

Chronique de la mousson africaine

Pendant trois années consécutives, une véritable coalition internationale de chercheurs aura tenu la chronique de la mousson africaine. Tous les paramètres du climat, sur la terre, dans les airs et sous l'eau auront été scrupuleusement enregistrés puis analysés pour comprendre et anticiper les soubresauts, parfois meurtriers, du climat ouest-africain.

Pour le non-spécialiste, la mousson est une affaire indienne. En réalité les systèmes de mousson sont de gigantesques brises de mer d'échelle régionale, associées aux contrastes thermiques et dynamiques entre océans tropicaux et surfaces continentales avoisinantes. L'Afrique de l'Ouest, bordée par l'océan Atlantique tropical n'échappe pas à ce phénomène : son climat est régi par la mousson d'Afrique de l'Ouest dont les errements – qu'il est bien difficile de prévoir – conditionnent la vie de 300 millions de personnes vivant sur un espace de 7,8 millions de km². Depuis le début des années 1970 la sécheresse frappe, notamment le Sahel. Cette sécheresse, par son extension spatiale, sa durée et sa sévérité (jusqu'à 50% de déficit de pluie au cours de la période 1970-1990) n'a pas d'équivalent au monde

depuis que les séries climatiques existent. Elle a eu un impact catastrophique sur la sécurité alimentaire et les ressources en eau, le Niger cessant de couler à Niamey en 1985 et la superficie du Lac Tchad étant passé de 25 000 km² dans les années 1950 à 2 500 km² aujourd'hui. Certains processus inhibiteurs de la mousson sont bien identifiés, notamment le réchauffement de l'océan tropical qui a atteint 0,5° depuis les années 1950 en conséquence du réchauffement de la planète et de la disparition des forêts et savanes non anthropisées. Pour autant, les interactions complexes qui régissent la variabilité de la mousson sont encore mal appréhendées, c'est pourquoi sa prévision, qu'elle soit d'échelle saisonnière ou climatique, est encore très incertaine. Le point bloquant central sur la voie de l'amélioration des modèles de prévision est le

manque d'observations pertinentes pour documenter simultanément toutes les composantes de la mousson, des échelles régionales aux échelles locales.

Amma comporte donc un programme d'observation unique en son genre visant à mettre en boîte le système terre-océan-atmosphère, du sud du Sahara jusqu'à l'équateur, du Soudan jusqu'au milieu de l'Atlantique tropical et, verticalement, depuis les

nappes d'eau souterraines jusqu'à la tropopause à 20 km d'altitude. La mise sur pied avec succès d'un programme d'observation d'une telle ampleur, fonctionnant plusieurs années (2005-2007), est d'autant plus remarquable qu'il se déroule dans une région au climat difficile pour les hommes et le matériel, avec des infrastructures et des réseaux opérationnels beaucoup moins développés qu'ailleurs.



Station météorologique de Banizoumbou (Niger). Le dispositif expérimental d'Amma est articulé autour de trois sites de méso-échelle, dont celui de la région de Niamey (13-14°N), qui couvre 16 000 km² et qui est suivi par des équipes de l'IRD depuis l'expérience Hapex-Sahel en 1990.

Un plan scientifique africain

Le réseau Amma-Afrique compte aujourd'hui plus de 200 chercheurs et étudiants africains de différentes disciplines et de différents pays, ainsi que des ingénieurs et techniciens des services opérationnels nationaux ou régionaux.

Pour répondre à des problématiques locales, Amma-Afrique s'est doté d'un plan scientifique qui permet d'orienter la recherche sur des thèmes majeurs pour l'Afrique comme la désertification, la gestion des ressources naturelles, la sécurité alimentaire, les impacts socio-économiques et environnementaux du changement climatique, les stratégies d'adaptation, la santé ou encore la qualité de l'eau. Ce réseau, issu et adossé à un programme scientifique international fortement structuré est une opportunité pour les jeunes chercheurs africains souvent isolés. Des individus et des équipes ont ainsi trouvé un cadre régional pour échanger des informations, fédérer les initiatives et propositions individuelles et gagner en efficacité dans la recherche des moyens nécessaires à la mise en œuvre de leurs projets. Du point de vue opérationnel, le partenariat est également au cœur du programme d'observation d'Amma, sa mise en œuvre passant nécessairement par une implication effective des institutions et des scientifiques africains. La manifestation la plus évidente de cette implication a été la mise sur pied du centre d'opérations principal Amma (AOC) au Niger. Mais un peu partout dans la sous-région des équipes ont eu l'opportunité de participer pour la première fois à une

campagne scientifique d'une telle envergure. Les services météorologiques nationaux et l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne (Asecna) ont mis 18 prévisionnistes à la disposition du centre opérationnel pour faire fonctionner durant 4 mois la cellule de prévisions installée à l'Acmad (African centre for meteorology applied to development) avec le soutien de Météo-France et de l'Organisation météorologique mondiale. La composante opérationnelle d'Amma a donc constitué une importante contribution à l'intégration régionale de la recherche.

Malgré ces acquis, le problème de la mobilisation des ressources humaines, matérielles et financières pour la mise en œuvre du plan Amma-Afrique se pose toujours, de même que la pérennisation des activités. De récents appels d'offres permettent d'envisager des actions sur le long terme. L'Europe (DG Recherche) a ainsi contribué à hauteur de 1,2 mil-

lions d'euros au volet « Impacts » des projets du plan scientifique Amma-Afrique pour la période 2007-2010. Dix-sept institutions de recherche et services opérationnels africains sont soutenus par ce biais. Le fonds de solidarité Ripiecsa, d'un montant de 3,5 millions d'euros mobilisés par le ministère français des Affaires étrangères et européennes pour la période 2007-2010, constitue une deuxième opportunité majeure pour initier des recherches sur les interactions climat-écosystèmes-sociétés. Amma-Afrique a pour ambition de se main-

tenir au-delà de la phase initiale du projet (2001-2009) afin de promouvoir les recherches interdisciplinaires, à travers notamment une plus grande implication des sciences de la vie et des sciences sociales. Ce partenariat devra tendre vers la création d'un véritable pôle africain de compétences sur l'environnement et le développement durable en Afrique.

Contacts

Arona Diedhiou, *Laboratoire d'études des transferts en hydrologie et environnement*, UMR LTHE, arona.diedhiou@inpg.fr
 Amadou Gaye, directeur du *Laboratoire de physique de l'atmosphère et de l'océan Simeon Fongang*, Université Cheikh Anta Diop de Dakar – École supérieure polytechnique, atgaye@ucad.sn



▲ Le radar météorologique Ronsard était chargé de couvrir le site de méso-échelle du Bassin de l'Ouémé (14 600 km²; 9-10°N), dans le double but d'étudier la structure tridimensionnelle des systèmes convectifs pluvio-gènes et de fournir un suivi en temps réel pour la réalisation des missions aéroportées.

◀ Préparation du lancement d'un radio-sondage à Cotonou.

Une mobilisation sans précédent

La réflexion scientifique sur la construction d'un grand programme international chargé d'étudier les causes et l'impact de la grande sécheresse, qui a touché toute l'Afrique de l'Ouest au cours de la période 1970-1990, a démarré en 2001 au sein de la communauté française. Elle s'est rapidement internationalisée et concerne maintenant une communauté de plusieurs centaines de scientifiques travaillant de concert au sein du programme Amma (Analyses multidisciplinaires de la mousson africaine) – on estime à 600 personnes environ l'effectif total des équipes scientifiques et techniques non africaines qui ont participé sur le terrain à la campagne d'observations de 2006 – mais de nombreux scientifiques européens n'ont pas eu cette chance et devront se contenter de faire parler en laboratoire les données récoltées pour améliorer les modèles qui serviront à prévoir les évolutions futures de ce système climatique complexe. Comme décrit dans l'article ci-contre, la mobilisation de la communauté africaine a également été exceptionnelle et la « communauté Amma » n'est pas loin d'atteindre le millier de scientifiques de par le monde. Amma constitue ainsi une première à bien des égards, au moins pour ce qui concerne une instrumentation conjointe de l'atmosphère, de l'océan et du continent pour étudier la dynamique d'un système climatique régional sur plusieurs années.

Contact

Thierry Lebel, IRD, *Laboratoire d'études des transferts en hydrologie et environnement*, UMR LTHE, coprésident du comité scientifique Amma France
 Thierry.Lebel@hmg.inpg.fr



<http://amma.mediasfrance.org/france/>

Deuxième conférence internationale Amma

Un an après la fin de la campagne de mesures intensives de 2006, qui a vu un déploiement instrumental exceptionnel sur l'Afrique de l'Ouest associant avions et navires de recherche aux moyens lourds déployés à terre, le temps est venu de tirer un premier bilan des recherches menées à partir des données recueillies depuis le démarrage des mesures en 2002. Après la conférence qui s'était déroulée à Dakar en décembre 2005, la deuxième conférence internationale Amma se tient à Karlsruhe en Allemagne au cours de la dernière semaine de novembre. Une vingtaine de sessions, plénières ou parallèles, vont permettre aux 300 chercheurs attendus de discuter processus atmosphériques, continentaux et océaniques, science intégrative, dynamique régionale de la mousson, cycle de l'eau régional, rétroactions dans le système couplé, impacts de la variabilité de la mousson sur les ressources agricoles et en eau, ainsi que sur la santé.

Contacts

Jean-Luc Redelsperger, CNRS, Centre national de recherches météorologiques
 Jean-Luc.Redelsperger@meteo.fr
 Elisabeth Van den Akker
 Bureau de Projet Amma
 Elisabeth.vandenAkker@ipsl.jussieu.fr

Chacun des avions de recherche est aménagé, à l'extérieur avec des capteurs, à l'intérieur avec des systèmes d'acquisition et d'analyse. La visualisation des données en temps réel permet au chef de mission d'aménager le plan de vol en fonction des situations atmosphériques rencontrées.

Un dispositif expérimental exceptionnel

La stratégie d'observation d'Amma est articulée autour de deux grands axes : tout d'abord, la variabilité interannuelle de la mousson d'Afrique de l'Ouest est forte et encore largement imprédictible, il faut donc documenter plusieurs années contrastées pour mieux la comprendre, ce qui a conduit à construire un dispositif d'observation régional des variables de base de 2002 à 2010, dont plusieurs composantes ont déjà fait l'objet d'articles dans *sciences* au sud (n° 18, n° 32, n° 33, n° 34 et n° 35). Comme par ailleurs le système est multi-échelles et, en tant que tel, piloté par des interactions complexes entre des processus locaux, régionaux et globaux, il était nécessaire d'étendre et resserrer les mailles du dispositif pour étudier dans tous ses détails un cycle annuel complet de la mousson. C'est ce qui a été fait en 2006, avec, d'une part, l'augmentation de la cadence de mesures des instruments déjà en place (par exemple certaines stations sont passées de 1 radiosondage à 8 sondages par jour) et le déploiement de nouveaux instruments au sol tels que les radars et lidars sur le continent et navires de recherche sur l'océan. D'autre part, l'observation in situ de l'atmosphère a été considérablement renforcée grâce à la mise en œuvre d'un programme unique en son genre de ballons et de cinq avions de recherche européens basés à Niamey et à Ouagadougou, appuyé par un DC8 de la Nasa provenant du Cap-Vert. Ces avions ont sillonné le ciel d'Afrique de l'Ouest de janvier à septembre 2006, traquant les nuages d'aérosols et les gros systèmes convectifs pour étudier leur genèse et leur évolution en liaison avec les observations réalisées au sol. Ce déploiement unique en son genre, coordonné par des équipes françaises, a fourni une moisson de données sur laquelle plusieurs centaines de scientifiques de plusieurs dizaines de laboratoires de par le monde vont travailler au cours des années à venir. Ces données ne sont pas en elles-mêmes suffisantes car, aussi impressionnant soit-il, un tel dispositif ne peut pas échantillonner en permanence toutes les variables qui interviennent dans le fonctionnement de la mousson. C'est pourquoi la stratégie d'observations *in situ* a été élaborée en tenant compte des apports des satellites, avec plusieurs missions récentes telles que l'Aqua Train et MSG – ou en préparation telles que SMOS et Megha-Tropiques – et des possibilités offertes par la modélisation.

Contact

thierry.lebel@hmg.inpg.fr
UMR LTHE



Une journée en période spéciale d'observation

Les journées SOP sont sans fin. La détection des situations intéressantes à documenter repose en effet sur une veille météorologique permanente menée depuis le centre Acmad à Niamey, alimenté par Météo-France en sorties de modèles et images satellites via une liaison dédiée mise en place à l'occasion d'Amma. Lorsqu'un gros système convectif est identifié comme susceptible d'atteindre la zone couverte par les avions de recherche lors du *briefing* du soir, une équipe scientifique se met en alerte et va suivre avec les prévisionnistes l'évolution de la situation tout au long de la nuit. Pour poser les plans de vol, il faut anticiper la trajectoire du système et tenir compte du temps nécessaire à la calibration pré-vol et à la mise en température des instruments embarqués. Le choix du type de mission à effectuer ayant été déterminé lors du *briefing* du soir les équipes scientifiques et techniques (une centaine de personnes sont concernées lorsque les 4 avions volent en même temps) doivent parfois décider vers 3 ou 4 heures du matin de poursuivre ou non la préparation de la mission. En cas de décision positive, les équipes techniques instrumentales se rendent sur l'aéroport vers 4 heures, rejoints plus tard par les équipes scientifiques et les équipages, pour préparer les avions qui décolleront entre le lever du jour et la fin de la matinée, selon l'évolu-

tion météo. Lors du *briefing* de huit heures qui se tient à la direction de la météorologie du Niger, on prend acte des décisions qui ont été prises (vol en cours, en préparation ou annulé), on procède à une actualisation de la situation météorologique sur la base du rapport des prévisionnistes venus d'Acmad et on opère une présélection pour le lendemain et le surlendemain. Juste avant ou juste après ce *briefing* des contacts sont établis avec les équipes au sol positionnées dans la sous-région, y compris sur l'Atalante dans le golfe de Guinée, afin de les avertir des vols en cours (survol de leur site prévu ou non) ou des résultats des vols du jour précédent. En retour, ces équipes communiquent le statut de leurs instruments, un élément important pour décider des missions à venir. Au retour de leurs missions, les scientifiques procèdent à une vérification

rapide du bon enregistrement des mesures du vol et préparent une présentation rapide pour le soir ou le lendemain matin. Le *briefing* du soir est, en outre, l'occasion pour tous les scientifiques présents (plus de 600 personnes de diverses équipes scientifiques et techniques sont venues participer aux différentes opérations de la SOP) d'être impliqués dans le suivi des opérations en cours et l'analyse des missions réalisées. Le centre d'opérations multisites (Niamey, s'appuyant sur des relais installés au Bénin, au Burkina-Faso, au Mali et au Sénégal) mis en place pour coordonner la SOP d'Amma est une première du genre et s'est révélé être un centre de for-



Intérieur de l'avion britannique.



© IRD/T. Lebel

mation « sur le tas » sans équivalent pour les prévisionnistes des différents centres météorologiques des pays de la sous-région. La confrontation et la synergie entre produits météorologiques les plus modernes et le savoir météorologique accumulé par les prévisionnistes africains se sont révélées très enrichissantes pour ces derniers, mais aussi pour les prévisionnistes de Météo-France détachés à Niamey dans le cadre de l'opération et, d'une manière générale, pour tous les chercheurs présents à Niamey.

Contacts

thierry.lebel@hmg.inpg.fr
cheikh.kane@ird.fr
arona.diedhiou@hmg.inpg.fr
Laboratoire d'études des transferts en hydrologie et environnement, UMR LTHE.
Frédérique Saïd, Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse.
saif@aero.obs-mip.fr

Le briefing météo du soir, ultime étape avant la prise de décision pour les missions aéroportées de la nuit et de la journée suivantes.

2006 : la mousson a pris du retard



Suivi de la progression de la mousson par les équipes de météorologues de l'ACMAD.

La mise en place de la mousson d'été en Afrique, en réponse à l'échauffement de la surface continentale et au contraste de température avec l'océan, est caractérisée par un déplacement en latitude rapide de la zone de convection de 5° N à 10° N sur une dizaine de jours entre juin et juillet. Sur les 40 dernières années, la date de cette phase de transition est centrée sur le 24 juin avec un écart-type de 8 jours. Cette mise en place s'accompagne d'un renforcement global de la circulation atmosphérique au-

dessus de l'Afrique de l'Ouest (le mouvement de convection, mouvement vertical de l'air échauffé au contact du sol, provoque une dépression qui crée un courant d'air humide provenant du Golfe de Guinée) ; le maximum d'activité des systèmes convectifs africains sur le Sahel intervient durant l'été. La situation observée en 2006 dans le cadre du programme Amma, sur les côtes de Guinée où le phénomène prend naissance, montre une première saison des pluies qui débute mi-avril. Une forte activité convective se développe en mai, suivie

d'une diminution début juin et d'une reprise ensuite. La convection diminue à nouveau entre le 25 juin et le 10 juillet. Cette baisse d'activité est typique de la phase de transition associée à l'établissement de la mousson d'été. Centrée sur le 3 juillet, elle survient avec 10 jours de retard par rapport à la date du 24 juin (10 % seulement des cas sont postérieurs au 3 juillet). L'activité convective se développe ensuite à l'échelle régionale sur le Sahel à partir du 10 juillet environ et se maintient à un niveau un peu supérieur à la moyenne durant l'été.

En revanche, l'analyse de la circulation des basses couches de l'atmosphère, caractéristique de la mise en place de la mousson d'été, montre un renforcement plus précoce, vers le 25 juin. Ainsi bien que certaines des conditions dynamiques et thermodynamiques favorables au développement des systèmes convectifs d'été aient été présentes à la date habituelle, il a fallu attendre la mi-juillet pour entrer dans le régime de mousson continental. Ce retard a eu des conséquences importantes sur l'hydrologie (la crue du fleuve Niger a connu un retard d'un mois qui sera rattrapé cependant dès la mi-août) et sur le contenu en eau des sols et

la couverture végétale (évolution similaire avec un déficit initial rattrapé assez rapidement en cours de saison). Deux pistes préliminaires sont proposées actuellement pour expliquer ce retard dans la mise en place de la mousson d'été : les interactions locales air-mer avec l'*upwelling* du golfe de Guinée qui était en retard d'une quinzaine de jours en 2006 par rapport à 2005, et un effet de forçage à grande échelle dans les Tropiques piloté par un renforcement important de l'activité convective dans la mousson indienne et asiatique. Ces deux mécanismes ne sont pas exclusifs l'un de l'autre ce qui illustre bien la problématique multi-échelles d'Amma, la mousson africaine étant pilotée par et interagissant sur la circulation atmosphérique planétaire, alors que certains facteurs régionaux – continentaux ou océaniques – ont aussi leur rôle. Les mesures simultanées des caractéristiques de l'atmosphère, de l'océan, et des surfaces continentales réalisées par les campagnes Amma permettront de mieux comprendre et hiérarchiser les causes du retard, ou de l'arrêt prématuré (comme en 2000 ou 2003) de la mousson, avec l'espoir d'arriver un jour à prévoir ces « accidents ».



Le radar américain du MIRA joue, pour le site de Niamey, un rôle identique au radar Ronsard installé sur le site de l'Ouémé.

Opérations ballons

Pour la première fois dans une expérience internationale, les trois composantes "Ballons" du Centre national d'études spatiales (Cnes) ont été simultanément mises en œuvre, permettant ainsi d'étudier différents niveaux de l'atmosphère inaccessibles aux avions scientifiques, trop proches du sol dans les zones de relief ou situés à une altitude trop élevée.

Les ballons à volume constant (BVC) développés par le Cnes et le Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) sont des petits ballons pressurisés de 2,5 mètres de diamètre volant à niveau constant entre 1 000 et 1 500 mètres. Ils sont équipés de capteurs météo et d'un GPS, et renvoient leurs mesures via le système Argos. Entre mi-juin et mi-juillet, 15 BVC ont été lancés depuis Cotonou (Bénin) ; le vol le plus long a couvert plus de 7 000 km en 15 jours au-dessus du continent.



À une période où peu de moyens aéroportés furent déployés, les BVC ont montré leur apport pour observer le début de la saison des pluies et surtout la dynamique et la thermodynamique de la basse troposphère associées au flux de mousson.

Dans le cadre d'une collaboration franco-américaine, des chercheurs du Cnes, du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et du National Center for Atmospheric Research (NCAR/USA) ont lancé 8 « ballons-driftsondes » depuis Zinder au Niger entre le 15 août et le 15 septembre 2006.

Ces ballons dérivent avec les vents stratosphériques (20 000 m d'altitude) jusqu'au large des côtes atlantiques de l'Amérique et larguent régulièrement des « dropsondes » qui mesurent les profils thermodynamiques de l'atmosphère. Près de 160 dropsondes ont été lâchées par les ballons driftsondes fournissant des mesures intéressantes sur les ondes d'est africaines, les systèmes orageux et les cyclones tropicaux. Elles ont permis d'étudier notamment les perturbations africaines ayant donné lieu aux cyclones Florence, Gordon et Hélène puis de suivre ceux-ci lors de leur pérégrination sur l'Atlantique.

Enfin les ballons stratosphériques ouverts (BSO) ont été déployés à Niamey (Niger). Ces vols de ballons du Service d'Aéronomie du CNRS, conduits dans le cadre d'une campagne associant les deux projets européens Scout-O3 et Amma, avaient pour but d'étudier le transport vertical de la troposphère vers la stratosphère associé aux systèmes convectifs (orages) particulièrement intenses en été dans la région. La campagne a vu 7 vols BSO entre le 31 juillet et le 25 août de ballons emportant de 100 à 150 kg d'instruments français, anglais, italiens, norvégiens et américains, lancés le plus près possible d'un système orageux. Après quelques heures de vol, séparation et des-

Préparation du lancement d'un sondage ozone (site de Cotonou).



Lancement d'un ballon stratosphérique (site de Niamey). Alors que le ballon commence à s'élever, on distingue trainant encore au sol la chaîne de mesure qui, en vol, peut pendre jusqu'à 100 m sous le ballon.

cente sous parachute, les nacelles étaient récupérées au Burkina-Faso. À cette occasion, 29 sondages d'ozone ont également été effectués par le Danish Meteorological Institute, dont six équipés pour la première fois d'un hygromètre stratosphérique russe et d'un appareil américain de mesures des particules de glace. Le bilan de l'ensemble est une démonstration non ambiguë, une première à l'échelle internationale, de l'existence d'une violente injection d'air des basses couches, de poussière désertique, de cristaux de glace et d'eau jusqu'à 19 km dans la stratosphère par les orages associés à la mousson africaine.

Contacts

Arona Diedhiou, UMR LTHE
aronadiedhiou@inpg.fr

Ballons à volume constant
Claude Basdevant
basdevant@lmd.ens.fr
Driftsondes
Philippe Drobinski
philippe.drobinski@aero.jussieu.fr
et Jean-Luc Redelsperger
redels@meteo.fr

Scout-Amma
Anne Garnier
Anne.Garnier@aerov.jussieu.fr
Jean-Pierre Pommereau
Pommereau@aerov.jussieu.fr



Station de radiosondage d'Agadèz, Niger, 17° N

Contact

Serge Janicot, Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentation et approches numériques (Locean)
serge.janicot@locean.fr



Le réseau de radio-sondage remis à niveau

Le programme Amma a entrepris de remettre en état le réseau de radio-sondages géré dans la région par l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar (Asecna), en mettant l'accent sur des zones critiques où les données sont rares ; une action qui inclue la mise en place de systèmes de télécommunications modernisées et une automatisation de la collecte et de l'échange de données. Les radiosondages demeurent les seules observations *in situ* des profils atmosphériques réalisés selon un protocole homogène, une ou deux fois par jour, sur l'ensemble du globe. Ils constituent la matière première indispensable à l'alimentation des modèles météorologiques.

Cette opération a été un succès à plusieurs niveaux

- À partir de mi 2005, un réseau de 17 stations a fonctionné à raison de 1 ou 2 sondages par jour ; en période spéciale d'observation, la cadence a pu atteindre 8 sondages par jour faisant de l'Afrique de l'Ouest la région du monde la mieux observée sur cette période.
- Les services météorologiques africains et l'Asecna disposent maintenant d'un réseau moderne qui pourra continuer à fonctionner au-delà d'Amma et ainsi approvisionner le réseau de la veille météorologique mondiale.

Alors que les années précédentes, 45 % des données collectées dans la sous-région étaient reçues dans les centres météorologiques mondiaux, le programme Amma a permis un taux de réussite d'environ 95 % en Afrique de l'Ouest malgré une augmentation de la fréquence de mesures : 4 fois par jour en moyenne et à certaines périodes d'observations, jusqu'à 8 sondages par jour sur 6 stations (Cotonou et Parakou (Bénin), Abuja (Nigéria), Tamale (Ghana), Niamey et Agadèz (Niger)). Ce travail a mobilisé les ressources humaines de la plupart des services météorologiques nationaux des pays concernés et constitue un véritable succès pour l'Asecna.

Des études préliminaires suivies à Météo-France (CNRM) ont déjà montré l'impact positif de ces données de radiosondages additionnelles dans l'amélioration de la prévision

du temps dans cette région lorsqu'elles sont assimilées dans les modèles. Il importe donc de continuer cette étude afin de déterminer le réseau optimal pour observer et comprendre la variabilité du climat dans cette région. Le défi est de mettre en place une stratégie de mobilisation des ressources, acceptée et endossée par les institutions africaines pour pérenniser ce réseau de radiosondage.

Contacts

Serge Janicot, UMR Locean
Serge.Janicot@locean-ipsl.upmc.fr
Jean-Luc Redelsperger, CNRM
redels@meteo.fr



Pas de repos la nuit pour les équipes opérant sur les radars : les gros systèmes convectifs sont souvent noctambules.

La région du mont Hombori, point culminant du Mali, en juillet (à gauche) et en août (à droite).



Le cycle de l'eau dans tous ses états

© IRD/E. Mougin

L'eau, ressource sous-exploitée et menacée

Depuis le début de la période sèche (1968), on note une baisse globale des volumes en eau disponibles en Afrique de l'Ouest, tant en surface qu'en profondeur : les fleuves Niger et Sénégal ont vu leur débit baisser (de 40 % pour le premier, 60 % pour le second), le lac Tchad a failli disparaître, la plupart des nappes sont en baisse rapide, de nombreuses mares et zones humides menacées, alors même que la population continue d'augmenter rapidement (de 3 % par an en moyenne, 3,5 % au Niger).

Mais au Sahel, on remarque que les ruissellements sont en augmentation très sensible, du fait des changements d'usage des sols ; en effet, le déboisement et la mise en culture exposent le sol à nu, et provoquent son encroûtement, ce qui accroît ruissellement et érosion. Ainsi, le débit de certains affluents de droite du Niger a augmenté de 10 à 35 % durant les deux dernières décennies. Par ailleurs, dans certaines zones endoréiques sahéliennes, on observe un accroissement du nombre des mares, de leur taille et de leur durée, et de ce fait, une remontée de la nappe phréatique (plus de 20 cm par an depuis 10 ans). Dans les zones sédimentaires, il existe donc de grandes potentialités grâce aux eaux souterraines, plus fiables que le fleuve Niger (où la construction de barrages est à réaliser avec beaucoup de précautions afin d'en limiter les impacts négatifs en termes sanitaires et hydro-agricoles. De petits périmètres peuvent être alimentés dans tous les villages par des puits creusés sans apport extérieur. C'est dans les zones de socle que la ressource est à la fois rare, difficile d'accès et en nette diminution du fait de la baisse des pluies. L'avenir y passera probablement par des retenues collinaires pouvant stocker quelques semaines l'eau des rares événements pluvieux.

Contact

Luc Descroix, *Laboratoire d'études des transferts en hydrologie et environnement*, UMR LTHE. descroix@ird.fr



© IRD/M.-N. Favier

Puits au Mali.

sciences au sud

Sciences.au.sud@paris.ird.fr
IRD - 213, rue La Fayette -
F - 75480 Paris cedex 10
http://www.ird.fr

Directeur de la publication
Michel Laurent

Directrice de la rédaction
Marie-Noëlle Favier

Rédacteur en chef
Olivier Dargouge (Olivier.dargouge@ird.fr)
Dossier coordonné par
Aude Sonnevile

La variabilité du cycle de l'eau et les mécanismes associés sont au cœur de la compréhension de la mousson africaine.



L'intensité des entrées d'air océanique humide sur le continent, la transformation en précipitations et l'abondance des pluies au sol caractérisent la vigueur de la mousson. La surface continentale amortit ce signal pluviométrique en restituant, avec un certain retard, une partie de l'eau à l'atmosphère (évaporation des sols et transpiration de la végétation) ou à l'océan (écoulement dans les rivières puis les fleuves), et en stockant une partie dans les réservoirs souterrains. Les nappes souterraines, les rivières et lacs, et l'océan sont des réservoirs essentiels pour les activités humaines. Il est important de comprendre leur dynamique et leur vulnérabilité. Cycle de l'eau et bilan d'énergie sont par ailleurs étroitement liés. L'étude du cycle de l'eau est donc un axe central des études du programme Amma. Une bonne connaissance des mécanismes

essentiels du cycle de l'eau dans l'océan, dans l'atmosphère et à la surface existe, bien qu'il faille l'affiner, et les modèles de simulation associés sont performants. Pourtant des progrès importants sont à faire



© IRD/F. Timouk

Implantation de la station bioclimatique localisée à 10 km au nord de Bamba (17,03°-Nord 1°24'-Ouest) en rive gauche du fleuve Niger. Enfouissement des capteurs d'humidité et de température du sol selon un profil vertical de 5 à 250 cm.

Pas une goutte ne passe inaperçue



En Afrique, les fluctuations climatiques se manifestent essentiellement sous forme de variations de la pluviométrie et donc de l'intensité du cycle hydrologique sur le continent. Le lien entre la dynamique de la mousson et le cycle de l'eau continental se joue en deux endroits. En premier lieu dans l'atmosphère libre qui peut atteindre une épaisseur de 15 km. La convection profonde qui s'y développe (ascendances engendrées par l'énergie emmagasinée dans cette région du globe lors de l'été boréal) est à la source des précipitations. En second lieu, au niveau de la couche limite planétaire dont l'épaisseur varie de quelques centaines de mètres à 2 ou 3 kilomètres selon la saison et les moments de la journée. Au sein de cette couche limite, la couche de surface, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur, est le siège des échanges gazeux (vapeur d'eau, CO₂, azote) et énergétiques entre la surface continentale et l'atmosphère, largement contrôlés par l'activité biologique et le couvert végétal. La connaissance de ces flux est fondamentale pour comprendre et quantifier les rétroactions de la surface continentale sur les processus atmosphériques, notamment la convection et donc la pluviogénèse, mais aussi la dynamique de la végétation et ses interactions avec le cycle hydrologique.

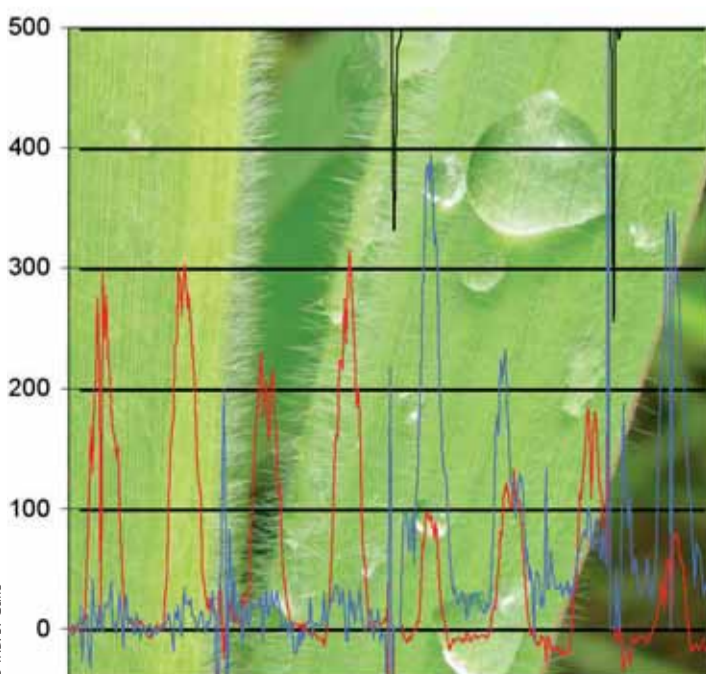
À cette fin, un important dispositif de mesures a été mis en place sur les différents types de couverts représentés au sein de chacun des trois sites de méso-échelle du programme Amma, formant ainsi un échantillonnage homogène le long du gradient éco-climatique latitudinal de l'Afrique de l'Ouest. Il permet, en particulier, la

mesure directe des flux de vapeur d'eau (évapotranspiration), de chaleur sensible (échauffement de l'air par le sol) et de CO₂ dans la couche de surface. Le graphique montre par exemple le basculement du rapport des flux de chaleurs latentes (évapotranspiration) et sensible sur une jachère à l'arrivée de la mousson 2006 au Niger. Ceci illustre comment l'énergie reçue est utilisée avant tout pour ré-évaporer la pluie dès que la mousson est installée. Le suivi des précipitations, des composantes du bilan radiatif, du flux de chaleur et du profil d'humidité dans le sol, ainsi que des paramètres du cycle végétatif, complète le dispositif. Il existe très peu de systèmes d'observation de ce type dans le monde, en particulier en Afrique, qui soient aussi complets, couvrant à la fois l'énergie, l'eau, la végétation et le carbone, et représen-

tatifs spatialement et temporellement. Les données ainsi produites sont cruciales pour la paramétrisation et la validation des modèles à différentes échelles, du local au régional, que ceux-ci soient orientés vers le climat, l'hydrologie ou l'écologie. Le dispositif de stations éco-hydro-météorologiques AMMA pourra également participer aux réseaux d'observation de couverture continentale ou planétaire, sur lesquels s'appuie la modélisation climatique ou environnementale globale. Il apportera enfin aux pays hôtes (Bénin, Niger, Mali) des informations précieuses



© N. Boulain



Mesure des flux turbulents et radiatifs sur jachère, Niger.

pour l'élaboration des politiques internationales de maîtrise des gaz à effet de serre.

Contacts

bernard.cappelaere@mpl.ird.fr
Laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM)
sylvie.galle@hmg.inpg.fr
UMR LTHE
franck.timouk@ird.fr
Centre d'études spatiales de la biosphère (UMR Gesbio)

Évolution des flux de chaleurs sensibles (rouge) et latente (bleu) sur jachère, à l'arrivée de la mousson 2006 au Niger (pluie en noir). En fond : pluie interceptée par la végétation herbacée.