## Impact de la correction d'humidité ECMWF des radiosondages sur les prévisions des précipitations ARPEGE dans la réanalyse AMMA

10/11/2008 - 05/12/2008

Réalisé par : Fatima Zahra Hdidou

Encadré par : Mathieu Nuret

#### 1. Introduction

Le projet AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) est un projet international qui a pour mission principale la compréhension des mécanismes de la mousson Africaine. En 2006, Une période d'observation spéciale (SOP) a été réalisée. Cette période a commencé au début de l'année 2006 (phase sèche) jusqu'à la pénétration de la mousson sur le continent africain (été 2006). Des périodes d'observations intensives ont été réalisées (IOP) pour mieux étudier les processus dynamiques et physiques de la mousson (IOP1 20-30 Juin, IOP2 1-15 Août 2006).

Durant ces périodes d'observations, de nombreux radiosondages ont été collectés sur l'Afrique de l'Ouest. Les radiosondages constituent une source d'information très importante pour les modèles de prévision. En effet, ils permettent une description tri-dimensionnelle de l'atmosphère, sachant aussi que les autres sources d'information sont notamment les données satellites. Cependant, des études préalables (Lorenc et al. 1996; Wang et al.2002) ont montré que l'humidité issue des radiosondages présente des biais généralement secs variant entre 5% et 30%. Ce biais est lié au type de la sonde utilisé, l'humidité, la température, le niveau pression, l'échauffement solaire et l'âge du capteur.

Pour corriger le biais des radiosondages AMMA, Nuret at al. (2008) a proposé un schéma de correction en fonction de la température et l'humidité pour les sondes Vaisala RS80-A qui sont affectées. Un schéma alternatif de correction proposé par Agusti-Panareda et al. (2008) consiste à apparier les observations de l'humidité et le modèle équivalent de prévision à court-terme. Ce schéma a l'avantage de faire une correction pour tous les types de sondes utilisées pendant la campagne AMMA.

Pour tester l'impact des radiosondages réalisés sur l'Afrique de l'ouest, Claudia Faccani a effectué des expériences en assimilant ces observations avec et sans correction de biais d'humidité dans le 4d-var ARPEGE. Elle a utilisé le schéma de correction d'Agusti-Panareda (approche ECMWF). Mon stage qui s'est déroulé au CNRM/GMME durant la période allant du 10/11/2008 au 05/12/2008 a pour but d'évaluer ces expériences. Une partie de mes résultats a été utilisée dans le papier Faccani et al. (2008, soumis).

Après un aperçu sur le schéma de correction de biais des radiosondages – approche ECMWF dans le paragraphe 2, les expériences ARPEGE seront décrites dans le paragraphe 3. Le paragraphe 4 sera consacré à l'analyse des résultats et le paragraphe 5 à la conclusion et perspectives.

# 2. Correction du biais d'humidité dans les radiosondages : Approche ECMWF

Ce schéma permet de calculer des abaques de correction pour tous les types de sondes utilisées dans la campagne AMMA. Etant donné le fort cycle saisonnier d'humidité sur le Sahel, ce schéma de correction tient en compte de la dépendance du biais avec l'humidité observé RH.

Cette correction est effectuée en 4 étapes :

#### 1) Classification des différents radiosondages :

Avant de calculer les coefficients de correction de biais, les données d'humidité des radiosondages sont classées selon :

*-Le type du sonde* : 4 types de sondes ont été utilisés dans AMMA : MODEM M2K2, Vaisala RS 80 Digicora I,II, Vaisala RS92 Digicora II et Vaisala RS92 Digicora III.

-L'élévation solaire : selon si le radiosondage est effectué en jour ( $\theta$ >27.5°) ou en nuit ( $\theta$ <0).

-Le niveau pression: selon les niveaux standard de pression (P=1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10hpa).

## <u>2) Calcul du biais d'humidité par rapport au modèle de prévision en fonction de l'humidité</u> observée :

Ce biais est calculé en utilisant la technique d'appariement des fonctions de distribution cumulatives (CDF). Pour chaque type de sonde, niveau pression et pour chaque catégorie d'élévation solaire, on trace les quantile-quantile des CDF des observations et des CDF du guess du modèle. A partir de ces tracés, on détermine donc la fonction  $BIAIS \square R_{obs}$ , p,  $\theta$ ,  $s \square$ , où  $R_{obs}$  est l'observation d'humidité, P est le niveau pression,  $\theta$  est l'angle d'élévation et s est le code s BUFR de la sonde.

#### 3) Utilisation d'une sonde de référence pour estimer le biais modèle :

Le biais calculé dans l'étape précédente regroupe le biais de la sonde et aussi le biais du modèle par rapport à une sonde de référence  $(OBS_{REF})$  considéré non biaisé :

$$BIAIS \square R_{obs}$$
,  $p$ ,  $\theta$ ,  $s \square_{=} OBS - FG = \square OBS - OBS_{REF} \square \square FG - OBS_{REF} \square$  (1)

Cette étape consiste à séparer ces deux biais pour avoir le biais de la sonde (le premier terme de l'équation (1)). Pour ce faire, on doit choisir la sonde la plus fiable comme étant une sonde de référence. Dans ce schéma, la sonde choisie est Vaisala RS92 Digicora II (s=79) en nuit ( $\theta<0$ ). Le biais du modèle est déduit donc à partir de la fonction BIAIS de la sonde de référence : BIAIS( $R_{obs}, p, \theta<0, s=79$ ).

Il faut noter que ce schéma suppose que les profils du biais du guess sont constants dans le temps (jour comme nuit) et dans l'espace (sur la région AMMA). A noter aussi que l'hypothèse supposant la sonde Vaisala RS92 Digicora II non biaisé en nuit n'est pas juste (un léger biais humide), cependant, cette sonde reste la plus fiable par rapport aux autres sondes.

#### 4) Application de la correction de biais par rapport à la sonde de référence :

Selon l'équation (1), on peut maintenant déduire le biais d'une sonde par rapport à la sonde de référence à partir de la fonction BIAIS et le biais du modèle (voir annexe 1 et 2). En effet :

$$OBS - OBS_{REF} = BIAIS \square Robs$$
,  $p$ ,  $\theta$ ,  $s \rightarrow BIAIS \square Robs$ ,  $p$ ,  $\theta \square 0$ ,  $s = 79 \square 0$ 

L'humidité corrigée s'écrit donc :

$$R_{corr}\Box p \ , \theta \ , s \boxminus R_{obs}\Box p \ , \theta \ , s \boxminus [\textit{BIAIS}\Box R_{obs}, p \ , \theta \ , s \boxminus \textit{BIAIS}\Box R_{obs}, p \ , \theta \Box \ 0, s = 79 \ \Box]$$

# 3. Protocole des expériences ARPEGE avec correction de biais d'humidité ECMWF :

Le modèle utilisé dans les expériences de C. Faccani est le modèle ARPEGE avec assimilation de données en 4D-Var utilisant une fenêtre d'assimilation de 6 heures. La version utilisée d'ARPEGE est cy32t0 avec 46 niveaux verticaux allant jusqu'à 10hpa et une troncature spectrale de T358, permettant une résolution horizontale de 40km sur l'Afrique de l'Ouest. Les données assimilées sont les observations conventionnelles arrivant sur le GTS (Global Télécommunications System), en plus des observations satellitales : les radiances en ciel clair issues des instruments HIRS, AMSU-A, AMSU-B et SSM/I et le vent déduit à partir d'autres instruments satellite comme GOES et METEOSAT, ainsi que le vent de surface issue du scatterometre QuikSCAT. L'expérience assimilant ces observations opérationnelles constitue l'expérience de référence (CNTR).

Pour tester l'impact des radiosondages AMMA avec et sans correction de biais d'humidité, trois autres expériences ont été réalisées. La première, assimile en plus des observations opérationnelles, les radiosondages collectés lors de la campagne AMMA en 2006 (AMMA). La deuxième (AMMABC) assimile les mêmes observations que l'expérience AMMA, mais, en appliquant la correction de biais ECMWF aux radiosondages AMMA. La troisième expérience (PREAMMA) est similaire à CNTR, mais en éliminant tous les sondages de la SOP AMMA: cette expérience n'utilise donc que les radiosondages disponibles en 2005 avant le lancement de la campagne AMMA. Nous avons pu comparer aussi ces

expériences avec une simulation de Fatima Karbou qui ajoute au run CNTR les radiances AMSUB (canaux 5 et 2) sur terre partout sur le globe (CNTR\_MW).

Expériences	Observations assimilées	Correction de biais d'humidité
CNTR	GTS en 2006	Non
AMMA	CNTR + radiosondages AMMA	Non
AMMABC	CNTR + radiosondages AMMA	Oui
PREAMMA	GTS en 2005	Non
CNTR_MW	CNTR+AMSUB (canaux 5 et 2) sur terre (global)	Non

Tableau 1: les différentes expériences réalisées.

Notons que pour les différentes expériences, la correction de biais de température opérationnelle a été utilisée. En 2006, plusieurs radiosondages AMMA arrivent déjà à METEO-France via GTS. Donc, l'expérience CNTR assimile une partie de ces radiosondages. Ainsi, pour les expériences AMMA et AMMABC, si un même radiosondage de la base de donnée AMMA est arrivé via le GTS, on choisit celui qui a la plus forte résolution verticale (i.e celui de la base dédiée AMMA)

Ces expériences ont tournées sur une période de deux mois à partir du 15 juillet au 14 septembre 2006. Une prévision échéance 5 jours a été effectuée à partir du réseau 00UTC de chaque jour.

#### 4. Résultats

Les différentes expériences réalisées ont été validées par rapport aux estimations de pluies CPC. Ces dernières sont dérivées des données satellite et des observations pluviométriques. Pour effectuer cette comparaison, les champs de précipitations (observation, modèle) ont été moyennés au préalable sur une grille commune de 1°x1° (~100kmx100km).

La validation subjective consiste à comparer les cumuls 24h (P30h-P06h et P54h-P30h) moyennés sur toute la période des simulations. La validation objective consistant à calculer des statistiques : le biais, les coefficients de corrélation entre les précipitations du modèle et celles du CPC, ainsi que les scores classiques de QPF (ETS, FBIAS,...).

#### a) précipitations moyennes sur 24h

Les cumuls de précipitations (P30h-P6h) moyennés sur toute la période (fig.1) montrent que toutes les simulations prévoient un maximum de précipitations se trouvant sur les côtes guinéennes (10°N,15°W) mais avec une extension géographique plus grande que le CPC. Les expériences CNTR et PREAMMA n'arrivent pas à prévoir l'autre maximum lié à l'arc orographique du Mont Cameroun. L'introduction des radiosondages dans les expériences AMMA et AMMABC permet de localiser ce dernier noyau, cependant, nous avons beaucoup surestimé les précipitations sur le Sahel notamment pour AMMABC. L'introduction des radiances AMSU-B permet aussi d'augmenter les précipitations sur le Sahel, mais, cette augmentation est moins accentuée comparé à AMMA et AMMABC. Le maximum situé sur Mont Cameroun observé par le CPC est aussi sous-estimé par cette expérience (CNTR\_MW).

En ce qui concerne la moyenne sur les cumuls P54h-P30h (fig.2), on constate une grande proximité entre les différents runs et que toutes les simulations surestiment toujours le noyau observé sur les côtes par rapport au CPC. Aucune simulation ne reproduit le maximum des précipitations observé dans

la région du Mont Cameroun et dans l'Est du domaine. Il semble que le modèle produise moins de pluie sur cette échéance (P54-P30) que sur l'échéance (P30-P06).

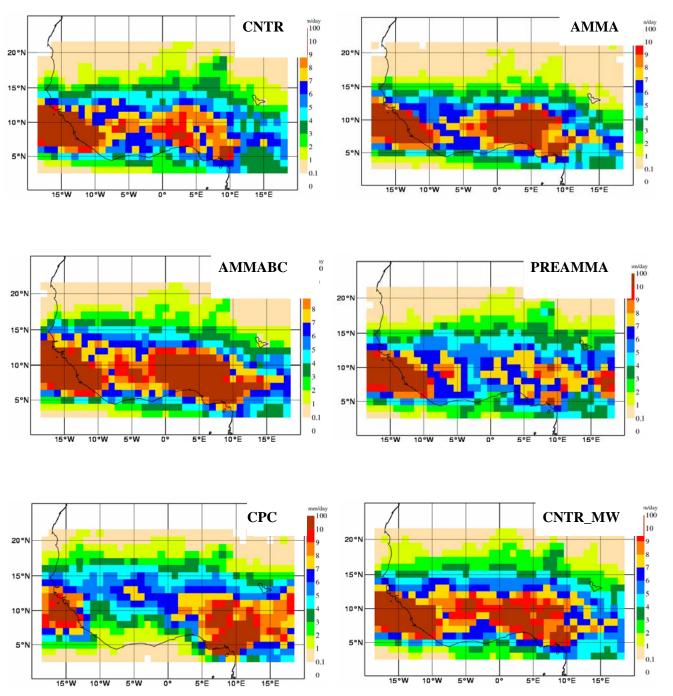


Figure 1: moyennes des cumuls 24h (P30h-P06h) de précipitations sur la période 15/07/2006 –14/09/2006 pour CNTR (en haut à gauche), AMMA (en haut à droite), AMMABC (au milieu à gauche), PREAMMA (au milieu à droite), CPC (en bas à gauche) et CNTR\_MW (en bas à droite). Champs moyennés sur une grille 100kmx100km.

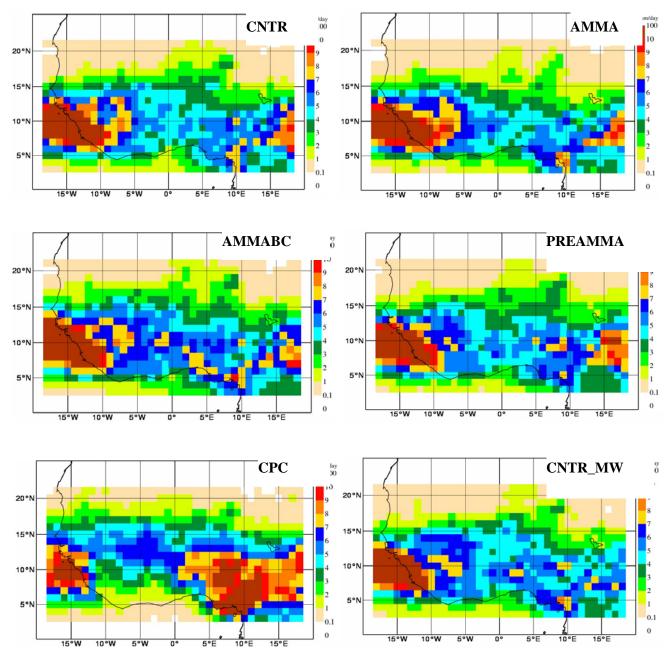


Figure 2: idem Fig. 1 mais pour des cumuls 24h (P54h-P30h).

#### b) Comparaison des biais et des coefficients de corrélation

Pour évaluer les expériences réalisées d'un point de vue statistique, nous avons calculé le coefficient de corrélation et le biais entre les cumuls 24h observés (estimation CPC) et prévus issus des différentes expériences réalisées (voir tableaux 2 et 3). A noter que la taille de l'échantillon est de 43586 points.

Le tableau 2 montre que le meilleur coefficient de corrélation correspond au run AMMABC (0.29). Les autres expériences ont des coefficients plus faibles et à peu prés similaires. AMMABC présente un accroissement du biais (~+22%), ce qui est expliqué par l'humidification apportée par la correction de biais d'humidité des radiosondages AMMA.

	СРС	CNTR	AMMA	AMMABC	PREAMMA	CNTR_MW
moyenne	4.4	4.3	4.4	5.4	4.4	5.1
corrélation		0.27	0.26	0.29	0.26	0.25

Tableau 2 : moyennes et coefficients de corrélation calculés entre les cumuls de précipitations (P30h-P6h) des différentes expériences et les précipitations CPC sur la période 15/07/2006 – 14/09/2006.

Pour les cumuls de précipitations P54h-P30h (tab. 3), on constate que le coefficient de corrélation est plus faible que pour la période précédente et quasi-similaire pour toutes les expériences. On observe aussi pour tous les runs une diminution de la quantité de précipitations moyenne sur le domaine (entre – 10% et –20%). Il semble donc que la période P30h-P06h soit affectée par un problème de spin-up et/ou une moindre efficacité des précipitations avec les échéances croissantes.

	СРС	CNTR	AMMA	AMMABC	PREAMMA	CNTR_MW
moyenne	4.4	4.0	3.8	4.3	4.0	3.9
corrélation		0.24	0.22	0.24	0.23	0.23

Tableau 3: Idem Tab. 2 mais pour les cumuls P54h - P30h.

#### c) Calcul des scores QPF

En plus des coefficients de corrélation entre les précipitations observées et prévues, nous avons calculé les scores classiques de QPF (ETS, FBIAS, POD...) pour les différentes simulations. Dans ce rapport, on va présenter les deux scores ETS (Equitable Threat Score) et FBIAS (Frequency Bias). L'ETS est un score bien adapté à la validation des prévisions de précipitations ; une prévision parfaite est caractérisée par un ETS=1.0. Il prend en compte les fausses et mauvaises détections. Ces scores ont été calculé pour le mois d'Août 2006. Pour bien voir l'impact des radiosondages, nous avons calculé ces scores aussi pour un expérience « NO AMMA » qui assimile les données de CNTR à l'exception des radiosondages.

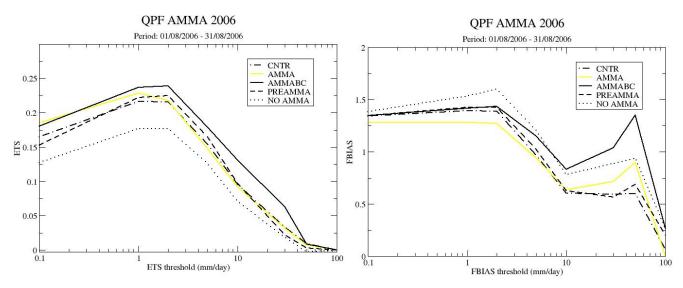


Figure 3 : ETS et biais calculés pour les cumuls 24h de précipitations prévues (P30h-P06h), pour la période du 01 au 31 Août 2006.

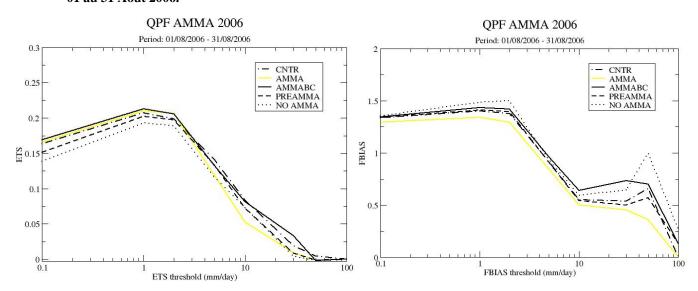


Figure 4: Idem Fig. 3 mais pour les cumuls P54h-P30h.

D'après la figure 3, on constate que AMMABC présente les plus grandes valeurs d'ETS par rapport aux autres simulations, AMMA a aussi des grandes valeurs d'ETS. En contrepartie l'expérience NO AMMA a les plus faibles valeurs d'ETS. En ce qui concerne le FBIAS, on constate que pour les faibles seuils de précipitations (<10mm/24h) c'est l'expérience AMMA qui a moins de biais (FBIAS plus proche de 1), contrairement à NO AMMA qui a le plus de biais (FBIAS trop loin de 1). les autres expériences ont des biais à peu prés similaires. Pour les seuils de fortes précipitations (>10mm/24h) l'expérience AMMABC présente plus de biais. Donc, l'introduction des radiosondages a un impact crucial sur la prévision, notamment avec la correction de biais d'humidité. Cependant, cette correction augmente le biais par rapport à la référence (CPC).

Pour les cumuls de prévision (P54h-P30h) (fig. 4), c'est toujours l'expérience AMMABC qui a les plus grandes valeurs d'ETS mais les différentes courbes d'ETS sont très proches et affichent des valeurs plus faibles.

L'introduction des radiosondages avec correction de biais d'humidité a un impact positif sur la prévision de précipitations même pour les longues échéances, mais cette amélioration est moins nette par rapport aux courtes échéances.

#### d) Calcul de la moyenne sur différentes boîtes

Pour voir l'impact de la correction du biais d'humidité sur différentes régions de l'Afrique de l'Ouest, nous avons calculé la moyenne des cumuls 24h de précipitations sur différentes boîtes : une boîte Sahel [10°N-20°N;10°W-10°E], une boîte Guinée [5°N-15°N;5°W-15°W], une boîte côtière [5°N-10°N;5°W-5°E] et une boîte Joss/Mont Cameroun [5°N-15°N;5°E-15°E]. On va présenter les résultats sur les boîtes : boîte Sahel et boîte Guinée.

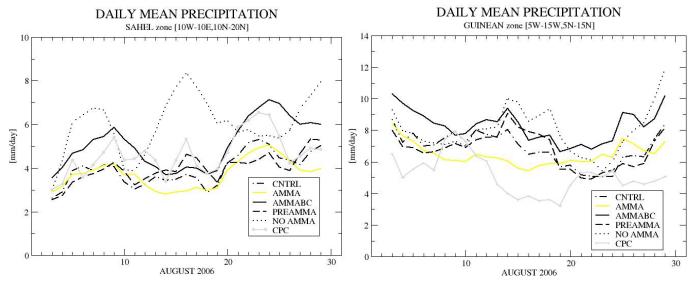


Figure 5 : Moyennes journalières des cumuls 24h des précipitations prévues (P30-P06) et observées (CPC) sur la boite Sahel (à gauche) et la boite Guinée (à droite) pour les différentes simulations pour le mois Août 2006. Les séries de données ont été lissées en utilisant une moyenne sur 5 jours.

A partir de la figure 5, on constate que, sur la zone Sahel et pour le mois d'Août, toutes les simulations à l'exception de NO AMMA suivent les mêmes fluctuations des précipitations estimées CPC et que la courbe AMMABC est la plus proche de celle du CPC. L'expérience NO AMMA surestime beaucoup les précipitations sur cette zone. Donc, l'assimilation des radiosondages par le modèle ARPEGE sur la zone Sahel a un impact très positif d'autant plus en appliquant la correction de biais de l'humidité des radiosondages. En ce qui concerne la zone guinéenne, on constate que toutes les simulations surestiment les précipitations pour le mois d'Août. Mais, cela est peut être du au fait que les précipitations CPC sous-estiment les précipitations sur les zones du relief de la Guinée.

#### e) Représentativité des données CPC

L'estimation des précipitations faite par le CPC est assez réaliste, mais il a été constaté qu'elle sous-estime les précipitations dans les zones relief. Ainsi les problèmes de biais, discutés auparavant sont à relativiser, compte tenu de l'incertitude de l'estimation CPC, notamment en zone de fort relief. A titre d'exemple, sur la figure 6, nous avons superposé les cumuls sur la période 17/07/2006 – 02/08/2006 des précipitations estimées par CPC et des observations pluviométriques pour la zone guinéenne. On a choisi cette période pour la disponibilité des observations pluviométriques. La figure montre bien que sur cette zone, les précipitations CPC sont beaucoup plus faibles par rapport aux observations pluviométriques issues des SYNOP.

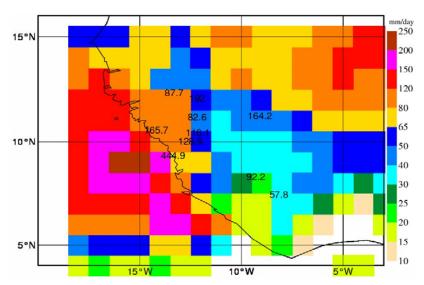


Figure 6 : Cumuls des précipitations sur la période 17/07/2006 - 02/08/2006 sur la zone guinéenne pour l'estimation CPC (en couleurs) et les observations pluviométriques (en chiffres).

#### 5. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis d'évaluer l'impact de la correction de biais d'humidité dans le 4d-var ARPEGE en utilisant l'approche ECMWF. Pour faire cette évaluation, les précipitations prévues par le modèle ARPEGE des différentes simulations ont été comparées aux CPC, qui est une « estimation » des précipitations .

Cette validation a montré que l'assimilation des radiosondages AMMA permet d'améliorer beaucoup les précipitations sur l'Afrique de l'Ouest. La simulation avec correction du biais de l'humidité des radiosondages AMMA présente les meilleurs scores de prévision des précipitations. Cette amélioration est plus nette pour les premières heures de prévisions. Pour les autres échéances la correction de biais d'humidité des radiosondages améliore aussi la prévision, mais l'amélioration est plus faible. Cela peut s'expliquer par le fait que les modifications apportées à l'état initial perdurent environs 1 jour dans les simulations.

Vu les résultats encourageants de l'application de cette correction de biais sur la zone AMMA, il serait intéressant de l'évaluer en global. Il serait aussi intéressant de faire une inter-comparaison entre cette méthode de correction de biais et la méthode proposé par M. Nuret pour les sondes Vaisala RS80. Dans cette étude, on suppose que les sondes RS92 Digicora II n'ont pas de biais dans la nuit, alors qu'en réalité elles ont un faible biais humide (comparaison à des radiomètres micro-onde, GPS, ...).

### 6. Références

- Agusti-Panareda, A., A.Beljaars, O. Bock, F. Guichard, M. Nuret, J. Lafore, E. Andersson, A. Fink, H. Hersbach, A. G. Mendez, J.-B. Ngamini, D. J. Parker, J.-L. Redelsperger, A. Tompkins, and D. Vasiljevic, 2008 :Radiosonde humidity bias correction over west african region for special AMMA reanalysis at ECMWF. Quart. J. R. Met. Soc., submitted.
- C. Faccani, F. Rabier, N. Fourrié, A. Agusti-Panareda, F. Karbou, P. Moll, J-P. Lafore, M. Nuret, F. Hdidou, O. Bock, 2008: The impact of the AMMA radiosonde data of the French global assimilation and forecast system. Submitted to Weather and Forecasting.
- Nuret, M., J. Lafore, O. Bock, F. Guichard, A. Agusti-Panreda, J.-B. N'Gamini, and J.-L. Redelsperger, 2008: Correction of humidity bias for vaisala rs80-a sondes during AMMA 2006 observing period. J. Atmos. Oceanic Technol., 25, DOI:10.1175/2008JTECHA1103.1.

### Annexe 1

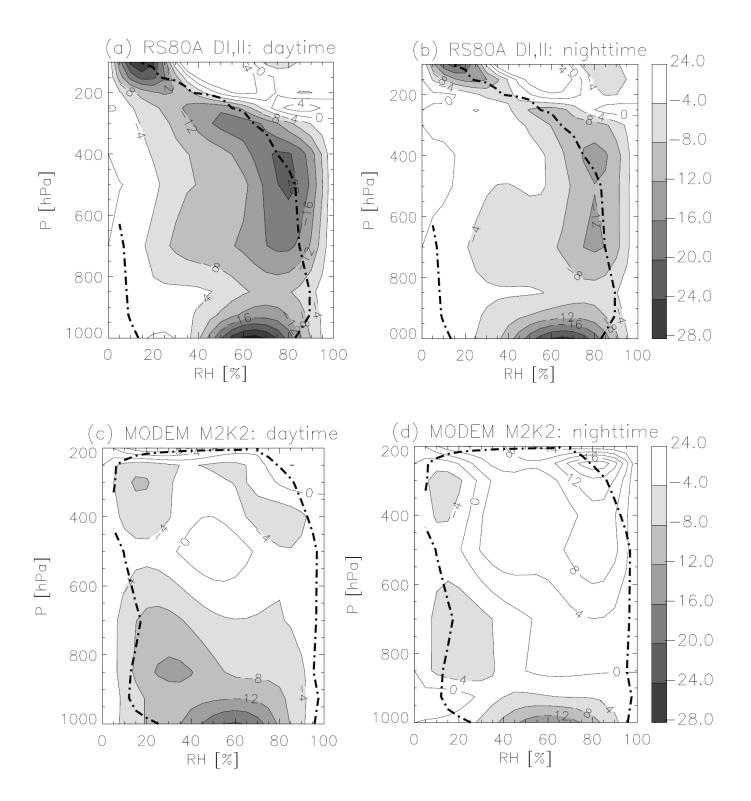
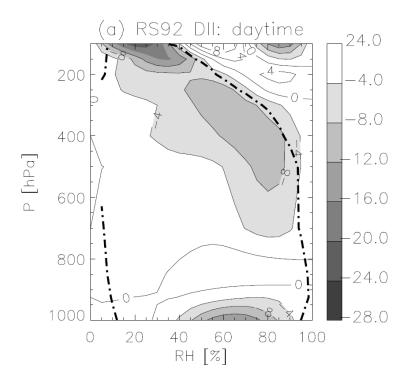


Figure 7 : Abaques de correction ECMWF du biais d'humidité des radiosondages pour (a,b) Vaisala RS80A Digicora I, II, (c,d) MODEM M2K2 dans le jour pour les figures de gauche (élévation solaire  $\theta > 27.5$ ) et dans la nuit pour les figures de droite (élévation solaire  $\theta < 0$ ).

## Annexe 2



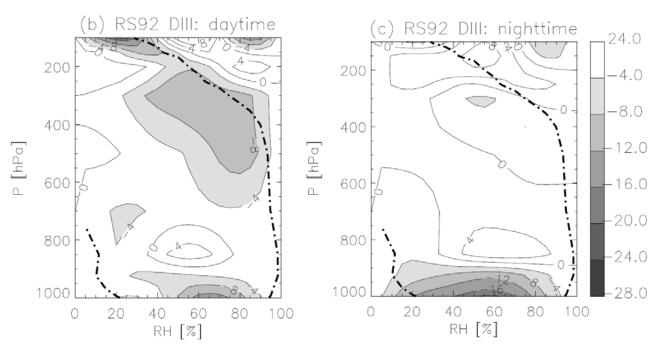


Figure 8 : Abaques de correction ECMWF du biais d'humidité des radiosondages pour (a) Vaisala RS92 Digicora II dans le jour (élévation solaire  $\theta > 27.5$ ) et (b,c) Vaisala RS92 Digicora III dans le jour et dans la nuit (élévation solaire  $\theta < 0$ ).