentielles pour mieux cerner les processus de redistribution d'eau dans les sols (Galle et al., 2001b).

Perspectives dans le cadre de AMMA

On attend beaucoup des synergies entre les mesures du projet AMMA, plus denses spatialement mais plus limitées dans le temps, avec celles de CATCH, notamment pour tout ce qui concerne la compréhension des interactions entre l'atmosphère et la surface continentale à différentes échelles. Ces aspects seront détaillés à l'occasion de la rédaction (en cours) du plan scientifique international AMMA.

Il est à noter que les laboratoires potentiellement bénéficiaires des observations réalisées dans le cadre de CATCH, rien qu'au niveau national, dépassent largement les laboratoires directement impliqués dans le suivi de terrain. Les premiers résultats obtenus le montrent : le CNRM, le LMD, le laboratoire d'écologie de l'ENS ont déjà bénéficié des informations apportées par le système d'observation CATCH. Le grand nombre de laboratoires qui se sont positionnés pour participer au projet AMMA laisse augurer que cette tendance se prolongera.

Principales publications des équipes impliquées, concernant le domaine spécifique de l'ORE

Articles :

- 02-1 Braud I., de Condappa D., Soria J.M., Galle S., Haverkamp R., Reggiani P. & Vauclin M. Scaled forms of the infiltration equation : application to the estimation of the unsaturated soil hydraulic properties. **Soumis**. à *European Journal of Soil Science*.
- 02-2 Diedhiou, A., S. Janicot, A. Viltard, P. de Félice, 2001. Energetics of easterly disturbances over West Africa and the tropical Atlantic : a climatology from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalyses, *Climate Dynamics*, **18**, 487-500
- 02-3 Favreau G., Leduc C., Marlin C., Dray M., Taupin J.D., Massault M., Le Gal la Salle C. and Babic M., 2002. Estimate of recharge of a rising water table in semi-arid Niger from 3H and 14C modelling. *Groundwater*, **in print**
- 02-4 Le Barbé, L., T. Lebel, and D. Tapsoba, 2002 : Rainfall variability in West Africa during the years 1950-1990. *J. Climate*, **15(2)**, 187-202.
- 02-5 Mathon V., A. Diedhiou and H. Laurent, 2002 Relationship between easterly waves and mesoscale convective systems over the Sahel, *Geophys. Res. Lett.*, **in print**
- 02-6 Mathon V., H. Laurent and T. Lebel, 2002 : Mesoscale convective system rainfall in the Sahel. *Accepted in J. Applied Meteo.*
- 02-7 Redelsperger J-L., A. Diongue, A. Diedhiou, J. P. Ceron, M. Diop, J.F Gueremy and J. P. Lafore, 2002. Multi-scale description of a Sahelian synoptic weather system representative of West African monsoon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **in print**
- 02-8 Seguis L., B. Cappelaere B., C. Peugeot C., and B. Vieux, 2001. Impact on Sahelian runoff of stochastic and elevation-induced spatial distributions of soil parameters. *Hydrological Processes*, **16**, 313-332
- 01-1 Cappelaere B., D. Elizondo D. and C. Faure, 2001. Odyssée - versus hand - differentiation of a terrain-modelling application. Chapter 7 in *Automatic Differentiation : from simulation to optimization*. Computer and Information Science, Springer, N.Y., 74-83
- 01-2 Diedhiou, A., S. Janicot, A. Viltard, P. de Félice, 2001. Composite patterns of easterly disturbances over West Africa and the tropical Atlantic : a climatology from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalyses, *Climate Dynamics*, **18**, 241-253.
- 01-3 Elizondo D., B. Cappelaere and C. Faure, 2001. Automatic versus manual model differentiation to compute sensitivities and solve non-linear inverse problems. *Computers and Geosciences* **28/3**, 47-64.
- 01-4 Galle S, Brouwer J and Delhoume J-P., 2001a. Soil water balance : a review.. In: D. J. Tongway, C. Valentin and J. Seghieri (Eds), "Banded vegetation patterning in arid and semi-arid environment. Ecological processes and consequences for management ». New-York, Springer-Verlag., **Chapter 5**.
- 01-5 Galle, S., Angulo Jaramillo, R., Braud, I., Boubkraoui S., Bouchez J.M., de Condappa D., Derive G., Gohoungossou A., Haverkamp R., Reggiani P., Soria-Ugalde J., 2001b. Estimation of soil hydrodynamic properties of the Donga watershed (CATCH-Bénin), *Proceedings of the GEWEX 4th International Conference*, Paris, France, 10-14 September 2001, p. 136.
- 01-6 Gosset M., I.I. Zawadski, 2001 : Effect of Nonuniform Beam Filling on the Propagation of the Radar Signal at X-Band Frequencies. Part 1 : Changes in the k(Z) Relationship. *J. of Atm. and Ocean. Tech.*, **18**, 1113-1126
- 01-7 Leduc, C., G. Favreau, and P. Schroeter. 2001. Long term rise in a Sahelian water-table: the continental terminal in South-West Niger. *J. Hydrol.* 243:43-54.
- 01-8 Le Gal La Salle C., Marlin C., Leduc C., Taupin J.-D., Massault M., and Favreau G., 2001. Renewal rate estimation of groundwater based on radioactive tracers (3H, 14C) in an unconfined aquifer in a semiarid area, Iullemeden basin, Niger. *Journal of Hydrology*, 254, 145-156

- 01-9 Lubes-niel, H., L. Séguis and R. Sabatier, 2001. Etude de stationnarité des caractéristiques des événements pluvieux de la station de Niamey sur la période 1956-1998. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, Volume 333, N° 10, série IIa, Sciences de la Terre et des Planètes, pp 645-650.
- 01-10 Mathon V. and H. Laurent, 2001. Life cycle of the Sahelian mesoscale convective cloud systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **127**, 377-406.
- 00-1 Estèves M, Faucher X, Galle S and Vauclin M. Overland flow and infiltration modelling for small plots during unsteady rain : numerical results versus observed values.. *J. Hydrol.*, 2000, **228** : 265-282.
- 00-2 Favreau G., C. Leduc, et C. Marlin, 2000. Représentativité de l'échantillonnage géochimique et hydrodynamique en nappe libre de milieu semi-aride. *Journal of African Earth Sciences*, 31, 3-4, 669-678
- 00-3 Lebel, T., F. Delclaux, L. Le Barbé and J. Polcher, 2000. From GCM scales to hydrological scales : rainfall variability in West Africa. *Stochastic Environ. Research and Risk Assessment* (**14**) 275-295.
- 00-4 Taupin J.D., A. Coudrain-Ribstein, R. Gallaire, G.M. Zuppi and A. Filly, 2000. Rainfall characteristics (18O, 2H, T and Hr) in western Africa, >regional scale and influence of irrigated areas. *J. Geophys. Res.* 105(D9), 11911-11924
- 99-1 Guillot, G. and T. Lebel, 1999. Disaggregation of Sahelian mesoscale convective system rainfields : further developments and validation. *J. Geoph. Res.*, **104 (D24)**, 31533-31551.
- 99-2 Lebel, T., A. Amani, 1999. Rainfall estimation in the Sahel: what is the ground truth? *J. of Applied Meteor.*, **38**, 555-567.
- 99-3 Guillot, G. and T. Lebel, 1999. Sahelian rainfall field modelling with a quasi meta-Gaussian distribution. 2: parameter estimation and comparison to data. *Stochastic Environ. Research and Risk Ass.*, **13**: 113-130
- 99-4 Diedhiou, A., S. Janicot, A. Viltard, P. de Félice and H. Laurent, 1999: Easterly waves regimes and associated convection over West Africa and the tropical Atlantic: Results from the NCEP/NCAR and ECMWF reanalyses. *Climate Dynamics*. 15, 795-822.
- 98-1 Amani, A. and T. Lebel, 1998. Relationship between point rainfall, average sampled rainfall and ground truth at the event scale in the Sahel. *Stochastic Hydrol. and Hydraulics*, **12(2)**, 141-153.
- 98-2 D'Amato, N., T. Lebel, 1998. On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*. **18**, 955-974.
- 98-3 Diedhiou, A., S. Janicot, A. Viltard, and P. de Félice, 1998a: Evidence of two regimes of easterly waves over West Africa and the tropical Atlantic. *Geophys. Res. Let.*, 25, 2805-2808.
- 98-4 Diedhiou, A., S. Janicot, A. Viltard, P. de Félice, and H. Laurent, 1998b: A fast eastern waves in West Africa troposphere. *Meteor. And Atmos. Physics*, 69, 39-47.
- 98-5 Laurent H., N. D'Amato and T. Lebel, 1998. How important is the contribution of the Mesoscale Convective Complexes to the Sahelian rainfall ? *Phys. Chem. Earth*, **23**, 629-633.
- 98-6 Laurent, H., I. Jobard, and A. Toma. 1998. Validation of satellite and ground based estimates of precipitation over the Sahel. *Atmospheric Research* **47-48**:651-670.
- 98-7 Lebel, T., I. Braud and J-D. Creutin, 1998. A space-time disaggregation model adapted to Sahelian squall lines. *Water Resources Research*. **34(7)**, 1711-1726.
- 98-8 Taupin, J. D., and R. Gallaire. 1998. Variabilité isotopique à l'échelle infra-événement de quelques épisodes pluvieux dans la région de Niamey, Niger. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes t.* **326**, série IIa:493-498.
- 98-9 Taylor, C. and T. Lebel, 1998. Observational evidence of persistent convective scale rainfall patterns. *Monthly Weather Rev.*, **126**, 1597-1607.
- 97-1 Amani A., T. Lebel 1997. Lagrangian Kriging for the Estimation of Sahelian Rainfall at small time steps. *Journal of Hydrology*. **192**, 125-157.
- 97-2 Bromley, J., W. M. Edmunds, E. Fellman, S. R. Gaze, J. Sudlow, and J. D. Taupin. 1997. Estimation of rainfall inputs and direct recharge to the deep unsaturated zone of southern Niger using the chloride profile method. *Journal of Hydrology*. **188-189**:139-154.
- 97-3 Cuenca, R. H., J. Brouwer, A. Chanzy, P. Droogers, S. Galle, M. Sicot, S. R. Gaze, H. Stricker, R. A. Jaramillo, S. A. Boyle, J. Bromley, A. G. Chebhouni, J. D. Cooper, A. J. Dixon, J.-C. Fies, M. Gandah, J.-

- C. Gaudu, L. Laguerre, J. Lecocq, M. Soet, H. J. Steward, V. J.P., and M. Vauclin. 1997. Soil measurements during HAPEX-Sahel intensive observation period. *Journal of Hydrology*. **188-189**:226-237.
- 97-4 Desconnets J.C., Taupin, J.D., Lebel T., and Leduc C., 1997. Hydrology of the HAPEX-Sahel central Super-Site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 155-178.
- 97-5 Dolman, A.J., J.H.C. Gash, J-P, Goutorbe, Y. Kerr, T. Lebel, S.D. Prince and J.M.M. Stricker, 1997. The role of the land surface in sahelian climate: HAPEX-Sahel results and future research needs. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 1067-1079.
- 97-6 Goutorbe, J.-P., Lebel, T., Dolman, A.J., Gash, J.H.C., Kabat, P., Kerr, Y., Montey, B., Prince, S.D., Stricker, J.M.M., Tinga, A. and Wallace, J.S., 1997. An overview of HAPEX-Sahel : a study in climate and desertification. *J. Hydrol.*, **188-189**, 4-17.
- 97-7 LeBarbé, L. and Lebel, T., 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 43-73.
- 97-8 Lebel, T. and LeBarbé L., 1997. Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel :2. Point and areal estimation at the event and seasonal scales. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 97-122.
- 97-9 Lebel, T., Taupin, J.D. and D'Amato, N., 1997. Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel: 1. General rainfall conditions and climatology. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 74-96.
- 97-10 Leduc, C., J. Bromley, and P. Schroeter. 1997. Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate : some results of the HAPEX-SAHEL hydrodynamic survey (Niger). *Journal of Hydrology*. **188-189**:123-138.
- 97-11 Peugeot, C., M. Estèves, S. Galle, J. L. Rajot, and J.-P. Vandervaere. 1997. Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the HAPEX-Sahel experiment. *Journal of Hydrology*. **188-189**:179-202.
- 97-12 Taylor, C., F. Saïd and T. Lebel, 1997. Interactions between the land surface and mesoscale rainfall variability during HAPEX-Sahel. *Monthly Weather Rev.*, **125(9)**, 2211-2227.
- 97-13 Vandervaere, J.P., C. Peugeot, M. Vauclin, R. Angulo Jaramillo and T. Lebel, 1997, Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disc infiltrometers and minitensiometers. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 203-223.
- 97-14 Wai, M.K., E.A. Smith, P. Bessemoulin, A.D. Culf, A.J. Dolman, and T. Lebel, 1997. Variability in Boundary Layer Structure during HAPEX-Sahel wet-dry season transition. *Journal of Hydrology*. **188-189**, 965-997.
- 96-1 Amani A., T. Lebel, J. Rousselle, and J.D. Taupin, 1996. Typology of Rainfall Fields to Improve Rainfall Estimation in the Sahel by the ATI Method. *Water Resources Research*, **32(8)**, 2473-2487.
- 96-2 Leduc, C., J. D. Taupin, and C. Le Gal La Salle. 1996. Estimation de la recharge de la nappe phréatique du continental terminal (Niamey, Niger) à partir des teneurs en tritium. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes* t. **323**, série II a:599-605.
- 95-1 Prince S., Y.H. Kerr, J.P. Goutorbe, T. Lebel, A. Tinga, P. Bessemoulin, J. Brouwer, H. Dolman, E.T. Engman, J.H.C. Gash, M. Hoepffner, P. Kabat, B. Monteny, F. Saïd, P. Sellers, and J. Wallace, 1995. Geographical, biological and remote sensing aspects of the Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel (HAPEX-SAHEL). *Remote Sensing of Environment*, **51**, 215-234 .
- 94-1 Goutorbe, J.P., T. Lebel, A. Tinga, P. Bessemoulin, J. Brouwer, H. Dolman, E.T. Engman, J.H.C. Gash, M. Hoepffner, P. Kabat, Y.H. Kerr, B. Monteny, S. Prince, F. Saïd, P. Sellers, and J. Wallace, 1994. HAPEX-SAHEL : a large-scale study of land-atmosphere interactions in the semi-arid tropics. *Ann. Geophysicae*, **12**, 53-64
- 92-1 Lebel, T., H. Sauvageot, M. Hoepffner, M. Desbois, B. Guillot and P. Hubert, 1992. Rainfall estimation in the Sahel: the EPSAT-NIGER experiment. *Hydrological Sciences Journal*, **37(3)**, 201-215.
- 91-1 Thauvin V., and T. Lebel, 1991. EPSAT-NIGER: study of rainfall over the Sahel at small time steps using a dense network of recording raingauges. *Hydrological Processes*, **5**, 251-260.
- 90-1 Lebel, T. 1990. H comme HAPEX : Hydrologie Hors Bassin Versant. in C. Mulon, editor. *4^{ème} Séminaire Informatique ORSTOM (SEMINFOR.n° 4)*, Brest, 11-13 Sept. 1990. p **493-506**. ORSTOM Editions.

Thèses :

V. Thauvin, 1992 : "Étude de la répartition spatiale des précipitations en milieu sahélien à l'aide du réseau dense de

pluviographes de l'expérience EPSAT-NIGER - Application à la détermination de la précision des moyennes surfaciques au pas de temps de l'événement pluvieux". *Université des Sciences et Techniques du Languedoc*. Novembre 1992.

- J.C. Desconnets, 1994 : "Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger- Degré carré de Niamey)". *Université des Sciences et Techniques du Languedoc*. Novembre 1994.
- A. Amani, 1995 : "Estimation des pluies au Sahel : Quelques problèmes de modélisation analysés à partir des données de l'expérience EPSAT-Niger". *Ecole Polytechnique de Montréal*. Juillet 1995.
- C. Peugeot, 1995 : Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). – Expérimentation in-situ et modélisation. *Université Joseph Fourier - Grenoble I*. Octobre 1995.
- J. Lecocq, 1997 : "Estimation des distribution statistiques de précipitations au sein des systèmes convectifs sahéliens : Influence des incertitudes de mesure et des propriétés d'échantillonnage d'un radar météorologique bande C". *Montpellier II - USTL (laboratoire d'accueil: LTHE)*. Mars 1997.
- D. Tapsoba, 1997 : Caractérisation événementielle des régimes pluviométriques Ouest Africains et de leur récent changement. *Université. Paris XI (ORSAY)*. Février 1997
- N. D'Amato, 1998 : "Etude et modélisation de la climatologie des données d'EPSAT-Niger". *Montpellier II - USTL*. Février 1998.
- A. Diedhiou, 1998 : Etudes des régimes d'ondes d'est et de leurs interactions avec la convection en Afrique de l'Ouest et sur l'Atlantique tropical. *Université Paris VI*. Octobre 1998.
- G. Guillot, 1998 : "Modélisation conceptuelle des systèmes convectifs de méso-échelle sahéliens. Application à la désagrégation des estimations satellitaires et des sorties de Modèles de Circulation Générale". *Université Joseph Fourier - Grenoble I*. Novembre 1998.
- G. Boulet, 1999 : Modélisation des changements d'échelle et prise en compte des hétérogénéités de surface et de leur variabilité spatiale ans les interactions sol-végétation-atmosphère. *Université Grenoble I*. Mars 1999.
- G. Favreau, 2000 : Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel : dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger). *Université. Paris XI (ORSAY)*. Mars 2000.
- V. Mathon, 2001 : "Etude du cycle de vie des systèmes convectifs en Afrique Tropicale". *Université Paris VII, Méthodes physiques en télédétection*. Mai 2001
- H. Onibon, 2001 : "Simulation conditionnée des champs de pluies événementiels au Sahel: application de l'algorithme de Gibbs". *Thèse préparée en co-tutelle Institut National Polytechnique de Grenoble/ Université Nationale du Bénin*. Novembre 2001.

En cours :

- Abdou ALI : "Analyse des propriétés d'invariance d'échelle des champs de pluie au Sahel et modélisation de l'impact des fluctuations climatiques sur les régimes pluviométriques". *Institut National Polytechnique de Grenoble*. A soutenir en 2004.
- Maud BALME : "Modélisation du cycle hydrologique sur le Haut Bassin de l'Ouémé". *Institut National Polytechnique de Grenoble*. A soutenir en 2004.
- Moctar CAMARA : "Etude des interactions onde-convection-pluie en Afrique de l'Ouest à l'aide d'un modèle régional". *Thèse préparée en co-tutelle Institut National Polytechnique de Grenoble et Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar*. A soutenir en 2004.

Communications et rapports divers

- Afouda A., R. Angulo-Jaramillo, J.-M. Bouchez, I. Braud, F. Cazenave, C. Depraetere, A. Diedhiou, S. Galle, H. Gallée, A. Gohoungossou, M. Gosset, R. Haverkamp, L. Le Barbé, T. Lebel, P. Reggiani, 2001. Couplage de l'atmosphère et du cycle hydrologique continental en zone tropicale : le projet CATCH, Atelier sur le Couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques, 3-5 Décembre 2001, Toulouse, France.
- Angulo-Jaramillo, R., Boubkraoui S., Bouchez, J.-M., De Condappa, D., Galle, S., Gohoungossou, A., Haverkamp, R., Reggiani, P., Soria Ugalde, J., 2001. Bénin 2000-Hydrologie du sol. Distribution des propriétés hydrodynamiques des sols du bassin versant de la Donga et du Transect d'Ananinga. Campagne de mesure du

26 nov au 17 déc 2000. Rapport LTHE, 30 p.

Braud, I., Varado, N., Galle, S., Haverkamp R., Lebel T., Reggiani P., 2001. Modélisation hydrologique du bassin versant de l'Ouémé à l'aide du modèle POWER, Atelier sur le Couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques, 3-5 Décembre 2001, Toulouse, France.

Depraetere, C., 2000. BDHP, Bases de données Hydro-Pluviométriques du Bénin. Note IRD / DMN / DH. Avril 2000

Depraetere, C., 2001. BDHP, Bases de données développées dans le cadre du projet CATCH-Bénin : état d'avancement. Note IRD / DMN / ASECNA / DH. Juin 2001

Curriculum Vitae du responsable de l'ORE CATCH

(Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique)

Nom : **LEBEL**

Prénom : **Thierry**

DR2 IRD

Date de Naissance : 2 Juillet 1955

Laboratoire d'appartenance : UMR 5564 - LTHE, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9

DIPLOMES ET TITRES ACQUIS

Thèse de Docteur Ingénieur - Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement (MMGE - Institut National Polytechnique de Grenoble), *Février 1984*

Habilitation à Diriger des Recherches, Ecole Doctorale MMGE (Institut National Polytechnique de Grenoble), *Décembre 1997*

RESUME DES TRAVAUX ET ACTIVITES

Orientation générale

Etude de la variabilité du cycle hydrologique continental et du rôle joué par l'interface atmosphère - surfaces continentales dans cette variabilité.

Méthodes

Observation et modélisation sont menées de pair. L'importance accordée à l'observation et à l'expérimentation s'est traduite par la participation à des expériences internationales lourdes (HAPEX-Sahel) et par la mise sur pied de systèmes d'observation plus ciblés (expérience EPSAT-Niger concernant la pluie au Sahel ; système d'observation CATCH concernant le cycle hydrologique en région soudanienne). La zone privilégiée est l'Afrique de l'Ouest, tant pour des raisons scientifiques (la variabilité du cycle hydrologique associé à la mousson Ouest-Africaine est mal connue) que pour des motifs de collaboration avec des équipes en cours d'émergence dans les pays concernés. En modélisation, l'accent a été mis sur le développement de nouvelles méthodes permettant de traiter les sauts d'échelle entre modèles atmosphériques et modèles hydrologiques. En parallèle, l'utilisation des modèles dynamiques de l'atmosphère et de modèles mécanistes du cycle hydrologique continental est devenue une activité forte de l'équipe que j'anime au LTHE.

Résultats les plus récents

- Caractérisation de la variabilité pluviométrique au Sahel, avec notamment mise en évidence pour la première fois de rétroactions aux échelles convectives entre surfaces continentales et variabilité pluviométrique, ce type de rétroaction n'ayant jusqu'à présent été envisagé que pour la méso-échelle (Taylor and Lebel, 1998).
- Développement d'un modèle rendant compte de l'évolution de la variabilité en fonction des échelles temporelles considérées, en proposant les concepts de variabilité interne liée à l'organisation de la convection au sein des systèmes convectifs et de variabilité externe liée au cycle de vie de ces systèmes. Ces deux variabilités peuvent être décrites par des invariants d'échelle dont la combinaison permet de décrire la variabilité globale des champs pluviométriques de l'échelle événementielle à l'échelle interannuelle (e.g. Lebel and Amani, 1999).

- Mise au point d'un modèle de désagrégation spatio-temporelle s'appuyant sur les études précédentes (Lebel et al., 1998 ; Guillot and Lebel, 1999).
- Mise en évidence du saut de mousson, diagnostiqué par des études théoriques récentes mais qui restait à démontrer à partir d'observations, ce que nous avons fait pour l'Afrique de l'Ouest (Le Barbé et al., 2002).

RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

Mobilité

- **1984-1985** Séjour Post-Doctoral d'une année à la NOAA (Boulder, USA)
- **1985-1990** Unité de modélisation du laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM à Montpellier
- **1990-1994** IRD Niger, expériences HAPEX-Sahel et EPSAT-Niger

Actions de coopération avec les pays du Sud

- a) Appui aux recherches appliquées du centre régional AGRHYMET (Niger) : transferts de logiciels et encadrement de stagiaires.
- b) Participation aux forums PRESAO (Prévision Saisonnière en Afrique de l'Ouest) du centre ACMAD.
- c) Programmes de recherches conjoints avec équipes au Bénin et au Niger dans le cadre de CATCH (thèses, ESCD, formation, publications).

Administration/évaluation de la recherche

- a) Membres du GEWEX Hydrometeorological Panel (WCRP) et du panel CLIVAR-Afrique (WCRP)
- b) Membre du comité scientifique de l'ACI *Eau et Environnement et de divers autres comités scientifiques ou d'évaluation*.
- c) Editeur associé de *Journal of Hydrology* et réviseur pour 6 revues internationales (dont *Journal of Climate* et *Annalae Geophysicae*)