

La mousson ouest-africaine : introduction à quelques contributions du programme d'étude multidisciplinaire AMMA

Serge Janicot⁽¹⁾, Jean-Luc Redelsperger⁽²⁾ et Thierry Lebel⁽³⁾

(1) IRD, LOCEAN, Paris, France

(2) CNRS, LPO, Plouzané, France

(3) IRD, LTHE, Grenoble, France

Le climat du système terrestre est d'abord défini par son bilan radiatif net, soit la différence entre le flux solaire qu'il absorbe et le flux infrarouge qu'il émet vers l'espace. Ce bilan n'a pas une répartition uniforme, les régions polaires sont toujours déficitaires alors que les régions intertropicales sont globalement excédentaires. Dans l'hémisphère situé en saison d'hiver, l'important déficit s'étend presque jusqu'à l'équateur, alors que l'excédent des régions tropicales atteint les régions subpolaires dans l'hémisphère situé en été. On peut observer aussi, à latitude égale, des disparités régionales très importantes. L'exemple le plus frappant est, en été boréal, le Sahara, déficitaire en énergie alors que les océans subtropicaux sont fortement excédentaires. En effet la surface du Sahara a un pouvoir réfléchissant (albédo) de l'énergie solaire important et ne peut stocker l'énergie reçue en profondeur dans le sol, ce qui l'oblige à la ré-émettre immédiatement vers l'atmosphère et l'espace sous forme de chaleur. Les océans ont en revanche un albédo faible et une forte capacité à stocker l'énergie reçue dans la couche de mélange, limitant ainsi les pertes par rayonnement infrarouge.

La répartition des apports d'énergie n'étant pas uniforme, il est nécessaire qu'il y ait des transferts des régions excédentaires vers les régions déficitaires pour assurer un équilibre sur le long terme. Dans la zone intertropicale, les transferts d'énergie se font par des circulations stables (cellules de Hadley). Dans cette circulation, le flux de basses couches, qui transporte majoritairement de l'énergie thermique et de l'énergie latente (vapeur d'eau), alimente les ascendances et est équilibré par le flux des hautes couches qui transporte majoritairement de l'énergie potentielle (proportionnelle à son altitude), et alimente les subsidences en air sec.

Cette zone d'ascendance vers laquelle convergent les flux d'énergie des basses couches s'appelle la zone de convergence intertropicale (ZCIT). C'est aussi la zone qui reçoit de la surface un maximum d'énergie par

rayonnement infrarouge, conduction thermique et évaporation. Or, cette zone est en instabilité conditionnelle : une particule d'air qui atteint son seuil de condensation, par un apport d'humidité ou par un forçage dynamique la faisant s'élever, devient instable et son ascendance s'accélère. La convergence d'énergie, présente dans la circulation de Hadley, déclenche ainsi la convection humide : les particules d'air chaud et chargé en humidité s'élèvent rapidement, leur humidité se condense et précipite tandis que le dégagement de chaleur latente associé renforce la flottabilité et l'ascendance des particules. C'est le lieu de formation et de développement d'organisations de cumulonimbus à fort développement vertical et de précipitations intenses. C'est ensuite un air plus sec et ayant gagné de l'énergie potentielle qui arrive au sommet de la troposphère et se dirige en direction des pôles, puis subsiste au-dessus des zones désertiques.

Le système de mousson d'Afrique de l'Ouest

C'est dans ce contexte que s'inscrivent les systèmes de mousson dont celle d'Afrique de l'Ouest. Les zones de mousson sont caractérisées par l'opposition de part et d'autre de l'équateur d'une masse continentale et d'une masse océanique, créant ainsi des différences importantes de température et de pression, le vent se dirigeant alors des hautes pressions situées au-dessus de l'océan, et transportant donc des masses d'air chargées en humidité, vers les basses pressions situées au-dessus du continent, venant ainsi alimenter en énergie la ZCIT, conduisant à de fortes précipitations sur cette partie continentale. Ces systèmes de mousson correspondent donc régionalement à une intensification de la circulation de Hadley.

La figure 1 (schéma du haut) montre pour l'été (juillet-septembre) les zones de plus forte convection (en couleur) caractérisées par un rayonnement infrarouge

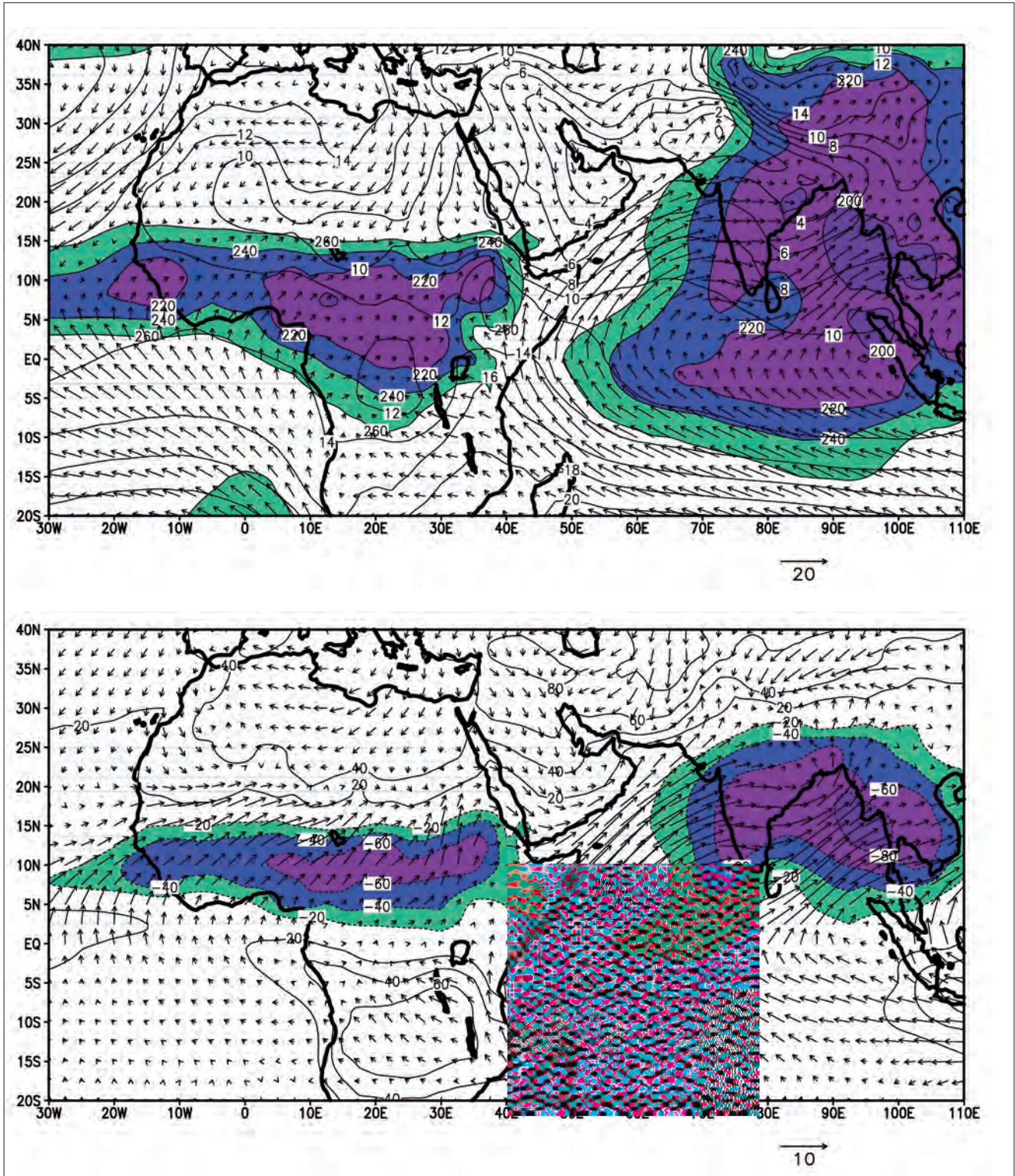


Figure 1 - Haut : Vents de basses couches (à 925 hPa, vecteurs, échelle en m/s indiquée en bas), pression réduite au niveau de la mer (contours, hPa moins 1000) et rayonnement de grande longueur d'onde sortant mesuré au sommet de l'atmosphère (couleurs, W/m²) en moyenne d'été (juillet-septembre). Les zones de faibles valeurs de rayonnement mesuré correspondent au rayonnement des nuages dont les sommets sont les plus froids, donc les plus élevés, ce qui correspond aux zones de forte convection et fortes précipitations. Bas : Les mêmes variables mais calculées comme différence entre les valeurs d'été (juillet-septembre) et les valeurs d'hiver (décembre-février) ; les différences de rayonnement sont représentées en couleurs pour les valeurs négatives (convection et précipitations renforcées pendant l'été) et en contours pour les valeurs positives. Cela permet de caractériser l'extension géographique des systèmes de mousson indien et africain.

minimal issu du sommet des nuages les plus froids, c'est-à-dire les plus élevés. On reconnaît le puissant signal de la mousson asiatique, incluant une extension jusqu'à l'équateur, ainsi que le signal de la mousson d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Les contours représentent les valeurs de la pression réduite au niveau de la mer ainsi que le vent à 925 hPa, niveau fréquemment utilisé pour

caractériser la mousson africaine. La circulation du système de mousson africain s'organise donc par les anticyclones de Sainte-Hélène et des Açores, situés respectivement sur l'Atlantique tropical sud et nord, l'anticyclone de Libye sur l'Afrique du Nord et la dépression thermique saharienne que l'on voit centrée vers 20° N sur l'Afrique de l'Ouest, soit environ 10° plus au nord

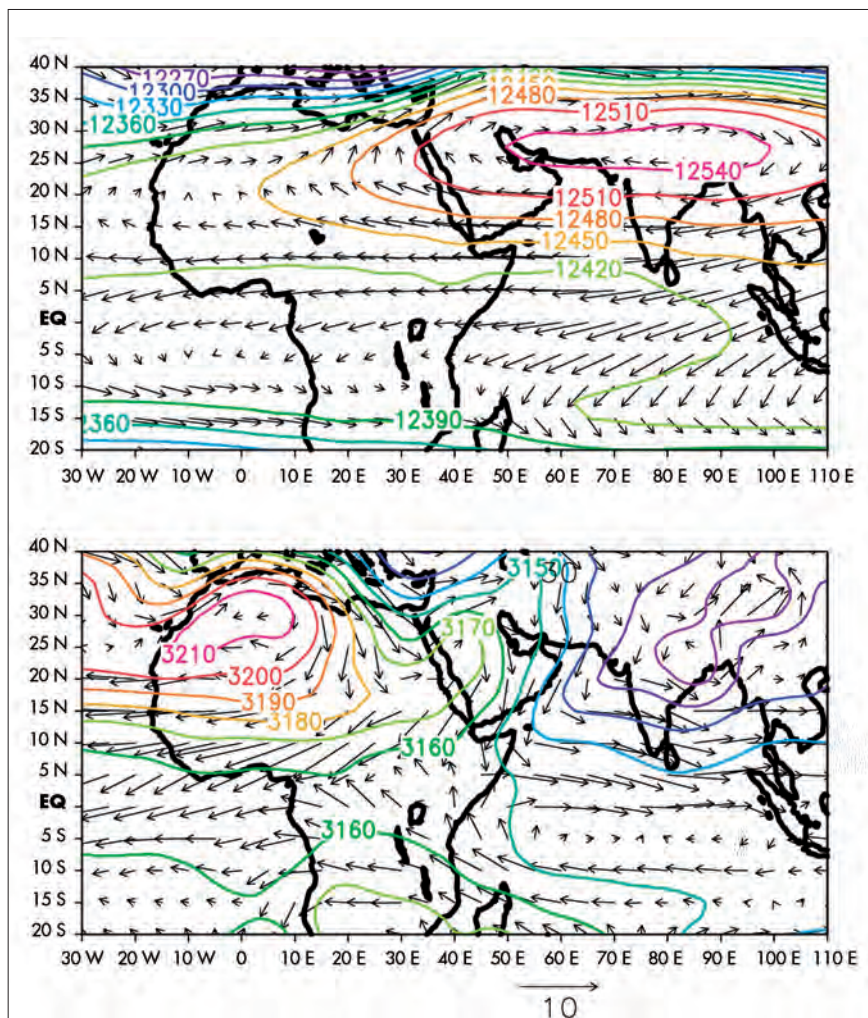
que la ZCIT. Cela conduit à la mise en place de la mousson d'été en Afrique de l'Ouest, par le développement de vents de sud-est humides issus de l'anticyclone de Sainte-Hélène qui tournent au sud-ouest en passant l'équateur sous l'effet du changement de sens de la force de Coriolis et de vents de nord-est secs (harmattan) venant du Sahara. Le lieu des pressions minimales dans la dépression thermique continentale représente ainsi la confluence de ces vents de sud-ouest et de nord-est dans les basses couches et est appelé Front intertropical (FIT).

Les zones convectives de la ZCIT, ainsi que la structure de la circulation atmosphérique de mousson, suivent le mouvement apparent du soleil tout au long de l'année, le passage de la ZCIT sur les diverses régions correspondant aux différentes saisons des pluies que connaissent les zones intertropicales. Le schéma du bas de la figure 1 représente la différence d'intensité moyenne de convection et du vent à 925 hPa entre l'été (juillet-septembre) et l'hiver (décembre-février). Ce schéma permet de caractériser le domaine de ces systèmes de mousson qui connaissent un renversement de la circulation au cours de l'année. Ainsi, on voit la forte extension spatiale du signal de la mousson au-dessus de l'océan Indien, dont les vents s'inversent en hiver boréal quand la ZCIT passe dans l'hémisphère sud. En Afrique, la ZCIT est aussi localisée sur le continent dans l'hémisphère sud en hiver boréal, mais reste localisée

sur l'équateur au-dessus de l'océan, et la variation annuelle des vents de basses couches est beaucoup plus limitée géographiquement que dans le secteur indien, étant visible principalement au nord de l'équateur.

Cette évolution de la ZCIT au cours de l'année implique une distribution des cumuls annuels de précipitations en Afrique avec un maximum sur l'Afrique Centrale et la côte guinéenne, et un gradient nord-sud très élevé en Afrique de l'Ouest, résultant de précipitations quasi nulles sur le Sahara. L'Afrique de l'Ouest, et en particulier la bande sahélienne, est ainsi une région où les fluctuations interannuelles de précipitation peuvent être importantes, même pour des variations faibles dans le cycle saisonnier de la ZCIT.

Vers trois kilomètres d'altitude (700 hPa, figure 2 bas), la circulation atmosphérique est très différente entre les deux moussons. Le maintien de la circulation cyclonique au-dessus de l'Inde démontre une mousson très épaisse, alors qu'au-dessus de l'Afrique, cette circulation est remplacée par une circulation anticyclonique et la disparition des vents de mousson. Les vents d'est présents correspondent à ce qui est appelé le Jet d'est africain dans lequel se développent des « ondes d'est » qui favorisent le développement des systèmes convectifs. Vers 12 kilomètres d'altitude (200 hPa, figure 2 haut), une circulation anticyclonique de grande échelle couvrant l'ensemble Afrique-Asie signe la présence et l'intensité de ces moussons et les vents d'est associés forment le Jet d'est tropical.



AMMA, un projet d'étude multidisciplinaire de la mousson ouest-africaine

Une présentation détaillée des objectifs du programme AMMA (Analyses multidisciplinaires de la mousson africaine) a été publiée en 2006 dans la revue *La Météorologie* (n° 54, p. 22-32), peu après le démarrage des expériences de terrain. En conséquence, dans cette partie nous allons revenir sur ses objectifs, puis présenter un bilan rapide de sa première phase. Les résultats de recherche eux-mêmes, dérivés des efforts de cette première phase, font l'objet de ce

Figure 2 - Haut : Hauteur géopotentielle (contours, mgp) et vent (vecteurs, m/s) à 200 hPa en été. Bas : Idem mais à 700 hPa.

numéro spécial. Enfin les orientations futures du programme (sa « phase 2 ») seront plus largement présentées. Ils ont été discutés et évalués lors de la quatrième conférence internationale AMMA qui s'est tenue du 2 au 6 juillet 2012 au Centre international de conférences de la Météopole de Toulouse.

Les objectifs d'AMMA

Le projet AMMA, qui a démarré en 2002, est un projet international qui a pour objectif d'améliorer notre connaissance et notre compréhension de la mousson d'Afrique de l'Ouest, de sa variabilité, de sa prévisibilité de l'échelle météorologique aux échelles climatiques et de ses impacts sur les ressources et les populations. Ce projet est ainsi motivé, d'une part, par des problématiques scientifiques fondamentales et, d'autre part, par un très fort besoin sociétal pour disposer de prévisions améliorées des différentes composantes de cette mousson, en particulier la pluviométrie, le cycle hydrologique, les transports de poussière et une large gamme d'impacts associés allant de la fertilité des sols à certaines endémies et épidémies, en passant par les ressources en eau.

Le contexte actuel du changement climatique global d'origine anthropique et des incertitudes associées à son évolution, se combinant avec la variabilité naturelle et forte du climat dans cette région d'Afrique, risque d'accroître la vulnérabilité de ses sociétés et de rendre plus complexes leurs stratégies d'adaptation face en particulier aux variations climatiques. AMMA a pour ambition de conduire une recherche multidisciplinaire nécessaire pour fournir des prévisions de la mousson africaine, améliorées et adaptées aux besoins des populations et des décideurs, étape indispensable à l'évaluation de ses impacts et au développement de systèmes d'alerte. Dans ce but, trois grands objectifs ont été fixés :

- améliorer notre compréhension de la mousson africaine, depuis l'échelle des processus élémentaires contrôlant la mousson jusqu'aux échelles auxquelles la mousson influence, au-delà de l'Afrique de l'Ouest, la dynamique et la composition de l'atmosphère ;
- produire les connaissances nécessaires pour relier la variabilité du climat aux problèmes de santé, de ressources en eau et de sécurité alimentaire de l'Afrique de l'Ouest, et définir des stratégies de surveillance appropriées ;
- faire en sorte que les résultats des recherches multidisciplinaires d'AMMA soient effectivement intégrés dans les activités de prévision et de décision.

Pour atteindre ces objectifs, AMMA s'appuie sur une forte coordination internationale de différentes activités, incluant des recherches fondamentales et des campagnes de mesure menées sur plusieurs années. À travers ces activités, et pour les favoriser, AMMA s'attache à resserrer le partenariat entre centres de recherche, centres de prévision opérationnelle et décideurs africains.

La phase 1 d'AMMA, 2002-2010

La forte coordination internationale multi-organismes a permis la création d'une communauté de recherche d'environ 600 personnes très impliquées dans laquelle plus de 250 chercheurs africains, regroupés en un réseau AMMA-Afrique, travaillent sur la science d'AMMA. Grâce à cette coordination internationale, ces équipes dynamiques sont à l'origine des grandes réussites de la première phase d'AMMA : la parution de 500 publications dans des revues à comité de lecture dont 10 éditions spéciales, l'organisation de conférences internationales (Dakar 2005, Karlsruhe 2007, Ouagadougou 2009) réunissant une moyenne de 400 chercheurs, une base de données multi-échelles multidisciplinaires sans précédent, utilisée à travers le monde et répliquée en Afrique, la mise en œuvre coordonnée de systèmes d'observation sur le long terme depuis 2001, des campagnes de terrain plus vastes entre 2005 et 2007 avec plusieurs périodes d'observation intensive. Après 8 ans d'activité, et en ouverture des 10 ans à suivre, AMMA s'est positionné comme le programme de référence sur le climat et la météorologie en Afrique de l'Ouest. L'ensemble des compétences rassemblées a permis des progrès significatifs sur nos connaissances et notre compréhension des aspects multi-échelles et multidisciplinaires du système couplé océan-atmosphère-continent de la mousson ouest-africaine. Un ensemble de ces résultats font l'objet de ce numéro spécial.

AMMA a permis aussi de construire les bases scientifiques et une communauté nécessaires pour répondre pleinement aux deuxième et troisième objectifs du programme.

La communauté AMMA, continuellement enrichie par la formation, a engagé près de 160 étudiants en doctorat dont la moitié africains, plus de 80 thèses ont été soutenues dont une trentaine par des étudiants africains. Trois écoles d'été et quatre ateliers de formation réunissant des étudiants, des chercheurs et des prévisionnistes de l'Afrique et du monde entier ont été un succès. À travers AMMA, de nouveaux Masters ont été aussi établis. Toutes ces activités sont les réponses actives du soutien d'AMMA à l'enseignement et la formation.

Enfin l'essor considérable de la communication scientifique d'AMMA vers tous ses publics a répondu à une volonté forte du programme de diffusion des connaissances et plus particulièrement dans sa participation à la sensibilisation en Afrique.

La phase 2 d'AMMA, 2011-2020

Le plan de la deuxième phase d'AMMA s'est construit avec l'ambition de renforcer les réponses aux deuxième et troisième objectifs de ce programme. Dans ce but, la réflexion prospective a été initiée par deux réunions organisées par la communauté AMMA-Afrique en 2009 à Ouagadougou et en 2010 à Abidjan, mettant en avant

les questions autour des interactions entre société, environnement et climat, et dégagant des thématiques prioritaires. Cette prospective s'est poursuivie par l'analyse des priorités autour des questions des mécanismes du système de mousson africain et de sa prévision, et le document final de cette prospective a été publié en décembre 2010. Il est disponible à l'adresse suivante : http://www.amma-international.org/IMG/pdf/ISP2_v2.pdf.

Le deuxième plan scientifique international d'AMMA s'articule ainsi autour de trois grands domaines qui s'imbriquent entre eux : 1) les interactions entre société, environnement et climat nécessitent 2) d'étudier la prévisibilité et d'améliorer la prévision météorologique, saisonnière et climatique, lesquelles requièrent 3) de poursuivre et d'enrichir nos connaissances du système de mousson.

1) L'étude des interactions entre la société, l'environnement et le climat est un aspect essentiel de la phase 2 d'AMMA. En effet, les socio-écosystèmes de la région ouest-africaine sont très sensibles aux impacts de la variabilité climatique et, à l'inverse, on a démontré la forte sensibilité du système de mousson africain aux variations des états de surface et à certaines des activités anthropiques (usage des sols sur le ruissellement et l'alimentation des nappes phréatiques, par exemple). Dans ce contexte, AMMA doit contribuer à mieux caractériser la vulnérabilité de l'environnement et des sociétés africaines aux impacts du climat, et identifier les secteurs les plus vulnérables à la variabilité et au changement climatiques. Cela doit permettre de définir les meilleures stratégies d'adaptation face aux aléas climatiques et, en s'appuyant sur les résultats acquis lors de sa première phase, de développer des produits et de l'information climatique appropriés aux efforts d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique, incluant l'amélioration des systèmes d'alerte précoce. Cette recherche s'organise autour de sept grandes thématiques d'études scientifiques de ses interactions avec la variabilité climatique et les aléas météorologiques : (i) ressources en eau ; (ii) utilisation des terres, occupation des sols et productivité ; (iii) agriculture et sécurité alimentaire ; (iv) santé ; (v) énergie ; (vi) écosystèmes et (vii) zones urbaines et mégapoles africaines.

2) Le programme doit œuvrer pour l'amélioration des prévisions météorologiques et climatiques, et de notre confiance dans les projections du changement climatique. Pour ce faire, les connaissances acquises au cours de la phase 1 doivent être intégrées dans les modèles pour améliorer nos capacités à prévoir le temps et la variabilité climatique. Le programme AMMA s'organise sur quatre axes : (i) évaluer et améliorer les modèles ; (ii) exploiter les modèles actuels (via de nouveaux outils, des systèmes de prévision d'ensemble par exemple) ; (iii) améliorer l'exploitation des observations disponibles (les observations par satellite, par exemple) et (iv) recommander et mettre en œuvre des systèmes d'observation pérennes pour améliorer les capacités de

surveillance et les prévisions. Ces axes seront développés tant pour la prévision météorologique que climatique et les scénarios de changement climatique. Un des aspects essentiels de l'intégration des connaissances dans l'amélioration des modèles de prévision est le renforcement des liens entre les scientifiques d'AMMA et les centres opérationnels, riches des personnes ressources travaillant sur l'évaluation, l'élaboration des modèles ou encore l'assimilation de données.

3) Avoir de meilleurs modèles pour des prévisions plus fiables implique de continuer à approfondir nos connaissances et notre compréhension de la variabilité et la prévisibilité de la mousson africaine. La deuxième phase se focalise sur les boucles de rétroaction essentielles à trois échelles pertinentes : météorologique, intra-saisonnière et pluriannuelle. À l'échelle météorologique (moins de 10 jours), l'accent est mis sur les interactions entre systèmes convectifs et leur environnement, entre océan, atmosphère et surface continentale, et entre chimie, aérosols et atmosphère. Les études aux échelles de temps intra-saisonnière (10-90 jours) sont d'une importance particulière dans cette deuxième phase pour répondre à la demande sociétale (prévision des pauses sèches de la mousson pour l'agriculture, par exemple), mais aussi pour avancer dans notre compréhension du cycle annuel. Les voies prometteuses ouvertes durant la première phase doivent être approfondies, en particulier le rôle de l'océan et de ses interactions avec l'atmosphère et les interactions avec les autres régions tropicales et les latitudes tempérées. Enfin, les échelles de temps multi-annuelles, (interannuelle, décennale et changement climatique) restent une préoccupation majeure pour AMMA, pour l'évaluation des contributions des principales boucles de rétroaction entre le système de mousson et les différents bassins océaniques, les surfaces continentales et les aérosols, et d'autre part pour une meilleure compréhension de la nature et des causes des changements climatiques d'origine anthropique, particulièrement compte tenu des désaccords entre les projections pour le XXI^e siècle présentées dans le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Pour soutenir l'ensemble de ces travaux, AMMA doit continuer à développer et mettre en œuvre sa stratégie.

première phase d'AMMA et améliorer les domaines où AMMA n'a pas été en mesure de le faire ;

- assurer de meilleurs liens entre ces observations de recherche et des réseaux opérationnels avec les observations par satellite, d'autant plus que certaines missions satellitaires pertinentes pour AMMA viennent d'être lancées ou le seront prochainement ;
- s'assurer que l'ensemble des données soit disponible pour une large communauté, incluant les agences opérationnelles et les chercheurs en Afrique et à l'extérieur. D'autre part, AMMA soutient la mise en œuvre de campagnes expérimentales pour des études de processus clés insuffisamment échantillonnés dans la première phase, dont tout particulièrement la langue d'eau froide atlantique et la dépression thermique saharienne (projet FENNEC, par exemple).

Aujourd'hui encore plus qu'hier, la collaboration internationale d'AMMA est indispensable. Dans sa deuxième phase, AMMA doit être coordonné comme un programme enrichi des contributions et des collaborations qui émanent des nombreuses initiatives en cours et des sources de financement, qui pourraient tendre à une dispersion des efforts. Dans ce cadre, la communauté africaine d'AMMA (AMMANET), financée de manière plus importante que durant la première phase par des sources gérées en Afrique, doit renforcer sa gouvernance.

En plus de poursuivre les activités d'enseignement et de formation, forte priorité de sa deuxième phase, le programme veut renforcer les capacités des systèmes d'information (regroupement, classification, traitement et diffusion de l'information), de traitement de données et de leur gestion en base pour les ressources, l'environnement, le climat et la météorologie. Une mobilisation plus forte, humaine et financière, est nécessaire pour appuyer les recherches et les applications. Enfin, que ce soit en direction de la communauté des chercheurs, des médias, des décideurs ou bien des utilisateurs, la diffusion des connaissances scientifiques acquises reste un enjeu majeur. AMMA doit continuer à participer à la sensibilisation du public, en particulier africain, aux objectifs sociétaux de la recherche effectuée en son sein. La deuxième phase devra être l'occasion de mettre en place des réseaux d'acteurs de la communication scientifique à partir du réseau de journalistes créé durant la première phase. La sensibilisation des utilisateurs et des décideurs en Afrique passe par le renforcement du partenariat avec les institutions et associations locales.

Orientations du contenu de ce numéro spécial

Dans ce numéro spécial, présentant un bilan des recherches réalisées jusqu'à maintenant dans le cadre du programme AMMA, nous n'avons pas cherché à être exhaustif, ce qui aurait été impossible compte tenu de la production extrêmement importante de résultats (voir

par exemple la liste bibliographique proposée à la fin de l'ouvrage), qui se poursuit toujours actuellement, et du volume limité de ce numéro. Nous avons donc choisi un éclairage sur certaines des questions scientifiques les plus prégnantes, concernant le fonctionnement du système de mousson d'Afrique de l'Ouest, sa prévisibilité et certains de ses impacts, en intégrant de manière implicite dans la présentation de ces résultats, les acquis d'AMMA en termes d'observations et de modélisation. Dans ce cadre, et ce numéro étant publié en français, nous avons aussi choisi de mettre l'accent sur la présentation de travaux collaboratifs entre chercheurs français et africains, cette collaboration étant aussi gage de l'avenir du programme AMMA.

Après cette courte introduction du système de mousson d'Afrique de l'Ouest (Janicot et al.), nous présentons les avancées les plus récentes vers l'émergence d'un modèle conceptuel dynamique (Lafore et al.), incluant le rôle très important des interactions océan-atmosphère via la mise en place de la langue d'eaux froides dans le golfe de Guinée (Caniaux et al.), et des interactions entre surface continentale et convection (Guichard et al.). Le cycle des aérosols terrigènes désertiques (Rajot et al.) émerge maintenant aussi comme une composante fondamentale du système de mousson africain. Nous présentons ensuite un bilan de nos connaissances de la variabilité climatique dans cette région (Fontaine et al.), puis les progrès réalisés récemment en matière de prévision météorologique opérationnelle (Karbou et al.). L'article suivant traite plus largement du cycle de l'eau atmosphérique et continental (Peugeot et al.) ainsi que de l'ouverture vers la gestion des ressources en eau. Ceci nous amène à considérer deux autres aspects des impacts de la variabilité climatique, d'une part par l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation de l'agriculture sahélienne (Sultan et al.), d'autre part comme facteur de risque pour la santé (Martiny et al.). Enfin, quelques exemples de l'apport de l'information satellitaire pour le suivi environnemental et climatique sont donnés (Eymard et al.) et ce numéro spécial se termine par la présentation du système d'information développé par le programme AMMA (Fleury et al.).

Nous avons essayé d'être à la fois précis sur les résultats décrits, clairs dans l'expression et attractifs dans la présentation générale. En espérant que nous aurons atteint le mieux possible cet objectif ambitieux au profit des lecteurs de la revue *La Météorologie*.

Remerciements

Fondé sur une initiative française, AMMA a été élaboré par un groupe international de scientifiques et est actuellement financé par un grand nombre d'agences, spécialement en France, au Royaume-Uni, aux États-Unis d'Amérique et en Afrique. AMMA a reçu une contribution majeure de l'Union européenne dans le cadre du 6^e PCRD. Des informations détaillées sur la

coordination et les financements peuvent être trouvés sur le site international d'AMMA (www.amma-international.org).

Le projet AMMA n'aurait pu être lancé sans le soutien des organismes de recherche français et la confiance qu'ils ont placée dans ce projet scientifique dès le début. Les programmes de l'INSU (PATOM, PNCA, PNEDC, PNTS, PNRH, PNBC) ont permis de construire une base solide à cet édifice complexe, avec les contributions du CNES, CNRS, IFREMER, IRD, Météo-France,

des universités françaises et des ministères de la Recherche et des Affaires étrangères.

Un projet aussi ambitieux n'a pas pu se construire sans des efforts coordonnés de très nombreuses personnes, depuis les personnels administratifs jusqu'aux directions des organismes en passant par les personnels de la DT/INSU et de SAFIRE mis à lourde contribution. Nous aimerions toutes les remercier pour leur confiance, leur enthousiasme et leur contribution à AMMA.



Arrivée d'un courant de densité matérialisé par les particules du sol qu'il soulève au cours de sa progression, à Hombori au Mali. (Photo Françoise Guichard et Laurent Kergoat, © Photothèque CNRS)

L'IRD met en œuvre
des **recherches multidisciplinaires**
dans la **zone intertropicale**

L'IRD conduit des **recherches** avec
ses **partenaires du Sud** et les
acteurs du développement dans
grands domaines



**Environnement
et ressources**



Sociétés

met ses capacités
d'**innovation** au service
des partenaires du Sud



Santé

participe au renforcement
des capacités scientifiques
du Sud par la **formation**

France • Méditerranée • Rom Com • Afrique • Asie • Amérique latine • Pacifique