

Sujet de stage Master 2 ou fin d'Etude Ecole d'Ingénieur

Titre du sujet proposé : Processus physiques mis en jeu lors des vagues de chaleur sahéliennes

Organisme proposant le sujet : CNRM-GAME (UMR 3589 CNRS/Météo-France)
42 avenue Coriolis, 31057 Toulouse, France

Responsable(s) scientifique(s) du stage :

Responsable principale : **Françoise Guichard** tél : 05 61 07 98 81 francoise.guichard@meteo.fr
Chargée de Recherche au CNRS (CRI) <http://www.cnrm.meteo.fr/spip.php?article624&lang=fr>

Autres responsables : **Dominique Bouniol** tél : 05 61 07 99 00 dominique.bouniol@meteo.fr
Chargée de Recherche au CNRS (CRI)

Fleur Couvreur tél : 05 61 07 96 33 fleur.couvreur@meteo.fr
Ingénieure des Ponts et Chaussées à Météo-France (IPC)

Note : Possibilité de logement sur place, dans les résidences de l'Ecole Nationale de la Météorologie

Fiche Résumé : Les évolutions climatiques observées depuis plusieurs décennies se caractérisent par un réchauffement plus important sur les continents que sur les océans, et un tendance particulièrement marquée dans les zones sub-tropicales telles que le Sahel au printemps (avec typiquement des moyennes mensuelles de température à 35°C). C'est donc au moment de l'année où la température est déjà excessivement élevée que la tendance observée est la plus forte. Les répercussions sociétales de ce réchauffement, qui s'accompagne de vagues de chaleur plus sévères, sont potentiellement majeures, notamment sur la santé et l'agriculture.

L'objectif principal du stage proposé est de fournir une chronique détaillée des processus physiques associés à deux vagues de chaleur contrastées observées au Sahel (cas d'étude) et d'évaluer la représentation de ces processus par le modèle de prévision de Météo-France et par les réanalyses météorologiques (réanalyses qui sont couramment utilisées pour les études climatiques). La dynamique temporelle de ces processus au cours d'une vague de chaleur et leur rétroactions sur la température sont actuellement inconnues. Le travail proposé fournira donc des informations essentielles et entièrement nouvelles sur ce sujet.

Cette chronique documentera les bilans énergétiques à la surface, et leur couplages avec les processus de couche limite, le flux de mousson, les nuages, en particulier les nuages fins de mi-niveau très fréquents, et les aérosols désertiques, également très présents. La méthodologie envisagée repose sur l'utilisation conjointe (i) de jeux de données locaux (météo, flux, sondages...), permettant une quantification des processus diurnes et nocturnes mis en jeu, et (ii) de jeux de données moins complets mais documentant des échelles spatiales plus grandes (réseau de données météo, observations satellitaires). La caractérisation physique des deux vagues de chaleur obtenue servira ensuite de base d'évaluation de prévisions et réanalyses météorologiques de ces cas d'étude. L'objectif est ici d'analyser comment les erreurs identifiées au niveau de la représentation des processus se répercutent sur les biais de température obtenus avec les modèles. Par exemple, un mélange turbulent trop important dans la couche limite nocturne est susceptible d'induire un biais chaud à la surface.

Déroulement du stage: 1) Étude bibliographique sur le bilan énergétique de surface et les processus de couche limite au Sahel, et sur la définition des vagues de chaleur ; 2) Prise en main des outils logiciels, analyse des données locales ; 3) Mise en perspective avec les données météo et satellitaires ; 4) Évaluation des modèles et interprétation des différences (via une comparaison des bilans) ; 5) Synthèse des résultats, caractérisation des spécificités des vagues de chaleur sahéliennes) ; 6) Préparation du rapport de stage et de l'examen oral.

Le sujet proposé bénéficiera de l'expertise de l'équipe d'accueil sur le climat sahélien, sur l'observation et la modélisation des processus qui le définissent (projets français, européens et internationaux: AMMA, EUCLIPSE, EMBRACE, ESCAPE, CAVIARS, ACASIS). Ce stage pourrait se poursuivre avec une thèse axée sur la compréhension des mécanismes régissant le cycle annuel de la température en zone sahélienne et sa sensibilité climatique *Comment les printemps déjà extrêmement chauds ont-ils déjà et pourraient-ils évoluer au cours du prochain siècle? Via quel rôle de la vapeur d'eau ? Avec quelles répercussions sur la mousson? Pourrait-elle être retardée, avancée, voire raccourcie du fait des changements affectant la phase chaude du printemps?*

PRESENTATION DU SUJET

1) Objectifs scientifiques

Les évolutions climatiques observées depuis plusieurs décennies se caractérisent par un réchauffement plus important sur les continents que sur les océans, avec un tendance particulièrement marquée dans les zones sub-tropicales telles que le Sahel au printemps (Guichard *et al.* 2012). C'est donc au moment de l'année où la température est déjà la plus élevée que la tendance observée est la plus forte (les **moyennes mensuelles atteignant plus de 35°C au Sahel**, e.g. Fig. 1, voir aussi Guichard *et al.* 2009). Les répercussions sociétales de ce réchauffement printanier sont potentiellement majeures, sur la santé et l'agriculture en particulier (cf. ANR ESCAPE, projet dans lequel le laboratoire est impliqué).

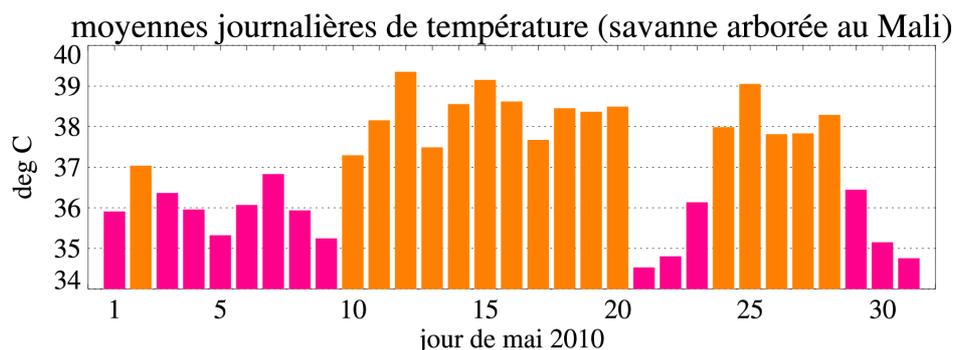


Figure 1 : canicule de mai 2010 au Sahel, un exemple de série tempo-relle des moyennes journalières de température, ici au Mali près de la ville d'Hombori (données AMMA-Catch, site d'Agoufou).

Les couleurs distinguent les valeurs de inférieures (rose) et supérieures (orange) à 37°C. Les maxima (mi-nima) dépassent fréquemment 40°C (30°C) durant cette période.

En lien direct avec ces considérations, les vagues de chaleur font l'objet d'études de plus en plus nombreuses, motivées par leur impact dramatique sur la santé (Fouillet *et al.* 2006) et par des projections climatiques alarmantes (Meehl et Tebaldi 2004). Cependant, ces travaux se sont jusqu'à présent essentiellement cantonnés à l'étude des vagues de chaleur sévissant aux latitudes tempérées; l'étude de Fontaine *et al.* (2013) est à ce titre une exception. De plus, les travaux existants se sont majoritairement concentrés sur la dynamique de ces phénomènes météorologiques, et non sur les processus physiques associés et leur contrôle sur les températures observées. Cependant, le contexte de grande échelle, même s'il est déterminant, ne peut à lui seul expliquer directement les températures de l'air observées en surface. Un objectif majeur de l'ANR ACASIS qui démarre en 2014, et **dans lequel s'inscrit le sujet proposé**, est de contribuer à combler ces différentes lacunes.

On notera d'ores et déjà que les **vagues de chaleur sahéliennes** se distinguent foncièrement des canicules des latitudes tempérées dans la mesure où ces dernières font intervenir des interactions fortes avec l'humidité du sol (Fischer *et al.* 2007). Au Sahel par contre, les vagues de chaleur printanières se développent sur des sols majoritairement secs (puisqu'elles occupent la fin de la saison sèche). De plus, les travaux récents réalisés sur cette région indiquent que la vapeur d'eau, les nuages et les poussières désertiques, en interaction avec les processus turbulents de couche limite, jouent un rôle prépondérant sur les températures observées à cette période, en particulier sur le contrôle des températures nocturnes (Guichard *et al.* 2009, Slingo *et al.* 2009, Bain *et al.* 2010, Bouniol *et al.* 2012, Gounou *et al.* 2012). On peut également s'attendre à des rétroactions positives induites par la dynamique de la couche limite diurne sur la température de l'air en surface. Ces différents travaux soulignent l'importance fondamentale des processus physiques sur le climat sahélien et les propriétés des vagues de chaleur sahéliennes.

L'objectif principal du stage est de fournir une **chronique détaillée des processus physiques associés à deux vagues de chaleur contrastées observées au Sahel** (cas d'étude) et d'évaluer la représentation de ces processus par le modèle de prévision ARPEGE et par les **réanalyses météorologiques** les plus récentes (réanalyses qui sont extensivement utilisées pour des études climatiques). L'objectif est ici d'analyser

comment les erreurs identifiées au niveau de la représentation des processus se répercutent sur les biais de température obtenus avec ces modèles. Par exemple, un mélange turbulent trop important dans la couche limite nocturne est susceptible d'induire un biais chaud à la surface, tandis qu'une sous-estimation de la couverture nuageuse nocturne peut conduire à un biais froid.

La première vague de chaleur étudiée, relativement modérée, s'étend sur les dix derniers jours du mois de juin 2006. Elle présente l'avantage d'être particulièrement bien documentée par les observations collectées lors de la campagne AMMA, à l'échelle locale (Gounou *et al.* 2012, Couvreur *et al.* 2013) comme à plus grande échelle, synoptique et intrasaisonnière (e.g. Janicot *et al.* 2008).

La seconde vague de chaleur s'est déroulée en mai 2010 et se caractérise par une durée et une intensité exceptionnelle. Cette période est également documentée par des données SYNOP et des sondages en complément des données de stations météorologiques automatiques du réseau AMMA-Catch). Le caractère exceptionnel de plusieurs événements météorologiques recensés en 2010 (Trenberth et Fasullo 2012) a suscité de nombreuses études documentant le contexte de grande échelle, mais aucune ne s'est penchée sur la canicule sahélienne majeure de 2010, par ailleurs largement commentée dans les médias africains.

Cette chronique des processus physiques comprendra l'analyse (i) des bilans énergétiques à la surface, de leur couplages avec les processus de couche limite et le flux de mousson (dont les premières incursions affectent profondément les températures nocturnes à cette période de l'année), (ii) des nuages, en particulier les nuages fins de mi-niveau qui occupent fréquemment le sommet de la couche saharienne et renforcent significativement le flux infra-rouge descendant à la surface (effet de serre), (Bouniol *et al.* 2012) et (iii) des aérosols désertiques, dont l'épaisseur optique atteint justement son maximum annuel au printemps.

La dynamique temporelle de ces processus au cours d'une vague de chaleur et leur rétroactions sur la température sont actuellement inconnues. En particulier, on ne sait pas comment les flux de surface et la couche limite convective évoluent d'un jour à l'autre au cours de ces épisodes, ni si les nuages et poussières désertiques accentuent ou, inversement, atténuent le réchauffement à la surface. On ne connaît pas non plus les caractéristiques diurnes et nocturnes de ces vagues de chaleur. De plus, on peut raisonnablement supposer qu'une représentation précise de ces extrêmes de température par les modèles de prévision et les réanalyses constitue un véritable défi. Par exemple, de nombreux travaux ont montré les difficultés actuelles des modèles de grande échelle à représenter correctement la couche limite nocturne, cette fine couche atmosphérique dont la dynamique joue un rôle essentiel sur le refroidissement nocturne en surface (e.g. Bain *et al.* 2009, Couvreur *et al.* 2013). De même, les nuages et les aérosols, via leur impact sur le bilan énergétique de surface, affectent profondément les températures diurnes.

Le travail proposé fournira des informations essentielles et entièrement nouvelles sur ces questions.

2) Méthodologie

La méthodologie envisagée repose sur l'utilisation (i) de jeux de données locaux (météo, flux, sondages...), permettant une analyse détaillée et une quantification des processus mis en jeu à une échelle locale, et (ii) de jeux de données moins complets mais documentant des échelles spatiales plus grandes (données SYNOP, satellitaires), permettant de qualifier la représentativité des résultats obtenus à l'échelle locale. Cette approche intégrant échelles locale à synoptique présente l'avantage de fournir des diagnostics appropriés pour évaluer les performances des modèles, ici des prévisions et réanalyses météorologiques (objet de la seconde partie du stage).

En pratique, à l'échelle locale, on utilisera les données documentant les sites AMMA-Catch étagés le long d'un gradient d'aridité ouest-africain (Lebel *et al.* 2009). On exploitera la complémentarité de ces jeux de données permettant de documenter conjointement le bilan énergétique à la surface (en particulier les flux radiatifs), la structure de la couche limite, le contenu en aérosols et les nuages.

Les données retenues sont:

- (a) celles fournies par les **stations météo automatiques** et **stations de flux** du réseau **AMMA-Catch** du Mali, Niger et Bénin (complétées par celles fournies par la **ARM Mobile Facity** installée à Niamey en 2006),
- (b) les **sondages** à haute résolution disponibles à proximité de ces sites (notamment ceux de Niamey, avec **huit sondages par jour** documentant la période du cas d'étude de 2006),
- (c) les données des photomètres du réseau **Aeronet** installés sur les sites AMMA-Catch et documentant les aérosols et leur impact radiatif,

(d) les **données satellitaires** (extraites sur les différents sites) et ARM de Niamey caractérisant la couverture nuageuse (radar et lidar ARM, données **CloudSat** et **Calipso**, classification nuageuse **MSG**, flux radiatifs).

Les flux radiatifs ciel clair préalablement calculés dans l'équipe avec le modèle de transfert radiatif **RRTM** (dans le cadre du projet EUCLIPSE) seront également utilisés afin d'obtenir une estimation de l'impact radiatif des nuages et des aérosols.

A plus grande échelle spatiale, pour la zone sahélienne, on utilisera les données **SYNOP** de température, d'humidité et de vent, ainsi que les données satellite documentant les nuages et les aérosols et présentées ci-dessus. On analysera également les estimations de la **température de surface** fournies par **MSG** et **MODIS**. Concernant ce dernier type de données, l'analyse bénéficiera des **collaborations** établies avec des chercheurs du **GET** et du **CEH**, spécialistes de ce type de données. Finalement, les résultats de l'expérience **ALMIP** (Boone *et al.* 2009) pourraient également s'avérer utiles pour le travail d'évaluation du bilan énergétique des modèles à la surface.

La caractérisation physique de la vague de chaleur obtenue servira de base d'évaluation de prévisions et réanalyses météorologiques. Nous retiendrons ici:

- a) les réanalyses les plus récentes, à savoir **ERA-Interim**, **MERRA** et **NCEP-CFSR**,
- b) la **réanalyse ECMWF AMMA** (Agusti-Panareda *et al.* 2010) pour le cas d'étude de 2006,
- c) les résultats du système de prévision de Météo-France **ARPEGE**, au moins pour le cas d'étude de 2010 dans la version utilisée pour le projet TIGGE.

Les différentes analyses feront intervenir l'utilisation de quelques outils statistiques, mais elles nécessiteront surtout de se familiariser avec les notions de bilan énergétique de surface et de couplage avec la dynamique turbulente de la couche limite et l'impact radiatif des nuages. On notera que la plupart des jeux de données (observations et modèles) présentés ci-dessus sont disponibles dans l'équipe d'accueil et sont régulièrement utilisés – et pour certains ont été préparés- par les encadrantes du stage. Des codes de lecture et visualisation de la majeure partie de ces jeux de données existent également, ce qui doit permettre un bon déroulement du stage.

3) Plan de travail indicatif (sur la base d'un stage de 5 mois)

Mois 1: Etude bibliographique sur le bilan énergétique de surface et les processus de couche limite en zone sahélienne et sur la définition des vagues de chaleur. Prise en main des outils logiciels, analyse des données locales (données des stations **AMMA-Catch**, **ARM**, sondages, photomètres) des deux cas d'étude.

Mois 2: Mise en perspective des données locales avec les données **SYNOP** et les cartes de températures de surface (**MODIS** et **MSG**) afin de déterminer la représentativité des résultats à une échelle synoptique.

Mois 3: Evaluation des réanalyses et interprétation des différences obtenues via une comparaison des bilans énergétiques de surface, des couches limites, et des impacts radiatifs des aérosols et nuages simulés.

Mois 4: Synthèse des résultats et identification des spécificités des vagues de chaleur étudiées par rapport à celles observées aux latitudes tempérées (on s'appuiera ici sur les résultats fournis dans la littérature).

Mois 5: Préparation du rapport de fin de stage et de l'examen oral.

4) Etat d'avancement, lien avec les autres activités du laboratoire

Les travaux sur le sujet proposé bénéficie grandement de l'expérience acquise par les encadrantes sur le climat sahélien et les processus physiques associés depuis près de dix ans, dans le cadre du programme **AMMA** et autres nouveaux projets, comme en attestent d'ailleurs leurs publications sur ce sujet. C'est d'ailleurs également le cas de l'équipe d'accueil (**GMME/MOANA**).

De plus, les deux thématiques ci-dessus sont au coeur de plusieurs projets dans lesquels sont fortement impliqués les encadrantes, pour la plupart en collaboration avec plusieurs groupes du laboratoire :

- l'ANR **ESCAPE** qui comporte un volet sur les spécificités climatiques du Sahel au printemps et sa représentation par les réanalyses et les modèles de climat,
- l'ANR **ACASIS** qui démarrera dans les prochains mois et se concentre précisément sur les vagues de chaleur au Sahel

- les projets européens EUCLIPSE et EMBRACE dans lesquels les contributions de l'équipe d'accueil concernent les processus physiques, leur représentation dans les modèles de grande échelle et la sensibilité des phénomènes de grande échelle à ces paramétrisations.

5) Références bibliographiques

- Agusti-Panareda A., A. Beljaars, M. Ahlgrimm, G. Balsamo, O. Bock, R. Forbes, A. Ghelli, **F. Guichard**, M. Köhler, R. Meynadier and J.-J. Morcrette, 2010: The ECMWF re-analysis for the AMMA observational campaign. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **136**, 1457–1472. doi: 10.1002/qj.662.
- Bain, C.L., D.J. Parker, C.M. Taylor, L. Kergoat et **F. Guichard**, 2010: Observations of the nocturnal boundary layer associated with the West African monsoon, *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3142–3156. doi: 10.1175/2010MWR3287.1
- Boone, A., P. de Rosnay, G. Balsamo, A. Beljaars, F. Chopin, B. Decharme, C. Delire, A. Ducharne, S. Gascoin, **F. Guichard**, Y. Gusev, P. Harris, L. Jarlan, L. Kergoat, E. Mougin, O. Nasonova, A. Norgaard, T. Orgeval, C. Ottlé, I. Pocard-Leclercq, J. Polcher, I. Sandholt, S. Saux-Picart, C.M. Taylor et Y. Xue, 2009: The AMMA Land Surface Model Intercomparison Project (ALMIP). *Bull. Atmos. Meteor. Soc.*, **90**, 1865–1880. doi: 10.1175/2009BAMS2786.1
- Bouniol, D., F. Couvreux**, P.-H. Kamsu-Tamo, M. Leplay, **F. Guichard**, F. Favot et E. O'Connor, 2012: Diurnal and seasonal cycles of cloud occurrences, types and radiative impact over West Africa. *J. Appli. Meteor. Climat.*, **46**, 1682-1698. doi: 10.1175/JAM2543.1
- Couvreux, F., F. Guichard**, A. Gounou, **D. Bouniol**, P. Peyrillé et M. Köhler, 2013: Modelling of the thermodynamical diurnal cycle in the lower atmosphere: a joint evaluation of four contrasted regimes in the Tropics over land. *Bound.-Lay. Meteorol.*, in press.
- Fischer, E. M., S. I. Seneviratne, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Schär, 2007: Soil moisture–atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *J. Climate*, **20**, 5081–5099. doi: 10.1175/JCLI4288.1
- Fouillet A., G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jouglu et D. Hémon, 2006: Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.*, **80**, 16-24. doi: 10.1007/s00420-006-0089-4
- Fontaine B., S. Janicot et P.-A. Monerie, 2013: Recent changes in air temperature, heat waves occurrences and atmospheric circulation in Northern Africa, *J. Geophys. Res.*, in press.
- Gounou, A., **F. Guichard** et **F. Couvreux**, 2012: Observations of diurnal cycles over a West African meridional transect: pre-monsoon and full-monsoon seasons. *Bound.-Lay. Meteorol.*, **144**, 329-357. doi: 10.1007/s10546-012-9723-8
- Guichard, F.**, L. Kergoat, E. Mougin, F. Timouk, F. Baup, P. Hiernaux et F. Lavenu, 2009: Surface thermodynamics and radiative budget in the Sahelian Gourma: seasonal and diurnal cycles, *J. Hydrology*, **375**, 161-177. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.09.007
- Guichard, F.**, L. Kergoat, E. Mougin et F. Hourdin, 2012: The annual cycle of temperature in the Sahel and its climatic sensitivity. AGU, GC33A 1004.
- Hourdin, F., I. Musat, **F. Guichard**, F. Favot, P. Marquet, A. Boone, J.-P. Lafore, J.-L. Redelsperger, P. Ruti, A. Dell' Aquila, T. Losada Doval, A. Khadre Traore et H. Gallee, 2010 : AMMA-Model Intercomparison Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 95–104. doi : 10.1175/2009BAMS2791.1
- Janicot, S., et Coauteurs, 2008: Large-scale overview of the summer monsoon over West Africa during the AMMA field experiment in 2006, *Ann. Geophys.*, **26**, 2569-2595, doi:10.5194/angeo-26-2569-2008
- Lebel, T., B. Cappelaere, S. Galle, N. Hanan, L. Kergoat, S. Levis, B. Vieux, L. Descroix, M. Gosset, E. Mougin, C. Peugeot et L. Seguis, 2009: AMMA-CATCH studies in the Sahelian region of West-Africa: an overview. *J. Hydrology*, **375**, 3-13. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.020
- Meehl G.A. et C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st Century. *Science*, **305**, 5686, 994-997. doi: 10.1126/science.1098704
- Roehrig, R., **D. Bouniol, F. Guichard**, F. Hourdin et J.-L. Redelsperger, 2013: The present and future of the West African monsoon: a process-oriented assessment of CMIP5 simulations along the AMMA transect. *J. Climate*. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00505.1
- Slingo, A., H.E. White, N.A. Bharmal, et G.J. Robinson, 2009: Overview of observations from the RADAGAST experiment in Niamey, Niger: 2. Radiative fluxes and divergences, *J. Geophys. Res.*, **114**, D00E04, doi:10.1029/2008JD010497
- Söhne, N., J.-P. Chaboureaud et **F. Guichard**, 2008: Verification of cloud cover forecast with satellite observation over West Africa, *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 4421–4434. doi: 10.1175/2008MWR2432.1
- Trenberth, K. E., et J. T. Fasullo, 2012: Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010, *J. Geophys. Res.*, **117**, D17103, doi:10.1029/2012JD018020

6) Prolongation en thèse

Sous réserve de financement, ce travail pourrait être poursuivi par une thèse axée sur la compréhension:

- (a) des mécanismes régissant le cycle annuel de la température en zone Sahélienne,
- (b) des couplages entre thermodynamique et énergétique mis en jeu,

- (c) de la sensibilité climatique de ce cycle annuel,
e.g. comment les printemps déjà extrêmement chauds ont-ils déjà et pourraient-ils évoluer au cours du prochain siècle et via quel rôle des variations de la vapeur d'eau
- (d) des répercussions potentielles de cette sensibilité sur la saison de mousson
i.e. pourrait-elle être retardée, avancée, voire raccourcie du fait des changements affectant la phase chaude du printemps

Ce sujet s'intègre idéalement dans les thématiques qui seront poursuivies au sein de l'équipe d'accueil dans les prochaines années (ANR ESCAPE, ANR ACASIS...) et permettrait de consolider et de poursuivre les travaux entamés depuis plusieurs années sur ce sujet au CNRM, et aussi en collaboration avec le GET et le l'IPSL (e.g. Guichard *et al.* 2009, Hourdin *et al.* 2010, Bouniol *et al.* 2012, Gounou *et al.* 2012, Guichard *et al.* 2012, Couvreur *et al.* 2013, Roehrig *et al.* 2013). L'implication d'autres groupes du CNRM sur ces questions, la dynamique des projets associés, sont également des atouts. Plus largement, ce sujet s'insère dans la thématique émergente des évolutions climatiques régionales tout en apportant un éclairage original sur les processus physiques impliqués.

La compréhension du cycle annuel nécessite d'adopter une approche qui, tout en se basant sur les nouvelles connaissances acquises sur les processus physiques mis en jeu, s'attachera à être plus quantitative, en particulier concernant l'impact radiatif des nuages et des aérosols, et ses répercussions sur la dynamique des couches limites nocturne et diurne ainsi que sur le bilan énergétique à la surface.

Le travail s'appuiera sur l'utilisation d'un jeu de modèles et simulations complémentaires, allant d'un modèle de transfert radiatif alimenté par des observations, un modèle d'atmosphère simple (typiquement colonne ou bidimensionnel) mais intégrant les paramétrisations physiques nécessaires à une analyse des couplages entre processus dominants, jusqu'aux simulations climatiques fournies par CMIP5.

Un premier résultat important issu de ce travail sera de fournir de nouveaux éléments sur l'importance des couplages entre le réchauffement observé au printemps et le champ de vapeur d'eau (via notamment les flux radiatifs infra-rouge incidents à la surface et les rétroactions associées sur la dynamique de la couche limite nocturne). Dans un second temps, ces résultats seront utilisés pour proposer de nouvelles méthodes de discrimination, basées sur des considérations physiques, pour évaluer la pertinence des scénarios fournis par les projections climatiques, scénarios actuellement très variés.

PRINCIPAUX ACRONYMES

ACASIS : Alerte aux Canicules Au Sahel et à leurs Impacts sur la Santé

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ARM : atmospheric radiation measurement

ARPEGE : Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle

CALIPSO : Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations

CATCH (de AMMA-CATCH): Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique

CMIP5 : Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

CNRM : Centre national de recherches météorologiques

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

ERA-Interim : ECMWF Re-Analysis

ESCAPE : Environmental and Social Changes in Africa: Past, present and futurE

EMBRACE: Earth system Model Bias Reduction and assessing Abrupt Climate change

EUCLIPSE : EU Cloud Intercomparison, Process Study & Evaluation Project

GAME : Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique

GMAP : Groupe de Modélisation et d'Assimilation pour la Prévision

GMGEC : Groupe de Météorologie de Grande Echelle et Climat

GMME : Groupe de Météorologie de Moyenne Echelle

MERRA : Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications

MOANA : MODélisation de l'Atmosphère Nuageuse et Analyse

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MSG : Meteosat Second Generation

NCEP-CFSR : National Centers for Environmental Prediction - Climate Forecast System Reanalysis

SYNOP : surface synoptic observations

TIGGE : THORPEX Interactive Grand Global Ensemble