

ÉVOLUTION RÉCENTE DES EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES EN MAURITANIE (1933-2010)

OZER P. ⁽¹⁾, HOUNTONDI Y. C. ⁽²⁾, GASSANI J. ⁽¹⁾, DJABY B. ⁽³⁾,
DE LONGUEVILLE F. ^(1,4)

(1) Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, avenue de Longwy 185, B-6700 Arlon, Belgique [pozer@ulg.ac.be ; gassani@hotmail.com ; fdelongueville@ulg.ac.be]

(2) Département Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles, Université de Parakou, Bénin [yvon.hountondji@gmail.com]

(3) ICRISAT, Niamey, Niger.

(4) CEDEM, Université de Liège, 7 boulevard du Rectorat, 4000 Liège, Belgique.

Résumé – Un ensemble d'indicateurs a été compilé pour vérifier si la fréquence et/ou l'intensité des précipitations a significativement évolué au cours des dernières décennies dans la République islamique de Mauritanie. Cette étude s'appuie sur des indices nationaux basés les séries quotidiennes de précipitations de neuf stations synoptiques qui couvrent la période 1933-2010. L'analyse des précipitations a été réalisée en calculant annuellement treize indices pluviométriques : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (précipitations ≥ 1 mm, JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (Simple day intensity index, SDII), la pluviométrie maximale enregistrée sur un jour (Px1J), la fréquence des événements pluviométriques ≥ 10 mm (P10), ≥ 20 mm (P20), intenses (P95) et extrêmes (P99). Le poids relatif des cinq derniers indices dans le total pluviométrique annuel étant également apprécié. Les résultats montrent que les indices PTOT, JP, P10 et P20 présentent une tendance à la baisse significative sur la période 1933-2010. Dans le même temps, la fréquence des précipitations intenses et extrêmes évolue peu. De facto, la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (SDII) augmente de manière significative. Les résultats obtenus vont dans le sens des conclusions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) à l'échelle globale, à savoir des précipitations extrêmes inchangées dans un contexte global de dessiccation. Selon de nombreux modèles, la dégradation pluviométrique pourrait s'amplifier dans les décennies à venir. Dès lors, des stratégies d'adaptation transfrontalières devraient être envisagées d'urgence car le processus de réchauffement de la planète n'est pas susceptible de diminuer dans les prochaines décennies.

Mots-clés : indices pluviométriques, précipitation extrêmes, adaptation, Mauritanie.

Abstract – Recent trends in rainfall extremes in Mauritania (1933-2010). A set of indicators was compiled to determine if the frequency and / or intensity of rainfall has changed significantly over the past decades in the Islamic Republic of Mauritania. This study is based on national indices based on daily precipitation series of nine synoptic stations covering the 1933-2010 period. The analysis of rainfall required to annually calculate thirteen precipitation indices: the yearly rainfall (PTOT), the total number of wet days (precipitation ≥ 1 mm, JP), the simple day intensity index (SDII), the maximum rainfall recorded over one day (Px1J), the frequency of rainfall events ≥ 10 mm (P10), ≥ 20 mm (P20), intense (P95) and extreme (P99). The relative weight of the last five indices in the total annual rainfall is also appreciated. The results show that PTOT, JP, P10 and P20 indices have a significant downward trend over the 1933-2010 period. At the same time, the frequency of intense and extreme precipitation is unchanged. De facto, the SDII increases significantly. These results are in line with the conclusions of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) at the a global scale, i.e. extreme precipitation unchanged in a global desiccation context. According to many models, decreasing rainfall is likely in the coming decades. Therefore, cross-border adaptation strategies should be urgently considered as the process of global warming is not likely to decrease in the coming decades.

Keywords: Rainfall indices, extreme rainfall, adaptation, Mauritania.

Introduction

Depuis la seconde moitié du xx^e siècle, l'Afrique de l'Ouest est la région du monde qui connaît le plus important déficit pluviométrique (Spinoni *et al.*, 2013). Le Sahel, zone aride à semi-aride, est d'autant plus affecté qu'il enregistre une augmentation démographique importante. Cet accroissement de la population intensifie les pressions anthropiques sur des ressources fragiles dont la dégradation est de plus en plus préoccupante (Ozer *et al.*, 2010). La République islamique de Mauritanie est le pays le plus aride d'Afrique de l'Ouest qui fait face, ces dernières décennies, à de profondes mutations environnementales, démographiques, sociales et économiques, souvent liées au stress pluviométrique grandissant (Gassani, 2008 ; Gassani *et al.*, 2014). La migration non encadrée des populations affectées par cette succession de sécheresses devient extrêmement importante comme stratégie d'adaptation. Elle déclencherà d'ailleurs un conflit entre le Sénégal et la Mauritanie en 1989 (Homer-Dixon, 1994). Actuellement, elle s'observe notamment à Nouakchott, la capitale, qui reçoit chaque

jour son lot de réfugiés (Ozer *et al.*, 2013). Ce travail a pour objectif de combler une lacune (Zwiers *et al.*, 2013) dans un pays dramatiquement tributaire des aléas climatiques : l'analyse des précipitations extrêmes en Mauritanie sur le long terme.

1. Données

L'analyse pluviométrique se fonde sur les données journalières de précipitations recueillies au niveau de neuf stations synoptiques dans le sud de la Mauritanie (Fig. 1 et Tab. 1) de 1933 à 2010. Ces données ont été obtenues auprès de l'Office National de Météorologie de Mauritanie. À l'exception des années 1933 à la station de Rosso et 2003-2004 à la station de Nema, les séries pluviométriques ne comportent pas de données manquantes.

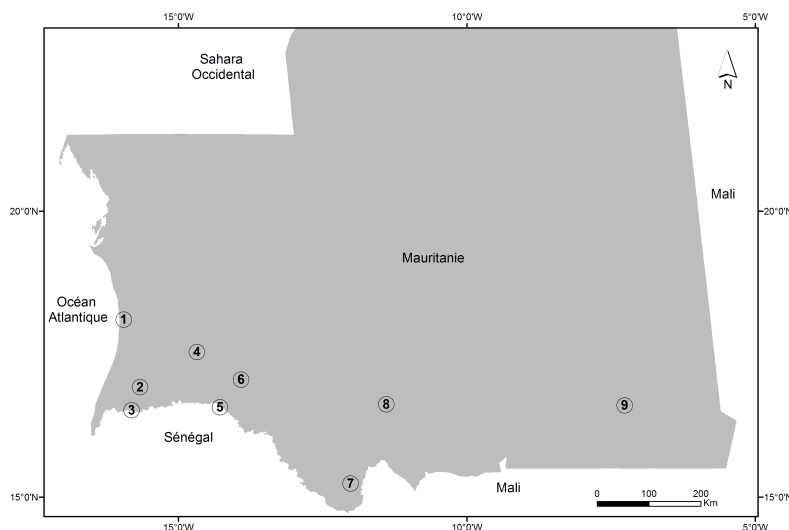


Figure 1 : Localisation des neuf stations synoptiques utilisées dans cette étude

Tableau 1 : Caractéristiques des neuf stations synoptiques utilisées dans cette étude (les valeurs sont calculées sur la période 1971-2000)

| | Station | Latitude (DD) | Longitude (DD) | Pluviométrie moyenne (mm) | 95 ^e percentile (mm) | 99 ^e percentile (mm) |
|---|------------|---------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Nouakchott | 18,10 | -15,95 | 78,4 | 46,6 | 65,5 |
| 2 | Mederdra | 16,92 | -15,67 | 163,7 | 42,1 | 62,1 |
| 3 | Rosso | 16,51 | -15,82 | 198,3 | 42,3 | 67,2 |
| 4 | Boutilimit | 17,53 | -14,68 | 119,7 | 36,3 | 57,5 |
| 5 | Boghe | 16,57 | -14,28 | 209,8 | 48,1 | 72,1 |
| 6 | Aleg | 17,05 | -13,91 | 186,5 | 38,6 | 57,6 |
| 7 | Selibaby | 15,23 | -12,15 | 457,8 | 47,1 | 62,3 |
| 8 | Kiffa | 16,62 | -11,40 | 227,7 | 36,1 | 63,5 |
| 9 | Nema | 16,60 | -07,27 | 206,9 | 37,0 | 58,5 |

2. Méthodes

2.1. Indices de précipitations extrêmes

L'analyse des précipitations a été réalisée en calculant, pour chaque année, treize indices pluviométriques (Tab. 2) : le total pluviométrique (PTOT), le nombre total de jours humides (précipitations ≥ 1 mm, JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (Simple day intensity index, SDII), le nombre total de jours caractérisés par des précipitations ≥ 10 mm et ≥ 20 mm (P10 et P20), la pluviométrie maximale enregistrée sur un jour (Px1J), la fréquence des événements pluviométriques intense (P95) et extrême (P99) basés sur les 95^e et 99^e percentiles calculés sur la période 1971-2000. Le poids relatif des cinq derniers indices dans le total pluviométrique annuel a également été calculé (P10p, P20p, Px1Jp, P95p, P99p).

2.2. Indices d'anomalies pluviométriques en Mauritanie

Étant donné la forte hétérogénéité spatiale des précipitations, Lamb (1982) a proposé une analyse régionalisée des précipitations sur base d'un indice d'anomalie pluviométrique. Cet indice est calculé suivant l'équation :

$$X_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \frac{r_{ij} - \bar{r}_i}{\sigma_i} \quad [Eq. 1]$$

où r_{ij} est la pluie mesurée en une année j à une station i , \bar{r}_i et σ_i sont les moyenne et écart-type des précipitations enregistrées à la station i et N_j est le nombre de stations présentant des valeurs pour l'année j .

L'indice d'anomalie pluviométrique de Lamb (1982) s'exprimant en écart-type, ce dernier a été converti dans l'unité spécifique de chaque indice en *dé-normalisant* l'équation 1 de la manière suivante (Jones and Hulme, 1996) :

$$P_j = X_j \bar{\sigma} + \bar{P} \quad [Eq. 2]$$

où P_j est la pluviométrie régionale exprimée en mm en une année j , $\bar{\sigma}$ est l'écart-type moyen des séries pluviométriques et \bar{P} est la moyenne pluviométrique régionale.

Tableau 2 : Liste des treize indices utilisés dans l'analyse des événements climatiques extrêmes

| Acronyme | Nom de l'indice | Définition | Unité |
|--------------|--|---|-----------|
| PTOT | Précipitations annuelles | Précipitations totales annuelles | [mm] |
| JP | Jours de pluie | Nombre total de jours humides (≥ 1 mm) | [jours] |
| SDII | <i>Simple day intensity index</i> | Lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie | [mm/jour] |
| P10 | Fréquence des pluies ≥ 10 mm | Nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm | [jours] |
| P10p | Part des pluies ≥ 10 mm | Proportion des précipitations ≥ 10 mm dans le total pluviométrique annuel | [%] |
| P20 | Fréquence des pluies ≥ 20 mm | Nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm | [jours] |
| P20p | Part des pluies ≥ 20 mm | Proportion des précipitations ≥ 20 mm dans le total pluviométrique annuel | [%] |
| Px1J | Pluie maximale quotidienne | Précipitation maximale quotidienne | [mm] |
| Px1Jp | Part des pluies maximales quotidiennes | Proportion de la précipitation maximale quotidienne dans le total pluviométrique annuel | [%] |
| P95 | Fréquence des pluies intenses | Nombre de jours avec des précipitations $\geq 95^{\text{e}}$ percentile | [jours] |
| P95p | Part des pluies intenses | Proportion des précipitations intenses dans le total pluviométrique annuel | [%] |
| P99 | Fréquence des pluies extrêmes | Nombre de jours avec des précipitations $\geq 99^{\text{e}}$ percentile | [jours] |
| P99p | Part des pluies extrêmes | Proportion des précipitations extrêmes dans le total pluviométrique annuel | [%] |

2.3. Analyse des tendances

L'analyse des tendances linéaires a été réalisée par régression linéaire entre les différents indices pluviométriques et le temps (en années). Les pentes ainsi estimées ont été regroupées en quatre classes indiquant des tendances significatives à la hausse ou à la baisse. La limite des quatre classes considérées est définie à partir de la statistique t de Student utilisée pour tester l'hypothèse d'une pente égale à 0. La tendance est dès lors qualifiée comme étant

significative si la probabilité p du test t appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05 alors qu'elle n'est pas significative lorsqu'elle dépasse le seuil de 0,05.

2.4. Analyse des ruptures

À partir des données obtenues pour les treize indices, il est possible de mettre en évidence la non-stationnarité de ces séries au cours de la période 1933-2010 et d'isoler les périodes d'anomalies pluviométriques (périodes fortement pluvieuses ou de sécheresse, par exemple). Pour ce faire, le test non-paramétrique de Pettitt (1979), capable d'estimer la position d'un changement de moyenne (point de rupture) dans une série, a été appliqué aux séries. Une rupture est considérée comme étant significative lorsque la probabilité associée est $< 5\%$.

3. Résultats

3.1. Tendances

Les séries chronologiques de certains indices de précipitations sont présentées à la figure 2. Les tendances et points de rupture y sont présentés. Tous les indices sont présentés au tableau 3. Certains indices (PTOT, JP, P10, P20) présentent une baisse significative sur la période 1933-2010. D'autres sont *stables* (P95, P95p, P99, P99p, Px1J, P10p, P20p). Seuls les indices SDII et Px1Jp présentent des tendances positives.

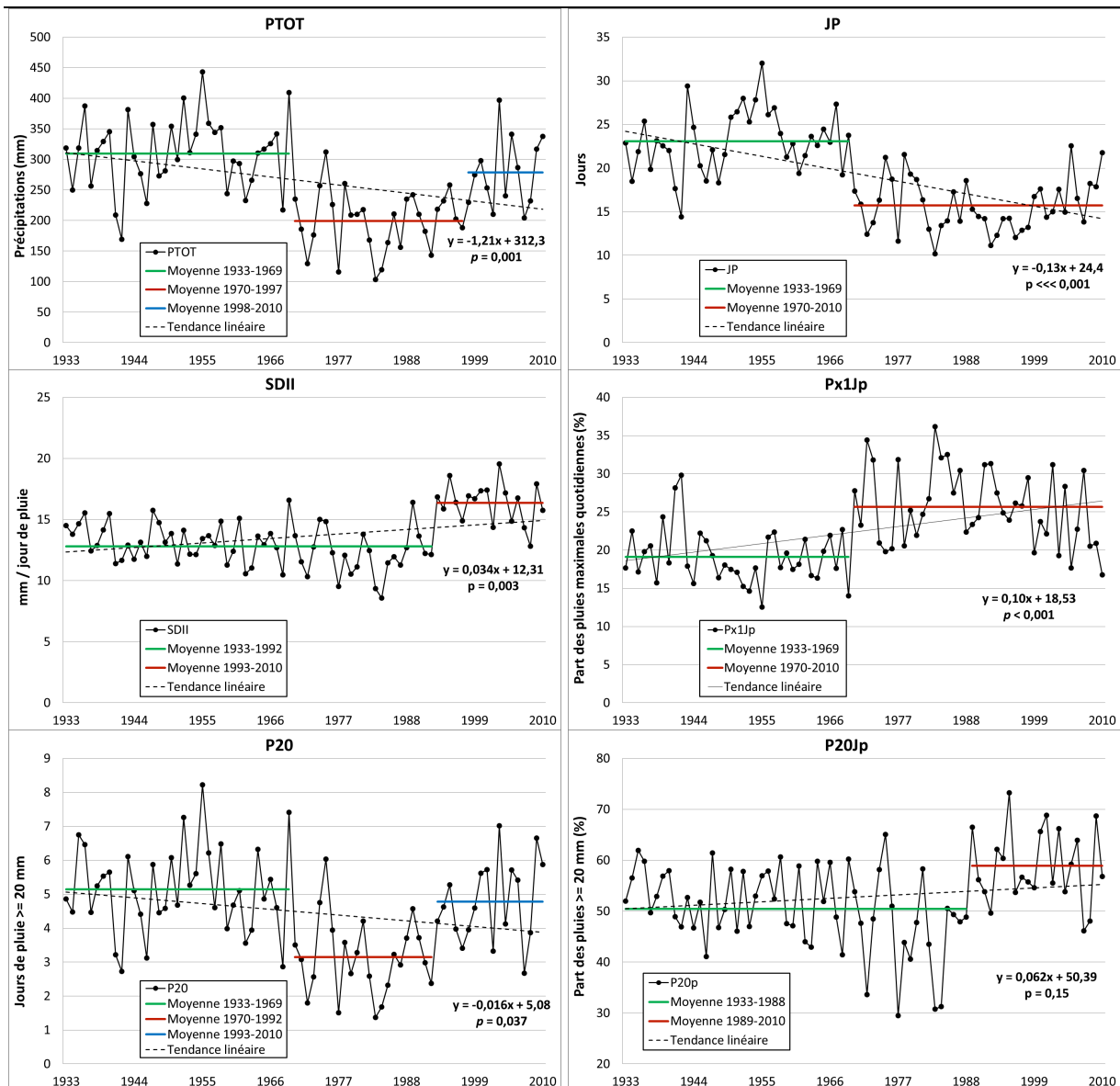
3.2. Points de rupture

En ce qui concerne la non-stationnarité des séries, seulement quatre indices (Px1J, P95, P99, P99p) ne présentent pas de rupture (Tab. 3). Il apparaît que la dramatique période de sécheresse a débuté en 1970 mais s'est terminée dans les années 1990. Ainsi, plus de 110 mm séparent les périodes 1933-1969 et 1970-1997 dont la pluviométrie moyenne est respectivement de 310 mm et 199 mm, soit une diminution des précipitations totales annuelles de 36 %. Depuis, les pluies montrent une sensible augmentation avec une moyenne de 279 mm entre 1998 à 2010. Aux mêmes périodes, P10 et P20 connaîtront d'abord un déclin puis un retour aux conditions de pré-sécheresse. En revanche, en ce qui concerne le nombre de jours de pluie, après un point de rupture en 1969 qui marquera la diminution des jours humides, aucun retour à des conditions plus favorables n'est observé. Ainsi, le nombre de jours de pluie est passé de 23,1 à 15,7 entre les périodes 1933-1969 et 1970-2010, soit une réduction de 32 % entre ces deux périodes. Dès lors, le SDII augmente de manière significative. De 12,8 mm/jour entre 1933 et 1992, la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie est passée à 16,4 mm/jour entre 1993 et 2010, soit une augmentation de 28 %. Il en va de même pour la proportion des pluies importantes (P10p, P20p, Px1Jp, P95p) qui ont plus de poids ces dernières décennies qu'auparavant.

Tableau 3 : Tendances (exprimées par décennie) et points de rupture (stationnarité) des treize indices utilisés dans l'analyse des événements climatiques extrêmes (1933-2010).

* Significatif ($p < 0,05$) ; ** Très significatif ($p < 0,01$)

| Indice | Moyenne (1933-2010) | Tendance (% par 10 ans) | Stationnarité Période 1 | Stationnarité Période 2 | Stationnarité Période 3 |
|--------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| PTOT | 264,7 mm | -3,86% ** | 1933-1969 (310 mm) | 1970-1997 (199 mm) | 1998-2010 (279 mm) |
| JP | 19,2 j | -5,33% ** | 1933-1969 (23,1 j) | 1970-2010 (15,7 j) | |
| SDII | 13,6 mm/j | +2,73% ** | 1933-1992 (12,8 mm/j) | 1993-2010 (16,4 mm/j) | |
| P10 | 9,0 j | -3,72% ** | 1933-1969 (10,5 j) | 1970-1997 (6,7 j) | 1998-2010 (9,6 j) |
| P10p | 78,6% | +0,74% | 1933-1987 (76,5%) | 1988-2010 (83,7%) | |
| P20 | 4,5 j | -3,04% * | 1933-1969 (5,1 j) | 1970-1992 (3,1 j) | 1993-2010 (4,8 j) |
| P20p | 52,8% | +1,24% | 1933-1988 (50,5%) | 1989-2010 (58,9%) | |
| Px1J | 49,1 mm | -0,69% | - | | |
| Px1Jp | 22,5% | +5,48% ** | 1933-1969 (17,1%) | 1970-2010 (25,6%) | |
| P95 | 1,0 j | -1,94% | - | | |
| P95p | 18,4% | +2,13% | 1933-1988 (17,1%) | 1989-2010 (21,7%) | |
| P99 | 0,25 j | -2,50% | - | | |
| P99p | 5,9% | +0,06% | - | | |



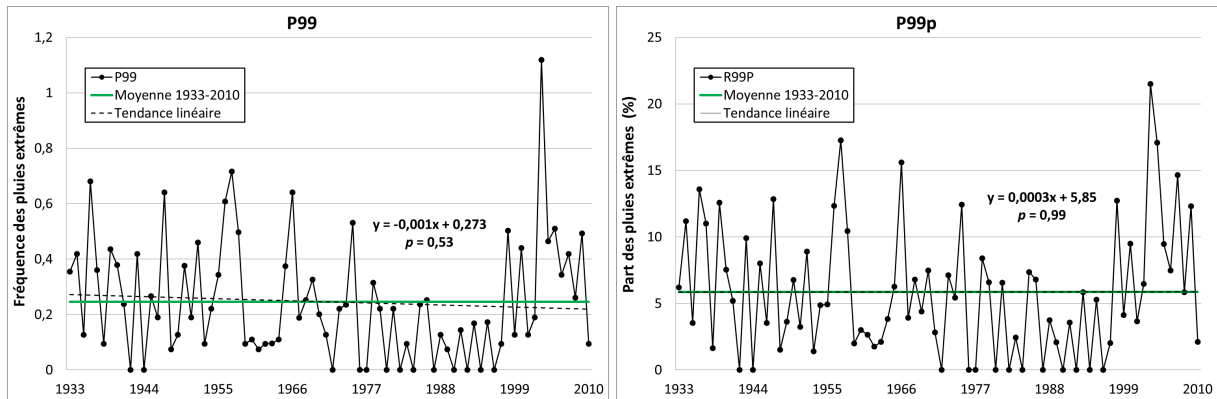


Figure 2 : Évolution et tendance de huit indicateurs relatifs aux précipitations en Mauritanie. Différentes moyennes sont indiquées quand un point de rupture (Pettitt, 1979) a été notifié de manière significative

Discussion et conclusion

Pour la première fois, une série d'indices pluviométriques a été établie pour la Mauritanie sur le long terme. Les résultats montrent que la sécheresse dramatique qui accablait le pays depuis 1970 a pris fin en 1998, sans, cependant, atteindre les totaux pluviométriques d'avant sécheresse. Ce retour à des conditions plus humides avait été suggéré par Ozer *et al.* (2003) et se confirme actuellement partout en Afrique de l'Ouest comme au Sénégal (Sarr *et al.*, 2013), au Burkina Faso (Lodoun *et al.*, 2013), au Niger (Ozer *et al.*, 2009) et au niveau du bassin du fleuve Niger (Descroix *et al.*, 2013). De la même manière, la diminution importante des jours pluvieux et l'augmentation du SDII s'observe également dans la sous-région. Cependant, ce retour à des précipitations annuelles proches de la moyenne semble être influencé par les événements extrêmes dont la fréquence reste stable mais dont la proportion dans le total pluviométrique annuel augmente partout, particulièrement pour les Px1Jp qui augmentent de manière très significative. Nos résultats vont dans le sens des conclusions du dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat à l'échelle globale, à savoir des précipitations extrêmes inchangées dans un contexte global de dessiccation (IPCC, 2013).

Remerciements

Les recherches menant aux présents résultats ont partiellement bénéficié du financement du Septième Programme-Cadre de l'Union Européenne (FP7/2007-2013) sous la convention n°603864, HELIX.

Références bibliographiques

Descroix L., Moussa I.B.N., Genthon P., Sighomnou D., Mahé G. *et al.*, 2013: Impact of drought and land-use changes on surface-water quality and quantity: the Sahelian paradox. In: Bradley P. (Ed.), *Current perspectives in contaminant hydrology and water resources sustainability*. InTech, DOI: 10.5772/54536, 243-271.

Gassani J., 2008 : *Apport de l'analyse spatiale à l'étude de la dynamique hydrologique d'un bassin versant en milieu Nord-Sahélien (organisation et modélisation des écoulements). Cas du lac de Mâle (Brakna, Mauritanie)*. Thèse de Doctorat, Universités de Liège et d'Angers, 246 p.

Gassani J., de Longueville F., Gemenne F., Ozer P., 2014 : Impacts des récentes variations pluviométriques sur le droit du sol, l'accès à l'eau et l'agriculture en Mauritanie : l'exemple du lac de Mâle. *XXVII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2-4 juillet 2014, 625-631.

Homer-Dixon T.F., 1994: Environmental scarcities and violent conflict: evidence from cases. *International Security*, **19**, 5-40.

- IPCC, 2013: *Climatic Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1 535 p.
- Jones P.D. and Hulme M., 1996: Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, **16**, 361-377.
- Lamb P.J., 1982: Persistence of subsaharan drought. *Nature*, **299**, 46-48.
- Ozer P., Erpicum M., Demarée G., Vandiepenbeeck M., 2003: The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, **48**, 489-492.
- Ozer P., Hountondji Y.C., Laminou Manzo O., 2009 : Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, **33**, 11-30.
- Ozer P., Hountondji Y.C., Niang A.J., Karimoune S., Laminou Manzo O., Salmon M., 2010 : Désertification au Sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, **54**, 69-84.
- Ozer P., Ould Sidi Cheikh M.A., Ozer A., 2013 : Étalement urbain des villes en Afrique subsaharienne et vulnérabilité croissante face au risque d'inondation : l'exemple de Nouakchott (Mauritanie). *Territoires périurbains : développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*, Université de Liège, Liège, Belgique, 19 décembre 2013, <http://hdl.handle.net/2268/156896>.
- Pettitt A.N., 1979: A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, **28**, 126-135.
- Sarr M.A., Zoromé M., Seidou O., Bryant C.R., Gachon P., 2013: Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal: a change point approach. *Journal of Hydrology*, **55**, 326-334.
- Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., Vogt J., 2013: World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3875.
- Zwiers F.W., Alexander L.V., Hegerl G.C., Knutson T.R., Kossin J.P., Naveau P., Nicholls N., Schär C., Seneviratne S.I., 2013: Climate extremes: challenges in estimating and understanding recent changes in the frequency and intensity of extreme climate and weather events. In: Asrar G.R., Hurrell J.W. (Eds.), *Climate science for serving society: research, modeling and prediction priorities*. Springer Science + Business Media, Dordrecht, 339-389.