

SIMULATION DES PRÉCIPITATIONS DANS LA RÉGION DU LAC VICTORIA (AFRIQUE ÉQUATORIALE DE L'EST) À L'AIDE DU MODÈLE RÉGIONAL MAR

DOUTRELOUP S., FETTWEIS X., ERPICUM M.

Laboratoire de Climatologie et Topoclimatologie, Département de Géographie, UR SPHERES, Université de Liège, Liège, Belgique (s.doutreloup@uliege.be)

Résumé : *La région du Lac Victoria en Afrique équatoriale de l'Est constitue un véritable défi pour la modélisation régionale, et plus particulièrement pour la simulation des précipitations. Dans cette étude, le modèle régional MAR est utilisé pour simuler les précipitations sur cette région d'Afrique. MAR est forcé à ses frontières par les réanalyses ERA-Interim sur la période 1987-2017 et possède une résolution horizontale de 15 km. L'objectif de cette étude est, premièrement, d'évaluer les précipitations simulées par MAR par rapport à différentes bases de données d'observations, deuxièmement, de déterminer s'il y a eu des changements dans le régime des précipitations sur la période étudiée et enfin, troisièmement, de déterminer si le modèle MAR est capable de simuler les variations saisonnières des précipitations dans cette région. Les résultats montrent qu'il est très difficile d'évaluer les sorties d'un modèle sur cette région alors que les données d'observations disponibles sont contradictoires.*

Mots clés : *Afrique ; modélisation régionale ; précipitation*

Summary: *Rainfall simulation in the Lake Victoria region (Eastern Equatorial Africa) using the MAR regional model. The region of the Lake Victoria in Eastern Equatorial Africa is a real challenge for regional modeling, particularly for rainfall simulation. In this study, the regional model MAR is used to simulate rainfall over this region of Africa. MAR is forced at its boundaries by the ERA-Interim reanalyses over the period 1987-2017 and has a horizontal resolution of 15 km. The objective of this study is, firstly, to assess the rainfall simulated by MAR against different observation databases, secondly, to determine whether there have been any changes in the rainfall regime over the study period and thirdly, to determine if MAR model is capable of simulating seasonal variations in rainfall in this region. The results show that it is very difficult to evaluate the outputs of a model over this region when the available observational data are contradictory.*

Key words: *Africa; regional modeling; precipitation*

Introduction

Le modèle régional MAR (pour Modèle Atmosphérique Régional) simule les conditions atmosphériques avec succès dans des régions au climat polaire aussi bien au Groenland (Fettweis *et al.*, 2013, 2017) qu'en Antarctique (Kittel *et al.*, 2018 ; Agosta *et al.*, 2019) mais aussi dans des régions au climat tempéré comme en Belgique (Wyard *et al.*, 2017 ; Doutreloup *et al.*, 2019). MAR permet également de simuler les précipitations sur des régions d'Afrique de l'Ouest (Brasseur *et al.*, 1998 ; Gallée *et al.*, 2004).

Cependant, MAR n'a pas encore été utilisé sur la région du Lac Victoria au climat tropical de savane. Or cette région constitue un véritable défi pour la modélisation régionale, et plus particulièrement pour la simulation des précipitations notamment en raison du passage de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) qui offre une variabilité saisonnière particulière, mais aussi en raison de l'orographie locale qui influence la répartition spatiale des précipitations.

L'objectif de cette étude est, premièrement, d'évaluer les précipitations simulées par MAR par rapport à différentes bases de données d'observations, deuxièmement, de déterminer s'il y a eu des changements dans le régime des précipitations sur la période étudiée et enfin, troisièmement, de déterminer si le modèle MAR est capable de simuler les variations saisonnières des précipitations dans cette région.

1. Données et Méthodes

1.1. Configuration du modèle régional MAR

Le modèle régional MAR est un modèle tridimensionnel atmosphérique couplé à un schéma unidimensionnel de transfert entre la surface, la végétation et l'atmosphère (De Ridder et Gallée, 1998).

Comme MAR est un modèle régional, il a besoin d'être alimenté par un modèle global à ses frontières latérales, c'est ainsi que les conditions atmosphériques d'une réanalyse ou d'un modèle de circulation générale doivent être directement forcées aux bords du domaine MAR toutes les 6 heures. Les variables atmosphériques utilisées par ce forçage sont la température, la pression, le vent et l'humidité spécifique, ainsi que la température de surface de la mer.

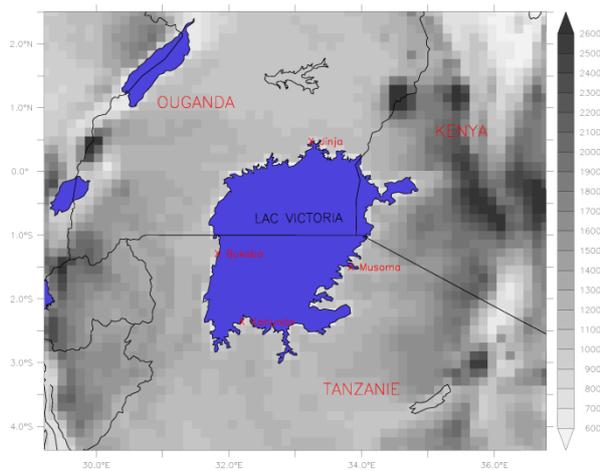


Figure 1. Topographie (trame en échelle de gris, en mètre) du domaine du modèle MAR sur la région du Lac Victoria, les étendues d'eau sont en bleu, les noms des pays sont en majuscules rouges et le nom des villes utilisées dans cette étude en minuscules rouges.

Dans cette étude, le modèle régional MAR (version 3.9) est forcé à ses frontières par les réanalyses ERA-Interim sur la période 1987-2017 et possède une résolution horizontale de 15 km. Le domaine MAR est composé de 80 x 75 pixels, soit un domaine de 1200 km x 1125 km (Fig.1).

1.2. Données d'observations utilisées

Les données pluviométriques du « Climate Prediction Center » (CPC ; (Xie *et al.*, 2007 ; Chen *et al.*, 2008)) et du « Climatic Research Unit » (CRU ; (Harris *et al.*, 2014)) sont utilisées. La base de données CPC fournit des précipitations journalières maillées de 1979 à nos jours partout sur le globe. Pour ce faire, les données de plus de 30 000 pluviomètres sont collectées et comparées à des observations satellites et radar, puis sont extrapolées sur une grille à 0.5° x 0.5°. La base de données CRU fournit les précipitations mensuelles maillées de 1901 à nos jours à partir de données mensuelles de stations météorologiques réparties sur l'ensemble du globe. Comme pour les données CPC, les données CRU sont extrapolées sur une grille à la résolution spatiale de 0.5° x 0.5°.

2. Résultats

Les Figures 2 et 3 montrent que les précipitations moyennes annuelles simulées par MAR comportent des biais assez importants (> 600 mm/an) sur la bordure nord-est du Lac Victoria, mais aussi à l'ouest du domaine. Sur la moitié ouest du domaine, même si les biais sont

importants, ils sont peu significatifs (Fig.3) alors que sur la moitié est du domaine les biais sont significatifs et compris entre -100 et -600 mm/an.

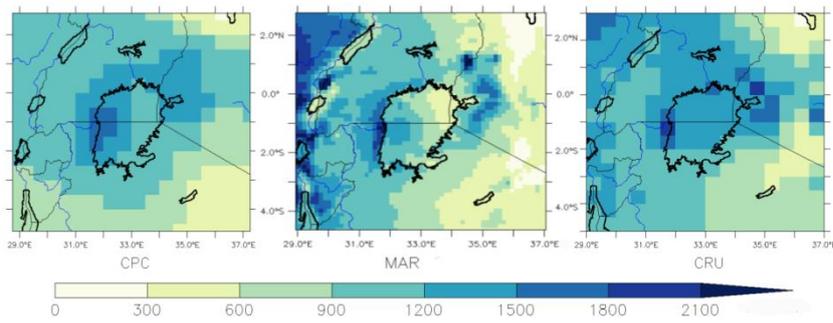


Figure 2. Précipitations moyennes annuelles (en mm/an) simulées par MAR (au milieu) et fournies par les données CPC (à gauche) et par les données CRU (à droite) sur la période 1987-2017 dans la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l'Est).

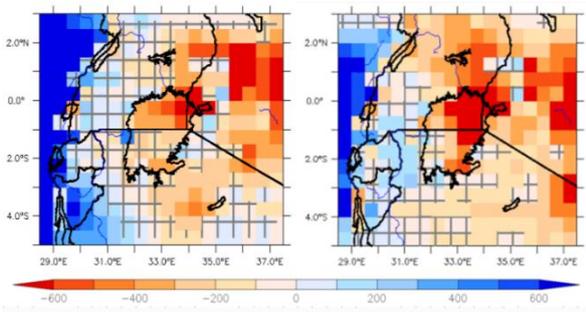


Figure 3. Biais (en mm/an) entre les précipitations moyennes annuelles simulées par MAR et celles fournies par les données CPC (à gauche) et CRU (à droite) sur la période 1987-2017 dans la région du Lac Victoria (Afrique équatoriale de l'Est). Les pixels quadrillés sont considérés comme ayant des biais statistiquement non-significatifs c'est-à-dire ayant un biais inférieur à la variabilité interannuelle.

Sur la Figure 4, la tendance des précipitations moyennes annuelles simulées par MAR indique une augmentation des précipitations au nord-est du domaine comme pour les données CRU. En revanche, les données CPC montrent des tendances complètement différentes avec une diminution des précipitations au nord et une augmentation au sud-ouest du Lac Victoria.

La variabilité saisonnière des précipitations autour du Lac Victoria simulée par MAR représente bien les variabilités saisonnières observées par les données CPC et CRU, le coefficient de corrélation est compris entre 0,8 et 0,9 en fonction des pixels représentant les principales villes. Les valeurs de précipitations moyennes mensuelles simulées par MAR sont comprises dans la gamme de valeurs composées par les deux données d'observation, sauf dans le cas de Bukoba où les deux *maxima* de précipitations sont surestimés par les simulations MAR (>150 mm/mois).

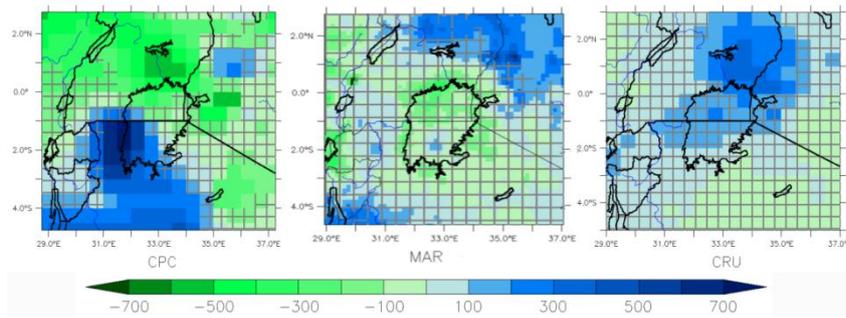


Figure 4. Tendance (en mm/an/31ans) des précipitations moyennes annuelles simulées par MAR (au milieu) et celles fournies par les données CPC (à gauche) et CRU (à droite) sur la période 1987-2017 dans la région du Lac Victoria (Afrique Équatoriale de l'Est). Les pixels quadrillés sont considérés comme ayant des tendances statistiquement non-significatives.

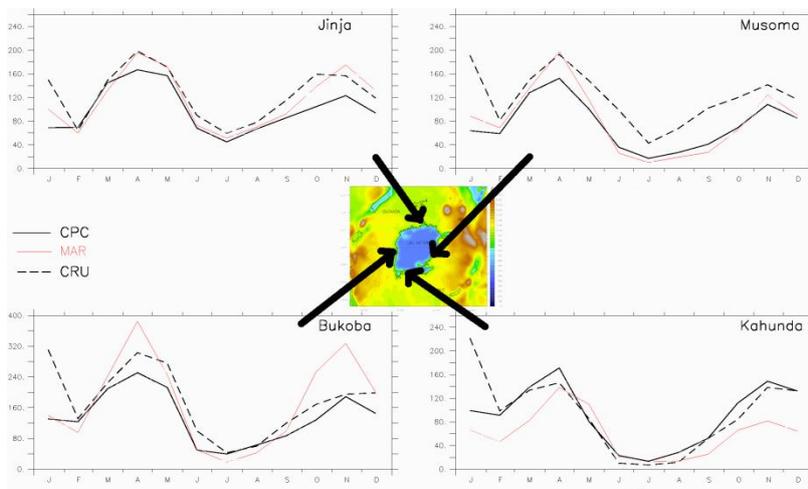


Figure 5. Moyennes des cumuls mensuels de précipitations (en mm/mois) simulées par MAR (lignes rouges continues) et fournies par les données CPC (lignes noires continues) et par les données CRU (lignes noires pointillées) sur la période 1987-2017 pour quatre villes situées sur les rives du Lac Victoria et pointées sur la carte avec les flèches noires. Attention : l'axe des ordonnées pour la ville de Bukoba est différent des autres villes.

3. Discussions

Les Figures 2 à 5 montrent clairement que les deux bases de données d'observations sont assez différentes l'une de l'autre :

- La Figure 2 montre que les précipitations moyennes annuelles observées par CPC (à gauche) et CRU (à droite) sont différentes et ne représentent pas les mêmes quantités aux mêmes endroits (par exemple sur les reliefs en bordure ouest du domaine ou sur les reliefs au nord-est du Lac Victoria).
- La Figure 4 présente des tendances de précipitations entre les deux observations qui sont contraires.
- Même si la variabilité saisonnière est semblable entre les deux observations, la Figure 5 indique que les valeurs moyennes observées comportent des écarts qui peuvent aller jusqu'à 80 mm/mois.

Ces différences importantes entre les deux bases de données d'observation ne permettent pas une comparaison aisée des précipitations simulées par MAR. D'ailleurs, sur la Figure 2, les biais de MAR par rapport aux deux observations sont élevés sur les deux régions (ouest du domaine et nord-est du Lac Victoria) où les différences entre les observations sont elles-aussi élevées.

Même si les variations saisonnières sont cohérentes entre les deux observations, les tendances des précipitations moyennes annuelles sur les 31 années sont contradictoires entre CPC et CRU. Les tendances du MAR indiquent une plus forte similitude avec les données CRU. Cependant, vu l'énorme incertitude des observations, nous ne pouvons rien conclure quant à la tendance des précipitations de 1987 à 2017 sur cette région d'Afrique. D'ailleurs, la tendance générale sur le domaine est faiblement significative aussi bien dans les observations que dans la simulation.

D'autres études (Diem *et al.*, 2014 ; Thiery *et al.*, 2015 ; Nicholson, 2016) illustrent d'ailleurs qu'il n'existe aucune bonne donnée d'observation dans cette région et qu'il est préférable d'utiliser un ensemble d'observations afin d'évaluer au mieux l'incertitude sur les précipitations. La densité des stations météorologiques dans cette région d'Afrique est tellement faible et les périodes de disponibilités tellement fluctuantes dans le temps que des artefacts peuvent apparaître entre plusieurs données d'observations pouvant mener à des incohérences (Maidment *et al.*, 2015).

Conclusions

Dans cette étude, le modèle régional MAR est utilisé pour simuler les précipitations sur la région du Lac Victoria en Afrique Équatoriale de l'Est. MAR, à la résolution horizontale de 15 km, est forcé à ses frontières par les réanalyses ERA-Interim sur la période 1987-2017 et est comparé aux données d'observation maillées CPC et CRU.

Premièrement, l'évaluation des précipitations montre des biais élevés entre MAR et les données d'observations maillées. Cependant, les précipitations provenant des observations sont également très différentes entre elles.

Deuxièmement, la tendance des précipitations simulées par MAR est similaire à la tendance des précipitations fournies par CRU sur la période 1987-2017. Toutefois, la tendance des précipitations fournies par CPC sont contraires à celles fournies par CRU. Il est donc impossible de conclure quoique ce soit de définitif quant à la qualité des précipitations simulées par MAR.

Enfin, troisièmement, MAR est tout à fait capable de simuler les variations saisonnières des précipitations dans cette région. Même si les valeurs observées et simulées sont différentes, il ressort que les observations sont cohérentes entre elles et que les simulations sont également cohérentes avec les observations.

Afin de contrôler les données d'observations maillées, mais aussi d'évaluer de manière robuste les résultats du modèle MAR, une perspective intéressante serait d'obtenir des données d'observation *in situ* d'un ensemble de stations météorologiques. Mais un travail d'analyse de qualité des données serait absolument nécessaire avant leur utilisation.

Finalement, même s'il est relativement compliqué de travailler sur cette région du monde à cause du manque de données d'observations et/ou du manque de continuités dans ces données, il apparaît que la simulation des précipitations par MAR est cohérente tant en termes de répartition spatiale qu'en termes de variabilité saisonnière.

Bibliographie

Agosta C., Amory C., Kittel C., Orsi A., Favier V., Gallée H., van den Broeke M.R., Lenaerts J.T.M., Van Wessem J.M., Van de Berg W.J., Fettweis X., 2019. Estimation of the Antarctic surface mass balance using the regional climate model MAR (1979–2015) and identification of dominant processes. *The Cryosphere*, 13(1), 281–296. Doi: <https://doi.org/10.5194/tc-13-281-2019>

Brasseur O., Ntezimana V., Gallée H., Schayes G., Tricot C., 1998. *Importance of the convective adjustment scheme in the simulation of the diurnal cycle of convective activity in Africa*. Royal Meteorological Institute of Belgium; Royal Academy of Overseas Sciences, 299–312.

- Chen M., Shi W., Xie P., Silva V.B.S., Kousky V.E., Wayne Higgins R., Janowiak J.E., 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*. John Wiley & Sons, Ltd, 113(D4): D04110. Doi: <https://doi.org/10.1029/2007JD009132>.
- De Ridder K., Gallée H., 1998. Land Surface–Induced Regional Climate Change in Southern Israel. *Journal of Applied Meteorology*, 37(11), 1470–1485. Doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1998\)037<1470:LSIRCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1998)037<1470:LSIRCC>2.0.CO;2).
- Diem J.E., Ryan S.J., Hartter J., Palace M.W., 2014. Satellite-based rainfall data reveal a recent drying trend in central equatorial Africa. *Climatic Change*. Springer Netherlands, 126(1–2), 263–272. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1217-x>.
- Doutreloup S., Wyard C., Amory C., Kittel C., Erpicum M., Fettweis X., 2019. Sensitivity to Convective Schemes on Precipitation Simulated by the Regional Climate Model MAR over Belgium (1987–2017). *Atmosphere*, 10(1), 34p. Doi: <https://doi.org/10.3390/atmos10010034>.
- Fettweis X., Box J.E., Agosta C., Amory C., Kittel C., Lang C., Van As D., Machguth H., Gallée H., 2017. Reconstructions of the 1900–2015 Greenland ice sheet surface mass balance using the regional climate MAR model. *The Cryosphere*, 11(2), 1015–1033. Doi: <https://doi.org/10.5194/tc-11-1015-2017>.
- Fettweis X., Franco B., Tedesco M., Van Angelen J.H., Lenaerts J.T.M., Van den Broeke M.R., Gallée H., 2013. Estimating the Greenland ice sheet surface mass balance contribution to future sea level rise using the regional atmospheric climate model MAR. *The Cryosphere*, 7(2), 469–489. Doi: <https://doi.org/10.5194/tc-7-469-2013>.
- Gallée H., Moufouma-Okia W., Bechtold P., Brasseur O., Dupays I., Marbaix P., Messenger C., Ramel R., Lebel T., 2004. A high-resolution simulation of a West African rainy season using a regional climate model. *Journal of Geophysical Research*. Wiley-Blackwell, 109(D5): D05108. Doi: <https://doi.org/10.1029/2003JD004020>.
- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*. John Wiley & Sons, Ltd, 34(3), 623–642. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3711>.
- Kittel C., Amory C., Agosta C., Delhasse A., Doutreloup S., Huot P.-V., Wyard C., Fichet T., Fettweis X., 2018. Sensitivity of the current Antarctic surface mass balance to sea surface conditions using MAR. *The Cryosphere*, 12(12), 3827–3839. Doi: <https://doi.org/10.5194/tc-12-3827-2018>.
- Maidment R.I., Allan R.P., Black E., 2015. Recent observed and simulated changes in precipitation over Africa. *Geophysical Research Letters*. John Wiley & Sons, Ltd, 42(19), 8155–8164. Doi: <https://doi.org/10.1002/2015GL065765>.
- Nicholson S.E., 2016. An analysis of recent rainfall conditions in eastern Africa. *International Journal of Climatology*. John Wiley & Sons, Ltd, 36(1), 526–532. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4358>.
- Thiery W., Davin E.L., Panitz H.-J., Demuzere M., Lhermitte S., Van Lipzig N., 2015. The Impact of the African Great Lakes on the Regional Climate. *Journal of Climate*, 28(10), 4061–4085. Doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00565.1>.
- Wyard C., Scholzen C., Fettweis X., Van Campenhout J., François L., 2017. Decrease in climatic conditions favouring floods in the south-east of Belgium over 1959–2010 using the regional climate model MAR. *International Journal of Climatology*. John Wiley & Sons, Ltd, 37(5), 2782–2796. Doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4879>.
- Xie P., Chen M., Yang S., Yatagai A., Hayasaka T., Fukushima Y., Liu C., 2007. A Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation over East Asia. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 607–626. Doi: <https://doi.org/10.1175/JHM583.1>