

Projet ANR-06-VULN-007

IRCAAM

**Influence Réciproque des Climats d'Afrique de l'ouest,
du sud de l'Asie et du bassin Méditerranéen**

Programme VMC 2006

A IDENTIFICATION.....	2
B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC.....	2
B.1 Instructions pour les résumés consolidés publics.....	2
B.2 Résumé consolidé public en français.....	3
B.3 Résumé consolidé public en anglais.....	6
C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE.....	8
C.1 Résumé du mémoire.....	8
C.2 Enjeux et problématique, état de l'art.....	9
C.3 Approche scientifique et technique.....	10
C.4 Résultats obtenus.....	11
C.5 Exploitation des résultats.....	20
C.6 Discussion	20
C.7 Conclusions	22
C.8 Références.....	22
D LISTE DES LIVRABLES.....	24
E IMPACT DU PROJET.....	25
E.1 Indicateurs d'impact.....	25
E.2 Liste des publications et communications.....	26
E.3 Liste des éléments de valorisation.....	28
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	IRCAAM
Titre du projet	Influence Réciproque des Climats d'Afrique de l'ouest, du sud de l'Asie et du bassin Méditerranéen
Coordinateur du projet (société/organisme)	Hervé Douville Météo-France/CNRM
Période du projet	1/01/2007 – 30/06/2010
Site web du projet, le cas échéant	http://www.cnrm.meteo.fr/IRCAAM/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Hervé Douville
Téléphone	05 61 07 96 25
Adresse électronique	herve.douville@meteo.fr
Date de rédaction	30/07/2010

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Météo-France/CNRM (H. Douville) CERFACS (C. Cassou) LEGOS (N. Hall) LMD (L. Li) LOCEAN (S. Janicot)
---	---

B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RÉSUMÉS CONSOLIDÉS PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet :

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 1 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique oulet sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 2 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet (environ 600 caractères espaces compris)

Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ. Préciser aussi toute autre retombée : partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet (environ 500 caractères espaces compris)

Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration

Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Informations factuelles

Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »

B.2 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN FRANÇAIS

Mieux simuler les climats de mousson : quel enjeu pour la prévision climatique ?

1. Evaluation des téléconnexions liées aux moussons et de leur contribution à la variabilité climatique estivale dans l'hémisphère nord

Le projet IRCAAM a pour principal objectif de comprendre les mécanismes des téléconnexions associées au climat de mousson et de quantifier leur contribution à la variabilité climatique intra-saisonnière et inter-annuelle. Il s'agit notamment de déterminer quelles contraintes fait peser le climat de mousson Indien et/ou Ouest Africain sur l'autre région de mousson et/ou sur le bassin Méditerranéen, indépendamment ou non de tout forçage océanique. Plus généralement, l'influence de la circulation atmosphérique tropicale sur la variabilité estivale des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord est analysée, d'une part dans les observations et réanalyses disponibles sur la seconde moitié du 20^{ème} siècle, d'autre part dans des simulations climatiques dont la circulation tropicale peut être en partie « corrigée ». Au delà des mécanismes dynamiques qui sous-tendent ces téléconnexions, le rôle des rétroactions océaniques et continentales est également exploré. Enfin, les implications de ces travaux pour les scénarios climatiques et leurs incertitudes régionales sont brièvement abordées.

2. Le nudging en point de grille : une méthode originale pour évaluer l'impact d'erreurs régionales dans les modèles de climat

Outre l'analyse statistique des modes de variabilité observés en zones de mousson et des téléconnexions associées, le projet IRCAAM s'appuie sur des simulations atmosphériques globales guidées régionalement vers des ré-analyses dont on conserve tout ou partie de la variabilité temporelle. Ce guidage est effectué via la technique de nudging qui consiste à ajouter un terme de relaxation dans les équations pronostiques du vent horizontal, voire de la température et de l'humidité. Elle est ici testée, de manière coordonnée, à la fois dans le modèle ARPEGE-Climat et le modèle LMDZ. Des expériences similaires sont réalisées avec un modèle atmosphérique simplifié afin de mieux comprendre les téléconnexions observées et les faiblesses des téléconnexions simulées. Le rôle des rétroactions liées aux températures de surface de la mer (TSM) et à l'humidité du sol est ensuite exploré soit en couplant le modèle ARPEGE-Climat au modèle de circulation générale océanique NEMO transformé en mode « couche de mélange », soit en relaxant l'humidité du sol vers une climatologie « off-line » du modèle de surface ISBA.

3. Résultats majeurs & perspectives

- Mise en place et évaluation de la technique de nudging comme outil de compréhension des erreurs modèles et de la variabilité climatique.
- Confirmation de l'influence majeure des tropiques (et pas seulement de l'ENSO) sur la circulation atmosphérique extratropicale, y compris en été aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord.
- Confirmation de l'existence de précurseurs tropicaux aux canicules de l'été 2003 et du rôle amplificateur des rétroactions océaniques des moyennes latitudes et continentales.
- Confirmation du rôle majeur joué par la MJO dans les phases sèches et humides longues de la mousson d'été africaine.
- Perspectives : amélioration du couplage océan-atmosphère sous les tropiques, notamment via une évaluation fine des rétroactions nuageuses (projet européen EUCLIPSE), développement de stratégies statistico-dynamiques pour corriger les erreurs modèles de manière empirique dans les systèmes de prévision saisonnière, application du nudging à la compréhension des incertitudes dans les scénarios climatiques.

4. Production scientifique

La production scientifique n'est pas totalement achevée (articles soumis ou en préparation) mais devrait concerner la plupart des questions scientifiques abordées par IRCAAM. Les simulations réalisées dans le cadre de ce projet pourraient faire l'objet d'analyses supplémentaires, dans le cadre des projets AMMA2 (suite du projet AMMA sur la mousson Africaine) et HYMEX (focalisé sur la bassin Méditerranéen).

11 articles (dont 6 multi-partenaires)

16 conférences (dont 12 internationales)

Aucun brevet

5. Illustration

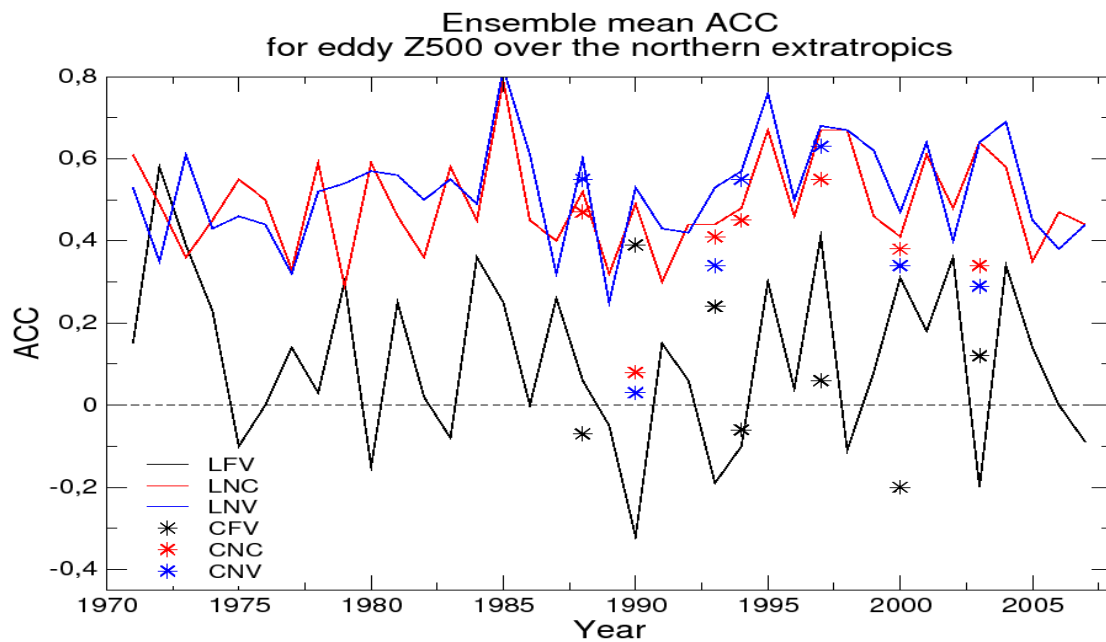


Figure : Corrélation spatiale (en ordonnées) entre les anomalies observées et simulées au nord de 25°N de la composante stationnaire (après retrait de la moyenne zonale) du géopotential à 500 hPa moyenné de Juin à Septembre pour chaque année comprise entre 1971 et 2008 (en abscisse). Les anomalies simulées correspondent à la moyenne d'ensemble de 10 intégrations pour le modèle LMDZ (trait continu) ou de 30 intégrations (mais seulement pour quelques étés) pour le modèle ARPEGE-Climat (symboles). Les expériences de contrôle (en noir) uniquement pilotées par les TSM observées) sont comparées avec les expériences guidées sous les tropiques, avec TSM observées (en bleu) ou climatologiques (en rouge). La composante stationnaire du géopotential à 500 hPa est un bon indicateur de la circulation atmosphérique des moyennes et hautes latitudes. Une corrélation nulle ou négative traduit l'absence de prévisibilité, alors qu'une corrélation égale à 1 traduit une prévisibilité maximale (anomalies extratropicales parfaitement reproduites par le modèle). Les résultats des deux modèles indiquent clairement que la connaissance des TSM ne suffit pas à prévoir les anomalies de circulation extratropicale et qu'une meilleure simulation de la réponse tropicale au forçage océanique permettrait d'améliorer sensiblement la prévision climatique en été aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord (et en particulier sur l'Europe).

6. Fiche d'identité du projet

Le projet IRCAAM (<http://www.cnrm.meteo.fr/ircaam/>) est un projet ANR VMC de recherche fondamentale coordonné par Hervé Douville (CNRM/GAME, herve.douville@meteo.fr). Outre cette unité mixte Météo-France/CNRS, il associe 4 autres laboratoires : le CERFACS et le LEGOS à Toulouse, le LMD et le LOCEAN à Paris. Les deux pôles de modélisation du climat, toulousain et parisien, sont donc représentés. Le projet a commencé en janvier 2007 et a duré 42 mois (extension de 6 mois suite à la notification tardive des crédits en 2007). Il a bénéficié d'une aide ANR de 280000 € pour un coût global de l'ordre de 1400000 €.

B.3 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN ANGLAIS

Suivre impérativement les instructions ci-dessus.

Can improved simulations of monsoon climates lead to improved predictions for the extratropical climate ?

1. Evaluation of teleconnections linked to monsoon circulations and their contribution to summertime variability in the northern hemisphere

The main objective of the IRCAAM project is to improve our understanding of the teleconnections associated with monsoon circulations and to quantify their contribution to intraseasonal and interannual variability. In particular we wish to investigate under which conditions the Indian or West African monsoons will influence other monsoon regions or the Mediterranean basin, independently of any external forcing from the ocean. More generally, we analyse the influence of the tropical circulation on the summertime variability in the northern hemisphere midlatitudes, both from observations and reanalyses from the second half of the twentieth century and from model simulations in which the tropical climate can be constrained by these observations. In addition to the basic dynamical mechanisms associated with these teleconnections, we also explore the role of land and ocean surface feedbacks. Finally, the implications of this work for simulations of climate change, and the associated regional uncertainties, will be briefly discussed.

2. Gridpoint nudging: an original method for evaluating the impact of regional errors in climate models

The IRCAAM project uses statistical analysis of observed modes of variability in monsoon regions, and global atmospheric simulations which are regionally guided towards reanalysis products, retaining all or some of their time variability. This is done via nudging, in which a relaxation term is added to the prognostic equations for horizontal wind, and possibly temperature and humidity. This method is tested jointly and as consistently as possible in the ARPEGE and LMDZ climate models. Similar experiments are performed with a simplified atmospheric model to better understand the nature of observed teleconnections and the errors in the simulations. The role of surface feedbacks with sea surface temperature (SST) and surface humidity is also explored either by coupling ARPEGE-Climat with an oceanic mixed layer or by relaxing soil moisture towards an off-line climatology of the ISBA land surface model.

3. Principal results and future plans

- Development and evaluation of the nudging technique as a means of understanding model errors and climate variability.
- Confirmation of the major influence of the tropics (and not only ENSO) on the extratropical circulation, including in the northern hemisphere midlatitudes in summer.
- Confirmation of the existence of tropical precursors to the 2003 summer drought and the amplifying role of feedback with the oceans and the continent.
- Confirmation of the major MJO influence on the dry and wet spells during the West African monsoon.

- Future plans: improving atmosphere-ocean coupling in the tropics, especially with a detailed evaluation of cloud feedbacks (EUCLIPSE project); development of statistical methods for empirical correction of model errors in seasonal predictions; application of nudging to understanding the uncertainties in climate change simulations.

4. Scientific production

The scientific production from the project is not yet complete (some articles are submitted or in preparation) but will reflect all the scientific questions posed during IRCAAM. The simulations performed during the project can be used for further analyses as a continuing contribution to projects such as AMMA2 (the follow-up project to AMMA on the African monsoon) and HYMEX (focusing on the Mediterranean basin).

11 articles (6 multi-partner).

16 conference presentations (12 international).

no patents.

5. Illustration

The figure (see section B.2) shows the spatial correlation (ordinates) between observed and simulated anomalies north of 25°N for the stationary wave component (i.e. zonal mean removed) of the 500 hPa geopotential from June to September for each year from 1971 to 2008 (abscissae). The simulated anomalies are from the ensemble means for LMDZ (solid line, 10 members) and ARPEGE-Climat (stars, 30 members for selected years). The control experiments (black) are only forced by observed time-varying SSTs, and are compared with tropically nudged simulations with (red) and without (blue) time-varying SSTs. The 500 hPa stationary waves are a good indicator of the atmospheric circulation at mid to high latitudes. A zero or negative correlation implies no predictability, and a correlation of 1 would be a perfect prediction for the extratropics. The results from the two models clearly show that knowing the SST is not sufficient to predict the extratropical circulation anomalies and that a better simulation of the tropical response to ocean forcing can on average help improve simulations of mid to high latitude northern hemisphere atmospheric flow in summer, especially in Europe.

6. Project specification

The IRCAAM project (<http://www.cnrm.meteo.fr/ircaam>) is an ANR VMC fundamental research project coordinated by Hervé Douville (CNRM/GAME, herve.douville@meteo.fr). In addition to Météo-France/CNRS, four other research laboratories are involved: CERFACS and LEGOS in Toulouse, and LMD and LOCEAN in Paris. The two major centres of climate modelling in France, Toulouse and Paris, are thus represented. The project started in January 2007 and ran for 42 months. The budget contribution of the ANR was € 280,000 for a total cost on the order of € 1,400,000.

C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE

Maximum 5 pages. On donne ci-dessous des indications sur le contenu possible du mémoire. Ce mémoire peut être accompagné de rapports annexes plus détaillés.

Le mémoire scientifique couvre la totalité de la durée du projet. Il doit présenter une synthèse auto-suffisante rappelant les objectifs, le travail réalisé et les résultats obtenus mis en perspective avec les attentes initiales et l'état de l'art. C'est un document d'un format semblable à celui des articles scientifiques ou des monographies. Il doit refléter le caractère collectif de l'effort fait par les partenaires au cours du projet. Le coordinateur prépare ce rapport sur la base des contributions de tous les partenaires. Une version préliminaire en est soumise à l'ANR pour la revue de fin de projet.

Un mémoire scientifique signalé comme confidentiel ne sera pas diffusé. Justifier brièvement la raison de la confidentialité demandée. Les mémoires non confidentiels seront susceptibles d'être diffusés par l'ANR, notamment via les archives ouvertes <http://hal.archives-ouvertes.fr>.

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

Le projet IRCAAM a pour principal objectif de comprendre les mécanismes des téléconnexions associées au climat de mousson et de quantifier leur contribution à la variabilité climatique intra-saisonnière et inter-annuelle. Il s'agit notamment de déterminer quelles contraintes fait peser le climat de mousson Indien et/ou Ouest Africain sur l'autre région de mousson et/ou sur le bassin Méditerranéen, indépendamment ou non de tout forçage océanique. Plus généralement, l'influence de la circulation atmosphérique tropicale sur la variabilité estivale des moyennes latitudes de l'Hémisphère Nord est analysée, d'une part dans les observations et réanalyses disponibles sur la seconde moitié du 20^{ème} siècle, d'autre part dans des simulations climatiques dont la circulation tropicale peut être en partie « corrigée ».

Pour ce faire, le projet IRCAAM s'appuie sur la technique de « nudging en point de grille » qui permet de guider régionalement un modèle atmosphérique global vers des ré-analyses (pseudo-observations) dont on conserve tout ou partie de la variabilité temporelle. Ce guidage consiste à ajouter un terme de relaxation dans les équations pronostiques du vent horizontal, voire de la température et de l'humidité. Il est ici testé, de manière coordonnée, à la fois dans le modèle ARPEGE-Climat et le modèle LMDZ. Des expériences similaires sont réalisées avec un modèle atmosphérique simplifié afin de mieux comprendre les téléconnexions observées et les faiblesses des téléconnexions simulées. Le rôle des rétroactions liées aux températures de surface de la mer et à l'humidité du sol est ensuite exploré soit en couplant le modèle ARPEGE-Climat au modèle NEMO où seule la physique verticale est conservée (couche de mélange océanique), soit en relaxant l'humidité du sol vers la climatologie du modèle de surface ISBA.

Les résultats obtenus montrent le rôle essentiel de la circulation atmosphérique tropicale comme courroie de transmission entre le forçage océanique tropical (dont la prévisibilité n'est pas ici étudiée mais a été amplement démontrée par de nombreuses études antérieures) et la variabilité

climatique extratropicale. Ils indiquent également que les températures de la mer extratropicales représentent une faible source de prévisibilité pour la circulation atmosphérique de grande échelle, mais sont susceptibles d'amplifier la réponse atmosphérique au forçage tropical de manière significative. Le rôle des anomalies d'humidité du sol, à la fois comme source de prévisibilité et d'amplification des signaux tropicaux, a également été suggéré par quelques études de cas. Un filtrage préalable des analyses vers lesquelles les modèles sont relaxés ne change guère les résultats, indiquant que le forçage tropical des moyennes et hautes latitudes réside essentiellement dans la bande de fréquences au delà de 25 jours, ce qui laisse ouverte la possibilité d'améliorer les scores de prévision saisonnière aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord via l'amélioration du couplage océan-atmosphère sous les tropiques.

Au sein des Tropiques, l'étude des interactions entre systèmes de mousson africaine et indienne a mis en évidence un forçage significatif de la mousson indienne sur les phases sèches et humides longues de la mousson africaine à l'échelle intra-saisonnière pilotée par la MJO. A l'inverse la mousson africaine ne montre pas d'impact significatif sur la mousson indienne à cette échelle de temps (à la différence de l'échelle interannuelle où cet impact existe, ce qui a été démontré récemment par ailleurs). On dispose ainsi d'un facteur de prévisibilité de la variabilité intra-saisonnière de la mousson africaine de l'ordre d'une quinzaine de jours.

C.2 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE, ÉTAT DE L'ART

Présenter les enjeux initiaux du projet, la problématique formulée par le projet, et l'état de l'art sur lequel il s'appuie. Présenter leurs éventuelles évolutions pendant la durée du projet (les apports propres au projet sont présentés en C.4).

Alors que les prémices d'un dérèglement climatique global lié aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre et d'aérosols se font de plus en plus clairs, il est encore bien difficile d'en cerner les conséquences régionales en raison des fortes incertitudes qui pèsent sur la modélisation climatique et sur notre compréhension de la variabilité naturelle du climat. Préciser les impacts régionaux du réchauffement global au cours des prochaines décennies nécessite notamment de mieux évaluer les principaux mécanismes de la variabilité atmosphérique naturelle, et les principales rétroactions climatiques liées aux océans et aux surfaces continentales. Améliorer nos connaissances dans ce domaine permettrait aussi de progresser en matière de prévision climatique de l'échelle intra-saisonnière à saisonnière, de manière à anticiper l'occurrence de certains événements climatiques extrêmes (canicules, inondations, sécheresses). Le principal objectif du projet IRCAAM est d'étudier la variabilité intra-saisonnière et interannuelle des climats de mousson Ouest Africain et Indien, et les téléconnexions associées aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord. Une attention particulière est portée sur l'Europe et le bassin Méditerranéen dont certaines études statistiques ou numériques suggèrent un lien privilégié avec les moussons.

Analyser et évaluer les téléconnexions tropiques-extratropiques simulées dans les modèles de circulation générale atmosphérique représente donc un enjeu important, à la fois pour la prévision climatique mensuelle à saisonnière et

pour les scénarios climatiques du 21^{ème} siècle. Jusqu'à présent, elles ont été essentiellement étudiées sur la base de simulations couplées océan-atmosphère ou forcées par des températures de surface de la mer observées. Nos propres analyses des simulations couplées CMIP3 qui ont servi de base au dernier rapport du GIEC confirment les études antérieures montrant la difficulté des modèles actuels à reproduire non seulement ces téléconnexions mais également les principales caractéristiques du climat tropical, aussi bien en terme d'état moyen (problème de la double ITCZ, difficulté à simuler correctement les précipitations de mousson) que de variabilité (ENSO, MJO, etc...). En mode forcé, certains aspects de la circulation atmosphérique tropicale sont naturellement améliorés mais les moussons et leur variabilité demeurent très perfectibles (notamment en raison du caractère empirique des paramétrisations physiques utilisées pour représenter la convection tropicale) et l'absence de couplage avec l'océan superficiel conduit à négliger certaines rétroactions potentiellement importantes. IRCAAM se propose de pallier ces deux problèmes, d'une part en guidant l'atmosphère tropicale des modèles ARPEGE-Climat et/ou LMDZ vers des analyses météorologiques, d'autre part en couplant le modèle ARPEGE-Climat à un modèle de couche de mélange océanique. Nous nous sommes ici limités à l'étude du climat estival dans l'hémisphère nord puisque c'est la saison des pluies dans les deux régions principales de mousson que sont le sud de l'Asie et l'Afrique de l'Ouest. C'est aussi la saison où les risques de sécheresse et de canicule sont à leur apogée aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord, en particulier autour du bassin Méditerranéen.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

La technique de guidage consiste à rappeler certaines variables historiques du modèle atmosphérique vers des analyses ou réanalyses du Centre Européen de Prévision à Moyen Terme (c'est à dire des prévisions à courte échéance corrigées de manière subtile grâce à de multiples observations alors assimilés) afin de le contraindre à suivre une trajectoire aussi réaliste que possible sur une région donnée du globe. Elle est ici appliquée au vent et à la température (voire à l'humidité dans le cas du modèle ARPEGE-Climat), soit sur l'ensemble de la ceinture tropicale, soit sur une sous-partie de ce domaine correspondant à une zone de mousson. Cette technique dite de « nudging en point de grille » est particulièrement flexible puisqu'elle permet d'une part de régler l'intensité du guidage en fonction de la variable et des coordonnées horizontales et verticale, d'autre part de filtrer la haute fréquence des analyses météorologiques de manière à mieux cerner la nature de l'influence tropicale sur les autres régions du globe.

L'importance des interactions océan-atmosphère est estimée dans IRCAAM via un couplage entre ARPEGE-Climat et le modèle de circulation générale océanique NEMO transformé en simple couche de mélange (NEMO1D par la suite). L'ensemble des processus d'échanges horizontaux (advection, diffusion latérale etc.) sont coupés dans NEMO1D qui se réduit alors à une juxtaposition de modèles colonne océaniques indépendants, où seule la physique verticale (mélange, vitesse verticale, échanges thermodynamiques via les flux et les stress de surface, hauteur de couche de mélange pronostique etc.) est résolue. Afin de conserver un état moyen climatique réaliste, une correction de flux (flux

de chaleur et flux d'eau) est appliquée au modèle couplé ; cette correction peut s'interpréter comme la plus simple des paramétrisations du transport de chaleur et de sel assuré par la circulation océanique absente par construction. Elle est calculée à partir d'une simulation d'ARPEGE forcée par les TSM observées. Cette correction de flux a l'avantage de contraindre l'état moyen du modèle couplé à celui des observations et ainsi de s'affranchir des dérives des modèles classiques (type AR4 par exemple) qui perturbent la variabilité à la fois dans sa structure spatiale et temporelle. La configuration NEMO1D est particulièrement adaptée aux études de la variabilité intra-saisonnière car elle assure l'équilibre et les échanges de flux à la surface qui expliquent une très grande part de la variabilité océanique à cette échelle de temps là aux moyennes et hautes latitudes. En revanche, elle ne l'est plus aux échelles plus longues (interannuelle à décennale) où le poids de l'advection océanique horizontale, ou bien encore des processus d'ondes équatoriales (associés à l'El Niño par exemple), devient primordial. La pertinence d'un tel couplage et l'importance des rétroactions océan-atmosphère sont illustrées dans IRCAAM sur un cas d'étude : l'été 2003.

C.4 RÉSULTATS OBTENUS

Positionner les résultats par rapports aux livrables du projet et aux publications, brevets etc. Revisiter l'état de l'art et les enjeux à la fin du projet.

- Livrable 1 & 2: Mise en œuvre du nudging dans les MCG

La mise en œuvre du nudging en point de grille dans les MCG ARPEGE-Climat (Déqué et al. 1994) et LMDZ (Hourdin et al. 2006) n'a pas posé de problème particulier, mais a fait l'objet de différents tests concernant les variables à nudger, l'intensité et le domaine de nudging. Deux nouveaux domaines de nudging (ceinture tropicale et Amérique centrale) ont été ajoutés par rapport à la proposition initiale qui ne concernait que les régions de mousson Africaine et sud-Asiatique. Conformément au projet soumis, le domaine Pacifique n'a pas été testé si bien qu'il n'est pas possible de tester l'additivité des réponses des différents sous-domaines tropicaux. Les tests réalisés ont conduit à privilégier une relaxation relativement forte pour la dynamique (composantes U et V du vent horizontal), et plus faible pour la température. L'humidité a également été nudgée dans le modèle ARPEGE, mais l'effet obtenu concerne essentiellement la zone nudgée elle-même plutôt que le reste du globe. Enfin, des tests ont été réalisés au CNRM dans lesquels les réanalyses vers lesquelles le modèle ARPEGE est relaxé ont été préalablement filtrées pour ne conserver que la basse fréquence (au delà de 25 jours). Bien que les résultats obtenus suggèrent que la haute fréquence tropicale a peu d'influence sur la variabilité extratropicale à l'échelle saisonnière, la volonté d'analyser aussi la réponse de la variabilité intra-saisonnière simulée sur l'Europe (régimes de temps) nous a conduit à réaliser la plupart des expériences en nudgeant les modèles vers les réanalyses brutes.

- Livrable 3: Couplage ARPEGE-Climat/NEMO1D

L'implémentation de la configuration NEMO1D, ainsi que son couplage avec ARPEGE, n'a pas posé de problème particulier, sauf pour le module de glace LIM inséré dans NEMO qu'il a fallu fortement brider du fait de l'absence d'advection océanique. Seule la thermodynamique de LIM est intégrée dans la configuration

NEMO1D, l'absence de dynamique de glace et d'océan nous conduisant à rappeler très fortement la hauteur de glace simulée à celle estimée dans les observations. Les échanges énergétiques et de flux d'eau sont alors tout sauf conservatifs et un rappel tridimensionnel en sel et en température aux hautes latitudes est introduit. L'estimation de la valeur de ces rappels a fait l'objet de nombreux tests.

Plusieurs simulations de validation ont été conduites. Nous montrons qu'une simulation d'au minimum 40 ans d'ARPEGE-Climat forcé par les TSM observées est nécessaire pour calculer les termes de corrections de flux de chaleur et de sel. L'application de ces termes dans des simulations couplées longues (réalisation de 2 membres de 50 ans) assure une stabilité de l'état moyen avec un écart par rapport aux observations de TSM d'au plus 1 degré. Notons que ces simulations ont été valorisées dans d'autres études fondamentales qui portaient sur le rôle du couplage océan-atmosphère sur la modélisation de l'oscillation de Madden-Julian en hiver dans ARPEGE-Climat.

L'activation de la configuration NEMO1D a été implémentée sous forme de clé de compilation dans l'environnement du modèle couplé standard CNRM-CM4. Cette configuration est actuellement reprise par le consortium NEMO qui assurera sa disponibilité dans les futures versions du code.

- Livrable 4 : Mise en oeuvre du nudging dans un modèle simplifié

In this deliverable, we summarise the technical aspects of implementation of nudging in a simplified model. The model in question is the spectral primitive equation model described by Hall (2000), and used for experiments where a fixed basic state responds to time independent forcing anomalies (see for example Hall, Derome and Lin, 2002). The IRCAAM project presented two new challenges: to implement the nudging technique, and to make the model conform to basic states provided by other GCMs. It was also necessary to repeat the preliminary work of the two GCM groups to establish which combination of variables was the most effective for nudging. Finally the theory of nudging in a linear framework had to be explored to produce linear results that were analogous to a full nudging experiment.

After specific developments associated with the adaptation of the nudging technique in grid space with a spectral model, testing of different variables for nudging was performed in the framework of nudging the entire domain. This of course leads to a perfect result for the nudged variable and the extent to which other variables come into balance and resemble the observed anomalies led to the conclusion that nudging of the temperature and the rotational component of the wind was essential. However, for consistency and for the best possible results it was decided to nudge the entire state vector, i.e. wind, temperature and surface pressure. Initial nudging experiments based on reanalyses provided an opportunity to work in an entirely consistent framework (the basic state and the nudging field coming from the same dataset), which was obviously not the case for the two GCM groups. Interestingly we came to similar conclusions overall: nudging the tropics improves midlatitude stationary waves, but not the zonal mean. We also had poor performance at high latitudes. Motivated by the desire to have additive results for different nudging regions, we developed a linear model. Achieving time-independent solutions from this model required some theoretical developments (since nudging is a time-developing forcing,

something we had not previously worked with). Crossed experiments using different datasets for nudging and basic states underlined the importance of consistency. It was necessary to work in terms of anomalies: for example, nudging an Arpege basic state with a field that is constructed from an Arpege climatology with an ERA40 anomaly added to it. Such experiments led to satisfying results that will be described in deliverable number 10. The technical advances in simple modelling during IRCAAM do not merit an article to themselves, but form part of an article in preparation.

- **Livrable 5 : Analyse des liens entre moussons Africaine et Asiatique**

Au sein des Tropiques, l'étude des interactions entre systèmes de mousson africaine et indienne était l'objectif principal du Livrable 6. Les travaux de Matthews (2004) avaient suggéré que l'Oscillation de Madden-Julian (MJO, Madden and Julian 1994) pouvait être responsable de modulations importantes de la convection d'été en Afrique à l'échelle intra-saisonnière. D'autre part des études spécifiques sur la variabilité intra-saisonnière de la convection de la mousson d'été africaine avaient mis en évidence deux échelles intra-saisonnières, «courte» et «longue» de périodicité autour de 15 jours et autour de 40 jours respectivement. Les travaux réalisés dans le Livrable 6, basés sur l'approfondissement des études diagnostiques et sur l'exploitation des simulations guidées sur l'Asie et sur l'Afrique ont permis de couvrir l'objectif affiché. On a mis en évidence un forçage significatif de la mousson indienne sur les phases sèches et humides de périodicité 40 jours de la mousson africaine pilotée par la MJO sur le secteur indien et transmis par des ondes équatoriales couplées à la convection de type Rossby. Ce forçage est particulièrement fort pour les phases sèches de la mousson africaine et en particulier la phase qui précède l'«onset» de la mousson africaine. A l'inverse la mousson africaine ne montre pas d'impact significatif sur la mousson indienne à ces échelles intra-saisonnières 15 et 40 jours (à la différence de l'échelle interannuelle où cet impact existe, ce qui a été démontré récemment par ailleurs). On dispose ainsi d'un facteur de prévisibilité de la variabilité intra-saisonnière «longue» de la mousson africaine de l'ordre d'une quinzaine de jours.

- **Livrable 6: Influence des moussons sur le bassin méditerranéen**

En ce qui concerne l'influence des moussons sur le climat du bassin Méditerranéen, nos simulations ont été conçues pour pouvoir étudier séparément l'effet des SST globales et de la circulation atmosphérique tropicale. En faisant du guidage (nudging) de la circulation tropicale vers ERA40, on prend cependant également en compte l'influence de la SST tropicale. Ainsi il nous est possible de faire une distinction entre la SST tropicale et la SST extratropicale. Nous avons utilisé deux indicateurs de « prévisibilité potentielle » du climat méditerranéen.

Le premier indicateur que nous utilisons - ACC (Anomalous Correlation Coefficient) - est le coefficient de corrélation spatiale entre la moyenne d'ensemble des simulations et l'observation pour les anomalies du géopotential à 500 mb. En l'absence de nudging tropical, le score ACC est pratiquement nul pour le bassin méditerranéen. La SST globale ne semble pas pouvoir fournir un score ACC utile pour la Méditerranée. Ceci est conforme à notre attente, car la

Méditerranée est très peu sensible au phénomène El Nino qui est la source principale de prévisibilité à l'échelle globale. Quand le nudging est activé dans la zone de mousson africaine, de mousson indienne et toute la ceinture tropicale, on obtient un score ACC de 0.45, 0.29 et 0.47 respectivement. Quand on ajoute la variabilité interannuelle de la SST, le score ne varie pas beaucoup, avec des valeurs à 0.47, 0.32 et 0.40 respectivement.

Le deuxième indicateur est le coefficient de corrélation temporelle. Les deux variables étudiées sont la température à 2 m et les précipitations sur les points de terre du bassin méditerranéen. L'observation est issue de la base de données compilée au CRU. Pour la température à 2 m, les trois coefficients de corrélation (Afrique, Indien et Tropic) sont de 0.55, 0.57 et 0.59. Ils augmentent à 0.73, 0.86 et 0.76 quand la SST est aussi prise en compte. Au niveau du taux de précipitation, l'activation du nudging donne un coefficient de corrélation à 0.81, 0.71 et 0.82. L'ajout de la SST diminue ces coefficients de corrélation à 0.74, 0.56 et 0.74 respectivement.

Cette diminution est un peu étonnante. Nous avons aussi partiellement constaté ce phénomène pour le score ACC sur le géopotential à 500 mb. Pour comprendre ce comportement particulier, il faut savoir que le nudging atmosphérique dans les régions tropicales prend automatiquement en compte l'effet de la SST tropicale et que l'ajout de la SST dans les simulations implique que l'effet de la SST extratropicale est ajouté. Ainsi on peut conclure que prescrire la SST extratropicale (y compris la Méditerranée elle-même) n'améliore pas la prévisibilité des précipitations autour du bassin méditerranéen. Ceci est cohérent avec les résultats du Livrable 8 et suggère que la SST extratropicale est, dans la nature, pilotée par la variabilité atmosphérique plutôt que l'inverse.

Notons enfin que les analyses en régimes de temps réalisées au CNRM sur les simulations ARPEGE-Climat suggèrent que si le nudging tropical permet d'améliorer le plus souvent la simulation des ondes stationnaires extratropicales en moyenne saisonnière, la fréquence des différents régimes de temps sur l'Europe et surtout leur chronologie (potentiellement pilotée par la haute fréquence du nudging tropical) ne sont pas pour autant améliorées de manière systématique.

- **Livrable 7 : Influence des tropiques sur les régions extratropicales**

Au delà de la réponse régionale obtenue sur le bassin Méditerranéen et l'Europe, une analyse plus générale de l'influence de la circulation atmosphérique tropicale sur la variabilité et la prévisibilité de la circulation extratropicale a été menée, en privilégiant l'hémisphère nord bien que les résultats obtenus soient encore plus spectaculaires dans l'hémisphère sud étant donné le caractère plus marqué des téléconnexions tropiques-extratropiques dans l'hémisphère d'hiver (Douville 2010b).

Dans un premier temps, l'impact positif du nudging sur la climatologie des ondes stationnaires a été montré via des expériences de référence couvrant l'ensemble de la période 1971-2000. Ensuite, des études de cas (30 ou 10 membres pour chaque saison) ont été réalisées concernant les étés 1988, 1990, 1993, 1994, 1997, 2000, 2003, 2006 marqués soit par de fortes anomalies

extratropicales, soit par des moussons atypiques étant donné le contexte océanique tropical. Elles ont généralement montré une influence majeure des anomalies atmosphériques tropicales sur les ondes stationnaires des moyennes latitudes de l'hémisphère nord (Douville et al. 2010c). L'amélioration du géopotential simulé à 500 hPa liée au nudging tropical est obtenue indépendamment du forçage océanique utilisé (TSM climatologiques ou observées). C'est notamment le cas pendant l'été de la canicule 2003 caractérisé par la présence d'un anticyclone stationnaire sur l'Europe de l'Ouest, comme l'indiquent les résultats du modèle LMDZ (Fig. 1). Ce résultat suggère que le forçage océanique global de la circulation atmosphérique extratropicale agit essentiellement via les téléconnexions atmosphériques entre les tropiques et les moyennes latitudes.

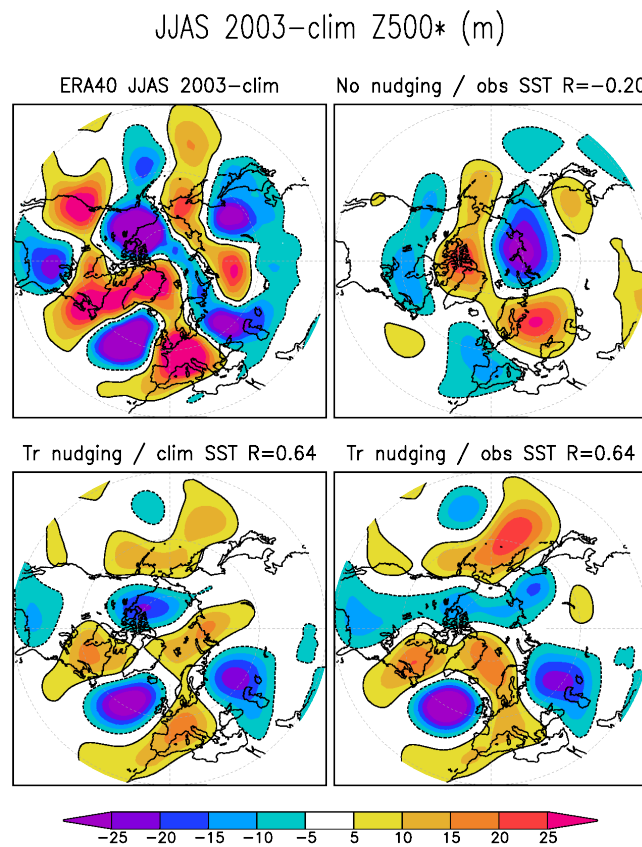


Fig 1: Observed (ECMWF data) and ensemble mean (10 members) simulated anomalies of JJAS mean Z500 (500 hPa geopotential height) relative to the 1971-2000 climatology. Three experiments are compared based on the LMDZ model: control with observed SST (upper right), tropical nudging with observed SST (bottom right) and tropical nudging with climatological SST (bottom left). R denotes the correlation between observed and simulated anomalies. Note that only the eddy component of Z500 anomalies is plotted in order to get rid of the global warming signal and really focus on interannual variability.

Enfin, le modèle LMDZ a été testé en mode nudgé sur l'ensemble de la période 1971-2008 (10 membres pour chaque saison), confirmant les résultats des études de cas et renforçant ainsi la conclusion selon laquelle l'amélioration de la prévision saisonnière extratropicale (y compris en été dans l'hémisphère nord) passe en grande partie par une amélioration de la réponse de l'atmosphère tropicale au forçage océanique et/ou du couplage océan-atmosphère sous les Tropiques (Fig. 2). Ces résultats font l'objet d'un second article en préparation.

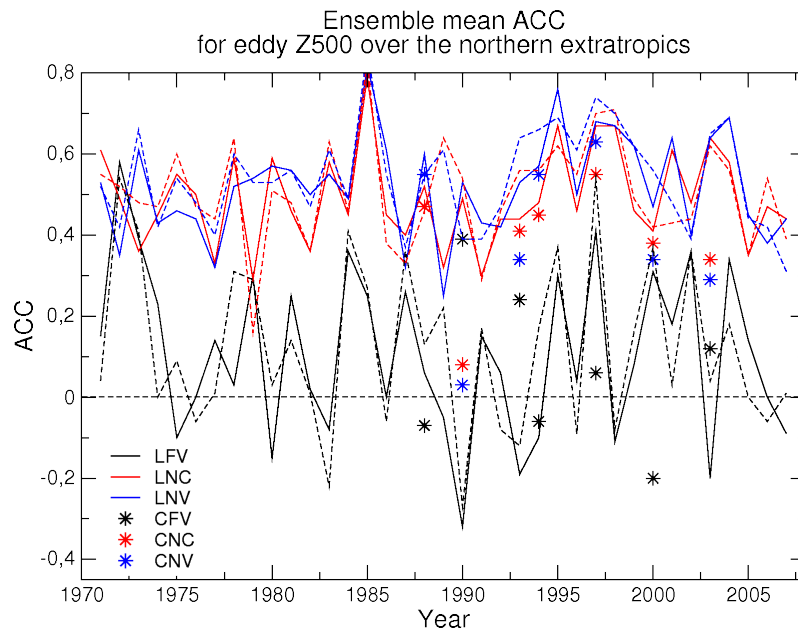


Fig 2: Anomaly Correlation Coefficient (y-axis) between observed (ECMWF data) and ensemble mean (10 members for LMDZ as solid line and 30 members for ARPEGE-Climat as stars) simulated anomalies of JJAS mean Z500 eddy component relative to the 1971-2000 climatology for each summer season between 1971 and 2008 (x-axis). Three types of experiments are compared : control with observed SST (in black), tropical nudging with observed SST (in blue) and tropical nudging with climatological SST (in red).

Cette conclusion doit toutefois être tempérée. D'une part, le rôle des TSM extratropicales n'est pas négligeable (cf. Livrable 8). D'autre part, l'hydrologie continentale peut également moduler, si ce n'est dominer, le forçage tropical à l'échelle régionale. Certaines expériences complémentaires ont en effet été réalisées au CNRM, consistant à nudger globalement (y compris en dehors des tropiques) l'humidité du sol vers une réanalyse indépendante (climatologie off-line du modèle de surface ISBA). Elles confortent les conclusions des études déjà menées sur ce thème au CNRM (Douville et Chauvin 2000, Conil et al. 2008, Douville 2010a) selon lesquelles l'initialisation des sols est susceptible de jouer un rôle important en cas d'anomalies suffisamment fortes et étendues, notamment pendant les étés 1988 et 1993 sur l'Amérique du Nord ou l'été 2003 sur l'Europe (Ferranti et al. 2006).

- Livrable 8: Rétroactions des températures de surface de la mer

Les TSMs des moyennes latitudes sont souvent considérées comme « passives », répondant principalement aux forçages atmosphériques de surface aux échelles intra-saisonnières. Grâce au couplage avec NEMO1D et au nudging tropical, nous confirmons sur le cas de l'été 2003 que, en effet, les TSMs Nord Atlantique ne sont pas « motrices » dans la mise en place des anomalies de circulation atmosphérique, celles-ci étant pilotées principalement par la dynamique tropicale via téléconnexions (Cf. livrables précédents). En revanche, nous montrons qu'elles jouent un rôle amplificateur non négligeable en particulier sur l'est du bassin Atlantique et sur les anomalies continentales sur l'Europe à la fois en température et précipitation. Le couplage océan-atmosphère interactif conduit sur l'Europe occidentale à des anomalies chaudes deux fois plus

fortes qu'en mode forcé en réponse au forçage tropical. Les sources de l'amplification sont de nature thermodynamique par l'advection en basse-couche d'humidité provenant de l'océan (humidité renforcée dans le cas couplé par les échanges air-mer et les anomalies de TSM simulées par NEMO1D) qui conduit à un effet de serre local plus fort sur l'Europe. Elles sont aussi de nature dynamique avec un renforcement des conditions anticycloniques sur l'Europe conduisant à une diminution de nébulosité et une advection d'air chaud et sec de Sud/Sud-Ouest sur toute la colonne atmosphérique au dessus du continent.

La comparaison des expériences couplées avec NEMO1D et des expériences de type AMIP que nous avons aussi conduites (anomalies de TSMs observées prescrites dans ARPEGE-Climat), montre toutes les limites de cette dernière configuration. Il est évident que, par construction, les conditions sont chaudes sur le continent européen en 2003 en mode AMIP par simple étalement des très fortes anomalies positives de TSMs imposées dans le modèle. En revanche, la physique (précipitation, flux radiatifs et turbulents, nébulosité etc.) associée en mode AMIP à ces anomalies chaudes est fautive, les anomalies de température étant concomitantes avec un excès de nuage, de pluies convectives etc., en opposition totale avec les observations et les résultats de la configuration couplée qui s'y rapprochent. Nos analyses prennent ainsi à défaut un certain nombre d'études récentes qui suggèrent le rôle primordial des anomalies de TSMs de 2003 sur l'occurrence des conditions extrêmes sur l'Europe. Nous montrons que l'océan extratropical est bien passif dans la genèse des anomalies de circulation atmosphérique mais qu'il contribue à la renforcer de façon significative. Cette conclusion constitue un message fort dans le choix et les techniques de validation des modèles, mais aussi dans un cadre de prévision mensuelle à saisonnière, et de compréhension des mécanismes de variabilité aux échelles de temps courtes.

- **Livrable 9: Interprétation dynamique des téléconnexions**

In this deliverable, we summarise the scientific results from the simplified model, using the technical developments described in deliverable 4. The main technique was to perform nudged integrations with the simple model allowing linear anomalies to grow and converge towards time independent solutions around fixed basic states. These basic states were derived from summer climatologies from NCEP2, ERA40, Arpege and LMDZ, the two former being reanalysis products and the latter being long term mean states from climatological GCM simulations.

To provide a range of results for differing basic states, we concentrated on five summers: 1990, 1994, 1997, 2000 and 2003. In each case the main experiment was to nudge in the tropical zone, as defined in the general IRCAAM protocol. The IRCAAM sub-regions were also explored: Africa, Asia and Central America, the linear solutions from the sub-regions being additive to one another but not a complete set for the tropical influence because the tropical pacific is excluded by design. Fig. 3 shows an example from 2000, where it is clear that a large part of the extratropical anomaly results from the African monsoon region, although the solution over North America emanates from Central America. It is also clear from Fig. 3 that although the midlatitude stationary wave component is

simulated with some success there are large signals in high latitudes that are not reproduced in the nudging experiment. This result is general for all basic states.

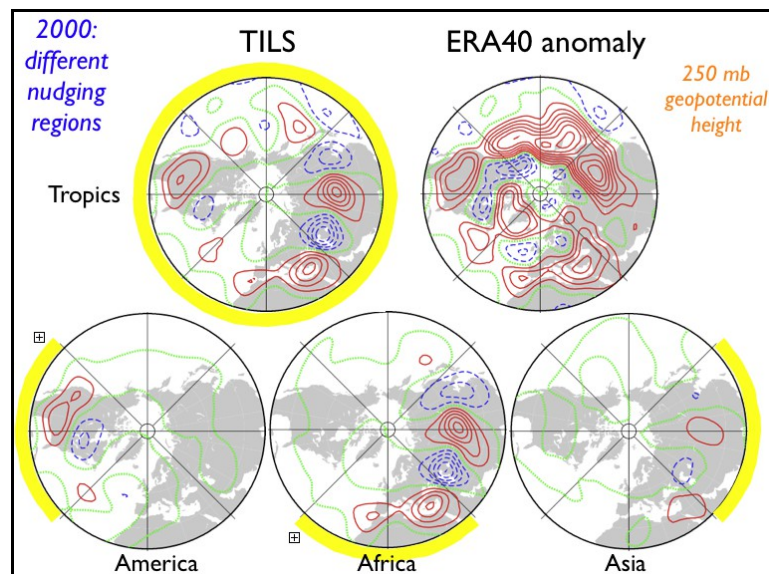


Fig 3: Observed anomaly and time independent linear solutions for 500 hPa geopotential height using ERA40 JJAS basic state and nudging towards ERA40 JJAS 2000 in the tropical zones marked in yellow.

Experiments with tropical nudging were performed for basic states taken from GCM integrations. As explained in deliverable 4, the basic states need to be in balance with the fields used to provide the nudging, and imbalances are especially important between reanalysis products and GCM-generated fields. The solution was to follow an anomaly approach in which for a given basic state, the nudging field is constructed from that basic state plus the anomaly from a given year. The results for tropical nudging for all basic states for all five years using this approach are shown in Fig. 4. We see that once the inconsistencies between the model basic states and the nudging climatology are resolved (you can think of this as the mean effect of nudging, which is also removed in the GCM-based IRCAAM experimental protocol) the results for the different basic states are remarkably similar. There are varying degrees of success from one year to another but the phase of the midlatitude stationary wave response is generally correct, and in all cases the high latitude response is weak compared to the observed anomaly.

In summary, the following conclusions can be drawn from the idealised nudging experiments:

- Nudging in the tropics provides anomalies in the midlatitudes with the right phase in the stationary waves. This can be explained by linear dynamics and is observed in time-independent solutions.
- Time independent linear solutions are not successful in accounting for zonal mean anomalies (a fault which is also seen in full GCM experiments).
- Neither can they account for the amplitude of the anomaly in high latitudes.
- Provided consistent nudging fields are used (i.e. the systematic effect of nudging is removed) there is relatively little sensitivity to changes in basic state for the response to nudging in a given summer. It appears that a correct

representation of the tropics may be more important than a midlatitude circulation that is free of large systematic errors. An article is in preparation that presents these results together with the methodology described in deliverable 4.

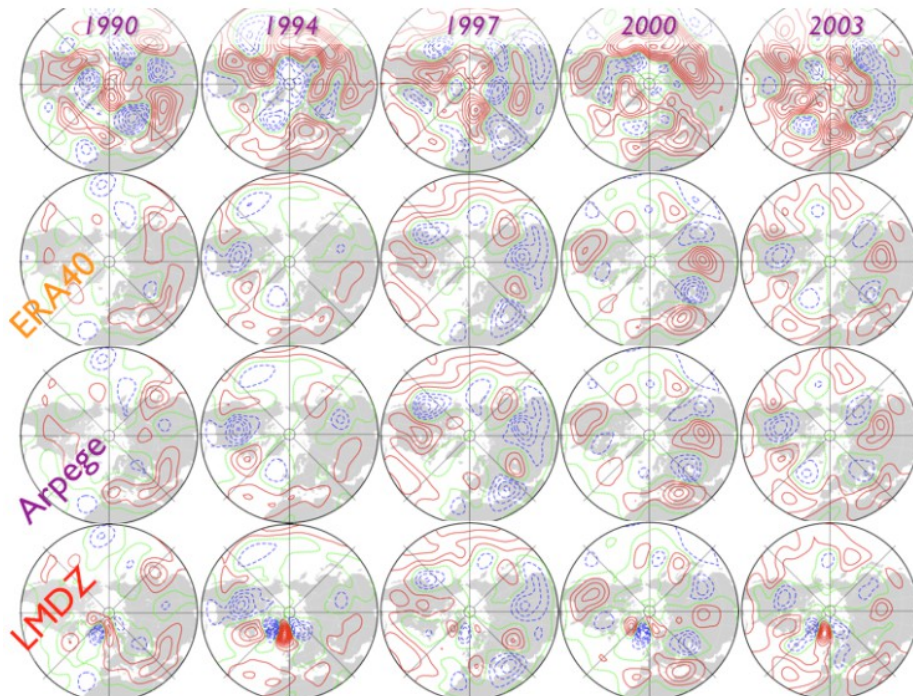


Fig. 4: Observed anomaly and time independent linear solutions for 500 hPa geopotential height for tropical nudging for four different basic states and five separate summer seasons.

- **Livrable 10: Téléconnexions dans les simulations CMIP3**

L'analyse des téléconnexions moussons-Méditerranée dans les simulations CMIP3 a été effectuée en début de projet mais n'a pas donné lieu à une publication dans la mesure où, sans surprise, de nombreux modèles s'avèrent incapables de reproduire les liens statistiques mis en évidence à partir des observations (e.g. Raicich et al. 2003). Plusieurs raisons peuvent expliquer ce résultat relativement décevant. D'une part, la simulation des climats de mousson reste entachée de nombreuses erreurs aussi bien en terme d'état moyen que de variabilité dans la plupart des modèles couplés. En particulier, les téléconnexions ENSO-mousson demeurent peu réalistes dans de nombreux modèles (Joly et al. 2007). D'autre part, les relations statistiques observées ne sont pas stationnaires et ne reflètent pas nécessairement et/ou uniquement une influence directe de la mousson asiatique ou africaine sur le bassin Méditerranéen puisqu'elles semblent en partie influencées par l'ENSO (plus ou moins bien simulé dans les modèles CMIP3). Il est donc indispensable d'avoir recours au laboratoire numérique et à des expériences idéalisées telles que celles imaginées dans le cadre du projet IRCAAM pour mieux comprendre les téléconnexions tropiques-extratropiques et tenter d'isoler la contribution des climats de mousson à la variabilité extratropicale.

- Livrable 11: Atelier final

L'atelier final du projet IRCAAM s'est tenu au Centre International de Conférence (Toulouse) le 31 Mai 2010 à la veille d'une conférence nationale sur la prévisibilité tropicale. Il a réuni une trentaine de participants dont la plupart des chercheurs impliqués dans le projet IRCAAM qui ont présenté leurs principaux résultats.

C.5 EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Ces résultats ont principalement fait l'objet d'articles (11) et de communications (16). Bien qu'ils ne puissent pas immédiatement se traduire par des applications, ils représentent une pierre de plus à l'édifice de recherche qui tend à montrer que l'amélioration des scores de prévision saisonnière (et la réduction des incertitudes dans les scénarios climatiques) sur les régions de mousson ainsi qu'aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord passe en partie par une meilleure simulation de la circulation atmosphérique tropicale et notamment du forçage diabatique liée à la convection profonde. Dans la discussion qui suit, certaines pistes sont suggérées pour concrétiser ce potentiel.

C.6 DISCUSSION

Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.

La plupart des objectifs techniques et scientifiques du projet IRCAAM ont été atteints. Comme prévu la technique de nudging en point de grille sur domaine limité a été mise en œuvre dans les deux MCG atmosphériques du CNRM et du LMD, ainsi que dans le modèle simplifié du LEGOS. Par ailleurs, le couplage d'ARPEGE-Climat avec une version 1D du MCG océanique NEMO a également été réalisé au CERFACS, même si l'impact de ce couplage océanique n'a pu être évalué que sur l'été 2003.

Concernant le nudging atmosphérique, et malgré les nombreux tests de sensibilité déjà réalisés, certaines questions restent en suspend quant au réglage de cette technique. On peut notamment se demander s'il n'aurait pas suffi de nudger la composante rotationnelle du vent pour obtenir l'essentiel de l'effet désiré et quelle est la contribution supplémentaire de la composante divergente du vent et/ou de la température. Le choix des domaines est également en partie arbitraire et on peut se demander s'il est judicieux de ne pas associer la « warm pool » (c'est à dire l'ouest du Pacifique Tropical) au domaine sud-Asiatique. Tester également un domaine Pacifique complémentaire des 3 autres sous-domaines tropicaux aurait par ailleurs permis de tester l'additivité des réponses extratropicales aux différents forçages tropicaux. Enfin, il serait intéressant d'appliquer ce protocole expérimental à d'autres MCG atmosphériques et d'organiser une inter-comparaison de ce type d'expériences au niveau international afin de tester la robustesse des résultats obtenus ici, puis d'élargir ces tests aux modèles couplés océan-atmosphère.

Concernant l'analyse des liens entre moussons Africaine et Indienne, les principaux objectifs du livrable 5 ont été atteints. Les perspectives ouvertes par IRCAAM pourraient consister à transférer les résultats obtenus sur la prévisibilité potentielle des phases intra-saisonnières «longues» de la mousson africaine à l'ACMAD et à évaluer en temps réel dans un contexte opérationnel cette prévisibilité. Il a été démontré par ailleurs que ces phases «longues» ont un impact significatif sur les rendements des cultures comme le mil. Ce résultat pourrait donc avoir un impact sociétal important.

L'analyse des liens tropiques-extratropiques a également été fructueuse et a conforté notre conviction qu'il reste d'importantes marges de manœuvre pour améliorer les scores de prévision saisonnière dans les régions extratropicales. Cela ne signifie pas que le chemin ne soit pas encore long et semé d'embûches. L'amélioration du couplage océan-atmosphère sous les tropiques et de la réponse atmosphérique au forçage tropical reste un défi difficile à relever pour les modélisateurs du climat malgré les progrès réguliers mis en évidence par les différentes phases du projet d'inter-comparaison CMIP et les différents projets d'évaluation des prévisions saisonnières dynamiques. A plus court-terme, des solutions hybrides statistico-dynamique pourraient être imaginées, le projet IRCAAM suggérant que les modèles dynamiques sont capables de « propager » les signaux tropicaux vers les moyennes latitudes une fois ceux-ci correctement simulés. Utiliser la technique de nudging afin de contrecarrer certains biais systématiques sous les tropiques pourrait donc s'avérer utile pour améliorer de manière empirique les scores de prévision notamment sur l'Europe. Au delà de l'échelle saisonnière, de nombreuses analyses ont été effectuées au cours du projet IRCAAM sur la variabilité intra-saisonnière des régimes de temps simulés sur l'Europe. Bien que les résultats obtenus semblent moins concluants que les analyses statistiques effectuées sur la saison hivernale par Cassou (2008), ces analyses mériteraient d'être approfondies afin d'étudier la possibilité de repousser les limites de la prévision déterministe sur l'Europe.

Concernant les mécanismes liés aux téléconnexions tropiques-extratropiques, la plupart des objectifs fixés par IRCAAM ont été atteints. Du point de vue dynamique, l'utilisation d'un modèle atmosphérique simplifié a permis d'aller plus loin dans l'interprétation des résultats. Beyond the experiments and results described in deliverable 9, separate experiments in a nonlinear regime with the simplified atmospheric model show that stationary nonlinearity (the time-independent self interaction of the anomaly) is negligible. The relative discrepancy with the results of the full GCMs therefore probably lies in the transient part of the solution, which is also nonlinear, and is present in the GCM experiments but not in the simple model. Implementation of these effects in the simple model is possible, but further technical advances would be required in order to retain the close comparison with the GCM-derived basic states, which is the key point of the experiment.

Le rôle des rétroactions continentales et océaniques a également été abordé, mais aurait mérité d'être élargi à de plus nombreuses études de cas voire systématisé. Néanmoins les premiers résultats obtenus suggèrent non seulement des rétroactions positives permettant d'amplifier la réponse extratropicale au forçage tropical, mais également l'existence de forçages extratropicaux en surface aussi bien sur continent, en présence de fortes

anomalies d'humidité du sol à la fin du printemps, que sur océan, notamment via l'advection d'anomalies de température et d'humidité sur les continents.

C.7 CONCLUSIONS

Le projet IRCAAM était relativement ambitieux et novateur de par le nombre et l'originalité des expériences numériques à réaliser. La faisabilité et l'intérêt de la technique de nudging régional en point de grille ont été démontrés et cette technique devrait pouvoir être étendue à d'autres thématiques de recherche, voire appliquée à d'autres modèles dans le cadre d'un projet d'intercomparaison européen ou international.

Les résultats obtenus lors du projet IRCAAM ont d'ores et déjà permis de confirmer le rôle primordial des anomalies de circulation atmosphérique tropicale liées à la variabilité des climats de mousson pour simuler correctement la variabilité extratropicale en été aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord, et en particulier sur le bassin Méditerranéen. Pour la première fois, le gain potentiel (i.e. maximal) de prévisibilité a pu être quantifié, non seulement sur quelques études de cas mais également de manière plus systématique sur une période de près de 40 ans. L'influence de la variabilité intra-saisonnière de la mousson Indienne sur la mousson Africaine a également été confirmée et sa causalité pour la première fois étayée par des expériences numériques.

Ces résultats devraient donc permettre de guider de futurs travaux sur le développement des modèles et l'amélioration des techniques de prévision à longue échéance (de 15 jours à quelques mois). Les retombées en terme de réduction des incertitudes dans les scénarios climatiques du 21^{ème} siècle sont moins immédiates, mais la technique de nudging (relaxation vers un autre modèle plutôt que vers des réanalyses) pourrait aussi s'avérer utile pour mieux comprendre l'origine de telles incertitudes.

C.8 RÉFÉRENCES

- Bielli S., H. Douville, B. Pohl (2010) Understanding the West African monsoon variability and its remote effects: an illustration of the grid point nudging methodology. *Climate Dyn.*, 35, 159-174, doi:10.1007/s00382-009-0667-8.
- Cassou C., L. Terray, A.S. Phillips (2005) Tropical Atlantic influence on European heat waves. *J. Climate*, 18; 2805-2811.
- Cassou C. (2008) Intraseasonal interaction between the Madden-Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 455, 523-527.
- Conil S., H. Douville, S. Tyteca (2008) Contribution of realistic soil moisture initial conditions to boreal summer predictability. *Climate Dyn.*, 32, 75-93, doi:10.1007/s00382-008-0375-9.
- Déqué M., C. Drevet, A. Braun, D. Cariolle (1994) The ARPEGE/IFS atmosphere model : A contribution to the French climate modelling community. *Climate Dyn.*, 10, 249-266.
- Douville H., F. Chauvin (2000): Relevance of soil moisture for seasonal climate predictions: a preliminary study. *Climate Dyn.*, 16, 719-736.
- Douville H. (2010a) Relative contributions of soil and snow hydrology to seasonal climate predictability: a pilot study. *Climate Dyn.*, 34, 797-818, doi: 10.1007/s00382-008-0508-1.
- Douville H. (2010b) Relative influence of the tropical troposphere and extratropical stratosphere on Northern Hemisphere winter climate variability. *WGNE Blue Book*, 2pp, <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/wgne/>.

- Douville H., S. Bielli, C. Cassou, M. Déqué, N. Hall, S. Tyteca, A. Voldoire (2010) Tropical influence on boreal summer mid-latitude stationary waves. *Climate Dyn.* (en révision)
- Ferranti L., P. Viterbo (2006) The European summer of 2003: sensitivity to soil water initial conditions. *J. Climate*, 19, 3659-3680.
- Hall, N.M.J., 2000: A simple GCM based on dry dynamics and constant forcing. *J. Atmos. Sci.*, 57, 1557-1572.
- Hall N.M.J., J. Derome and H. Lin (2001a) The extratropical signal generated by a midlatitude SST anomaly. Part 1: Sensitivity at equilibrium. *J. Climate*, 14, 2035-2053.
- Hall N.M.J., H. Lin and J. Derome (2001b) The extratropical signal generated by a midlatitude SST anomaly. Part 2: Influence on seasonal forecasts. *J. Climate*, 14, 2696-2709.
- Hourdin F. et al. (2006) The LMDZ4 general circulation model: climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. *Climate Dyn.* (in press)
- Joly M., A. Voldoire, H. Douville, P. Terray, J-F. Royer (2007) African monsoon teleconnections with tropical SSTs in a set of IPCC4 coupled models. *Climate Dyn.*, 29, 1-20. doi: 10.1007/s00382-006-0215-8.
- Madden R.A., P.R. Julian (1994) Observations of the 40-50 day tropical oscillation – a review. *Monthly Weather Rev.*, 122, 814-837.
- Matthews A.J. (2004) Intraseasonal variability over tropical Africa during northern summer. *J. Climate*, 17, 2427-2440.
- Raicich F. et al. (2003) Teleconnections between Indian monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean. *Int. J. Climatol.*, 23, 173-186.

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
	1	Mise en oeuvre du nudging dans le modèle ARPEGE	Logiciel + données	CNRM	
	2	Mise en oeuvre du nudging dans le modèle LMDZ	Logiciel + données	LMD	
	3	Couplage ARPEGE-Climat/NEMO1D	Logiciel + données	CERFACS	
	4	Mise en oeuvre du nudging dans un modèle simplifié	Logiciel + données	LEGOS	
	5	Analyse des liens entre moussons Africaine et Asiatique	Articles	LOCEAN, CNRM, LMD	
	6	Analyse des liens entre moussons et bassin méditerranéen	Rapport ou article ?	LMD, CNRM, LEGOS	
	7	Analyse de l'influence des tropiques sur les régions extratropicales	Articles	CNRM, CERFACS, LEGOS, LMD	
	8	Analyse des rétroactions des températures de surface de la mer	Article	CERFACS, CNRM	
	9	Interprétation dynamique des téléconnexions	Article	LEGOS, CNRM, LMD	
	10	Analyse des téléconnexions dans les simulations CMIP3	Rapport	CNRM, CERFACS, LMD, LOCEAN	
	11	Atelier final	Conférence	Tous	

E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

Comptabiliser séparément les actions monopartenaies, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaies résultant d'un travail en commun.

Attention : éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).

		Publications multipartenaies	Publications monopartenaies
International	Revue à comité de lecture	6	5
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	1
	Communications (conférence)	3	9
France	Revue à comité de lecture	0	0
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	0
	Communications (conférence)	1	3
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	1	0
	Conférences vulgarisation	0	0
	Autres		

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	0
Brevet internationaux en cours d'obtention	0
Brevets nationaux obtenus	0
Brevet nationaux en cours d'obtention	0
Licences d'exploitation (obtention / cession)	0
Créations d'entreprises ou essaimage	0
Nouveaux projets collaboratifs	0
Colloques scientifiques	1, Atelier de clôture, Toulouse, 31 Mai 2010
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Articles multipartenaires :

- Bielli. S., C. Cassou, H. Douville (2010) Influence of tropical circulation on the summer 2003 heat wave over Europe. J. Clim. ou Clim. Dyn. ([en préparation](#))
- Douville H., S. Bielli, C. Cassou, M. Déqué, N. Hall, S. Tyteca, A. Voldoire (2010) Tropical influence on boreal summer mid-latitude stationary waves. Clim. Dyn. ([en révision](#))
- Douville H., S. Bielli, L. Li (2010) Boreal summer stationary wave variability: Assessment of tropical forcing in two atmospheric GCMs. Geophys. Res. Lett. ([en préparation](#))
- Hall N., H. Douville, L. Li (2010) Simulations of GCM nudging experiments with a simple dynamical model. J. Clim. ou Clim. Dyn. ([en préparation](#))
- Janicot S., F. Mounier, N.M. Hall, S. Leroux, B. Sultan, G. Kiladis (2009) Dynamics of the WAM. Part IV: Analysis of 25-90 day variability of convection and the role of the Indian Monsoon. J. Climate, 22, 1541-1565
- Mohiño E., S. Janicot, H. Douville, L. Li (2010) Impact of summer MJO on sub-Saharan Africa using nudged climate simulations. Clim. Dyn. ([soumis](#))

Articles monopartenaires :

- Bielli S., H. Douville, B. Pohl (2009) Understanding the West African monsoon variability and its remote effects: an illustration of the grid point nudging methodology. Clim. Dyn., doi:10.1007/s00382-009-0667-8.
- Flaounas, E., S. Janicot, R. Roca, L. Li, S. Bastin (2010) The role of dry intrusions in the Indian-African monsoon onsets relationship; observations and GCM nudged simulations. Clim. Dyn. (in preparation)
- Pohl, B., S. Janicot, B. Fontaine, R. Manteau (2009) Implication of the Madden-Julian oscillation in the 40-day variability of the West African monsoon and associated rainfall anomalies. J. Climate, 22, 3769-3785.
- Janicot S., F. Mounier, S. Gervois, B. Sultan, G. Kiladis (2010) Dynamics of the WAM. Part V: The role of equatorial convectively coupled Rossby waves. J. Climate doi :10.1175/2010/JCLI3221.1
- Pohl B., H. Douville (2010) Diagnosing GCM errors over West Africa using relaxation experiments. Part I: climatology and interannual variability. Clim. Dyn. ([soumis](#))

Ouvrages, chapitres d'ouvrage :

- Douville H. (2010) Relative influence of the tropical troposphere and extratropical stratosphere on Northern Hemisphere winter climate variability. WGNE Blue Book.
- Douville H. (2010) La puissance de calcul de Météo-France et du CNRS pour mieux comprendre l'origine des canicules. Cahier ANR Calcul Intensif, 2 pp.

Conférences Nationales :

- Bielli S., H. Douville, B. Pohl (2009) Understanding the West African monsoon variability and its remote effects: an illustration of the grid point nudging methodology. Clim. Dyn., doi:10.1007/s00382-009-0667-8.

- Douville H. et al. (2008) Influence Réciproque des Climats d'Afrique de l'Ouest, du sud de l'Asie et du bassin Méditerranéen. Revue à mi-parcours du projet ANR IRCAAM, Lyon, 18-11/12/2008.
- Douville H., S. Bielli, M. Déqué, B. Pohl, D. Saint-Martin (2009) De l'intérêt du nudging en point de grille pour comprendre les erreurs des MCG atmosphériques et la variabilité climatique. Séminaire du CNRM. 25/05/2009.
- Janicot, S. et E. Mohino, (2010) Impact des évènements MJO d'été dans le secteur indien sur la mousson africaine. Conférence sur la Prévisibilité du Climat Tropical Toulouse, France, 1-3 Juin 2010

Conférences internationales :

- Bielli S., H. Douville, F. Chauvin (2009) Influence of the West African monsoon on North Atlantic and European climate. 3rd international AMMA conference, Ouagadougou, 20-24/07/2009.
- Douville H. (2008) Looking for improved seasonal predictions in the extratropics: what is the route ? EGU meeting, Vienne, 14-17/04/08.
- Douville H., S. Bielli and C. Cassou (2008) Looking for improved seasonal predictions in the extratropics: A tribute to the Tropics. Workshop on "Variability of the global atmospheric circulation during the past 100 years", Monte Verita, 15-20/06/08.
- Douville H. (2009) Influence of West African and Indian monsoon on extra-tropical variability. Alpine Summer School on Monsoon Systems, Valsavarenche, 8-13/06/09 (invited).
- Hall N.M.J. (2010) Modelling techniques for diagnosing large scale dynamical response in the atmosphere. Workshop on atmospheric physics, Split, May 2010 (invited).
- Janicot, S., F. Mounier, S. Gervois, B. Sultan and G.N. Kiladis, (2009) The role of convectively coupled equatorial Rossby waves in the West African monsoon. EGU Conference, General Assembly 2009, Vienna, Austria, 20-24 April 2009.
- Janicot, S., F. Mounier, S. Gervois, B. Sultan and G.N. Kiladis, (2009) The role of convectively coupled equatorial Rossby waves in the West African monsoon. 3rd AMMA Conference, Ouagadougou, Burkina, 20-24 July 2009.
- Janicot, S., (2009) Intraseasonal variability of convection in the West African monsoon. 3rd AMMA Conference, Ouagadougou, Burkina, 20-24 July 2009.
- Janicot, S., (2010) Intraseasonal variability of the African monsoon. EGU Conference, General Assembly 2010, Vienna, Austria, 3-7 May 2009.
- Pohl B., H. Douville, F. Chauvin (2009) Sensitivity of the West African monsoon to regional vs remote effects. 3rd international AMMA conference, Ouagadougou, 20-24/07/2009.

Présentations sur poster :

- Bielli S., H. Douville and C. Cassou (2008) Influence of tropical circulation on the extratropical variability: the IRCAAM project (poster). Workshop on "Variability of the global atmospheric circulation during the past 100 years", Monte Verita, 15-20/06/08.
- Bielli S., C. Cassou, H. Douville (2009) Influence of tropical circulation on the summer 2003 heat wave over Europe. AGU meeting, San Francisco, 14-18/12/2009.

Thèses soutenues, ou en cours (titre, auteur, date, école doctorale) :
Néant.

Autres (préciser)

E.3 LISTE DES ÉLÉMENTS DE VALORISATION

La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section E.1. On détaillera notamment :

- *brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.*
- *logiciels et tout autre prototype*
- *actions de normalisation*
- *lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...*
- *le développement d'un nouveau partenariat,*
- *la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté*
- *création d'entreprise, essaimage, levées de fonds*
- *autres (ouverture internationale,..)*

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet: Néant.
- logiciels et tout autre prototype: couplage ARPEGE-Climat/NEMO1D (contribution du CERFACS)
- actions de normalisation: Néant.
- les conséquences du projet (lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...): Application du nudging en point de grille à d'autres thématiques de la variabilité climatique: Sources de variabilité de la mousson Africaine (postdoc AMMA de B. Pohl, postdoc Ministère Recherche Espagne E. Mohino), Influence de la stratosphère sur la variabilité hivernale extratropicale (thèse AXA de G. Ouzeau)
- le développement d'un nouveau partenariat: Néant.
- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté: mise à disposition des simulations IRCAAM auprès des communautés AMMA et HYMEX
- autres (ouverture internationale,..): Possibilité de proposer un exercice international d'inter-comparaison des modèles de circulation générale atmosphérique (voire des modèles couplés océan-atmosphère) en mode nudgé tropical (voire global).

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Bielli Soline	F	Soline.bielli@	31/05/2010	thèse	France	Postdocs	CNRM puis CERFACS	postdoc	24 mois	31/12/2009	CDI	Recherche publique	Ingénieur	Non	Non
Gervois Sébastien	H	Sebastien.gervois@locean-ipsl.upmc.fr	05/06/2010	thèse	France	Ater	LOCEAN	IR	12 mois	31/12/2008	CDD puis CDI prévu	PME	Ingénieur	Non	Non
Guillaume Pouget	H	Guillaume.pouget@locean-ipsl.upmc.fr		thèse	France	Postdoc (3 ans)	LOCEAN	IR	2 mois	30/06/2010	Recherche d'emploi				
Gandra Pedro	H			thèse	UE	Postdocs	CNRS/LMD	IR	3 mois	31/03/2010	Recherche d'emploi				
Catarino Alexandre	H	Alexandre.catarino@lmd.jussieu.fr		Master-2	UE	Ingénieur Météo Portugaise	CNRS/LMD	IE	6 mois	31/06/2010	Recherche d'emploi				

Aide pour le remplissage

(1) **Adresse email** : indiquer une adresse email la plus pérenne possible

(2) **Poste dans le projet** : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)

(3) **Durée missions** : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet

(4) **Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles

(5) **Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)

(6) **Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)

(7) Lien au projet ANR : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet

(8) Valorisation expérience : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).