

Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

Cheikh DIOP

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement

Département de Géographie

Université Cheikh Anta Diop, Dakar, BP : 5005, Dakar-Fann

Auteur correspondant : cheikh83.diop@ucad.edu.sn

Réf : AUM10-221

Résumé : Les phases de sécheresse observées dans le Sahel dans les années 1970 et 1980 ont été suivies par des décennies récentes plus humides. L'augmentation des totaux annuels s'accompagne de changements dans la distribution temporelle des pluies journalières. Dans les agglomérations, la succession de jours de pluie peut avoir des conséquences dramatiques vu les inondations et dégâts qu'elle peut provoquer. Une analyse des pluies journalières permet de mettre en évidence les fluctuations des nombres de jours de pluie et les cumuls journaliers élevés. Sept stations de sept centres urbains sont retenues pour l'analyse des pluies journalières : Podor, Saint-Louis, Matam, Louga, Linguère, Thiès et Dakar-Yoff. Cela nous a permis de déterminer l'évolution des Nombres de Jours de Pluie (**NJP**) en relation avec le Standardized Precipitation Index (**SPI**). Les cumuls journaliers supérieurs à 40 mm ($\text{NJP} \geq 40$ mm) ont été analysés pour déterminer leur importance sur la tendance à la hausse des précipitations depuis 1971. Les sites de Matam, Louga, Linguère et Thiès se distinguent par une influence décisive des $\text{NJP} \geq 40$ mm. Ils expliquent la tendance à la hausse des SPI. Dans les autres stations (Podor, Saint-Louis et Dakar-Yoff), le NJP est tout aussi déterminant. L'occurrence des cumuls journaliers élevés rend bien compte des fortes pluies associées aux saisons excédentaires. La station de Thiès est particulière. Elle enregistre des NJP et des $\text{NJP} \geq 40$ mm avec des tendances à la baisse. Cependant, même pendant les saisons déficitaires, de fortes pluies peuvent être observées. Ainsi, les années déficitaires comme 2014 et 2018 ont présenté un risque d'inondation, car des cumuls journaliers élevés ont été enregistrés. De par leurs conséquences, le nombre de jours de pluie et les cumuls journaliers élevés constituent des paramètres à intégrer dans les stratégies de prévention des inondations et des sécheresses au Sahel.

Mots-clés : Précipitations journalières, extrême pluviométrique, évolution, Sahel, Sénégal

C. *DIOP*, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

Abstract : *The drought phases observed in the Sahel in the 1970s and 1980s were followed by more recent decades with increased humidity. The rise in annual rainfall is accompanied by changes in the temporal distribution of daily rainfall. In urban areas, the sequence of rainy days can have dramatic consequences in terms of flooding and the damage it can cause. An analysis of daily rainfall allows us to highlight fluctuations in the number of rainy days and the occurrence of high daily rainfall. Seven stations in seven urban centers are selected for the analysis of daily rainfall: Podor, Saint-Louis, Matam, Louga, Linguère, Thiès, and Dakar-Yoff. This allowed us to determine the evolution of the Number of Rainy Days (NRD) in relation to the Standardized Precipitation Index (SPI). Daily totals exceeding 40 mm ($NRD \geq 40$ mm) were analyzed to determine their importance in the upward trend of precipitation since 1971. The sites of Matam, Louga, Linguère, and Thiès stand out considering the decisive influence on $NRD \geq 40$ mm. The $NRD \geq 40$ mm explains the upward trend in SPIs. In the other stations (Podor, Saint-Louis, and Dakar-Yoff), the NRD is just as crucial. The occurrence of high daily totals reflects heavy rains associated with above-average seasons. The Thiès station is unique. It records both NRDs and $NRD \geq 40$ mm with decreasing trends. However, even during below-average seasons, heavy rains can be observed. Thus, deficit years like 2014 and 2018 presented a flood risk due to high daily rainfall. Because of their consequences, the number of rainy days and high daily rainfall are parameters to be integrated into flood and drought prevention strategies in the Sahel.*

Keywords: *Daily rainfall, extreme rainfall, evolution, Sahel, Senegal*

Introduction

Les épisodes pluvieux de fort cumul, l'urbanisation non maîtrisée et les crues accroissent le risque d'inondations en Afrique de l'Ouest, même dans les zones semi-arides (Tschakert et al, 2009 ; Descroix et al, 2015). Descroix et al (2013) ont trouvé que dans le bassin du Niger Moyen le nombre d'évènements pluvieux de classes de cumul supérieures à 20 mm a augmenté depuis la ré-augmentation des précipitations à la fin des années 1990. Les valeurs les plus faibles apparaissent dans la décennie 1981-1990 (Descroix et al, 2013). Une analyse statistique comparable a montré que sur le Sénégal, malgré l'augmentation des précipitations ces dernières années le nombre d'évènements de fort cumul n'a pas atteint les valeurs maximales des années 1950-1968 (Diongue et al cités par Descroix et al, 2015).

C. DIOP, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

Dans les villes sahéliennes, les fortes pluies entraînent des inondations (Dacosta, 2009), une destruction d'habitations et de biens matériels et une perturbation des activités socio-économiques. Les inondations au Sahel et au Sénégal sont aussi bien causées par les fortes pluies que par l'occupation de secteurs inondables (Sène et Ozer, 2002 ; Thiam, 2011 ; Descroix et al, 2015). Les inondations des quartiers de Ouest Foire (Dakar) en août 2012 et de Banconi (Bamako) en août 2013 sont des exemples du résultat de l'imperméabilisation de l'espace urbain et péri-urbain. Elle crée des inondations « purement urbaines » (Descroix et al, 2015).

La plupart des villes du Sénégal subissent des dégâts en cas de fortes pluies (Diop et Sagna, 2011 ; Sané, Sy, Dièye, 2011 ; Sagna et al, 2012). En 2012 par exemple, les pluies intenses ont entraîné des inondations et des dégâts matériels. En plus, la Direction de la Protection Civile a recensé 38 blessés et 26 décès (Diop, Sagna, Sambou, 2014). Les impacts des fortes pluies de l'hivernage 2012 ont surtout concerné les villes de Saint-Louis, Diourbel, Bambey, Kaolack et Dakar (Diop, Sagna, Sambou, 2014).

Au Sénégal, le phénomène semble concerner essentiellement les centres urbains (Thiam, 2011). Dans les sous-groupements identifiés par la Direction de la Protection civile comme sites inondables, on retrouve toutes les capitales régionales du Sénégal. En 2012, les cas de pertes en matériels et vies humaines ont été notés à Dakar et dans d'autres villes du pays (Direction de la Protection civile, 2013).

Les années 1960 et 1970 ont été marquées par une rupture dans l'évolution des totaux annuels des précipitations au Sahel (Dacosta, Kandia, Malou, 2002 ; Bodian, 2014 ; Sagna et al, 2015, Kaboré et al, 2017). Un retour à des précipitations abondantes après la période sèche des années 1970 et 1980 est noté au Sénégal (Sagna et al, 2015) et au Burkina Faso (Kaboré et al, 2017). Kaboré et al ont remarqué une hausse de la pluviométrie en 1994 dans le Centre-Nord du Burkina Faso. Ces ruptures ont été plus

accentuées dans le Sahel que dans la zone soudano-sahélienne¹ (Kaboré et al, 2017). Les auteurs ont ainsi distingué trois périodes dans l'évolution des précipitations dans le Centre-Nord du Burkina Faso : 1961-1969, 1970-1993 et 1994-2015. C'est une hausse des pluies qui est notée dans les parties centrale et orientale du Sahel au milieu des années 1990 (Sighomnou et al, 2013). Elle s'est accompagnée d'un renforcement de l'irrégularité interannuelle. Par ailleurs, le nombre de jours de pluie a affiché une évolution comparable à celle des totaux annuels. Il a diminué de 14 jours au cours de la période 1961-1990 (Kaboré et al, 2017). Parallèlement, les pluies extrêmes ont diminué sur la période 1961-1990. Kaboré et al ont constaté un changement de régime des pluies journalières à la fin des années 1960. C'est dans ce contexte de retour des pluies abondantes que s'inscrit notre analyse dans le Sahel sénégalais. Elle caractérise la hausse des précipitations, à partir des cumuls journaliers, avec l'augmentation des quantités annuelles notée dans le Sahel depuis les années 1990. Le retour des événements de fort cumul journalier laisse des zones d'ombre quant à leur importance dans les stations sahéliennes et soudaniennes du Sénégal. Par ailleurs, les facteurs anthropiques et environnementaux de la recrudescence des inondations sont plus ou moins décisifs selon la zone climatique. L'hypothèse d'une augmentation des pluies journalières à cumul élevé semble plus plausible dans la zone sahélienne. Elle constituerait le risque associé à une hausse des totaux annuels.

1. Méthodologie

Certains centres urbains du Sénégal sont vulnérables aux fortes pluies. Dès qu'un certain seuil de pluie est dépassé ou que plusieurs jours de pluie se suivent, des inondations, dommages aux bâtiments, cas de blessure, pertes en vies humaines sont rapportés. Pour cette

¹ Kaboré et al ont travaillé sur la base du découpage du Burkina Faso en trois zones climatiques : sahélienne, soudano-sahélienne et soudanienne (Kaboré et al, 2017). Le Centre-Nord, qui a fait objet de leur analyse, est sahélien dans sa partie Nord et soudano-sahélien dans sa partie Sud.

C. DIOP, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

étude, les centres urbains ci-après sont retenus : Podor, Saint-Louis, Matam, Thiès et Dakar. Ainsi, les stations situées dans ces centres urbains (tableau 1) ont été retenues pour une recherche des tendances des jours de pluie à cumul élevé.

Tableau 1: Stations retenues

| Station | Latitude | Longitude | Altitude (m) | P(mm) annuelle (1981-2010) |
|-------------|-----------|-----------|--------------|----------------------------|
| Podor | 16° 38' N | 14° 56' W | 6 | 221 |
| Saint-Louis | 16° 03' N | 16° 27' W | 4 | 248 |
| Matam | 15° 38' N | 13° 15' W | 15 | 361 |
| Louga | 15° 37' N | 16° 13' W | 38 | 294 |
| Linguère | 15° 23' N | 15° 07' W | 20 | 398 |
| Thiès | 14° 48' N | 16° 57' W | 38 | 448 |
| Dakar-Yoff | 14° 44' N | 17° 30' W | 27 | 368 |

Pour une meilleure représentativité du Sahel du Sénégal, les stations situées au centre (Louga et Linguère) ont été ajoutées à l'analyse (figure 1). Ces stations ont été choisies, car elles présentent des séries complètes, contrairement à la plupart des postes de la partie centrale du Sahel sénégalais.

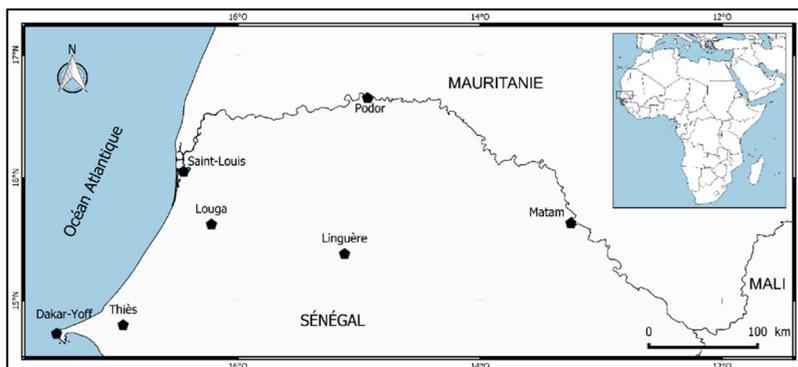


Figure 1 : Localisation des stations retenues

Les données utilisées dans cette analyse proviennent de stations gérées directement par l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) du Sénégal. La série 1971-2018 a

C. DIOP, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

permis de déterminer l'évolution des pluies journalières à cumul élevé dans un contexte de hausse des précipitations. Le début de la série correspond à une période sèche, la grande sécheresse des années 1970 au Sahel (Sircoulon, 1976 ; Dacosta, Kandia, Malou, 2002). Les deux dernières décades de la série sont plus humides (Ndong, 2007 ; Bodian, 2014 ; Sarr et Diop, 2014 ; Sagna et al, 2015).

La série, prise en compte pour appréhender le comportement des fortes pluies avec les changements de la pluviométrie, correspond à l'après-rupture des totaux annuels. L'analyse des séries pluviométriques avec la méthode de Lee et Heghinian (Lee et Heghinian, 1977) montre que la rupture dans l'évolution des totaux annuels est intervenue entre 1961 et 1969 selon les stations (tableau II). La série 1971-2018 présente des phases sèches (début des années 1970 et 1980) et des phases humides (années 1990 et 2000). Elle nous a ainsi permis de montrer les changements dans les pluies journalières dépassant un certain seuil en relation avec la hausse des totaux annuels.

Tableau 2 : Année de rupture dans les précipitations de la Série 1951-2018 selon le test de Lee et Heghinian

| | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Podor | | | | | | | | | | | |
| Saint-Louis | | | | | | | | | | | |
| Matam | | | | | | | | | | | |
| Louga | | | | | | | | | | | |
| Linguère | | | | | | | | | | | |
| Ranérou | | | | | | | | | | | |
| Thiès | | | | | | | | | | | |
| Dakar-Yoff | | | | | | | | | | | |

Les seuils choisis dans la détermination des pluies faibles, fortes et très fortes varient selon les auteurs et les régions (tableau III). Les valeurs retenues à une grande échelle sont élevées (100 mm par jour).

Tableau 3 : Exemples de seuils de quantités de pluie

| Source | Seuil en mm | | | | Région | Données |
|----------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|------------|
| | Légère | Modérée | Forte | Très forte | | |
| Hennessy et al, 1997 | 0,2-1,6 | 1,6-12,8 | 12,8 | | Monde | Simulation |
| Groisman et al, 2001 | | | 50,8 | 101,6 | États-Unis | |
| Goswami et al, 2006 | > 5 ≤ 100 (light to moderate) | | ≥ 100 (heavy events) | ≥ 150 (very heavy events) | Centre de l'Inde | Simulation |
| Ndong, 2007 | | | précipitations abondantes > médiane | | Sénégal | Station |
| Sarr et Diop, 2014 | | | ≥ 40 | | Nord-Est du Sénégal | Station |

Dans la zone d'étude les quantités de précipitations sont faibles. Cependant, elles peuvent représenter un aléa aux conséquences lourdes. Nous avons retenu le seuil de 40 mm que Sarr et Diop ont utilisé dans leur analyse dans le Nord-Est du Sénégal (Sarr et Diop, 2014).

Le SPI (Standardized Precipitation Index) a permis d'identifier les années sèches et les années humides (WMO, 2012). La formule suivante a été utilisée pour chaque station :

$$SPI = (P - \bar{P}) / \sigma$$

où

- P est la quantité totale de précipitations d'une année donnée ;
- \bar{P} est la moyenne annuelle de précipitations de la série 1971-2018 ;
- σ est l'écart-type de la série.

L'évolution des Nombres de Jours de Pluie (NJP) et des cumuls élevés a été déterminée par des courbes de tendance. La relation entre

les deux paramètres a été analysée avec le coefficient de corrélation.

2. Résultats

2.1 ÉVOLUTION DES SPI DE 1971 À 2018 DANS LE SAHEL SÉNÉGALAIS

Les variations interannuelles des précipitations apparaissent à travers le SPI (figure 2). Il y a une augmentation des totaux annuels dans les années 1990 et 2000. Les sept stations n'affichent pas les mêmes variations, mais présentent beaucoup de caractéristiques communes. Celles-ci concernent les déficits du début de la série et l'augmentation notée récemment dans l'évolution des totaux annuels.

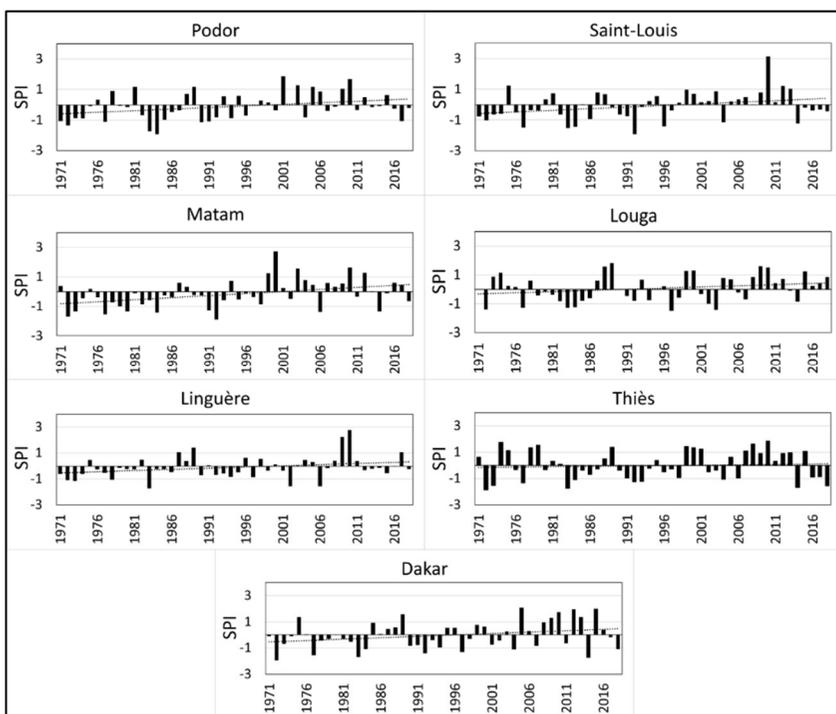


Figure 2 : Évolution des SPI de 1971 à 2018 dans sept stations de la zone sahélienne du Sénégal

Les années déficitaires dans les années 2010 montrent que la tendance à la hausse n'est pas continue. Des années déficitaires, comme 2006 à Matam et à Linguère ou 2007 à Dakar, apparaissent depuis les années 2000. De même, les années 2014 et 2018 ont été déficitaires dans toutes les stations. À l'inverse, l'année 2012, dont les fortes pluies se sont traduites par d'importantes conséquences dans plusieurs villes du Sénégal (Diop et al, 2014, Sagna et al, 2015), a été excédentaire dans toutes les stations sauf à Linguère (figure 2).

La tendance à la hausse des précipitations résulte de l'important déficit des années 1970 et 1980. Les déficits du début des années 1970, de 1977 et de 1983 ont été particulièrement sévères et répandus. Ainsi, la hausse des précipitations après les sécheresses des années 1970 et 1980 détermine une série 1971-2018 qui permet d'analyser l'évolution des pluies journalières à cumul élevé dans un contexte d'augmentation des totaux annuels. La variabilité est moins grande dans la région de Thiès. La pente de la droite de tendance est faible. Elle traduit une très légère hausse de la pluviométrie par rapport aux autres stations. Saint-Louis et Matam affichent les tendances les plus nettes. En effet, la hausse des précipitations dans ces stations à partir des années 1970 est très importante. Les SPI varient dans ces deux villes entre -2 et 3.

2.2. Evolutions des cumuls journaliers supérieurs à 40 mm

La hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal se manifeste aussi à travers les apports des cumuls ≥ 40 mm (figure 3). Les quantités apportées par les cumuls journaliers élevés sont globalement plus importantes durant les années excédentaires. Ainsi, presque à chaque fois que le total annuel est supérieur à la moyenne de la série, des cumuls journaliers ≥ 40 mm sont observés. Ils ne sont pas enregistrés certaines années déficitaires, comme de 1980 à 1985 à Podor ou de 1979 à 1983 à Louga.

L'augmentation des précipitations dans les années 2000 correspond à une hausse de la contribution des pluies journalières ≥ 40 mm sauf

C. DIOP, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

à Matam où le nombre de cumuls journaliers ≥ 40 mm était en baisse par rapport au nombre moyen de la série. En 2005 par exemple, malgré le cumul supérieur à la moyenne, aucune pluie journalière ≥ 40 mm n'a été enregistrée à Matam.

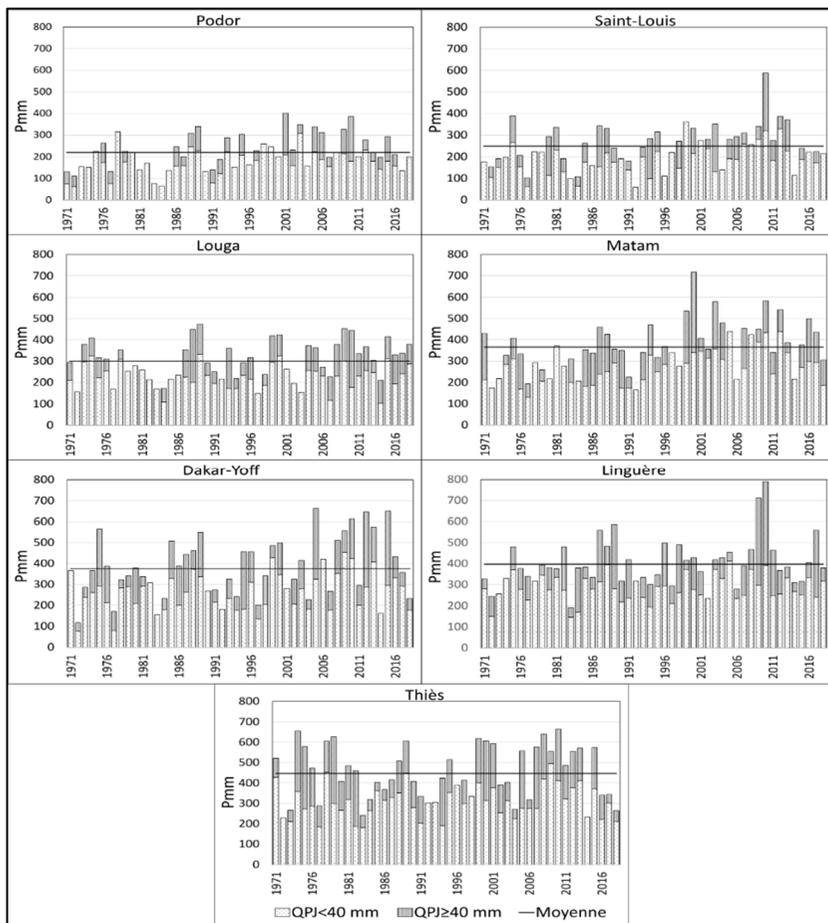


Figure 3 : Répartition des totaux annuels en Quantités de Pluies Journalières inférieures à 40 mm (QPJ<40 mm) et Quantités de Pluies Journalières supérieures ou égales à 40 mm (QPJ≥40 mm)

Même si elles sont plus rares et contribuent moins au cumul annuel pendant les années déficitaires, des cumuls journaliers élevés ont été notés pendant des années où la pluviométrie a été faible. Ce fut le cas en 2014 à Podor, Louga et Linguère. Il en fut de même en 1983 à Matam, Linguère et Thiès. De même, 1977, déficitaire dans toutes les stations, a reçu des cumuls journaliers supérieurs à 40 mm dans toutes les stations sauf à Louga. Ainsi, la menace d'inondation liée à l'aléa pluviométrique reste réelle même si des déficits pluviométriques sont observés.

2.3. Evolution des nombres de jours de pluie et des cumuls journaliers élevés depuis 1971 dans le sahel sénégalais

La hausse des précipitations depuis les années 1980 suscite des interrogations quant aux changements sur les nombres de pluies journalières. En effet, l'augmentation des précipitations annuelles peut correspondre à une élévation du nombre de jours de pluie ou des quantités journalières. Elle peut aussi correspondre à une hausse des précipitations apportées par les cumuls extrêmement élevés. L'analyse de l'évolution des Nombres de Jours de Pluie (NJP) annuels et des Nombres de Jours de Pluie dont le cumul est supérieur ou égal à 40 mm ($NJP \geq 40$ mm) permet de déterminer leur influence plus ou moins décisive sur la hausse des précipitations annuelles observée ces dernières années. Cette hausse apparaît clairement sur les SPI analysés plus hauts.

La tendance à la hausse des Nombres de Jours de Pluie (NJP) est nette dans les stations de Podor, Saint-Louis, Matam et Dakar (figure 4). Elle n'est pas en phase avec la tendance de l'indice SPI des précipitations, qui affiche une hausse dans toutes les stations.

Une analyse des pluies journalières supérieures ou égales à 40 mm ($NJP \geq 40$ mm) montre qu'elles sont faiblement représentées. Leurs nombres sont faibles, nuls pendant certaines années comme à Podor (figure 4). Elles n'ont pas été enregistrées en 2014 à Saint-Louis, Matam, Thiès et Dakar. En 2018, elles ne sont pas tombées plus de deux fois dans une même station. En 1983, année de sécheresse,

C. DIOP, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

elles ne sont tombées qu'à Matam, Linguère et Thiès. Leur nombre n'a pas dépassé deux dans une station donnée.

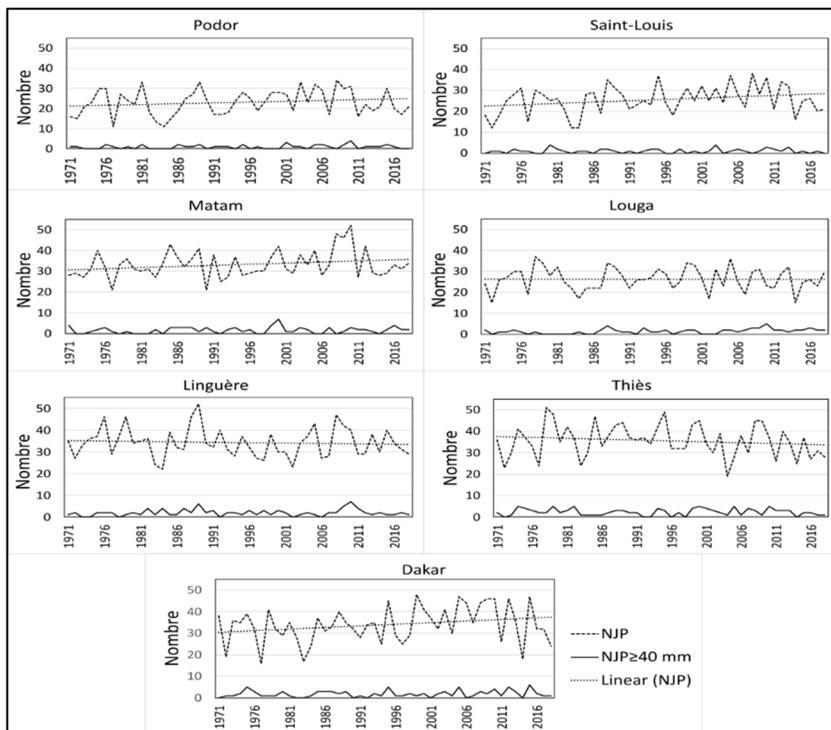


Figure 4 : Évolution des Nombres de Jours de Pluie (NJP) et des cumuls journaliers supérieurs ou égaux à 40 mm (NJP ≥ 40 mm)

Même si les nombres de cumuls journaliers supérieurs à 40 mm ne sont pas significatifs par rapport au nombre total de jours de pluie, ils sont déterminants sur le total annuel qui apparaît à travers la valeur de SPI. Dans les stations de Matam, Louga, Linguère et Thiès, le coefficient de corrélation entre le SPI et le nombre de cumuls supérieurs à 40 mm est plus élevé que celui entre le SPI et le nombre total de jours de pluie (tableau IV). Dans ces stations les cumuls élevés sont plus décisifs sur le total annuel.

Tableau 4 : Coefficient de corrélation entre le SPI et les Nombres de Jours de Pluie (NJP)

| | | Podor | Saint-Louis | Matam | Louga | Linguère | Thiès | Dakar |
|----------------------------|-------------------------|-------|-------------|-------|-------|----------|-------|-------|
| Coefficient de corrélation | SPI et NJP | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| | SPI et NJP \geq 40 mm | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

À Saint-Louis et Dakar, le nombre de jours de pluie est aussi important que le nombre de cumuls journaliers élevés. Les coefficients de corrélation sont à peu près les mêmes. Podor est la seule station à avoir un coefficient de corrélation plus élevé pour les nombres de jours de pluie que pour les cumuls journaliers élevés. De par sa position à l'extrême Nord du Sahel sénégalais, elle reçoit très peu de pluies journalières supérieures à 40 mm. Aussi, le nombre total de jours de pluie reste-t-il décisif.

3. Discussion

Il y a une dépendance entre les pluies extrêmes et l'abondance d'une saison donnée. Une augmentation des pluies extrêmes en relation avec la hausse des précipitations a été observée par Goswami et al (2006) de 1951 à 2000 au Centre de l'Inde. En effet, les pluies extrêmes ont augmenté dans la partie centrale de l'Inde, alors que les pluies modérées ont diminué. Pour le cas du Sénégal, seule une augmentation des cumuls élevés est observée. Elle n'est pas accompagnée d'une baisse des cumuls journaliers faibles. Le nombre total de pluies a augmenté. Rajeevan, Bhate, Jaswal (2008) ont trouvé des résultats analogues sur une plus longue série (1901-2004). Ils ont observé une variation interannuelle et inter-décennale des événements pluvieux extrêmes. La tendance à long terme affiche une augmentation des événements pluvieux

extrêmes de 6 % par décennie. À l’opposé, la fréquence des événements pluvieux modérés a diminué. Une augmentation des fortes pluies journalières est observée par Groisman, Knight, Karl (2001) aux États-Unis durant le XX^e siècle. Celles-ci ont augmenté plus significativement que les totaux annuels. Les régions des États-Unis exposées à une humidité excessive sont en extension surtout depuis les années 1970. Cela est en accord avec l’augmentation à long terme des précipitations aux États-Unis. Le nombre de jours de pluie avec des séquences de trois jours (précipitations, précipitations, fortes précipitations) a augmenté de 32 % par 100 ans. Depuis 1910, la fréquence des très forts événements pluvieux a augmenté progressivement dans la haute Mississippi de plus de 50 % par 100 ans. Le Sahel du Sénégal, comme certaines régions du monde, est exposé à une hausse des fortes pluies et des séquences pluvieuses.

En 2014, Sarr et Diop ont observé une hausse des cumuls supérieurs à 40 mm dans le Nord-Est du Sénégal (Podor et Matam). Nos analyses ont montré une hausse des cumuls élevés à Podor et à Matam, mais à Podor le nombre total de jours de pluie reste plus déterminant, car les cumuls journaliers qui dépassent 40 mm sont rares.

Le risque associé aux fortes pluies n’est pas toujours vérifié. Les inondations et autres dégâts matériels peuvent intervenir aussi bien en année déficitaire qu’en année excédentaire. Les inondations qui ont affecté l’agglomération de Dakar ces dernières années ont été observées aussi bien pendant des années aux SPI négatifs que durant des années aux SPI positifs. La combinaison des extrêmes pluviométriques et de l’augmentation du nombre de jours de pluie a été décisive. Ainsi, des inondations ont été rapportées des villes de Dakar, Guédiawaye et Pikine (Diop, 2009 ; Ndiaye, 2010 ; Diop 2012 ; Ndiaye, 2015 ; Cissé, 2018 ; Hanne, 2018 ; Baldé, 2018). Elles ont affecté les activités commerciales (Gueye, 2009) et causé des dégâts sur le bâti (Diop, 2009). Des pertes en vies humaines aussi ont été enregistrées (Sané, 2012 ; Sarr, 2012 ; Sarr, 2018 ;

Cissé, 2018 ; Baldé, 2018 ; Mansaray, 2018). Dans certains cas, des routes sont devenues impraticables (Thiam, 2012b ; Cissé, 2018) et des victimes se sont retrouvées dans des écoles (Thiam, 2012a).

Une situation analogue a été observée à Saint-Louis (Fall, 2012), où le nombre de jours de pluie a augmenté en même temps que les pluies extrêmes. Thiès n'est pas épargnée, malgré la baisse des pluies journalières supérieures à 40 mm (Coly, 2015).

La saison pluvieuse de 2012 a été caractérisée aussi bien par de fortes pluies que par des séquences de jours de pluie (Diop, Sagna, Sambou, 2014). Ainsi, elle a marqué les esprits et suscité une inquiétude au début de la saison suivante (Sagne, 2013 ; Ba, 2013 ; Ba, 2013, Sagna, 2013).

L'analyse des pluies journalières a montré que les années sèches ne sont pas sans risques. En effet, le risque de survenue de l'extrême pluviométrique ne diminue pas. Ainsi, malgré le caractère déficitaire de la saison de 2014 (Badiane, 2014), des inondations ont été signalées (Sakho, 2014). Il en a été de même en 2018 (Seck, 2018 ; Ka, 2018 ; Mbaye, 2018).

Les résultats de l'étude ont montré une augmentation du nombre de jours de pluie de 1971 à 2018 au Sénégal (Diop et Sagna, 2019). En effet, c'est le nombre de jours de pluie, quelle que soit la quantité, qui explique la tendance à la hausse des précipitations annuelles. Cependant, la contribution des totaux journaliers de plus de 40 mm est plus décisive.

Conclusion

L'analyse des pluies journalières a permis de montrer que les nombres de jours de pluie et les cumuls journaliers supérieurs à 40 mm sont en hausse à Podor, Saint-Louis, Matam, Louga, Linguère et Dakar. Seule la station de Thiès affiche une baisse des cumuls journaliers supérieurs à 40 mm. Les cumuls élevés expliquent la hausse de l'indice SPI (Standardized Precipitation Index) dans

quatre stations sur sept (Matam, Louga, Linguère et Thiès). Dans les autres stations, les nombres totaux de jours de pluie restent déterminants. Dans tous les cas, il y a une étroite relation entre l'apport des pluies journalières supérieures à 40 mm et la quantité totale annuelle reçue.

La répartition des précipitations revêt une importance capitale quelle que soit l'abondance de la saison. Elle doit être prise en compte pour une meilleure compréhension des sécheresses et des pluies qui sont à l'origine des inondations.

Bibliographie

Bodian A., 2014 : « Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest) », in, **Physio-Géo.**, vol. 8, pp. 297-312.

Dacosta H., Kandia K.Y., Malou R., 2002 : « La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle », *FRIEND Regional Hydrology: Bridging the Gap Between Research and Practice*, in, **Proceedings of the Fourth International FRIEND Conference held in Cape Town**, South Africa, March 2002, n° 274, pp. 499-506.

Dacosta S., 2009 : **Inondations à Dakar et au Sahel : Gestion durable des eaux de pluie**, Dakar, Enda Editions, 265 p.

Descroix L., Diongue Niang A., Dacosta H., Panthou G., Quantin G. et Diedhiou A., 2013 : « Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger-Moyen (Sahel) », in, **Climatologie**, Vol. 10, 37-49.

Descroix L., Mahé G., Olivry J.-C., Albergel J., Tanimoun B., Amadou L., Coulibaly B., Bouzou Moussa I., Faran Maïga O., Malam Abdou M., Souley Yéro K., Mamadou I., Vandervaere J.-P., Gautier E., Diongue Niang A., Dacosta H. et Diédhiou A., 2015 : « Facteurs anthropiques et environnementaux de la recrudescence des inondations au Sahel », in, Sultan B., Lalou R., Amadou Sanni M., Oumarou A. et Soumaré M. A. (éds). **Les sociétés rurales face aux**

changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest, Marseille, Institut de Recherche pour le Développement, pp.153-170.

Diop C. et Sagna P., 2011 : « Vulnérabilité climatique des quartiers de Dakar au Sénégal : exemples de Nord-Foire-Azur et de Hann-Maristes », in, **Actes du colloque « Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation » (2R2CV)**, 7 et 8 juillet 2011, Université Paul Verlaine - Metz, France, 12 p.

Diop C. et Sagna P., 2019 : « Évolution des précipitations journalières à cumul élevé de 1971 à 2018 au Sénégal, in, **Géovision**, hors série n° 1, pp. 536-558.

Diop C., Sagna P. et Sambou P. C., 2014 : « Vulnérabilité des populations urbaines face aux fortes pluies : exemple du Sénégal en 2012 », in, **Actes du XXII^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Dijon (France), pp. 554-559.

Direction de la Protection Civile, 2013 : **Rapport sur l'état de la protection civile au Sénégal**, Année 2012. Dakar, pp. 55-80 et annexes.

Goswami B. N., Venugopal V., Sengupta D., Madhusoodanan M. S. and Xavier P. K., 2006: "Increasing Trend of Extreme Rain Events over India in a Warming Environment", in, **Science**, Vol. 314, pp. 1442-1445.

Groisman P. Ya, Knight R. W. and T. R. Karl, 2001: "Heavy Precipitation and High Streamflow in the Contiguous United States: Trends in the Twentieth Century", in, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 82, pp. 219-246.

Hennessy K. J., Gregory J. M. and Mitchell J. F. B., 1997: "Changes in Daily Precipitation under Enhanced Greenhouse Conditions", in, **Climate Dynamics**, Vol. 13, pp. 667-680.

Kaboré P. N., Ouédraogo A., Sanon M., Yaka P., Some L., 2017 : « Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du

C. **DIOP**, Caractérisation de la hausse des précipitations de 1971 à 2018 dans la zone sahélienne du Sénégal

Centre-Nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015 », in, **Climatologie**, Vol. 14, pp. 82-95.

Lee A. F. S. and Heghinian S. M., 1977: "A Shift of the Mean Level in a Sequence of Independent Normal Random Variables: a Bayesian Approach", in, **Technometrics**, Vol. 19, n° 4, pp. 503-506.

Ndong J. B., 2007 : « Les épisodes de précipitations abondantes au Sénégal (période 1951-2002) », in, **Revue de Géographie de Saint-Louis** « Espaces et sociétés », n° 6, pp. 31-44.

Rajeevan M., Bhate J. and Jaswal A. K., 2008: "Analysis of Variability and Trends of Extreme Rainfall Events over India Using 104 Years of Gridded Daily Rainfall Data", in, **Geophysical Research Letters**, Vol. 35, L18707, doi: 10.1029/2008GL035143.

Sagna P., Ndiaye H., Mbaye M. et Diop C., 2012 : « Impacts des fortes précipitations sur le bâti : les cas de Podor en 2006 et de Matam en 2007 », in, **Revue de géographie du Laboratoire Leïdi** « **Dynamiques des territoires et développement** », n° 10, pp. 1-16.

Sagna P., Ndiaye O., Diop C., Diongue Niang A. et Sambou P. C., 2015 : « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? », in, **Pollution atmosphérique, Climat, santé, société**, A propos de la COP 21 : la parole aux parties-prenantes, n° 227, pp. 1-17.

Sané T., Sy O. et Dièye E. B., 2011 : « Changement climatique et vulnérabilité de la ville de Ziguinchor », in, **Actes du colloque « Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation » (2R2CV)**, 7 et 8 juillet 2011, Université Paul Verlaine - Metz, France, 14 p.

Sarr N. et Diop M., 2014 : « Étude climatique dans le Nord-Est du Sénégal », Annexe A in Tetra Tech ARD / USAID : **Senegal Climate Change Vulnerability Assessment and Options Analysis** (Annexes A-F), pp. 1-25.

Sène S. et Ozer P., 2002 : « Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal », in, **Bulletin de la Société géographique de Liège**, n° 42, pp. 27-33.

Sighomnou D., Descroix L., Genthon P., Mahé G., Bouzou M. I., Gautier E., Mamadou I., Vandervaere J.-P., Bachir T., Coulibaly B., Rajot J.-L., Malam Issa O., Malam Abdou M., Dessay N., Delaitre É., Maiga O. F., Diedhiou A., Panthou G., VISCHEL T., Yacouba H., Karambiri H., Patuere J.-E., Diello P., Mougine É., Kergoat L. et Hiernaux P., 2013 : « La crue de 2012 à Niamey : un paroxysme du paradoxe du Sahel ? », in, **Sécheresse**, Vol. 24, n° 1, pp. 3-13.

Sircoulon J., 1976 : « La récente sécheresse des régions sahéliennes », in, **La houille blanche**, n° 6-7, pp. 537-548.

Thiam M. D., 2011 : **Le syndrome des inondations au Sénégal**, Dakar, Presses Universitaires du Sahel, 224 p.

Tschakert P., Sagoe R., Oforir-Darko G. and Codjoe S., 2009: "Floods in the Sahel: An Analysis of Anomalies, Memory, and Anticipatory Learning", in, **Climate Change**, DOI 10.1007/s10584-009-9776-y.

World Meteorological Organization (WMO), 2012: **Standardized Precipitation Index**. User Guide. Geneva, WMO, n° 1090, 16 p.

Articles de presse

Ba M., 2013 : « Nginth, Keur Sampathé : les riverains des bas-fonds sous la menace d'éventuelles inondations », in, **le soleil** du 8 juillet 2013, p. 13.

Ba O. N., 2013 : « Toutes les dispositions sont en train d'être prises à Louga », in, **le soleil** du 8 juillet 2013, p. 14.

Badiane C., 2014 : « Retard de la saison des pluies : Le Sénégal hanté par le syndrome des années sèches », in, **L'Observateur**, 3262, 6 août 2014, p. 8.

Baldé A., 2018 : « Dégâts collatéraux de la première grosse pluie sur la capitale : déjà deux morts, la banlieue sous les eaux, Dakar patauge », in, **Vox POPuli**, 507, 31 août 2018, p. 5.

Cissé M., 2018 : « Fortes pluies dans la banlieue : inondations, dégâts matériels et deux morts », in, **Direct Info**, 1925, 31 août 2018, p. 4.

Cissé M., 2018 : « Chômage, insécurité, inondations, maisons abandonnées...à Djeddah Thiaroye Kao », in, **Direct Info**, 1932, 8 et 9 septembre 2018, p. 4.

Coly M., 2015 : « Conséquences des premières pluies : Thiès sous l'emprise des eaux pluviales », **Le POPulaire**, 4688, 11 et 12 juillet 2015, p. 7.

Diop A., 2012 : « Banlieue dakaroise : des quartiers de Guinaw Rail inondés, de nombreux dégâts matériels à la Cité Soleil », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 12.

Diop E. H., 2009 : « Mbour-insalubrité, La Mairie fait un pas en attendant l'État », in, **La Voix**, 236, p. 4.

Fall S. O., 2012 : « Saint-Louis envahi par les eaux », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 12.

Gueye M., 2009 : « Hivernage et commerces, Quand la pluie grippe le business », in, **l'Observateur**, 1753, 29 juillet 2009.

Hanne E. A., 2018 : « Pikine-inondation : Une cinquantaine de tombes englouties sous les eaux », in, **L'Observateur**, 4484, 8 et 9 septembre 2018, p. 9.

Ka A., 2018 : « Retard et insuffisance de la pluviométrie : Le Sénégal menacé par les conséquences d'un mauvais hivernage... », in, **Dakar Times**, 402, p. 5.

Mansaray A. L., 2018 : « Conséquences des pluies du mercredi : 2 morts dans la banlieue dakaroise », in, **Le Quotidien**, 4659, 31 août 2018, p. 2.

Mbaye M., 2018 : « Déficit pluviométrique de l'hivernage 2018 : L'ANACIM avait alerté depuis mai dernier », in, **Dakar Times**, 402, p. 6.

Ndiaye K., 2015 : « Dégâts collatéraux des premières pluies enregistrées à Dakar : Les populations de la banlieue vivent dans la hantise des inondations », in, **Le POPulaire**, 4688, 11 et 12 juillet 2015, p. 7.

Ndiaye M., 2010 : « 33 000 familles recensées dans les eaux », in, **L'OFFice**, 1417, 12 février 2010, p. 6.

Sagna P., 2013 : « Il nous reste à résoudre l'intensité des précipitations », in, **le soleil** du 8 juillet 2013, p. 15.

Sagne M., 2013 : « Prévention : le curage des eaux d'évacuation, une urgence à Thiès », in, **le soleil** du 8 juillet 2013, p. 13.

Sakho B., 2014 : « Conséquences des pluies diluviennes : L'horreur s'abat sur Matam », in, **Le Quotidien**, 3435, 11 juillet 2014, p. 3.

Sané I., 2012 : « Des familles dans la rue, deux fillettes périssent à Grand-Yoff et un bébé se noie à Grand-Médine », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 10.

Sarr D., 2012 : « 6 morts dans l'effondrement d'une concession à Yarakh », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 11.

Sarr M., 2018 : « Recrudescence des inondations : 2 morts à Pikine et Cambérène, les mosquées et cimetière envahis », in, **Zoom infos**, 2826, p. 5.

Seck A. A., 2018 : « Inhabituel retard des pluies après le 15 août : Inquiétude générale dans le monde rural », in, **Zoom infos**, 2826, 17-19 août 2018, p. 5

Thiam E. I., 2012a : « À Dalifort, des familles se réfugient dans des salles de classe », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 11.

Thiam E. I., 2012b : « Après la pluie, de nombreuses routes impraticables », in, **le soleil**, 12667, 16 août 2012, p. 11.