

ÉVOLUTION RÉCENTE DES PRÉCIPITATIONS DE MARS-MAI EN AFRIQUE DE L'EST : CONFIGURATIONS SPATIALES ET ÉVOLUTION SUBSAISONNIÈRE

PHILIPPON N. ⁽¹⁾, CAMBERLIN P. ⁽¹⁾, MORON V. ⁽²⁾, GITAU W. ⁽³⁾, OZER P. ⁽⁴⁾

(1) Centre de Recherches de Climatologie, UMR Biogéosciences, Université de Bourgogne, 6 bd Gabriel, 21000 Dijon, France [nphilipp@u-bourgogne.fr ; camber@u-bourgogne.fr]

(2) Université Aix-Marseille, CEREGE UM34 CNRS, IRI, Technopôle de l'Arbois-Méditerranée, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France [moron@cerege.fr]

(3) Department of Meteorology, University of Nairobi, PO Box 30259 - 00100, GPO, Nairobi, Kenya [wi.gitau@uonbi.ac.ke]

(4) Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Avenue de Longwy 185 – 6700 Arlon, Belgique [pierre.ozier@gmail.com]

Résumé – S'appuyant sur des données stationnelles de précipitations sur la période 1961-2012, l'objectif de cette étude est 1/ de confirmer la baisse des pluies au cours des Long Rains sur la décennie 2000 détectée par Lyon et DeWitt (2012) à partir de données en points de grille ; 2/ comprendre sa déclinaison à l'échelle intraannuelle sur la base des scénarios pluviométriques saisonniers développés par Moron et al. (2013) ; et 3/ évaluer son impact sur les écosystèmes. Cette baisse se confirme dans les données stationnelles, mais de façon moins marquée que dans les données grillées. Elle affecte plus fortement les stations les plus sèches et le mois d'avril, pic climatologique des Long Rains. En termes de déroulement des saisons des pluies, on observe pour les années 2002-2011 une représentation plus importante des scénarios saisonniers secs caractérisés par des anomalies négatives de précipitations tout au long ou au cœur de la saison des pluies. Enfin, cet assèchement ne semble pas, pour l'instant, impacter la végétation qui maintient un bon niveau d'activité photosynthétique, malgré la diminution des précipitations telle que l'atteste la tendance à la hausse de la Rainfall Use Efficiency (RUE).

Mots-clés : Afrique de l'Est, pluies, Long Rains, scénarios saisonniers, NDVI.

Abstract – Recent evolution of the March-May rainfall in East Africa: spatial patterns and sub-seasonal scenarios. Using raingauge daily rainfall data documenting the Horn of Africa and the Long Rains over the period 1961-2012, the aim of this study is three-fold: 1/ confirming the drying trend detected by Lyon et DeWitt (2012) during the Long Rains using gridded rainfall, 2/ understanding how this drying is expressed at the intraannual time scale using the sub-seasonal scenario approach developed by Moron et al. (2013) and 3/ assess its impact on vegetation. A drying is actually measured using raingauge data but is less severe than the one measured using gridded data. It is the strongest at the driest stations and during the rainfall climatological peak (April). It seems to be associated with a higher frequency of the dry subseasonal scenarios i.e. characterized by negative rainfall anomalies through the whole or the core of the seasonal cycle. But we don't observe yet a diminution of the vegetation photosynthetic activity in response to the rainfall decrease. To the contrary, the Rainfall Use Efficiency (RUE) displays a slightly positive trend.

Keywords: East Africa, rainfall, Long Rains, subseasonal scenarios, NDVI.

Introduction

La saison des pluies de mars-mai (*Long Rains*, LR) est, à l'échelle régionale, la plus humide et la plus longue des deux saisons des pluies arrosant la Corne de l'Afrique de l'Est et, par conséquent, celle sur laquelle repose la plus grande partie de la production agricole. C'est aussi celle dont la variabilité interannuelle est la plus mal comprise et la plus mal prévue. En effet, en comparaison avec les *Short Rains* (SR, saison des pluies d'octobre-décembre), les anomalies interannuelles des cumuls de précipitations des LR montrent généralement une faible cohérence spatiale (Camberlin *et al.*, 2009), ainsi qu'un faible forçage par les températures de surface de la mer (Ogallo *et al.*, 1988 ; Camberlin et Philippon, 2002). Cependant, Moron *et al.* (2013) ont récemment montré que cette situation masquait une variabilité contrastée des différentes phases de la saison des pluies, qui peut être matérialisée par quatre scénarios saisonniers d'évolution de février à juin des anomalies de précipitations. Ces scénarios (S1 à S4) diffèrent 1) par la phase et le signe des anomalies de précipitations au cours du cycle saisonnier — S1 (S4) est anormalement sec (humide) en début de saison des pluies, S2 (S3) est anormalement sec

(humide) au cœur de la saison des pluies — et 2) par leur corrélation avec les températures de surface marine tropicales. Les crises alimentaires qui affectent la région depuis le début des années 2000 (2000-2001, 2005, 2008-2009, 2011-2012) posent pourtant la question d'une diminution des LR. Les travaux récents de Lyon et DeWitt (2012) montrent, à partir de données pluviométriques saisonnières en points de grille obtenues par interpolation spatiale de données stationnelles (GPCC) et/ou par estimations satellitales (GPCP, CAMS-OPI), une baisse des cumuls de précipitation de mars-mai depuis le milieu des années 1990. Ces anomalies pluviométriques semblent synchrones d'une hausse des températures de surface de la mer depuis la *Warm Pool* vers les régions subtropicales du Pacifique (selon une configuration en fer à cheval). L'objectif de cette étude est triple. Il s'agit de montrer 1/ si la baisse détectée par Lyon et DeWitt (2012) est vérifiée avec les données stationnelles ; 2/ si, compte tenu de la faible cohérence intrasaisonnière des LR, cet assèchement correspond à une plus forte occurrence de l'un des quatre scénarios subsaisonniers mis au jour par Moron *et al.* (2013) ; et 3/ si elle s'exprime également dans l'activité photosynthétique de la végétation.

1. Données

Les données pluviométriques utilisées, non publiées, comprennent des séries stationnelles mensuelles obtenues des services météorologiques du Kenya, de Tanzanie, d'Éthiopie et de Djibouti. Du fait de la disparition de l'État central en Somalie en 1990, le réseau météorologique a été détruit, mais, depuis le début des années 2000, les Nations Unies (Food Security and Nutrition Analysis Unit) ont progressivement remis en place un réseau de pluviomètres. Ces données sont ici pour la première fois exploitées dans une étude portant sur l'évolution climatique. Elles ont fait l'objet d'une vérification afin d'éliminer les valeurs douteuses. Parallèlement sont extraites les données en points de grille de la base globale de précipitations mensuelles GPCCv6 (Becker *et al.*, 2013), de 1950 à 2010. Les estimations *first-guess* (GPCC1g) utilisant des données incomplètes, mais allant jusqu'à 2012, sont également comparées. Enfin, des données journalières de précipitations pour vingt-et-une stations kenyanes sont utilisées. Avec le double objectif d'évaluer l'impact sur les écosystèmes et de spatialiser plus finement encore l'assèchement détecté dans les LR, nous avons également analysé les données satellitales d'activité photosynthétique de la végétation (NDVI) NOAA-AVHRR (Tucker, 1979). Ces données de pas de temps décadaire et de résolution spatiale 8 km varient théoriquement entre 0 et 1 (dans les faits, pour l'Afrique, de 0.12 pour les milieux arides à 0.75 pour les milieux humides). N'étant disponibles que de juillet 1981 à décembre 2008, les quatre années 2009-2012 documentées dans les pluies ne le sont pas pour le NDVI.

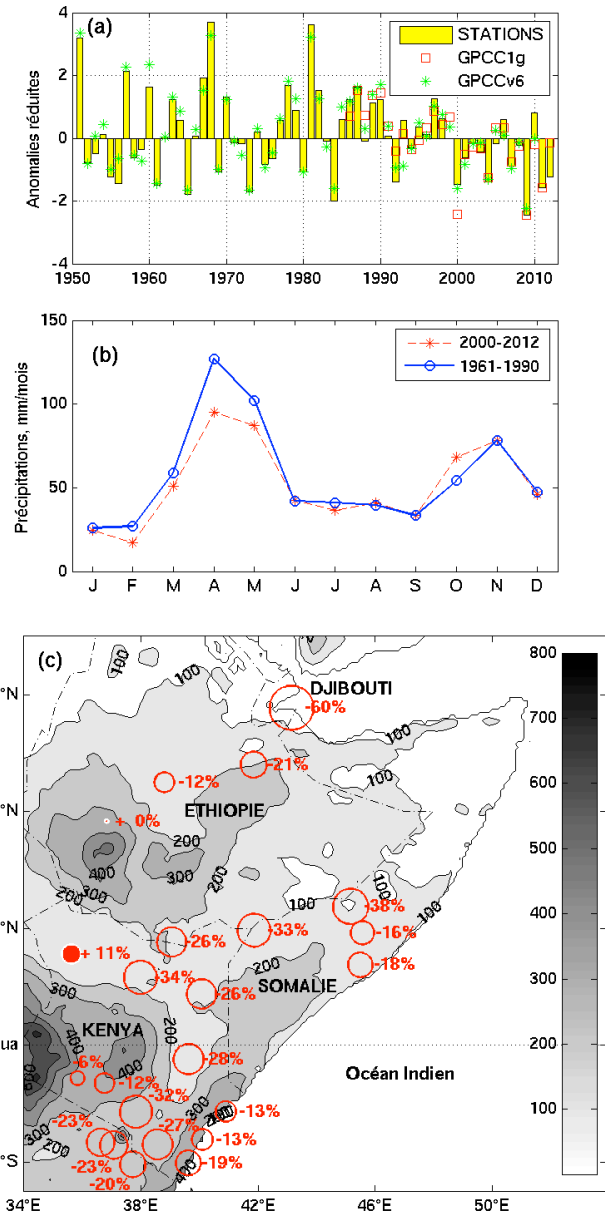
2. Résultats

2.1. Un assèchement vérifié dans les observations pluviométriques stationnelles...

Dans le but de vérifier la tendance à la baisse détectée dans les LR par Lyon et DeWitt (2012) à partir de données pluviométriques en points de grille, nous utilisons les données sur la période 1951-2012 d'un réseau de vingt-trois stations pluviométriques réparties entre la Tanzanie, le Kenya, l'Éthiopie, Djibouti et la Somalie. Les différences de cumuls saisonniers et mensuels entre la période récente 2000-2012 et la normale climatique 1961-1990 sont calculées aux échelles régionale (moyenne des stations) et stationnelle (Fig. 1).

Figure 1 : a) Chronique temporelle (1951-2012) du cumul de précipitations mars-mai (en anomalies standardisées sur la période commune 1986-2010). Barres : moyenne des vingt-trois stations. Carrés rouges : moyenne des points de grille GPCC1g correspondants. Étoiles vertes : moyenne des points de grille GPCCv6 correspondants. b) Cycle saisonnier moyen des vingt-trois stations pour les périodes 1961-1990 et 2000-2012. c) Évolution en pourcentage du cumul pluviométrique moyen de mars-mai entre les périodes 1961-1990 et 2000-2012 pour chacune des vingt-trois stations ; les aplats gris correspondent aux pluies MAM moyennes (1998-2010) estimées par TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission, trmm.gfsc.nasa.gov)

À l'échelle régionale, la chronique temporelle du cumul mars-mai sur la période 1951-2012 (Fig. 1 a) se caractérise en fin de période par une tendance à la baisse avec des anomalies négatives récurrentes à partir de l'année 2000. Ceci est en accord avec les résultats de Lyon et DeWitt (2012). Cependant, la tendance obtenue à partir des données stationnelles est moins marquée que celle obtenue à partir des données GPCC, qui sont extrapolées à partir d'un nombre de stations très réduit. Les analyses à l'échelle stationnelle permettent de constater que la baisse du cumul mars-mai est généralisée à l'ensemble des stations étudiées (à deux stations près). Cette baisse est également plus marquée pour les stations les plus sèches, notamment sur une diagonale allant de l'intérieur du Kenya oriental à la Somalie et à Djibouti, où elle est comprise entre -20 et -60 % (Fig. 1 c). La confrontation des cycles saisonniers calculés sur les périodes 1961-1990 et 2000-2012 (Fig. 1 b) fait apparaître une diminution des cumuls limitée aux LR, mais qui concerne tous les mois de février à mai, avec notamment une baisse d'environ 25 % pour avril, mois le plus pluvieux.



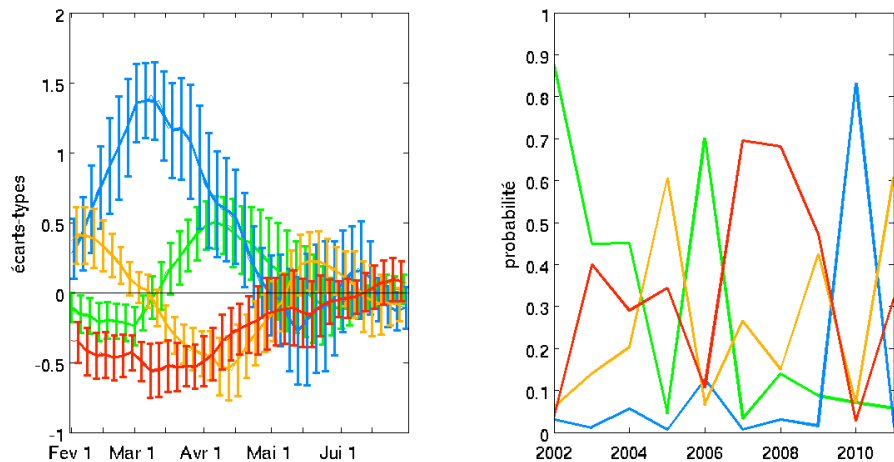
2.2. ... mais qui ne correspond pas à la plus forte occurrence d'un scénario particulier d'évolution subsaisonnaire des pluies

Les quatre scénarios d'évolution subsaisonnaire des précipitations mis au jour par Moron *et al.* (2013) sur la période 1961-2001 à partir d'un réseau de trente-six stations ont été projetés sur les vingt-et-une stations kenyanes disponibles sur la période 2002-2011. Le but ici est de voir si l'assèchement des LR correspond à l'occurrence plus forte d'un des quatre scénarios, et notamment le plus sec.

Ces scénarios sont construits à partir de la classification des anomalies pluviométriques quotidiennes aux stations (avec un préfiltrage à trente-et-un jours pour éliminer les variations rapides non prévisibles). Le principe est de considérer les variations intraannuelles et les

variations spatiales de façon conjointe et d'analyser leur variabilité interannuelle. Cela revient à analyser les covariations pluviométriques dans l'espace, mais aussi à l'intérieur d'une saison. Une analyse en composantes principales suivie d'une classification selon l'algorithme des nuées dynamiques floues (Bezdek, 1981) sont donc appliquées afin d'extraire les scénarios qui maximisent la covariance entre les stations. La figure 2, panel de gauche, présente ces quatre scénarios : S1 (en rouge) et S2 (en orange) correspondent à des LR anormalement sèches avec des déficits pluviométriques en début et en cœur de saison, respectivement ; S3 (en vert) et S4 (en bleu) correspondent plutôt à des LR relativement humides mais plus courtes que la normale pour S3. La probabilité d'appartenance (variant de 0 à 1) de chaque saison à chaque scénario (la somme des quatre appartenances étant égale à 1) donne la proximité de chaque saison par rapport au centre de gravité des scénarios. La figure 2, panel de droite, donne la probabilité d'appartenance à chacun des quatre scénarios des années 2002 à 2011. Pour ces années, on observe une domination du scénario très sec S1 et secondairement du scénario sec *contracté* (c'est-à-dire avec des anomalies pluviométriques négatives concentrées à proximité du pic climatologique) S2. Le scénario très humide S4 (en bleu) n'apparaît qu'une seule fois (en 2010), mais cette fréquence n'est pas forcément anormale car ce scénario est en moyenne le moins présent.

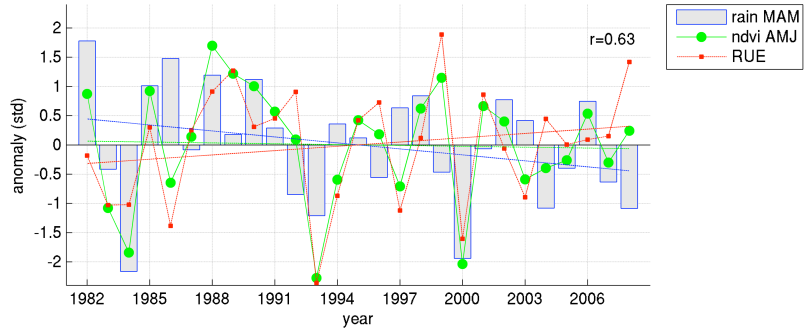
Figure 2 : Gauche : Scénarios S1 (rouge), S2 (orange), S3 (vert) et S4 (bleu) d'évolution subsaisonnaire des précipitations de février à juin, déterminés sur la période 1961-2001 à partir d'un réseau de trente-six stations. La moyenne spatiale (courbe) +/- 1 écart-type (moustaches) est indiquée. Droite : Probabilité d'appartenance des années 2002 à 2011 à chacun des quatre scénarios à partir d'un réseau de vingt-et-une stations



2.3. et ne se traduit pas (encore ?) par une diminution marquée de l'activité photosynthétique de la végétation

La figure 3 présente tout d'abord l'évolution interannuelle de 1982 à 2008 du NDVI, de la pluie et du Rainfall Use Efficiency (RUE) pour un indice régional (correspondant pour le NDVI à la moyenne des pixels compris dans un rayon de 25 km autour des vingt-et-une stations pluviométriques retenues pour l'analyse des scénarios subsaisonniers en section 2.2). Le NDVI est moyenné sur les mois d'avril à juin, saison végétative associée aux LR. Ce décalage d'un mois entre pluies (mars-mai) et NDVI correspond au temps de réponse moyen de la végétation à la pluie pour la région (Martiny *et al.*, 2006). Les indices de pluie et NDVI sont corrélés à 0,63, attestant d'une réponse de la végétation à la variabilité pluviométrique. Cependant, on ne remarque pas, au contraire de la pluie, de baisse marquée du NDVI sur les années récentes, mais plutôt une atténuation de l'amplitude des anomalies. De plus, le RUE montre une tendance positive suggérant que, malgré la baisse pluviométrique, la végétation maintient un bon niveau d'activité photosynthétique.

Figure 3 : Évolution temporelle et droites de tendances d'un indice régional de pluies (barres et droite bleues, moyenne des stations), NDVI (courbe et droite vertes, moyenne des pixels dans un rayon de 25 km autour des stations) et RUE (courbe et droite rouges). r donne la corrélation pluies (MAM) – NDVI (AMJ)



Afin de comprendre pourquoi à l'échelle du Kenya et

de la saison, on ne retrouve pas de signal à la baisse dans le NDVI, nous avons tout d'abord calculé pour chacun des mois de mars à juillet la différence de NDVI entre les périodes 1981-1999 et 2000-2008 pour l'ensemble de la Corne de l'Afrique (Fig. 4). Il n'y a effectivement pas dans le NDVI de baisse généralisée à l'ensemble de la région et persistant sur l'ensemble de la saison végétative. On enregistre plutôt au cœur de la saison végétative (mai) et sur le nord-est du Kenya une augmentation du NDVI. Nous avons également calculé les corrélations interannuelles entre NDVI et pluies mensuelles en tenant compte d'un temps d'avance pour les pluies variant de 8 à 0 mois (Fig. 5) afin d'estimer le poids de la variabilité des pluies dans celle du NDVI. Trois points sont à noter. Premièrement, la réponse de la végétation à la pluie est plus faible pour la saison végétative avril-juin que pour la saison végétative décembre-février. Deuxièmement, la réponse aux pluies s'affaiblit en cours de saison végétative (corrélations plus faibles et avec des temps d'avance plus courts en juin par rapport à avril). Enfin, le NDVI en mai montre une corrélation significative négative avec la pluie en fin des SR (décembre). Ce dernier signal est donc susceptible de venir perturber la réponse du NDVI aux LR.

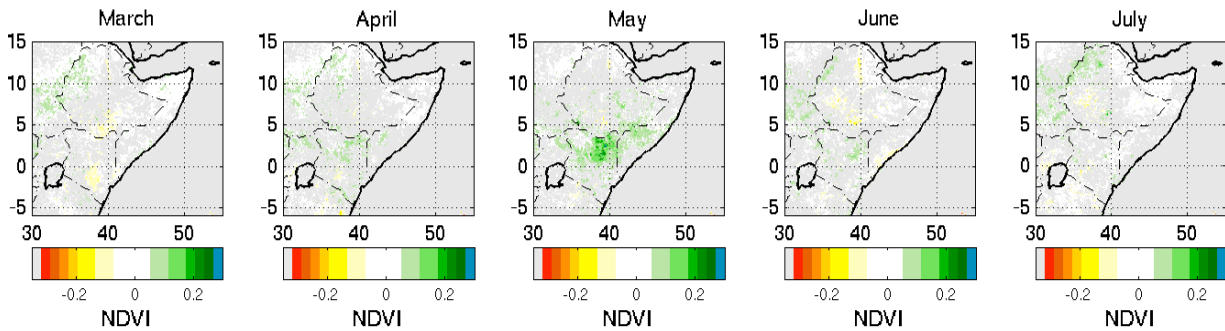
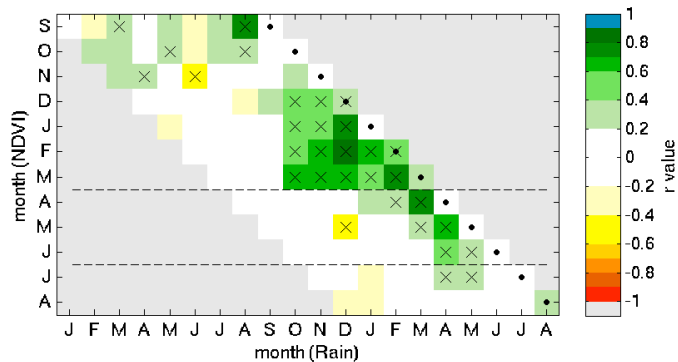


Figure 4 : Différences de NDVI entre les périodes 1981-1999 et 2000-2008. Seules les différences correspondant à au moins 0,5 écart-type de la période 1981-1999 sont reportées

Figure 5 : Corrélations pour l'indice régional entre NDVI et pluies mensuelles avec un temps d'avance pour la pluie variant de 8 à 0 mois. Croix noires : corrélations significatives au seuil de 95 %. Ronds noirs : corrélations synchrones. Les droites en tiretés délimitent la saison végétative avril-juin



Conclusion

À l'échelle stationnelle et mensuelle à saisonnière, la baisse observée dans les LR par Lyon et DeWitt (2012) est vérifiée mais reste toutefois modeste, attestant d'une amplification du signal dans les données pluviométriques grillées. Cette baisse des cumuls mensuels à saisonniers ne s'explique pas par l'occurrence systématique du scénario subsaisonnier le plus sec, même si les scénarios S1 et S2 sont plus fréquents. Ceci suggère la surimposition d'un forçage décennal à la variabilité interannuelle. Il est compliqué également de détecter pour l'instant ce signal d'assèchement dans le NDVI. Ceci tient à deux raisons principales. Tout d'abord, la période échantillonnée est plus courte : elle s'arrête en 2008, excluant les quatre années sèches 2009-2012 qui peuvent *tirer* la tendance. Ensuite, la réponse de la végétation aux pluies pour cette saison est modeste, probablement perturbée par l'existence d'un effet mémoire des SR, comme le suggère la corrélation négative entre NDVI de mai et pluies de décembre et la tendance positive du RUE. Afin de mieux cerner l'impact potentiel de cette baisse pluviométrique sur les milieux, il conviendrait donc pour la suite d'étudier plus finement la réponse de la végétation aux pluies pour cette saison végétative. Ceci passe notamment par une analyse de la structuration des pluies quotidiennes au cours de la saison des pluies. En effet, Omondi *et al.* (2013) observent à l'échelle annuelle et de la Corne de l'Afrique des tendances dans certaines caractéristiques intrasaisonniers (par exemple une augmentation de la longueur des épisodes secs) pouvant jouer sur la végétation.

Références bibliographiques

- Becker A., Finger P., Meyer-Christoffer A., Rudolf B., Schamm K., Schneider U., and Ziese M., 2013: A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. *Earth Syst. Sci. Data*, **5**, 71-99.
- Bezdek J.C., 1981: *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithm*. Plenum Press, 256 p.
- Camberlin P., Moron V., Okoola R., Philippon N. and Gitau W., 2009: Components of rainy seasons' variability in Equatorial East Africa: onset, cessation, rainfall frequency and intensity. *Theor. Appl. Climatol.*, **98**, 237-249.
- Camberlin P., Philippon N., 2002: The East African March-May rainy season: associated atmospheric dynamics and predictability over the 1968-97 period. *J. Clim.*, **15**, 1 002-1 019.
- Lyon B., DeWitt D.G., 2012: A recent and abrupt decline in the East African long rains. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L02702, doi: 10.1029/2011GL050337.
- Martiny N., Camberlin P., Richard Y., Philippon N., 2006: Compared regimes of NDVI and rainfall in semi-arid regions of Africa. *Int. J. Remote Sens.*, **27**, 5 201-5 223.
- Moron V., Camberlin P., Robertson A.W., 2013: Extracting subseasonal scenarios: an alternative method to analyze seasonal predictability of regional-scale tropical rainfall. *J. Clim.*, **26**, 2 580-2 600.
- Ogallo L.J., Janowiak J.E., Halpert M.S., 1988: Teleconnection between seasonal rainfall over East Africa and global sea-surface temperature anomalies. *JMSJ*, **66**, Ser. II, 807-822.
- Omondi P.A., Awange J.L., Forootan E., Ogallo L.A. Barakiza R., Girmaw G.B., Komutunga E., 2013: Changes in temperature and precipitation extremes over the Greater Horn of Africa region from 1961 to 2010. *Int. J. Clim.*, **34**(4), 1 262-1 277, doi: 10.1002/joc.3763.
- Tucker C.J., 1979: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, **8**, 127-150.