



HAL
open science

Reproductibilité des pluies et de la dynamique atmosphérique en Afrique Australe dans un modèle climatique régional : Approche multiscalaire

Julien Crétat, Clémence Macron, Benjamin Pohl, Yves Richard

► To cite this version:

Julien Crétat, Clémence Macron, Benjamin Pohl, Yves Richard. Reproductibilité des pluies et de la dynamique atmosphérique en Afrique Australe dans un modèle climatique régional : Approche multiscalaire. XXIIIeme colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sep 2010, Rennes, France. hal-00484818

HAL Id: hal-00484818

<https://hal.science/hal-00484818>

Submitted on 19 May 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REPRODUCTIBILITE DES PLUIES ET DE LA DYNAMIQUE ATMOSPHERIQUE EN AFRIQUE AUSTRALE DANS UN MODELE CLIMATIQUE REGIONAL : APPROCHE MULTISCALE

CRETAT J.¹, MACRON C.¹, POHL B.¹, RICHARD Y.¹

¹ Centre de Recherches de Climatologie, CNRS UMR 5210 / Université de Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France, julien.cretat@u-bourgogne.fr

Résumé : 30 simulations numériques ne différant que par les conditions initiales de l'atmosphère permettent de documenter la reproductibilité du climat simulé en Afrique australe par un modèle climatique régional. Les simulations portent sur une saison pluvieuse (Décembre-Février 1993-94) proche de la moyenne en termes de pluies. A l'échelle synoptique, les régimes de circulation détectés sont clairement reproductibles d'une expérience à une autre. A des échelles plus fines, le modèle simule correctement les principaux pics pluviométriques et l'alternance entre phases humides et phases sèches. Certains épisodes peu reproductibles sont néanmoins clairement identifiables et correspondent à un contrôle plus faible des situations de large échelle.

Mots-clés : modélisation climatique régionale, Afrique Australe, variabilité pluviométrique

Abstract : 30 numerical simulations initialized with perturbed atmospheric conditions are performed by a regional climate model to document the reproducibility of simulated climate over Southern Africa. One rainy season (December-February 1993-94) close to the rainfall climatology is simulated. At synoptic scale, circulation regimes are clearly reproducible from an experiment to another. At a more local scale, the model accurately simulates the main rainfall peaks and the alternation between wet and dry spells. Given spells characterized by a limited reproducibility were nonetheless identified and correspond to a weaker influence of large-scale atmospheric configurations around the domain.

Keywords : regional climate model, Southern Africa, rainfall variability

Introduction

Cette étude traite de la reproductibilité des pluies et de la dynamique atmosphérique simulées au pas de temps quotidien par un modèle climatique régional, l'Advanced Research Weather Forecast (WRF-ARW, Skamarock *et al.*, 2008), en Afrique australe, pendant le cœur de la saison des pluies d'été.

Trente expériences numériques (membres par la suite) initialisées avec des conditions atmosphériques (température, humidité, pression, vents) différentes sont simulées du 17 Novembre 1993 au 28 Février 1994. Les différences entre chaque membre concernent uniquement les conditions initiales, à savoir les champs atmosphériques injectés au premier pas de temps simulé. Seul le trimestre Décembre 1993-Février 1994 (DJF94 par la suite) est analysé, après 15 jours de mise à l'équilibre entre la surface et l'atmosphère. Cette saison est proche de la normale climatique en termes de quantités précipitées et ne correspond pas à un événement El Niño Southern Oscillation (ENSO).

La comparaison des 30 membres permet d'identifier la variabilité externe imposée par les forçages latéraux de large échelle des réanalyses européennes ERA40 (Uppala *et al.*, 2005), c'est-à-dire la variabilité commune entre les 30 membres. Elle permet aussi, au travers des différences entre les 30 membres, d'identifier la variabilité interne du système couplé continent-atmosphère à l'intérieur du domaine simulé.

A l'échelle de l'ensemble du domaine, les objectifs sont de documenter la reproductibilité des principaux régimes de circulation simulés au cours de la saison DJF94. A l'échelle régionale et locale, la variabilité intrasaisonnière des pluies et leur reproductibilité sont analysées. Une étude de cas est ensuite conduite pour comprendre les possibles causes de divergence (non reproductibilité) entre les membres.

1. Reproductibilité des régimes de circulation en Afrique australe

A l'échelle du domaine simulé, les régimes de circulation quotidiens de la saison DJF94 sont définis par classification en nuées dynamiques (k-means, Michelangeli et *al.*, 1995) appliquée à la hauteur géopotentielle à 500 hPa des 30 membres (cf légende Fig. 1 pour plus de détails).

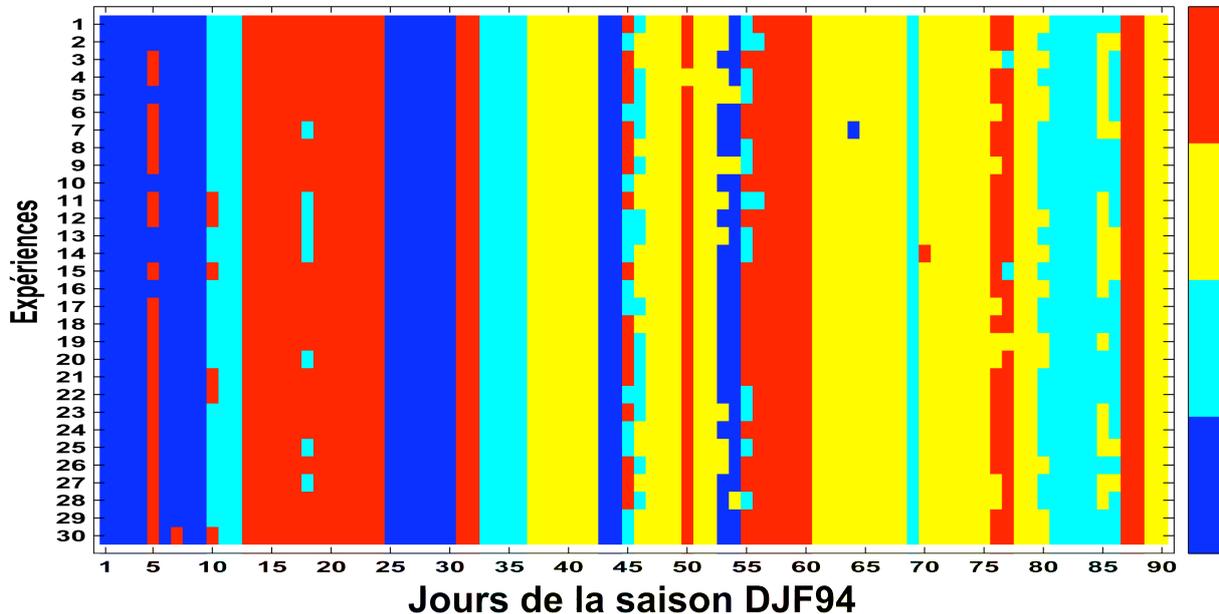


Figure 1 : Succession des 4 régimes de circulation au cours de la saison DJF94 pour chacune des 30 expériences. Les régimes de circulation sont obtenus par classification en nuées dynamiques (200 itérations) de 5 composantes principales résumant 80% de la variance de la matrice suivante : 90 jours * 30 membres (lignes), 18352 points de grilles de 35 km de résolution horizontale décrivant la distribution spatiale de la hauteur géopotentielle à 500 hPa (colonnes). Cette matrice est préalablement standardisée pour donner le même poids à chaque point de grille, puis pondérée par le cosinus carré de la latitude pour prendre en compte leurs différences de superficie.

La Figure 1 illustre la persistance et la succession des 4 régimes de circulation détectés par l'indice de classifiabilité (non montré). Excepté quelques événements tels que les séquences de 2 jours consécutifs débutant le 14 et le 23 janvier (jours 45 et 55), la variabilité temporelle des régimes de circulation est très proche d'un membre à un autre. Les structures atmosphériques simulées par WRF en moyenne troposphère sont par conséquent clairement reproductibles pour la saison DJF94, suggérant un fort contrôle des forçages latéraux ERA40.

2. Reproductibilité des précipitations régionales et locales, et rôle des forçages synoptiques

Cette section documente la variabilité intrasaisonnière des précipitations et de leur reproductibilité. Une étude de cas est ensuite considérée dans le but de détailler l'influence des forçages synoptiques latéraux sur les incertitudes régionales et locales.

2.1. Echelle régionale

A l'échelle régionale, la Figure 2a montre la chronique saisonnière d'un indice pluviométrique observé et simulé, moyenné sur le nord-est de l'Afrique du Sud (soumis à un régime pluvial tropical, non montré). La Figure 2b représente la dispersion inter-membres de cet indice. Pour un jour donné, plus l'écart-type et le coefficient de variation inter-membres sont forts, moins la quantité précipitée est reproductible.

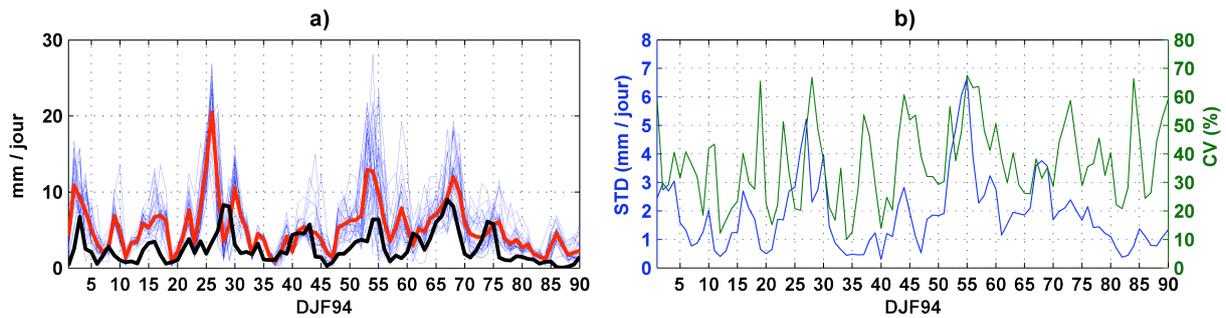


Figure 2 : a) Indices pluviométriques du domaine sud-africain à régime pluvial tropical (mm/jour) : observations (noir), simulations (chaque membre en bleu et moyenne d'ensemble en rouge). L'indice observé a été calculé à partir de 5352 stations pluviométriques interpolées à la résolution de WRF. b) Ecart-type (bleu) et coefficient de variation (vert) inter-membres calculés pour chaque jour de la saison DJF94.

Quel que soit le membre considéré, la chronique de pluie simulée montre une co-variabilité très limitée avec les relevés pluviométriques *in situ*. Malgré une surestimation des quantités précipitées et un décalage de plus ou moins 2 jours, les principaux pics de pluie observés sont tout de même convenablement simulés par WRF, notamment ceux du 28 décembre, du 24 janvier et du 5 février (respectivement jours 28, 55 et 67, Fig. 2a). Ce résultat démontre la bonne aptitude du modèle à simuler les événements pluviométriques intenses. En outre, la plupart des phases sèches observées sont correctement simulées (tant en cumul qu'en durée). Excepté le 24 février (jour 86), les biais entre simulations et observations y sont même relativement faibles.

D'un membre à l'autre, la reproductibilité des pluies semble plus forte lors des phases sèches, malgré quelques exceptions (le 19 décembre (jour 19) et les 2-22-28 février (respectivement jours 33-84-90)). Les membres tendent clairement à diverger lors des phases les plus arrosées (Fig. 2a, b). Ce dernier point est particulièrement vrai pendant la phase du 23 au 30 décembre, pour laquelle la dispersion inter-membres maximale atteint un écart-type 5 mm/jr et un coefficient de variation de 65%. De même, la longue phase s'étalant du 19 janvier (jour 50) au 13 février (jour 75) apparaît clairement comme la séquence la moins reproductible de la saison pluvieuse (Fig. 2b). L'écart-type et le coefficient de variation inter-membres y atteignent les valeurs les plus fortes de la saison DJF94 (respectivement près de 6 mm/jr et de 65% le 24 janvier; jour 55). De possibles éléments d'explication à l'origine de ce comportement plus chaotique seront présentés dans la partie 2.3.

2.2. Echelle locale

A l'échelle locale, la Figure 3a montre la dispersion des biais quotidiens de chaque membre pour le point de grille le plus proche de la station pluviométrique de Pretoria (étoile rouge, Fig. 3b). Si la dispersion inter-membres est davantage marquée à cette échelle qu'à l'échelle régionale (Fig. 2a, b), les jours les moins reproductibles à l'échelle régionale sont également les moins reproductibles à l'échelle locale. En détail, les 26-27 décembre (jours 26-27) sont marqués par la dispersion inter-membres la plus élevée de la saison (Fig. 3a). De même qu'à l'échelle régionale (Fig. 2a), WRF y surestime systématiquement les quantités précipitées. Le 24 janvier (jour 55) est également associé à une forte dispersion des pluies simulées, mais contrairement au 28 décembre, les biais peuvent être indifféremment des deux signes (comme à l'échelle régionale, Fig. 2a) selon les membres.

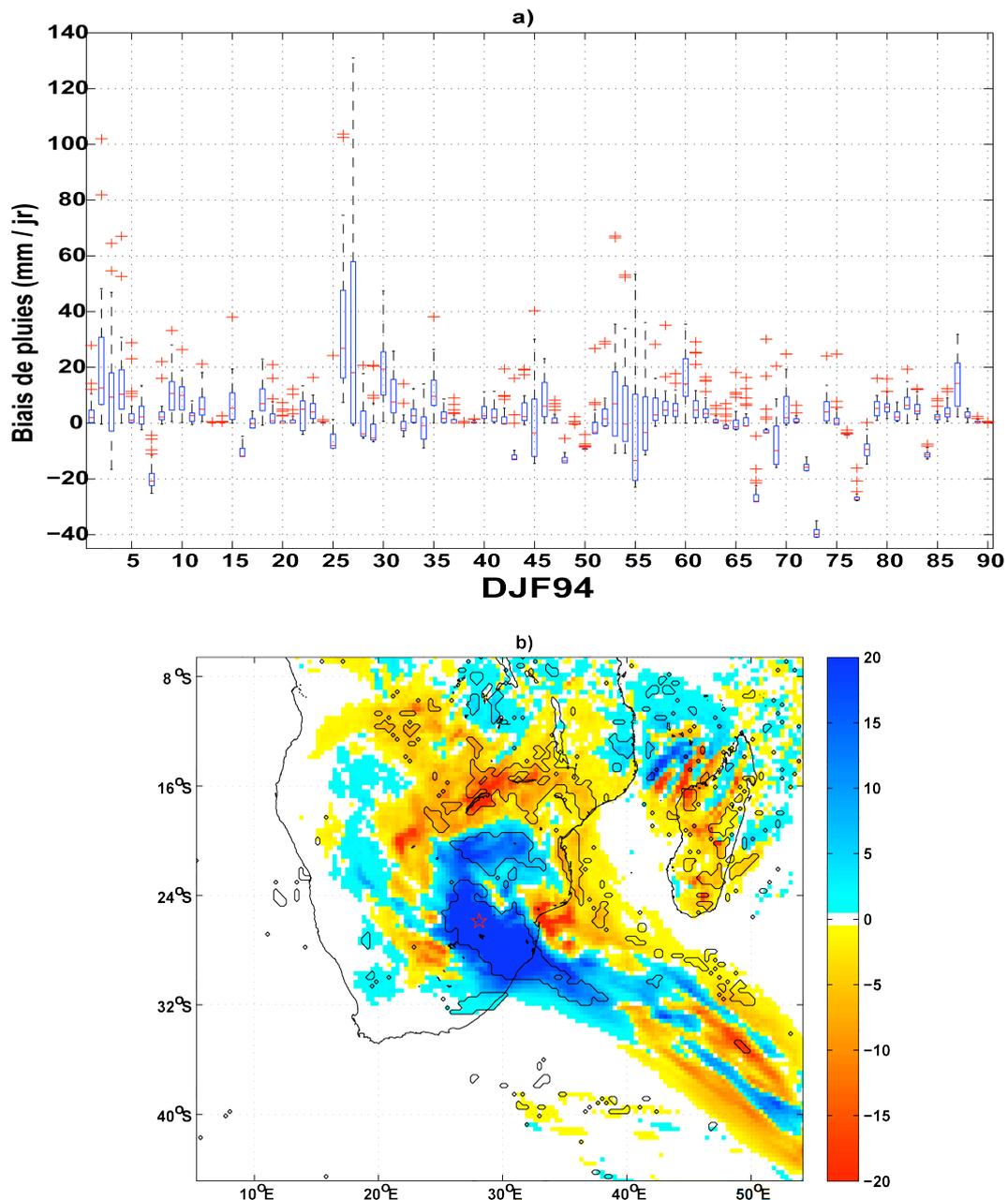


Figure 3 : a) Biais pluviométriques quotidiens de chaque membre par rapport aux relevés *in situ* de Pretoria (étoile rouge, Fig. 3b), période DJF94. Les biais, calculés au point de grille le plus proche, sont illustrés par un graphique en moustache afin de rendre compte de la dispersion inter-membres. b) Différences morphologiques des structures pluviométriques entre la composite des 10 membres les plus pluvieux et celle des 10 membres les plus secs au point de grille de Pretoria le 24 janvier 1994 (jour 55). Les contours indiquent les structures significatives à 95% de confiance selon un t-test de Student.

Contrairement aux régimes de circulation de large échelle (Section 1), les précipitations régionales ou locales sont donc susceptibles de présenter temporairement des séquences caractérisées par une très faible reproductibilité, suggérant un contrôle plus faible des forçages atmosphériques aux bornes du domaine. Il s'agit ici d'en faire une analyse plus détaillée.

La Figure 3b illustre les caractéristiques morphologiques des pluies des 10 membres les plus humides par rapport aux 10 membres les plus secs à Pretoria le 24 janvier (jour 55, Fig. 3a). Elle montre d'une part que les membres les plus humides à Pretoria sont plus pluvieux sur tout le nord-est de l'Afrique du Sud, jusque sur l'océan Indien proche. D'autre part, les membres les plus secs à Pretoria sont plus pluvieux au nord et à l'est, selon une bande

diagonale reliant le sud de l'Angola au Mozambique et à Madagascar. Dans les deux cas, la géographie de la bande pluvieuse simulée est relativement comparable, avec une orientation nord-ouest sud-est (non montré). La dispersion inter-membres locale trouvée le 24 janvier (Fig. 3a) résulte donc d'incertitudes sur la localisation de cette bande pluvieuse, décalée vers le nord et l'est pour les membres qui sont les plus secs à Pretoria.

2.3. Rôle des forçages atmosphériques synoptiques

Le passage d'une phase de convergence (pluies reproductibles) à une phase de divergence (pluies peu reproductibles) s'explique théoriquement par un affaiblissement du contrôle synoptique exercé par les forçages latéraux. Pour tester cette hypothèse, nous examinons les forçages synoptiques fournis par ERA40 aux bornes du domaine simulé. L'étude de cas du 24 janvier est ici poursuivie car ce jour est caractérisé par une forte dispersion inter-membres à la fois aux échelles régionale et locale (Figs. 2 et 3) et par des biais des deux signes par rapport aux observations. La Figure 4a présente les flux de masse intégrés verticalement entre 1000 et 100 hPa et leur convergence, estimés par ERA40 le 24 janvier.

La Figure 4b montre les différences significatives entre les champs journaliers et les moyennes saisonnières (décrivant des flux d'ouest dominants au sud de 35°S, non montré). Les différences (Fig. 4b) sont presque exclusivement situées aux moyennes latitudes, soumises à une circulation anticyclonique au sud-ouest du domaine simulé. Les flux entrants (borne ouest) et sortants (borne est) sont tous deux fortement réduits au sud de 30°S par rapport à la moyenne saisonnière. L'allongement du temps de transit de ces flux à l'intérieur du domaine réduit le contrôle de la large échelle imposée au modèle climatique régional, lui laissant davantage de degrés de liberté pour simuler son propre climat. Par conséquent, les incertitudes relatives aux quantités précipitées le 24 janvier et à leur distribution spatiale semblent être fortement liées à la réduction des flux d'ouest des moyennes latitudes.

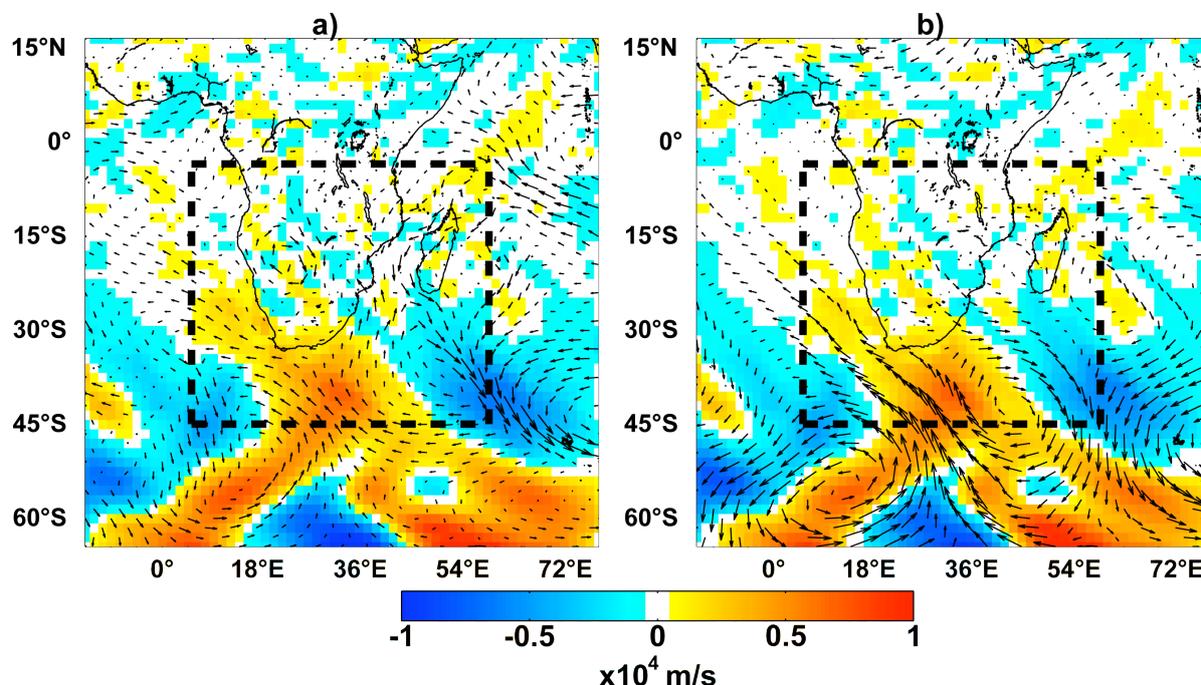


Figure 5 : a) Moyenne journalière des flux de masse du 24 janvier 1994 (composantes zonale et méridienne du vent) ERA40, intégré entre 1000 et 100 hPa, et convergence associée. Un vecteur sur 4 est représenté. La convergence des flux est symbolisée par des couleurs froides. b) Différences significatives à 99% entre a) et la moyenne saisonnière de ces champs selon un t-test de Student.

Conclusion

Cette étude visait à distinguer la partie reproductible et la partie non reproductible du signal climatique simulé à différentes échelles spatiales par un modèle climatique régional sur l'Afrique Australe. Les configurations atmosphériques de large échelle apparaissent très reproductibles d'un membre à un autre. Il semblerait donc *a priori* qu'une réalisation unique suffise pour documenter convenablement, à cette échelle, les structures atmosphériques récurrentes de la saison DJF94. Aux échelles régionales et locales, WRF simule correctement les principaux pics de pluie observés au cours de la saison DJF94, malgré une tendance à les surestimer. L'alternance entre phases sèches et phases arrosées, dans l'observation, est bien reproduite. En revanche, les quantités précipitées simulées par le modèle varient sensiblement d'un membre à un autre, surtout lors des phases les plus arrosées. Ces incertitudes sont ici interprétées comme des phases peu reproductibles, justifiant pleinement l'utilisation de 30 membres pour documenter la pluviométrie intrasaisonnière en Afrique australe. L'étude de cas du 24 janvier 1994 montre clairement une forte variabilité interne du système couplé continent-atmosphère lorsque les forçages imposés par la large échelle sont faibles. Les incertitudes relatives à la localisation de la bande pluvieuse du 24 janvier semblent ainsi résulter d'un ralentissement des flux d'ouest des moyennes latitudes.

Bibliographie

Michelangeli P., Vautard R., Legras B., 1995 : Weather regime occurrence and quasi-stationarity. *Journal of Atmospheric Sciences*, **52**, 1237-1256.

Skamarock W., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D., Barker D., Duda M., Huang X., Wang W., Powers J., 2008 : A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-475+STR, 123 pp.

Uppala S.M., Kallberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., Bechtold V.D.C., Fiorino M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li X., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., Van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevallier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Holm E., Hoskins B.J., Isaksen L., Janssen P.A.E.M., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.F., Morcrette J.J., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Vitterbo P., Woollen J., 2005 : The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Meteorological Society*, **131**, 2961-3012.