

PROVENANCE DE L'ALIMENTATION HYDRIQUE DES SYSTÈMES CONVECTIFS, AU COURS DE LA MOUSSON AU SAHEL

SY A. ⁽¹⁾, DIOP B. ⁽¹⁾, MOUSSA A. M. ⁽¹⁾, DEME A. ⁽¹⁾, DIAKHABY A. ⁽¹⁾

(1) Laboratoire des Sciences de l'Atmosphère et des Océans, 234 Saint-Louis, Sénégal
[ablaye.sy7@gmail.com, diopbouya@yahoo.fr, adoumht@gmail.com, abdoulaye.deme@ugb.edu.sn, diakhaby81@yahoo.fr]

Résumé – L'Afrique de l'ouest fait partie des régions les plus pauvres au monde et la plupart de ses activités économiques dépendent d'une seule saison des pluies. Dans cette région du Sahel et dans beaucoup d'autres régions de la zone intertropicale, les pluies sont liées en grande partie à l'intensité de la convection. Mais depuis les années 70, on observe de fortes variations de la pluviométrie marquées par une baisse des précipitations dans cette zone. Avec les données in-situ, les données satellitaires et les modèles adaptés, on a montré comment, à travers les ondes et/ou les jets, les systèmes convectifs reçoivent de la vapeur d'eau directement ou indirectement et ainsi on a déterminé la part supposée de la mousson indienne dans les flux de vapeur d'eau alimentant les lignes de grains.

Mots-clés : Mousson, Système convectif, Vapeur, Sahel.

Abstract – *Origin of water supply of convective systems during monsoon in Sahel.* West Africa is one of the poorest regions in the world and most of its economic activities depend on a single rainy season. In the Sahel region and in many other parts of the tropics rainfall is largely related to the intensity of convection. But since the 70 large variations in rainfall marked by a decrease in rainfall in this area is observed. With in-situ data, satellite data and models to suit how they rose through the waves and / or jets, convective systems receive steam directly or indirectly, and it was determined the assumed share of the Indian monsoon in the flow of steam lines feeding squall lines.

Keywords: Monsoon, Convective system, Vapor, Sahel.

Introduction

Les lignes de grains sont responsables d'une grande partie de la pluie observée au Sahel. Elles sont définies comme étant un système nuageux très épais se déplaçant d'est en ouest avec une vitesse d'environ 14 m/s. Constituées d'une partie convective au bord plus net d'une partie stratiforme, elles ont un cycle de vie reparti en quatre phases : formation, intensification, maturité et dissipation (Leary et Houze, 1979). Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'advection de vapeur d'eau sur les lignes de grains (Peugeot *et al.*, 2011 ; Meynadier *et al.*, 2010, Cadet et Nnoli, 1987 ; De Felice *et al.*, 1982) qui joue un rôle essentiel dans leur durée de vie. Cadet et Nnoli ont montré que les ondes d'est contribuent fortement au transport de vapeur vers l'Afrique de l'Ouest, venant ainsi confirmer la thèse de Citeau selon laquelle une grande partie de l'eau reçue au Sahel provenait de l'est. Pour De Felice *et al.*, la quantité de vapeur d'eau présente dans les couches moyennes et élevées de l'atmosphère sahélienne en été pourrait provenir de la mousson indienne et les régions voisines et transportée par les flux d'est qui règnent durant cette période.

1. Données et zone d'étude

Ce travail a été réalisé sur la base des moyennes journalières de vent et d'humidité mesurées sur les niveaux de pressions 1000hPa-100hPa du CEPMMT (*ECMWF en anglais*) à une résolution de 2.5°x2.5° sur la saison des pluies juin-juillet-août-septembre durant la période 2000-2010. L'étude a porté sur la zone 30W à 90E et 0 à 30N qui couvre l'Afrique de l'Ouest jusqu'à l'Inde.

Dans ce document nous étudions les transferts de vapeur d'eau issus de l'Inde et venant renforcer ou approvisionner l'une des sources de vapeur (Afrique de l'est) pour le Sahel. La maîtrise de ces mécanismes permet d'améliorer la connaissance sur l'alimentation hydrique des systèmes convectifs au Sahel.

2. Analyse

La colonne de vapeur d'eau disponible en Afrique de l'Ouest est le résultat d'une contribution de la mousson de sud-ouest (sol-850hPa) d'une part et du flux d'est (850-300hPa) d'autre part (Meynadier *et al.*, 2010a ; Dème A., 2002 ; De Felice *et al.*, 1982 ; Monkam D., 2007). Pour détecter et étudier les flux supposés provenir de la mousson indienne nous considérons la partie supérieure 500-300hPa et 650-500hPa car l'étude des vents entre la côte d'Afrique de l'Est et l'Océan Indien montre des vents de sud-ouest entre sol-650hPa dans cette zone (non montré).

Nous avons calculé les flux au sein des couches de l'atmosphère à partir de la formule suivante :

$$F = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^{P_t} q U dp \quad (1)$$

où F : Flux de vapeur d'eau (en kg/ms), P_s , P_t : Pression à la surface du sol et au sommet respectivement, q : Humidité spécifique (kg/kg), U : composante zonale du vent entre les niveaux de pression choisis, g : Accélération de la pesanteur.

On a observé l'évolution de la colonne d'eau précipitable et l'évolution des vents d'altitude durant les étés (2000-2010) sur la zone d'étude.

La moyenne JJAS sur les onze années révèle deux principales zones de forte concentration d'humidité en altitude entre 650 et 300hPa. La zone de la mousson indienne et la bande Africaine allant de la corne à l'Océan Atlantique sur 0-17N, avec une autre région située entre les deux premières marquée par moins d'eau (Figure 1).

Pour étudier les échanges et les interconnexions entre la région indienne et l'Afrique nous allons nous focaliser sur la zone intermédiaire (40E-70E).

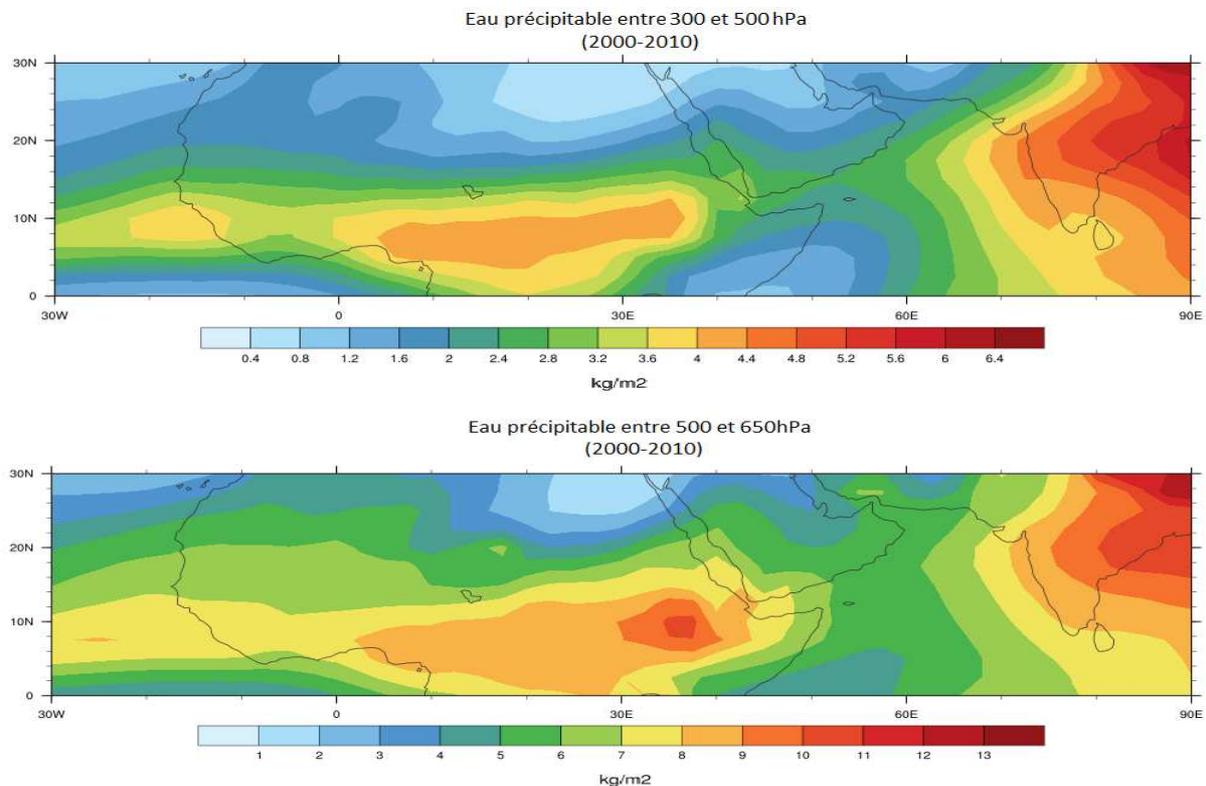


Figure 1. Eau précipitable (kg/m^2) entre (500hPa-300hPa) et (650hPa-500hPa) sur la zone 30W-90E et 0-30°N moyenne JJAS sur 2000-2010.

La moyenne sur les couches 500-300hPa (Figure 2-A)) des vents entre 40E-70E fait apparaître une circulation d'est entre 0-12N qui se propage vers l'Afrique de l'ouest avec des vitesses comprises entre 2 et 4m/s. Dans la bande 650-500hPa (Figure 2-B)) la moyenne sur les onze étés montre des vents d'est sur la zone de la composante zonale jusqu'au Sahel entre 0-20N, mais on note des amplitudes et vitesses assez faibles (moins 2m/s) sur la portion 47°E-70°E et 5°N-12°N. La vitesse de ces vents augmente en allant vers l'ouest.

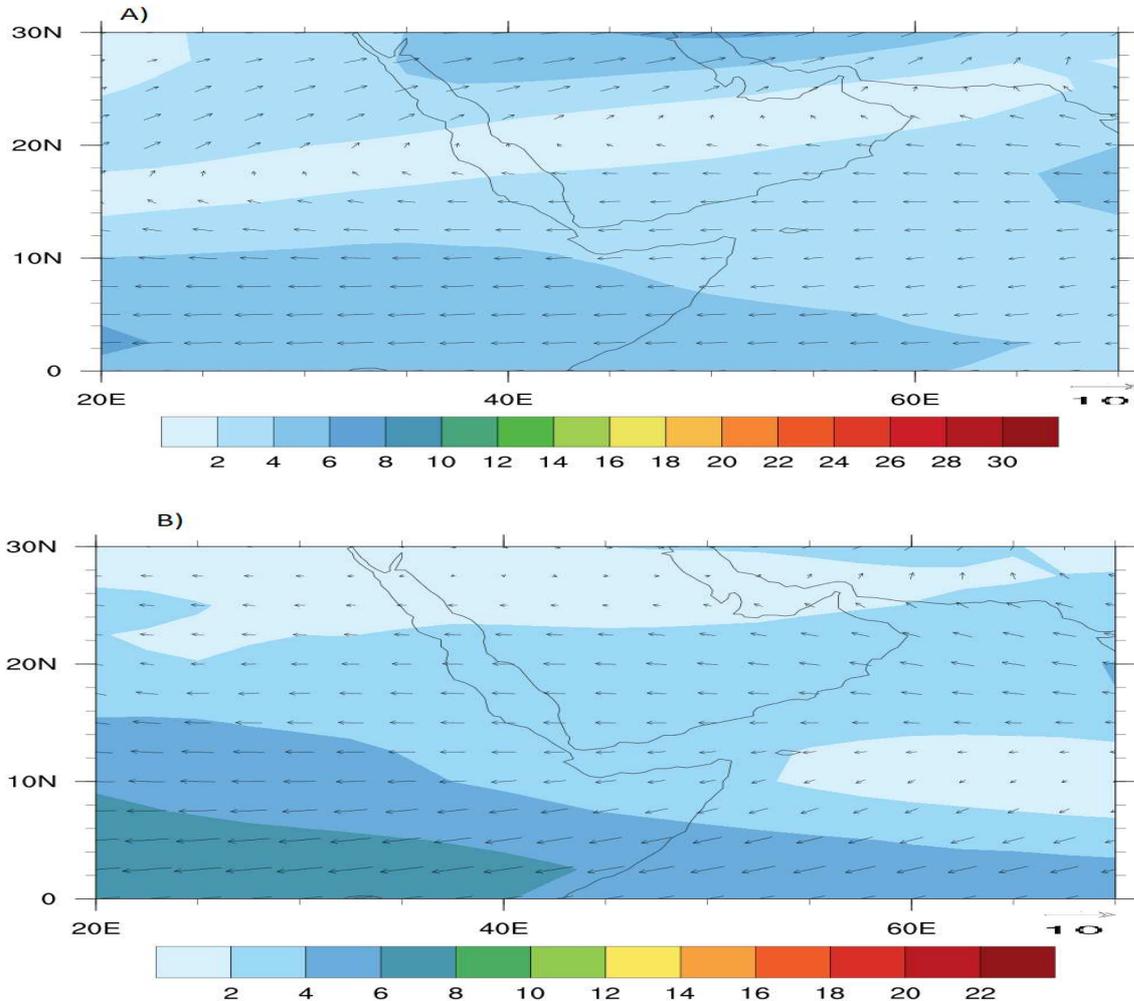


Figure 2. Moyenne du vecteur Vent (flèche) et sa vitesse en couleur (m/s) en JJAS sur 2000-2010, A) entre 500-300hPa et B) entre 650-500hPa.

L'évolution des moyennes journalières de la composante zonale du vent 500-300hPa sur les saisons (JJAS) de la période d'étude (2000-2010) entre 5 N -22,5N et 45 E -70E révèle des vents d'est durant toute la période et assez variable et plus marqué en mi-juillet et fin août début septembre (Figure 3). Nous avons associés les écart-types pour chaque jour sur la saison JJAS et chaque année de la période 2000-2010.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(u_i - \bar{u})^2}{n}}, i = 0, \dots, 10 \quad (2)$$

où σ représente l'écart-type, u_i valeur de la composante zonale d'un jour de l'année i ($i = 0$ pour 2000 et $i = 10$ pour 2010), \bar{u} moyenne journalière sur 2000-2010, $n = 11$. Les écart-types ne font pas apparaître une réelle dispersion autour de la moyenne de l'intensité du vent sur la période d'étude.

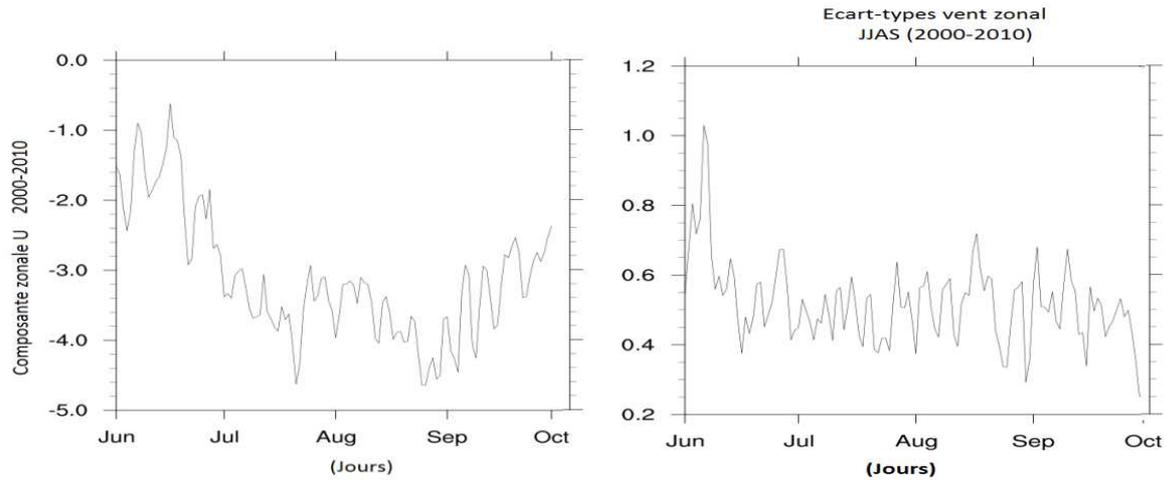


Figure 3. Variation temporelle (jour) de l'intensité zonale du jet-stream tropical (m/s) moyennée entre 300hPa et 200hPa, sur la zone 5°N-22,5°N et 45E-70E entre 2000-2010 (JJAS).

3. Discussion

Nous avons réalisé des diagrammes de Hövmoeller (temps-longitude) des flux d'humidité moyennés sur les latitudes 5°N-22,5°N en JJAS de 2000 à 2010 (Figure 4) pour détecter des transferts de vapeur de l'Inde vers l'Afrique.

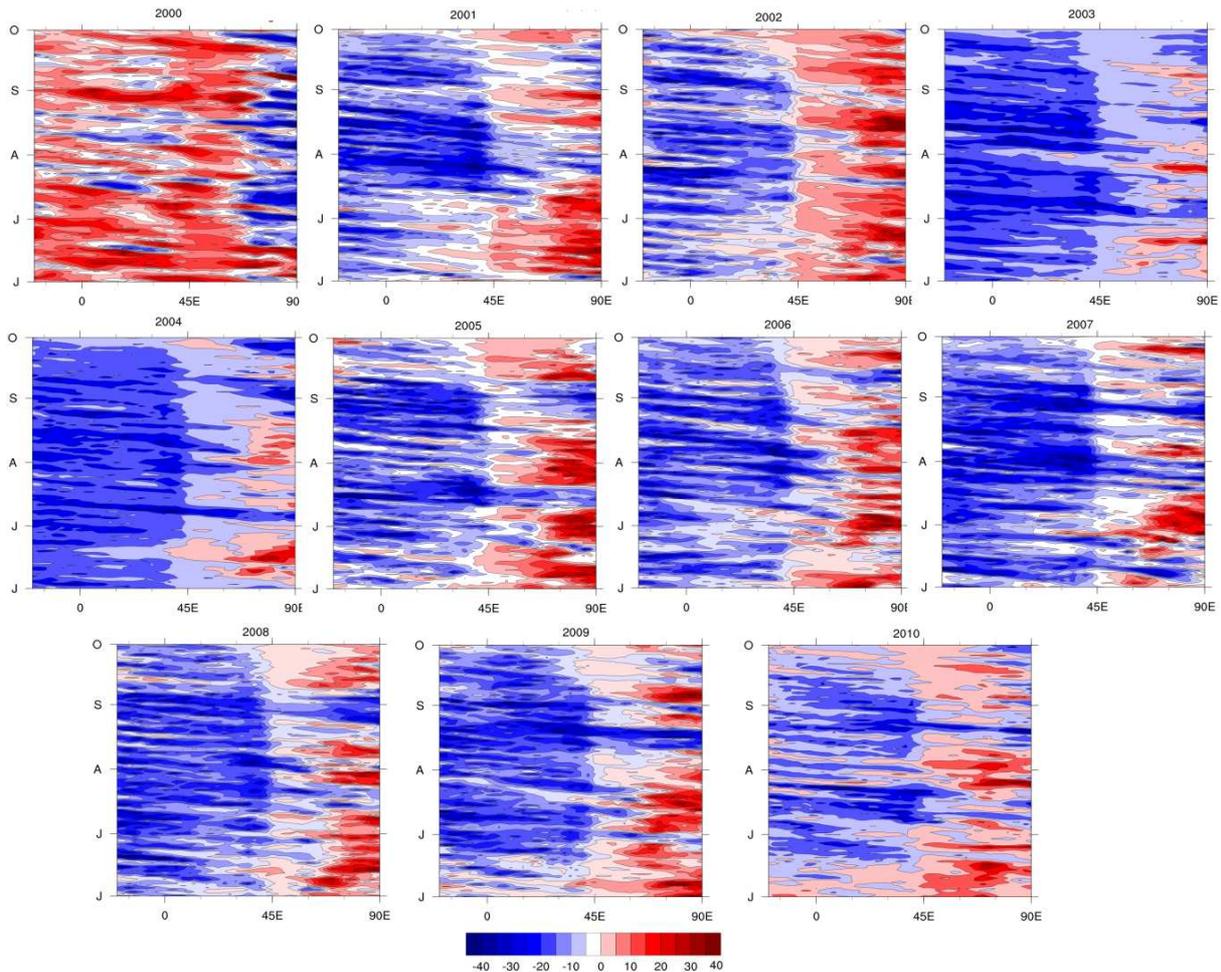


Figure 4. Hövmoeller des flux de vapeur d'eau kg/ms entre 500 et 300hPa en JJAS de 2000 à 2010. Flux d'est (-) en bleu et blanc, flux d'ouest (+) en rouge entre 20°O et 90°E.

Ces diagrammes de flux sur les hautes couches (500-300hPa) durant les saisons étudiées, présentent le transport journalier de vapeur d'eau durant la saison JJAS sur la toutes les années de la période (2000-2010) avec une variabilité intra-saisonnière et interannuelle. En 2003, 2004 et 2007 les échanges entre la région Indienne (90°E-70°E) et la corne de l'Afrique (45°E) sont plus importants (15-25 kg/ms) et un peu moins et de manière plus variable en 2001, 2005, 2008 et 2010. Les années 2000, 2002, et 2006 révèlent peu de transfert d'humidité d'est en ouest.

Pour comprendre ces advections et leurs occurrences nous avons comparé les variations temporelles de la composante zonale entre 5°N-22,5°N et 45°E-70°E et les variations journalières de flux sur chaque saison de la période. La composante zonale du vent est d'est et variable en amplitude au cours de la saison des pluies. Les plus grandes valeurs correspondent aux transferts de flux d'humidité.

D'autres part la moyenne sur la saison JJAS de l'eau précipitable et du vent entre 2000 et 2010 sur les deux couches d'altitude (300-500hPa et 500-650hPa) sur les Figures 5A) et 5B) révèlent pour la première des vents de nord-est de circulation directe issue des côtes indiennes et parvenant à l'Afrique de l'est entre 10 et 20N où existe un vent d'est centré vers 10N. Pour ce qui est de la partie 500-650hPa les vents d'est sur l'Afrique (autour de 10N) reçoivent une contribution de la convergence entre 50 et 55E de vents issus du Yémen et d'Arabie de circulation anticyclonique et de vents de nord-est d'Inde. Le sens de circulation de ces vents correspond à un gradient d'humidité plus marqué sur 500-650hPa entre 60-40°E positif vers l'ouest.

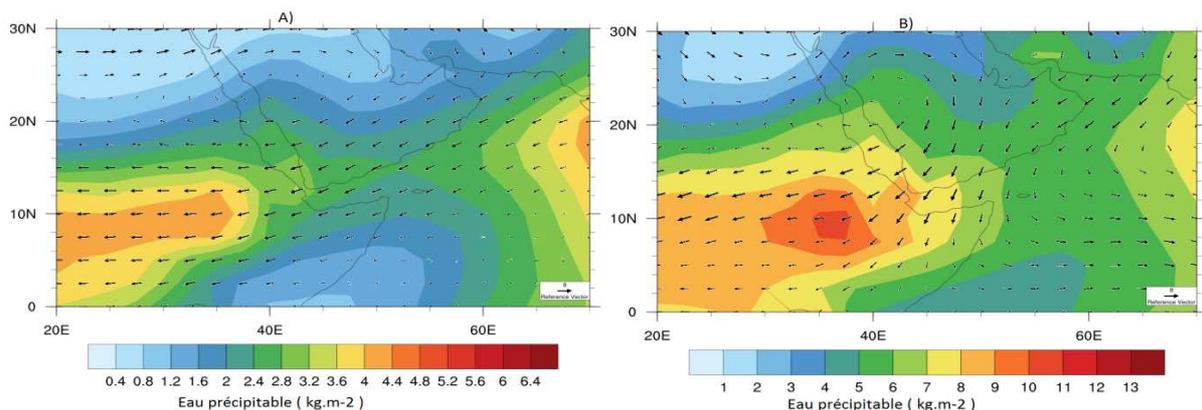


Figure 5. Eau précipitable (en couleur) et vecteur vent (flèche) moyenne JJAS sur la période 2000-2010 A) entre 300 et 500hPa, B) entre 500 et 650hPa.

Conclusion

La vapeur d'eau responsable des pluies au Sahel dépend de trois couches de l'atmosphère (mousson, moyenne et haute) qui apportent chacune d'elles une partie de la vapeur disponible, avec la plus grande quantité reçue des moyennes et hautes couches (Meynadier R., 2010 ; De Felice *et al.*, 1982). La part de la moyenne et haute couche proviennent de l'Afrique d'est (Cadet et Nnoli, 1987 ; Monkam D., 2007). Donc il s'agit pour nous d'étudier la contribution de la zone indienne sur ces transferts. Ce travail révèle que la colonne de vapeur d'eau au-dessus de l'Afrique de l'Est alimentant la Mousson Ouest Africaine s'étend jusqu'à la partie supérieure de la troposphère. Les flux que nous avons observés apportaient des quantités assez significatives de vapeur (15 à 30kg/ms) qui viennent en addition trouver une colonne de vapeur vers 35°E et 10°N sur l'est de l'Afrique. Ceci vient renforcer les résultats de Cadet et Nnoli (1987) selon lesquelles les flux d'humidité provenant de l'Afrique de l'Est jouent un rôle plus important sur le bilan d'eau au Sahel. Ils soutiennent que ce transport de l'Afrique de l'Est et l'Afrique centrale vers le Sahel s'effectue via le Jet d'Est Africain.

Références bibliographiques

- Cadet, D. L., Nnoli, N. O., 1987 : Water Vapour Transport Over Africa and the Atlantic Ocean During Summer 1979. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **113**, 581-602.
- De Felice P, Viltard A, Camara M., 1982 : Vapeur d'eau dans la troposphère en Afrique de l'Ouest. *La météorologie*, **29-30**, 129-34.
- Deme A., 2002 : Indices de convection et précipitations quotidiennes en Afrique de l'Ouest : un pas vers la prévision de la pluie à Dakar à quelques jours d'échéance. Thèse de Doctorat de l'Université Paris XII, 213p.
- Deme A., Viltard A., De Félice P., 2003 : Daily Precipitation Forecasting in Dakar Using the NCEP-NCAR Reanalyses. *Wea. Forecasting*, **18**, 93-105.
- Gaye A., Viltard A., De Félice P., 2005 : Squall lines and rainfall over Western Africa during summer 1986 and 87. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **90**(3-4), 215-224.
- Leary C. A., Houze R. A. Jr, 1979 : The structure and evolution of convection in a tropical cloud cluster. *J Atmos Sci*, **36**, 437-457.
- Meynadier R., 2010 : Analyse multi-échelle du cycle de l'eau dans la mousson africaine à l'aide d'observations GPS. *Climatology*. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2010.
- Meynadier R., Bock O., Guichard F, Boone A., Roucou P., Redelsperger J.-L., 2010 : West African Monsoon water cycle: 1. A hybrid water budget data set. *J. Geophys. Res.*, **115**, D19106.
- Meynadier, R., Bock O., Gervois S., Guichard F., Redelsperger J.-L., Agustí-Panareda A., Beljaars A., 2010 : West African Monsoon water cycle: 2. Assessment of numerical weather prediction water budgets. *J. Geophys. Res.*, **115**, D19107.
- Monkam D. 2007 : Influence des deux régimes d'ondes d'est sur les flux de vapeur d'eau en Afrique de l'Ouest durant l'été 1981. *Sécheresse*, **18**(2), 89-95.
- Peugeot C., Guichard F., Bock O., Bouniol D., Chong M., Boone A., Cappelaere B., Gosset M., Besson L., Lemaître Y., Séguis L., Zannou A., Galle S., Redelsperger J.-L., 2011 : Mesoscale water cycle within the West African Monsoon. *Atmospheric Science Letters*, **12**, 10.1002/asl.v12.1, 45-50.