Article original

Analyse de la dynamique interannuelle des pluies hors-saison (« pluies de Heug ») et de leur relation avec les précipitations de l'hivernage dans la zone sahélienne du Sénégal

Madiop YADE

Maître-Assistant / Climatologie
Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), BP 5005, Dakar, Sénégal
Auteur correspondant : E-mail : madiop.yade@ucad.edu.sn
Article reçu le **16/09/2026**
Réf : 21-AUM13-0321

Résumé :

Dans la zone sahélienne du Sénégal, les précipitations de saison sèche, localement appelées « pluies de heug », constituent un phénomène climatique récurrent dont les effets peuvent concerner les activités pastorales et la conservation des récoltes stockées à l'air libre. Cette étude analyse la variabilité spatio-temporelle des pluies hors saison dans la zone sahélienne du Sénégal sur la période 1941-2020 (80 ans) et examine leur relation linéaire avec les précipitations de l'hivernage. À partir des données pluviométriques de cinq stations synoptiques couvrant le gradient sahélien sénégalais, une analyse descriptive de la variabilité interannuelle et une analyse de corrélation ont été réalisées. Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) et le coefficient de détermination (R^2) indiquent une association linéaire très faible entre les deux variables, avec des valeurs de r comprises entre -0,161 et +0,130 et des R^2 inférieurs à 3 %. Les tests bilatéraux associés aux coefficients r ne sont pas significatifs au seuil de 5 %. Ces résultats ne permettent donc pas d'utiliser le cumul des précipitations de l'hivernage comme indicateur linéaire des pluies de heug. Ils suggèrent que la variabilité des

précipitations hors saison dépend de facteurs atmosphériques qui ne sont pas représentés par le seul cumul pluviométrique de l'hivernage.

Mots clés : pluies de heug, hivernage, corrélation, variabilité interannuelle, zone sahélienne, Sénégal

Interannual dynamics of off-season rainfall (« heug » rainfall) and its relationship with rainy-season precipitation in the Sahelian region of Senegal

Abstract:
In the Sahelian region of Senegal, dry-season rainfall events, locally known as « heug rains », are recurrent climatic phenomena that may affect pastoral activities and the preservation of crops stored in the open air. This study analyzes the spatiotemporal variability of off-season rainfall in the Sahelian region of Senegal over the period 1941-2020 (80 years) and examines its linear relationship with rainy-season precipitation. Using rainfall data from five synoptic stations covering the Senegalese Sahelian gradient, a descriptive analysis of interannual variability and a correlation analysis were conducted. Pearson's linear correlation coefficient (r) and the coefficient of determination (R^2) indicate a very weak linear association between the two variables, with r values ranging from -0.161 to +0.130 and R^2 values below 3%. The two-sided tests associated with the r coefficients are not significant at the 5% level. Therefore, the rainy-season rainfall total cannot be used as a linear indicator of heug rainfall. These results suggest that the variability of off-season rainfall depends on atmospheric factors that are not captured by the rainy-season rainfall total alone.

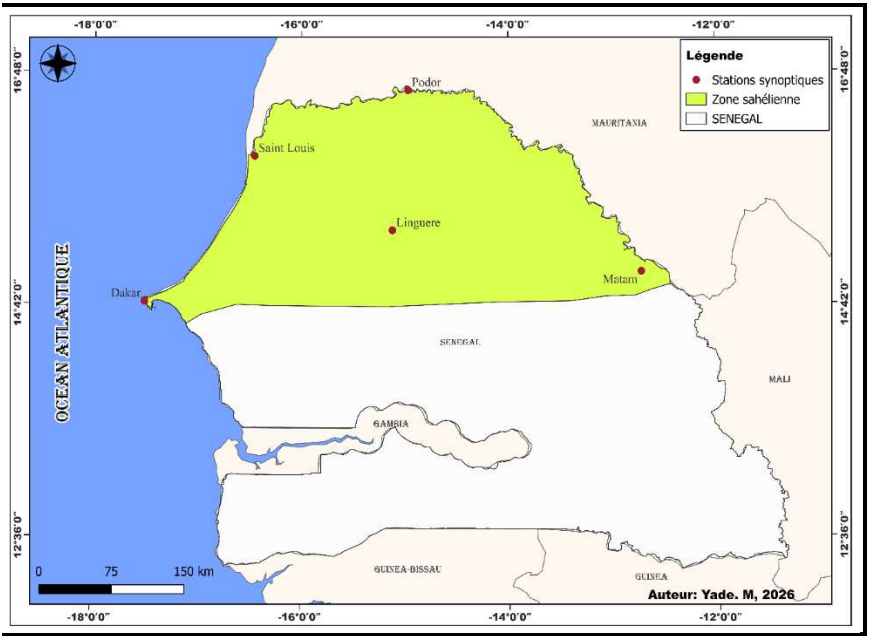
Keywords : *Heug rains, rainy season, correlation, interannual variability, Sahel region, Senegal*

Introduction

Le Sénégal, situé dans la zone soudano-sahélienne, présente un gradient climatique marqué du nord au sud, avec un domaine sahélien au nord et un domaine soudanien au sud. Le régime pluviométrique est largement dominé par l'hivernage, saison des pluies estivales liée à la migration latitudinale de la Zone intertropicale de convergence (ZITC) et à la mise en place du flux de mousson. En dehors de l'influence directe du littoral, le pays est principalement soumis, pendant la saison sèche, à l'alizé continental (harmattan) et, pendant l'hivernage, à l'intrusion de la mousson ouest-africaine. Selon Faye (2020, p. 15), ces circulations

atmosphériques contribuent à l'organisation spatiale des précipitations. Celles-ci augmentent globalement suivant un gradient méridien nord-sud, tandis que la durée de la saison des pluies s'allonge du nord vers le sud. En effet, de deux à trois mois au nord, la saison des pluies peut s'étaler jusqu'à six mois au sud, alors que les précipitations s'échelonnent de 100 mm au nord à 1500 mm au sud.

La zone sahélienne du Sénégal constitue une zone de transition entre les espaces désertiques du Sahara et les formations de savane de la zone soudanienne (carte 1). Elle se caractérise par une prédominance des alizés pendant la majeure partie de l'année et par une influence plus marquée de la mousson au cours de la saison des pluies. Ses limites sont couramment associées aux isohyètes 100 et 500 mm (Yade, 2016, p. 32). Durant la saison sèche, le Sahel sénégalais présente un gradient entre la frange littorale, davantage soumise à l'alizé maritime, et l'intérieur du pays, où domine l'alizé continental. Pendant l'hivernage, la circulation de la mousson est plus permanente à l'intérieur du pays alors que sur la côte, l'alizé maritime se manifeste assez souvent même en plein mois d'août. Les températures moyennes annuelles varient entre 24 °C à Dakar et 29,6 °C à Matam. Le bilan hydrique demeure globalement déficitaire et l'indice de sécheresse traduit un caractère aride dans les secteurs septentrional et central, tandis que la partie méridionale présente un caractère semi-aride (Sagna et al., 2012, p. 64).



Carte 1 : Présentation de la zone d'étude

Cependant, la saison sèche, qui s'étend approximativement de novembre à avril dans la zone étudiée, n'est pas totalement dépourvue de précipitations. Des épisodes pluvieux sporadiques, communément appelés « pluies de heug », surviennent notamment pendant la saison sèche froide, sous l'effet de l'advection d'air froid et de l'interaction avec des circulations d'altitude (Gaye et al., 1994, p. 62). Longtemps considérées comme peu importantes (rarement plus de 20 mm pour toute la saison) en raison de leur faible fréquence et de leur faible contribution au cumul annuel (< 4%), ces précipitations peuvent toutefois atteindre localement des hauteurs exceptionnelles (Seck, 1962, p. 225). Elles peuvent affecter les récoltes stockées à l'air libre et sont diversement perçues selon les périodes d'occurrence, leur intensité et les activités des usagers (Ibrahima et al., 2016, p. 275). Dans certaines régions, elles sont également désignées sous les appellations de « pluie inutile »,

de « pluie de mangues » ou d'événements rares. L'expression « pluie de mangues » renvoie notamment à l'effet de lavage de la poussière déposée sur les manguiers et les fruits pendant la saison sèche.

Le mécanisme des pluies de heug est associé à des situations atmosphériques marquées par une baisse de température, une augmentation de l'humidité et la présence de nuages pouvant produire des précipitations faibles ou, plus exceptionnellement, des averses plus importantes (Le Borgne, 1988, p. 12). La cause principale du phénomène des pluies hors saison au Sahel a son origine dans l'hémisphère nord. En saison sèche froide, des masses d'air polaire peuvent progresser vers les régions tropicales le long de talwegs d'altitude (Gaye et al., 2022, p. 327). La confrontation entre l'air froid de moyenne latitude et l'air chaud et humide tropical sur la face orientale du talweg peut favoriser le développement de formations nuageuses (altostratus et altocumulus le plus souvent) et des précipitations (Sagna, 2005, p. 319). L'intensité de ces perturbations dépend notamment de la profondeur, de l'inclinaison et de l'extension méridienne du talweg extratropical (Ibrahima et al., 2016, p. 284).

Si les effets potentiels de ces pluies hors saison sont relativement bien documentés, leur fréquence, leur intensité et leur variabilité interannuelle demeurent moins étudiées que celles des pluies d'hivernage. Ce constat conduit aux questions suivantes : dans quelle mesure la fréquence et les cumuls des pluies de heug ont-ils varié entre 1941 et 2020 dans la zone sahélienne du Sénégal ? Existe-t-il une relation linéaire entre les pluies de heug et les précipitations de l'hivernage ? L'objectif général est d'analyser la variabilité spatio-temporelle des pluies hors saison et d'examiner leur relation statistique avec les précipitations de l'hivernage. L'hypothèse testée est qu'il n'existe pas de relation linéaire statistiquement significative entre les cumuls de ces deux séquences pluviométriques. L'étude vise ainsi à contribuer à une meilleure connaissance de la variabilité des précipitations hors saison en

milieu sahélien où elles sont plus fréquentes et à discuter leurs implications pour la surveillance agrométéorologique.

1. Méthodologie

L'étude porte sur la zone sahélienne du Sénégal, caractérisée par une longue saison sèche et une forte variabilité pluviométrique. La pluviométrie annuelle y est principalement liée à l'hivernage, mais elle peut être ponctuée d'épisodes de précipitations pendant la saison sèche. L'analyse porte sur les cumuls pluviométriques mensuels observés entre novembre et avril, considérés ici comme les précipitations hors saison, et sur les cumuls enregistrés pendant l'hivernage.

Pour analyser cette variabilité, les cumuls pluviométriques mensuels ont été recueillis auprès de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) du Sénégal. Cinq stations synoptiques ont été retenues afin de couvrir, de manière représentative, le gradient pluviométrique de la zone sahélienne : Dakar, Saint-Louis, Podor, Matam et Linguère (tableau 1). Pour chaque station, la série analysée couvre la période 1941-2020, soit 80 années d'observation.

Tableau 1 : Caractéristiques des stations d'étude

Stations	Latitude	Longitude	Altitude	Période	Nombre d'années
Dakar	14° 44' N	17° 30' O	27 m	1941-2020	80
Saint-Louis	16° 3' N	16° 27' O	4 m	1941-2020	80
Podor	16° 39' N	14° 58' O	6 m	1941-2020	80
Matam	15° 39' N	13° 15' O	15 m	1941-2020	80
Linguère	15° 23' N	15° 7' O	20 m	1941-2020	80

Source : *ANACIM, données pluviométriques des stations étudiées, 1941-2020.*

Les données couvrent la saison des pluies (mai à octobre) et la période hors saison (novembre à avril), permettant de distinguer et d'isoler les pluies de heug pour l'étude. Pour chaque année

climatologique, les données ont été scindées en deux variables quantitatives distinctes exprimées en millimètre (mm) :

- La variable indépendante (X) : le cumul des précipitations de l'hivernage, correspondant à la période mai-octobre ;
- La variable dépendante (Y) : le cumul des précipitations hors saison, calculé pour la période novembre-avril.

Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) a été utilisé pour mesurer l'intensité et le sens de l'association linéaire interannuelle entre les deux variables. Pour un échantillon de taille n = 80, il est défini comme le rapport entre la covariance de X et Y et le produit de leurs écarts types respectifs. La significativité statistique du coefficient a été appréciée au moyen d'un test bilatéral au seuil de 5 %.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

Où :

- xi et yi représentent respectivement les cumuls des précipitations d'hivernage et des pluies de heug pour l'année i ;
- $\bar{x}$ et $\bar{y}$ désignent les moyennes arithmétiques des deux séries sur la période étudiée ;
- n correspond au nombre d'observations.

Le coefficient r est sans dimension et les valeurs sont strictement confinées dans l'intervalle [-1 ; + 1]. Son interprétation porte ici sur le sens et l'intensité de l'association linéaire. Une valeur proche de 0 traduit une faible association linéaire, mais elle ne suffit pas, à elle seule, à conclure à une indépendance statistique. La

décision quant à la significativité repose sur la p-valeur du test associé.

Afin d'estimer la part de variance des précipitations hors saison expliquée par les précipitations de l'hivernage, une régression linéaire simple a également été considérée. Le coefficient de détermination (R^2) mesure la proportion de la variance de Y expliquée par le modèle linéaire. Dans le cas d'une régression simple avec constante, R^2 correspond au carré du coefficient de corrélation de Pearson.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

Où ŷi correspond à la valeur prédite des précipitations hors saison pour l'année i. Exprimé en pourcentage, R^2 indique la proportion de la variance de Y expliquée par la relation linéaire estimée. Une valeur élevée de R^2 traduit une forte capacité explicative du modèle linéaire, sans constituer à elle seule une preuve de causalité.

2. Résultat

2.1. Dynamique des pluies de heug

L'analyse des pluies de heug dans la zone sahélienne du Sénégal met en évidence une forte irrégularité interannuelle, une distribution spatiale hétérogène et quelques épisodes de forte intensité. Aucune tendance linéaire régulière à la hausse ou à la baisse n'est mise en évidence à partir de l'examen descriptif de la série 1941-2020. Les épisodes les plus élevés se concentrent notamment au début des années 1940, au milieu des années 1950, à la fin des années 1970 et surtout en 2002 (figure 1).

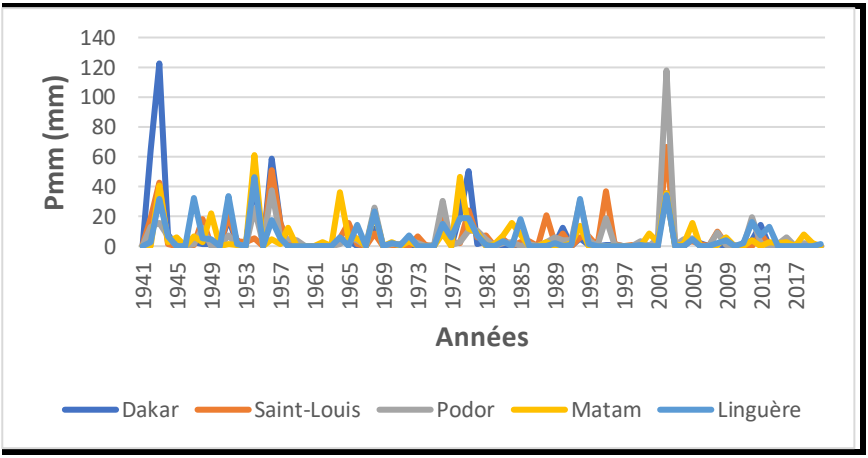


Figure 1 : Evolution interannuelle des pluies de heug dans la zone sahélienne du Sénégal, 1941 à 2020

Source : *calculs de l'auteur à partir des données de l'ANACIM (1941-2020).*

Les stations de Dakar et de Podor enregistrent les maxima les plus élevés, respectivement en 1943 (122,6 mm) et en 2002 (117,9 mm). Matam présente plusieurs épisodes intermédiaires, tandis que Saint-Louis et Linguère montrent une variabilité globalement plus modérée, avec quelques années de forte pluviométrie. Les années 1943 et 2002 sont révélatrices de l'existence d'événements exceptionnels parfois communs où toutes les stations de la zone enregistrent simultanément des hauteurs relativement importantes. Cela suggère l'influence d'une perturbation de grande échelle plutôt que de simples averses strictement locales. Cependant, la plupart des pics ne sont pas synchronisés entre toutes les stations, ce qui prouve que ces pluies hors saison présentent une cohérence spatiale partielle. La fréquence des années faiblement arrosées est élevée : les années sans pluie représentent plus de 40 % des observations à Dakar, Matam et Linguère, environ 35 % à Saint-Louis et 20 % à Podor.

Les années enregistrant moins de 1 mm représentent respectivement environ 60 % des observations à Dakar, 56 % à Linguère et plus de 40 % dans les autres stations. La contribution des pluies de heug au total pluviométrique annuel reste faible, inférieure à 3 % à Podor et Saint-Louis et à 1,5 % dans les autres stations.

Matam présente les moyennes mensuelles les plus élevées en novembre et en avril, avec respectivement 2,0 et 0,6 mm. En décembre, Dakar enregistre la moyenne la plus forte (2,6 mm). Pour janvier, février et mars, Podor présente les valeurs moyennes les plus élevées, avec respectivement 2,0, 1,7 et 0,4 mm (figure 2).

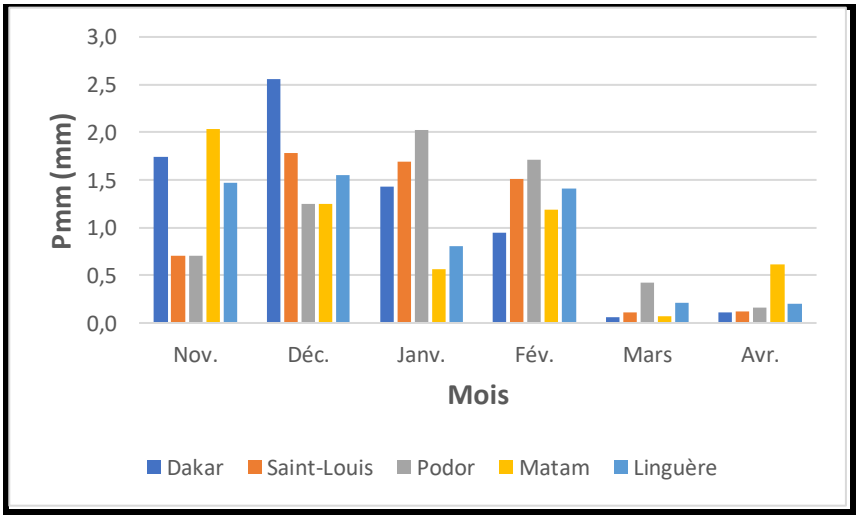


Figure 2 : Evolution moyenne mensuelle des pluies de heug de 1941 à 2020

Source : *calculs de l'auteur à partir des données de l'ANACIM (1941-2020).*

Les moyennes annuelles des pluies de heug atteignent 6,8 mm à Dakar, 6,3 mm à Podor, 5,9 mm à Saint-Louis, et 5,7 mm à Matam et Linguère. La moyenne des cinq stations est d'environ 6,1

mm par an. Décembre représente 28 % du cumul moyen, suivi de novembre et février (22 % chacun), puis de janvier (21 %), mars (3 %) et avril (4 %), selon les données présentées à la figure 3. Cette répartition confirme le caractère très faible et irrégulier des précipitations hors saison (figure 3).

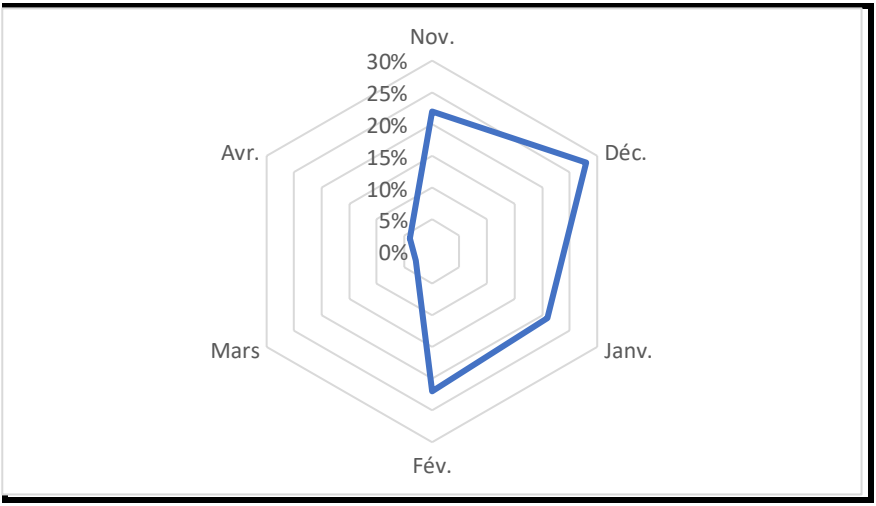


Figure 3 : Répartition mensuelle des pluies de heug dans la zone sahélienne du Sénégal

Source : *calculs de l'auteur à partir des données de l'ANACIM (1941-2020).*

2.2. Corrélation entre les pluies de heug et les précipitations d'hivernage

Afin d'évaluer l'existence d'une association linéaire entre les deux séquences pluviométriques annuelles, le coefficient de corrélation de Pearson (r) et le coefficient de détermination (R^2) ont été calculés pour chacune des cinq stations. Les résultats présentés dans le tableau 2 montrent des coefficients proches de zéro et des R^2 faibles, ce qui traduit une association linéaire limitée entre les précipitations de l'hivernage et celles de la saison sèche.

Tableau 2 : Indicateurs statistiques de la relation linéaire entre pluies de heug et précipitations de l'hivernage

Stations	Coefficient r	Coefficient R^2	Variance (%)	Tendance pente
Dakar	0,130	0,0171	1,71 %	Légèrement positive
Saint-Louis	-0,034	0,0012	0,12 %	Négligeable / Plate
Podor	-0,161	0,0262	2,62 %	Légèrement négative
Matam	-0,124	0,0156	1,56 %	Légèrement négative
Linguère	-0,115	0,0133	1,33 %	Légèrement négative

Les coefficients de Pearson varient de -0,161 à +0,130, tandis que R^2 varie de 0,0012 à 0,0262, soit de 0,12 % à 2,62 % de variance expliquée. À titre complémentaire, les p-valeurs bilatérales associées aux cinq coefficients sont respectivement de 0,250 (Dakar), 0,765 (Saint-Louis), 0,154 (Podor), 0,273 (Matam) et 0,310 (Linguère), toutes supérieures au seuil de 0,05. Les données ne mettent donc pas en évidence de relation linéaire statistiquement significative au seuil de 5 %. À Podor, où la valeur absolue de r est la plus élevée (-0,161), le modèle explique seulement 2,62 % de la variance interannuelle des précipitations hors saison. Les différences de signe entre les stations ne constituent pas, à elles seules, une preuve de mécanismes opposés, mais montrent plutôt la faiblesse et le caractère aléatoire de l'association linéaire observée (figure 4).

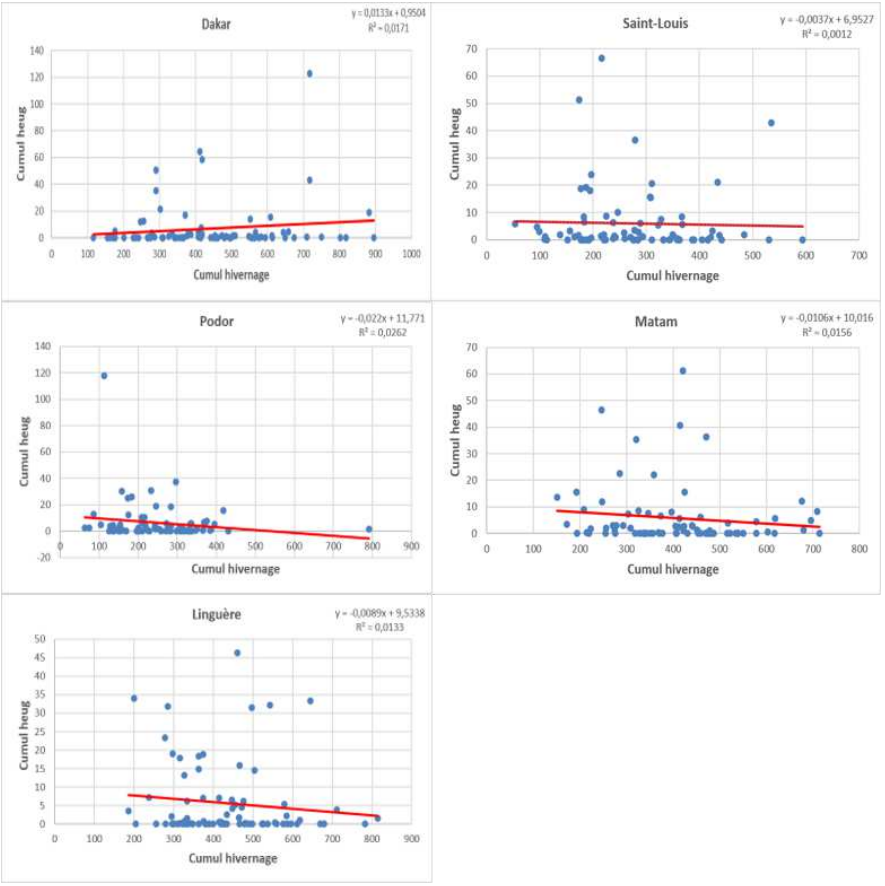


Figure 4 : Corrélation entre pluies de heug et pluies d'hivernage dans la zone sahélienne

L'examen des nuages de points montre que la majorité des observations annuelles se situe sous le seuil de 10 mm de précipitations hors saison, alors que les cumuls d'hivernage varient fortement selon les stations. Les épisodes de pluies hors saison relativement élevés (environ 40 à 120 mm) sont isolés et dispersés. Ils apparaissent aussi bien lors d'années d'hivernage déficitaire que

lors d'années d'hivernage plus humide : en 2002, Podor a enregistré 112 mm pendant l'hivernage et 117,9 mm de pluie hors saison, tandis qu'en 1943 Dakar a enregistré 122,6 mm de pluie hors saison et 717 mm pendant l'hivernage. Ces exemples illustrent l'absence d'une correspondance simple entre les deux séquences pluviométriques.

3. Discussion

L'analyse met en évidence un régime de pluies de heug discontinu, événementiel et spatialement contrasté, plutôt qu'une évolution régulière au cours de la période 1941-2020. La variabilité observée est caractérisée par une succession d'années sèches ou faiblement arrosées et d'années ponctuellement marquées par des épisodes plus importants. Ces résultats ne soutiennent pas l'interprétation des pluies de heug comme une deuxième saison des pluies régulière. Ils rejoignent l'idée, avancée par Seck (1962, p. 226), que ces précipitations ne présentent ni une généralité spatiale ni une régularité comparable à l'hivernage.

Les stations côtières, notamment Dakar, ainsi que Podor dans le nord du pays, présentent les cumuls moyens les plus élevés. Cette distribution peut être rapprochée des mécanismes atmosphériques décrits pour les précipitations de saison sèche : l'advection d'air polaire et son interaction avec les circulations d'altitude peuvent favoriser les précipitations lorsque les conditions thermodynamiques sont réunies (Sagna, 2005, p. 350 ; Gaye et al., 2022, p. 332). Toutefois, les données étudiées ici ne permettent pas d'identifier directement les mécanismes synoptiques à l'origine de chaque événement. La profondeur, l'intensité et l'extension méridienne des talwegs extratropicaux constituent des facteurs évoqués dans la littérature et susceptibles d'expliquer une partie de la variabilité observée (Ibrahima et al., 2016, p. 294).

La concentration des cumuls moyens en novembre et décembre est cohérente avec les résultats rapportés par Sagna (2005, p. 351), qui souligne l'importance de la vapeur d'eau

atmosphérique au début de la saison sèche. Les épisodes observés en avril et en novembre, notamment à Matam, peuvent également correspondre à des périodes de transition saisonnière. Cette interprétation doit toutefois être considérée comme une hypothèse explicative, car la présente étude repose uniquement sur les données pluviométriques et ne mobilise pas de données synoptiques permettant de la tester directement.

Les coefficients r compris entre -0,161 et +0,130, associés à des p-valeurs supérieures à 0,05, ne mettent pas en évidence de relation linéaire statistiquement significative entre les cumuls annuels de pluies de heug et les précipitations de l'hivernage. La littérature présente néanmoins des résultats contrastés : Gaye et al. (1994, p. 63) rapportent une corrélation positive modérée (r = 0,40), tandis que Gaye et al. (2022, p. 332) indiquent une corrélation négative faible (r = -0,14). Ces écarts peuvent être liés aux périodes, aux stations, aux définitions des variables et aux méthodes d'analyse utilisées. L'interprétation d'une indépendance stricte entre les deux régimes ne peut donc pas être déduite des seuls coefficients de corrélation étudiés ici. Sur le plan dynamique, les différences entre les processus de l'hivernage et ceux de la saison sèche constituent une piste explicative, mais leur démonstration nécessiterait l'intégration de variables atmosphériques et océanographiques complémentaires.

Conclusion

Cette étude a caractérisé la variabilité interannuelle et spatiale des pluies de heug dans la zone sahélienne du Sénégal entre 1941 et 2020 et a examiné leur relation linéaire avec les précipitations de l'hivernage. Les résultats montrent une forte irrégularité interannuelle, une contribution annuelle faible et une cohérence spatiale partielle. Les coefficients de corrélation de Pearson varient de -0,161 à +0,130 et les coefficients de détermination restent inférieurs à 3 %. Les tests associés ne mettent pas en évidence de relation linéaire statistiquement significative au

seuil de 5 %. Dans les limites des données et de la méthode retenue, le cumul pluviométrique de l'hivernage ne peut donc pas être considéré comme un indicateur linéaire des précipitations de heug. L'étude invite à approfondir l'analyse en intégrant les situations synoptiques, le nombre de jours pluvieux, les anomalies de température de surface de la mer et les indices climatiques susceptibles d'influencer les circulations atmosphériques sur le Sénégal. Ces prolongements permettraient de mieux distinguer les facteurs de variabilité et d'améliorer l'analyse agrométéorologique des risques liés aux précipitations hors saison.

Références bibliographiques

Faye, D., 2020. Impacts de la Grande Muraille Verte sur les extrêmes pluviométriques au Sénégal. Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, Département de physique, 57 p.

Gaye, D., Niang, S. et Sane, F. B., 2022. Étude de l'évolution des pluies de heug et de leur corrélation avec les pluies totales au Sénégal. Revue Ivoirienne de Science et Technologie, 39, p. 325-333.

Gaye, A. T. H., Fongang, S., Garba, A. et Badiane, D., 1994. Étude des pluies de Heug sur le Sénégal à l'aide de données conventionnelles et d'imagerie Météosat. Veille Climatique Satellitaire, 49, p. 61-71.

Ibrahima, H., Fodé, M., Ben Mohamed, A. et Gaye, A. T., 2016. Étude du phénomène de pluie hors saison hivernale au Sahel : cas particulier de l'épisode de pluie de mangues des 12 et 13 mars 2016 sur le Burkina Faso et le Niger. Revue Ivoirienne de Science et Technologie, 28, p. 273-295.

Le Borgne, J., 1988. La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. ORSTOM, 96 p.

Seck, A., 1962. Le « Heug » ou pluie de saison sèche au Sénégal. Annales de Géographie, 71(385), p. 225-246. https://doi.org/10.3406/geo.1962.16196.

Sagna, P., 2005. Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale. Thèse de Doctorat d'État, tome II, 517 p.

Sagna, P., Yade, M. et Sambou, P. C., 2012. Migrations de l'Équateur météorologique, fréquence de la mousson et importance des précipitations au Sénégal en 2008 et 2009. Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, 42/B, p. 59-75.

Yade, M., 2016. Migrations de l'Équateur météorologique, précipitations enregistrées et calendrier agricole au Sénégal de 2004 à 2013. Thèse de Doctorat unique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 329 p.