



IMPACT DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES VIVRIERES DANS LA REGION DU FOLON (COTE D'IVOIRE)

IMPACT OF RAINFALL VARIABILITY ON THE YIELDS OF FOOD CROPS IN THE FOLON REGION (IVORY COAST)

N'GUESSAN Mian Jean Jacques Sylvain

Doctorant, Université Félix Houphouët-Boigny, Chaire Unesco de la culture de la paix, Côte d'Ivoire

KOFFIE-BIKPO Céline Yolande

Professeure Titulaire, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny

Résumé

L'agriculture, pilier de l'économie Ivoirienne est fortement dépendante de la pluviométrie, ce qui la rend vulnérable aux variations climatiques avec des conséquences sur la production agricole. C'est dans ce contexte que cette étude a été menée afin d'analyser l'impact de la variabilité pluviométrique sur le rendement des cultures vivrières dans la Région du Folon. A partir des données pluviométriques de 1971 et 2020, les indices de Nicholson, les tests de rupture de Pettitt, d'Hubert, bayésien de LEE, l'indice de sécheresse, le calcul de la durée de saison, le calcul des jours secs et des jours pluvieux ont été appliqués, afin d'analyser l'irrégularité pluviométrique, les déficits pluviométrique et sécheresse, ainsi que les excédents pluviométriques dans la Région du Folon. De plus, les données d'enquête recueillies auprès des agriculteurs et les données sur les rendements agricoles obtenues auprès des structures d'encadrement, ont permis d'analyser l'impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements agricoles. Les résultats montrent une variabilité interannuelle significative entre 1971 et 2020 avec une rupture démarrée de 1971 pour atteindre un pic en 1982. On note également une forte variabilité des dates de début des saisons des pluies allant de février à juillet et une variabilité plus ou moins stable des dates de fin avec des débuts précoces et tardifs. En outre, les résultats révèlent des épisodes de jours secs et de sécheresse ainsi que des épisodes de pluies abondantes et d'inondations. Ces variabilités pluviométriques, selon la perception et le ressenti des agriculteurs, ont une influence sur les rendements agricoles qui se traduit par une baisse de rendement du riz et maïs principales cultures vivrières pratiquées dans la Région. L'analyse des données montre une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du maïs ($r = 0,970$) et du riz ($r = 0,976$), confirmant que la pluviométrie est un facteur clé de la productivité dans la région du Folon. Cela dit, une diminution de la pluviométrie entraîne une baisse des rendements et une augmentation de la pluviométrie jusqu'à un certain seuil se traduit par une hausse des rendements.

Mots clés : Région du Folon, impacts, variabilité pluviométrique, cultures vivrières, rendements.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.15869462>

Abstract

Agriculture, a pillar of the Ivorian economy, is heavily dependent on rainfall, which makes it vulnerable to climatic variations with consequences on agricultural production. It is in this context that this study was conducted to analyze the impact of rainfall variability on the yield of food crops in the Folon Region. Based on the rainfall data from 1971 to 2020, the Nicholson indices, Pettitt's break tests, Hubert's test, Bayesian LEE test, drought index, season duration calculation, dry and rainy days calculation were applied to analyze rainfall irregularity, rainfall and drought deficits, as well as rainfall surpluses in the Folon Region. Moreover, the survey data collected from farmers and the agricultural yield data obtained from support structures allowed for the analysis of the impact of rainfall variability on agricultural yields. The results show significant interannual variability between 1971 and 2020, with a break starting in 1971 and reaching a peak in 1982. There is also a significant variability in the start dates of the rainy seasons, ranging from February to July, and a more or less stable variability in the end dates, with early and late starts. Furthermore, the results reveal episodes of dry days and drought as well as episodes of heavy rains and floods. These rainfall variabilities, according to the perception and feelings of the farmers, have an influence on agricultural yields, resulting in a decrease in the yields of rice and maize, the main food crops grown in the region. The analysis of the data shows a strong positive linear correlation between rainfall and maize ($r = 0.970$) and rice ($r = 0.976$) yields, confirming that rainfall is a key factor in productivity in the Folon region. That said, a decrease in rainfall leads to a drop in yields, and an increase in rainfall up to a certain threshold results in a rise in yields.

Keywords : Folon region, impacts, rainfall variability, food crops, yields.

Introduction

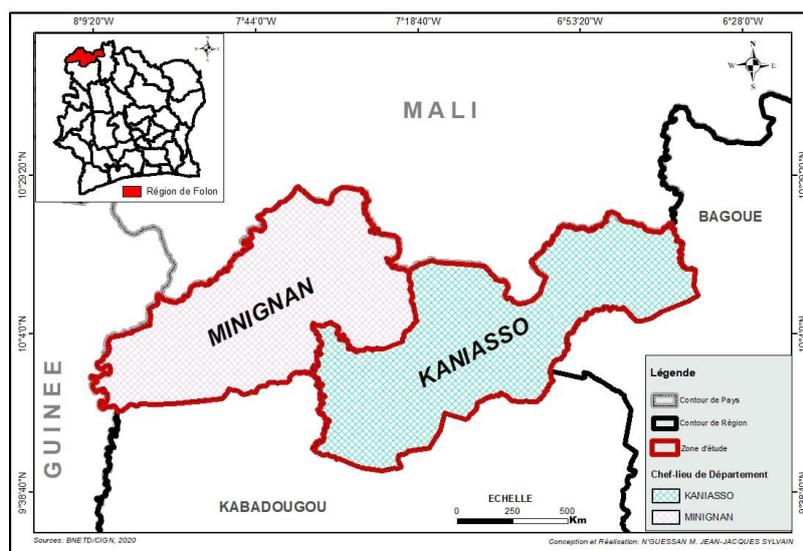
Les variabilités climatiques, notamment la variabilité pluviométrique, sont parmi les phénomènes les plus préoccupant de notre époque. En Afrique en général et particulièrement en Côte d'Ivoire, ces variations constituent un risque majeur pour le développement économique et la croissance (ATIDEGLA et al, 2017). L'agriculture joue un rôle central dans l'économie de nombreuses régions de l'Afrique subsaharienne, et la Côte d'Ivoire n'est pas en marge. Cependant, cette agriculture est fortement dépendante de la pluviométrie, ce qui la rend très sensible aux variations dans les précipitations comme l'ont indiqué les recherches de SULTAN et GAETANI (2016) et NIANG et al. (2014). Dans ce cadre, la variabilité pluviométrique, qui se manifeste par une irrégularité croissante des pluies, un raccourcissement de la saison humide et une alternance entre sécheresses et pluies intenses constitue un obstacle significatif pour la production agricole et les revenus des communautés rurales (AHOUSSOU et al, 2013 ; DONGO et al, 2007). Des recherches récentes ont mis en évidence l'accentuation de cette variabilité en Afrique de l'Ouest (IPCC, 2021), affectant directement les calendriers culturaux et les rendements agricoles. Le GIEC estime que sans stratégies d'adaptation appropriées, les rendements agricoles dans la région pourraient chuter de 8 à 22 % d'ici 2050, avec des pertes pouvant atteindre 50 % dans les zones les plus à risque. La Région du Folon, située au nord-ouest de la Côte d'Ivoire, repose principalement sur l'agriculture pluviale, rendant ainsi les récoltes particulièrement sensibles aux variations pluviométriques. Cette problématique est d'autant plus alarmante que les agriculteurs locaux ont souvent des ressources limitées pour s'adapter. Ces perturbations impacteront non seulement les rendements agricoles des cultures vivrières, mais aussi la production agricole et la sécurité alimentaire. Il est donc essentiel de comprendre comment ces variations pluviométriques impactent spécifiquement les rendements agricoles dans la Région du Folon afin de concevoir des stratégies d'adaptation pertinentes et de renforcer la résilience des systèmes agricoles dans cette région. Cet article vise à étudier le lien entre la variabilité pluviométrique et les rendements des principales cultures vivrières dans la Région du Folon. L'objectif de cette étude est d'analyser, au regard des données pluviométriques et des données agricoles, l'impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements agricoles.

1- Matériel et méthodes

1.1 Description de la zone d'étude

La Région du Folon est située entre la longitude 7°30' et 8°15' Ouest et la latitude 9°30' Nord et 10° 30' Nord. Ces positions indiquent qu'elle est située à l'extrême nord de la Côte d'Ivoire, proche de la frontière avec le Mali. La Région du Folon s'étend sur une superficie d'environ 7 239 km², ce qui représente environ 2,24% de la superficie nationale de la Côte d'Ivoire. Situé stratégiquement au nord-ouest de la Côte d'Ivoire, elle partage des frontières au nord avec le Mali et à l'ouest avec la Guinée et est limitée à l'est par les départements de Tengréla et Kouto, au Sud par les Départements d'Odienné, Samatiguila et de Madinani (RGPH, 2014). La région compte également quatre (04) communes (Minignan, Goulia, Tienko et Kaniasso). En 2021, sa population est estimée à 146 209 habitants (RGPH, 2021) et son économie repose sur l'agriculture et l'agro-industriel. Cette Région est située dans la zone climatique soudano-guinéenne de la Côte d'Ivoire. Ce type de climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons principales : une saison sèche et une saison des pluies.

Figure 1 : Carte de présentation de la Région du Folon



1.2 Données de l'étude

1.2.1 Données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées ont été recueillies auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Elles proviennent de la station météorologique d'Odienné qui couvre la Région de Kabadougou et de Folon. Ces données pluviométriques couvrent la période allant de 1971 à 2020 et se rapportent aux données annuelles, mensuelles et journalières. Cet intervalle est conforme aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM, 2012) qui préconise une période d'au moins 30 ans pour des études sur la pluviométrie.

1.2.2 Données agricoles

Les données statistiques annuelles des rendements proviennent de l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER) de la Région du Folon (Département de Minignan et Kaniasso) et s'étendant de 2015 à 2024. Pour plus de fiabilité, ces séries chronologiques de rendements proviennent de deux sources à savoir la Direction des Statistiques, de la Documentation et de l'Informatique (DSDI) du Ministère d'état, Ministère de l'agriculture et du développement rural, et de l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER).

Outre les données statistiques, nous avons réalisé une enquête par questionnaire auprès d'un échantillon représentatif d'agriculteurs de la Région du Folon. Cette enquête a porté sur les pratiques agricoles, les techniques agricoles utilisés, les types de cultures pratiquées, les superficies cultivées, la variabilité pluviométrique, les rendements agricoles, la production, les effets de la variabilité pluviométrique sur les rendements, les rendements agricoles, la production agricole, les stratégies d'adaptation, etc. Elle s'est avérée importante parce qu'elle a permis de comprendre l'impact de la variabilité pluviométriques sur la production agricole notamment les rendements. Elle a également permis d'appréhender les stratégies d'adaptation développées par les producteurs agricoles face à la variabilité pluviométriques. Les communes et sous-préfectures échantillonnées des départements de la Région du Folon ont fait l'objet de cette investigation.

1.3 Méthodes utilisées de l'étude

1.3.1 Analyse des données pluviométriques

1.3.1.1 Indice de pluviométriques annuels de Nicholson

L'indice pluviométrique annuel de Nicholson est une méthode utilisée pour analyser la variabilité des précipitations et identifier les années de sécheresse (périodes déficitaires) ou d'abondance (période humides) de pluie dans une région donnée. L'indice est calculé en comparant la pluviométrie annuelle observée à une moyenne de référence pour une période donnée. Ainsi, l'indice pluviométrique de Nicholson est utilisé sur les écarts entre les précipitations annuelles et la moyenne de la série, rapportés à l'écart-type. Cette méthode de standardisation et de réduction offre la possibilité de mesurer le poids des années excédentaires et déficitaires (Lamb 1982 ; Ali et

al. 2008). Les indices pluviométriques annuels sont calculés pour chaque année suivant la formule proposée par Nicholson et al. (1988) :

$$I_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma}$$

I_i : Indice pluviométrique de l'année i ;

X_i : Pluviométrie annuelle de l'année i ;

\bar{X} : Moyenne interannuelle de la pluviométrie sur la période étudiée ;

σ : Valeur de l'écart type de la pluviométrie sur la période étudiée.

L'indice pluviométrique indique le niveau d'écart des précipitations annuelles par rapport à la moyenne historique et s'interprète comme suit :

Tableau 1 : indice du niveau d'écart des précipitations annuelles

Valeurs de I_i	Séquences de sécheresses	Valeurs de l'ISP	Séquences humides
$0,00 < I_i < -0,99$	Légèrement sèche	$0,00 < I_i < 0,99$	Légèrement humide
$-1,00 < I_i < -1,49$	Modérément sèche	$1,00 < I_i < 1,49$	Modérément humide
$-1,50 < I_i < -1,99$	Sévèrement sèche	$1,50 < I_i < 1,99$	Sévèrement humide
$I_i < -2,00$	Extrêmement sèche	$2,00 < I_i$	Extrêmement humide

Source : Enquête de terrain

Elle détermine une variable centrée réduite Lamb (1982) cité par Servat et al. (1998)). La moyenne interannuelle d'une série correspond à l'indice nul (0) selon la méthode de Nicholson. Une période normale est une période pendant laquelle une fluctuation identique s'observe de part et d'autre de l'axe des abscisses. Dans ce cas, la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de la pluviométrie totale. Pendant la période humide, la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Enfin, la période sèche correspond à une période où la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale.

1.3.1.2 Test de Pettitt

Le test d'A.N. PETTIT (1979) est non paramétrique. Il dérive du test de Mann-Whitney. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques (X_i) $i=1$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par : $U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$ (7)

$i=1$ $j=t+1$ où $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$, avec $\text{sgn}(X) = 1$ si $X > 0$, 0 si $X = 0$ et -1 si $X < 0$

Au cas où l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$.

1.3.1.3 Procédure de segmentation de Hubert

Pour les variables hydro climatiques dont la série chronologique présente une rupture, il est intéressant de calculer les variations moyennes de part et d'autre de la rupture en appliquant, selon S. ARDOIN-BARDIN (2004), la formule suivante :

$$D = (\bar{X}_j / \bar{X}_i) - 1 \quad (8)$$

où \bar{X}_j représente la moyenne sur la période après la rupture et \bar{X}_i la moyenne sur la période avant la rupture.

1.3.1.4 Méthode Bayésienne de LEE et HEGHINIAN

La méthode Bayésienne d'A.F.S. LEE et S.M. HEGHINIAN (1977) vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique dont l'application sur une série nécessite une distribution normale des valeurs de celle-ci. L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. La procédure repose sur le modèle suivant :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau, \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases}$$

Les variables τ , μ , δ et σ sont des paramètres inconnus. τ et δ représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne. Le changement éventuel (la position et l'amplitude) correspond au mode des distributions a posteriori de τ et δ . La méthode fournit donc la probabilité que la rupture se produise au moment τ dans une série où on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé.

1.3.1.5 Date de début et de fin de la saison des pluies

La détermination du début et de la fin de la saison des pluies ainsi que de la durée a été effectuée à partir de la méthode de Sivakumar (Sivakumar 1988 ; BALME et al., 2005 ; STERN et al., 2006) est largement utilisée en Afrique de l'Ouest est basée. Cette méthode basée sur des seuils empiriques de précipitations a été reprise par SARR (2007) et GOULA et al. (2010) aux spécificités de la Côte d'Ivoire. Ainsi, longueur de la saison des pluies est exprimée par la différence entre la date de fin et la date de début de la saison des pluies.

1.3.2 Analyse des données agricoles

L'analyse des données issues de l'enquête réalisée auprès des agriculteurs est faite à travers les méthodes statistiques incluant l'analyse descriptive univariée (analyse de fréquences, analyse des tendances centrale et de dispersion, analyse graphique). Quant à l'analyse portant sur les données liées aux rendements agricoles, elle a portée sur l'analyse de régression linéaire simple. La régression linéaire simple est une méthode statistique permettant de modéliser la relation linéaire entre deux variables quantitatives dans un objectif explicatif et / ou prévisionnel. Ainsi, le modèle linéaire simple est le suivant :

$$Y = \beta_0 + \beta t + \varepsilon$$

La variable expliquée (Y = rendement) et variable explicative (t = pluviométrie). L'estimation des paramètres β_0 et β ont été estimés selon la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) avec la vérification des hypothèses. La corrélation entre les deux variables (rendement et pluviométrie) a été établie et une analyse des résultats a été établie. Le logiciel R a été utilisé pour les analyses statistiques des données y compris celle de la régression linéaire simple.

2. RESULTATS

2.1 Variabilité pluviométrique

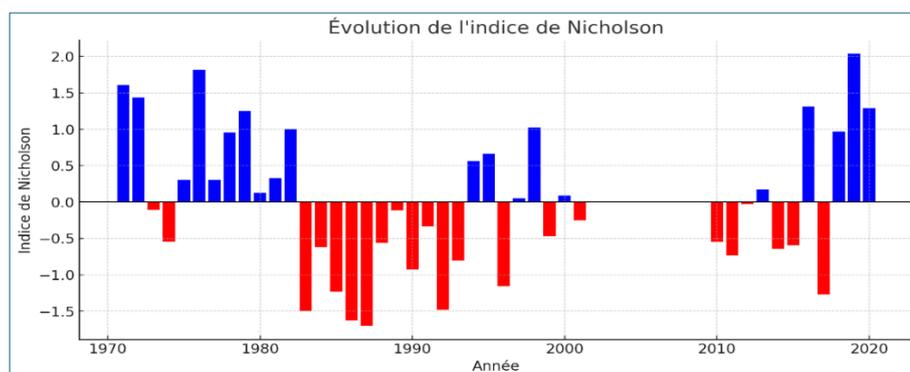
2.1.1 Irrégularités pluviométriques

2.1.1.1 Variabilité interannuelle de la pluviométrie

L'indice pluviométrique interannuel de Nicholson (SPI) dans la Région de Folon met en évidence sur les périodes 1971 et 2020, une alternance d'années humides et sèches (figure 2). Une période excédentaire, caractérisée par une hausse des précipitations, se traduit par des indices positifs (SPI > 1) ((barres bleues) qui indiquent des années plus humides que la moyenne. Une période déficitaire, marquée par une baisse des précipitations avec des indices négatifs (SPI < -1) (**barres rouges**) qui signalent des années plus sèches. On enregistre une pluviométrie annuelle moyenne estimée à 1 385 mm avec un écart type sur la période 1971-2020. Ainsi, l'analyse met en évidence deux périodes sèches dont la première, s'étendant de 1983 à 1993, avec une moyenne annuelle de 1 154 mm, et la seconde, allant de 2010 à 2016, avec une moyenne de 1 267 mm de précipitations par an.

À ces périodes de déficit pluviométrique succèdent des périodes humides, notamment celle de 1975 à 1982, au cours de laquelle la moyenne annuelle atteint 1 555 mm, et celle de 2010 à 2012, avec une moyenne annuelle de 1 709 mm.

Figure 2 : Variabilité interannuelle de la pluviométrie à partir de l'évolution de l'indice de Nicholson

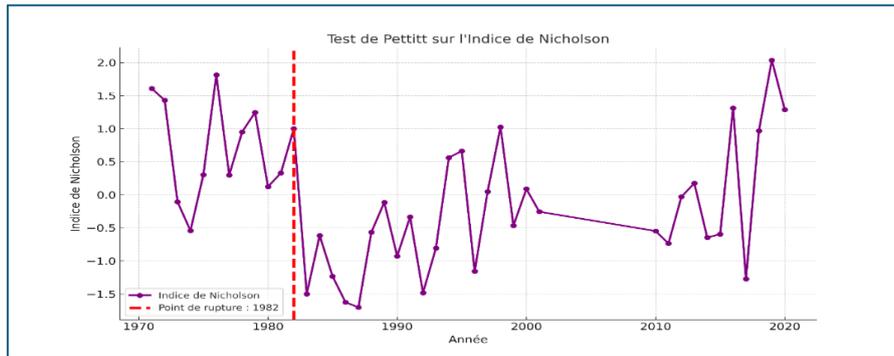


Les données montrent une variabilité interannuelle significative des quantités de pluie annuelle dans la pluviométrie dans la Région du Folon avec une moyenne de 1381.7 mm et un écart-type élevés de 226.3 mm. Les années les plus humides (SPI > 1) incluent 2019, 1976 et 1971, tandis que les années les plus sèches (SPI < -1)

incluent 1987, 1986 et 1983. De telles périodes ont un impact direct sur la production agricole en diminuant les rendements et en accroissant l'incertitude des agriculteurs.

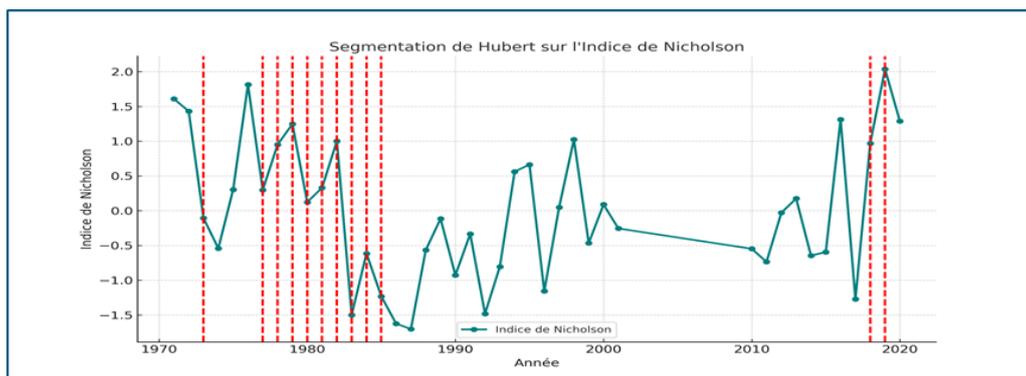
En outre, le test de Pettitt, appliqué à la série pluviométrique 1970-2020 de la Région du Folon a identifié l'année 1982 comme rupture (figure 3), statistiquement significatif avec un P-value $P\text{-value} = 0.043 < 0.05$. Cela signifie qu'il existe une différence significative entre les valeurs avant et après cette année. Cette rupture est présentée à travers la ligne rouge verticale pointillée correspond à l'année 1982, marquant le point où la pluviométrie a changé de régime. En effet, avant 1982, les valeurs de la pluviométrie, soit de l'indice de Nicholson sont globalement plus élevées, alors qu'après 1982, on observe une tendance à des valeurs souvent plus faibles, précisément les valeurs négatives plus fréquentes.

Figure 3 : Rupture pluviométriques à partir du test de Pettitt



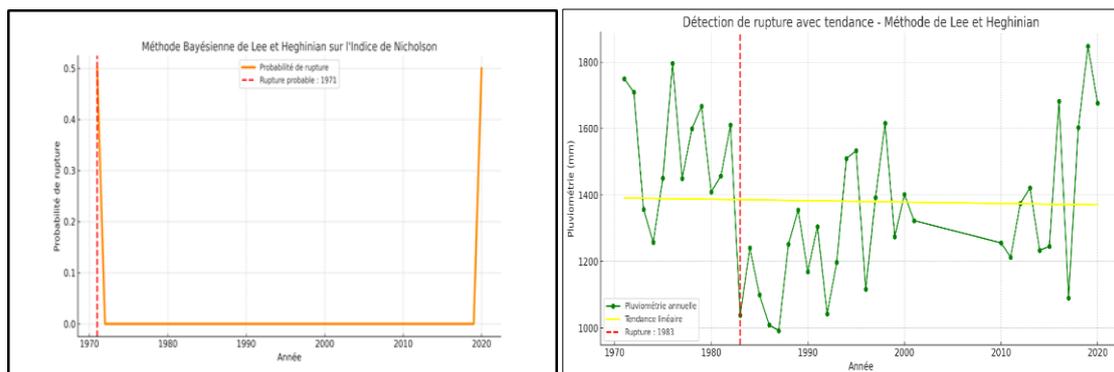
Le test de Pettitt montre donc une rupture significative en 1982, qui marquant le début d'une période plus sèche. Cette rupture est statistiquement significative ($p\text{-value} \approx 0,043$), ce qui confirme qu'il y a eu un changement significatif dans le régime des pluies. Avant 1982 : l'indice de Nicholson a une moyenne de 0,68, ce qui signifie que les années pluvieuses sont plus fréquentes. Après 1982 : La moyenne tombe à -0,24, ce qui signifie que les années avec moins de pluie sont plus fréquentes, et l'écart type est plus élevé, ce qui signifie que les années sont plus variables. Le processus de segmentation d'Hubert appliqué à l'indice de Nicholson a permis de détecter 12 ruptures possibles de séries dans la Région du Folon. Ces ruptures sont principalement concentrées entre 1973 et 1985, indiquant une période d'instabilité significative. Deux ruptures plus récentes en 2018 et 2019, laissent entrevoir une résurgence des changements des années précédentes. Pour une meilleure compréhension de ces ruptures, une comparaison des moyennes de l'indice de Nicholson a été réalisée autour des deux principales dates identifiées à savoir 1982 (également confirmée par le test de Pettitt) et 2018 (rupture récente).

Figure 4 : Ruptures pluviométriques (12) à partir du processus de segmentation d'Hubert



Une probabilité maximale de rupture en 1971 est présentée dans le graphique provenant de la méthode bayésienne. Ceci conduit à un changement dans les caractéristiques pluviométriques de la région de Folon. Ce résultat implique que les régimes pluviométriques avaient déjà causé une instabilité à cette époque (1971). Cependant, ce résultat, combiné à celui de Pettitt, met en évidence une période de changement de régime des précipitations qui a commencé dans les années 1970. L'analyse croisée de l'indice de Nicholson via les différentes méthodes montre que la Région du Folon a connu plusieurs phases distinctes à savoir (i) une première phase de transition vers les années 1970 (rupture détectée en 1971 par la méthode bayésienne) et (ii) une rupture majeure en 1982, confirmée par le test de Pettitt et soutenue par Hubert, amorçant une phase de déficit pluviométrique.

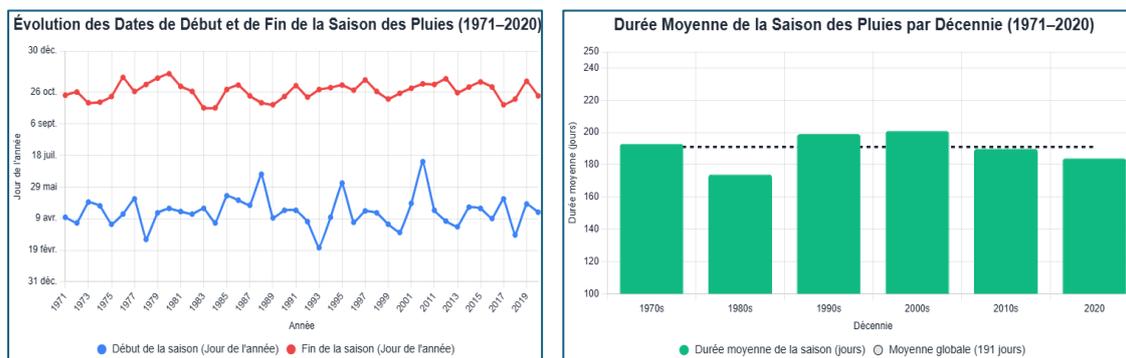
Figure 5 : Probabilité et détection de rupture avec la méthode de Bayésienne de Lee et Heghinian



2.1.1.2 Décalage dans les dates de débuts et la fin des saisons de pluie

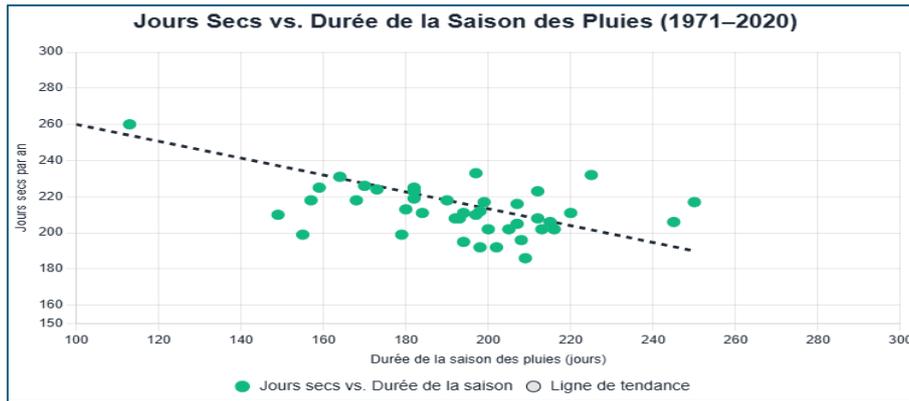
L'analyse des données pluviométriques de la Région de Folon montre une variabilité significative dans les dates de début et de fin de saison des pluies d'une année à une autre, allant de février à juillet, tandis que les dates de fin restent plus constantes (octobre–novembre). La durée varie entre 113 et 250 jours, avec des années longue et courte. Certaines années notamment 1988 montrent un début très tardif (mai), tandis que d'autres tel que 1993 présentent un début plus précoce (début février). Le graphique linéaire de l'évolution des dates illustre ces variations importantes des dates de début et de fin de la saison des pluies d'une année à l'autre.

Figure 6 : Evolution des dates de début et de fin des saisons des pluies



Les dates de début varient fortement (écart type 27 jours) que les dates de fin (écart type 14 jours), ce qui indique que la variabilité de la saison est principalement due aux fluctuations des dates de début. Un début plus précoce implique forcément une saison plus longue, car les dates de fin restent relativement stables (entre octobre et novembre). Cela est perceptible à travers le graphique où l'année 1980 a des saisons plus courtes avec des débuts tardifs et l'année 1990 a des saisons plus longues avec des débuts précoces. Une analyse de la corrélation entre les dates de début, les dates de fin et la durée des saisons des pluies montre que la durée des saisons est fortement influencée par la date de début (corrélation négative, $r \approx -0.78$), avec des débuts précoces qui implique des saisons plus longues.

Figure 7 : Corrélation entre jours secs et durée de saison des pluies



2.1.1.3 Déficit pluviométrique et sécheresse

2.1.1.3.1 Analyse des Jours secs

L'analyse des données relatives aux jours secs, mettent en exergue à travers les graphiques en barre et en ligne, les jours secs totaux par année et les jours secs moyens par mois afin de détecter les mois de déficit pluviométrique (les mois les plus secs) et les années de sécheresse. Ainsi, ces graphiques montrent une moyenne annuelle de 211 jours secs, avec une variation significative allant de 186 à 260 jours. L'année 1980 est la plus sèche avec une moyenne de 216 jours et un pic visible en 1988 correspondant à 260 jours. En revanche, l'année 1996 qui totalise 186 jours secs est l'année la moins sèche. Certaines années notamment 1976, 1983, 1998, 2015 présentent un pic élevé de jours secs. D'autres années par compte à savoir 1981, 1996, 2004 ont connu des années relativement moins sèches.

Figure 8 : Nombre total de jours secs dans l'année

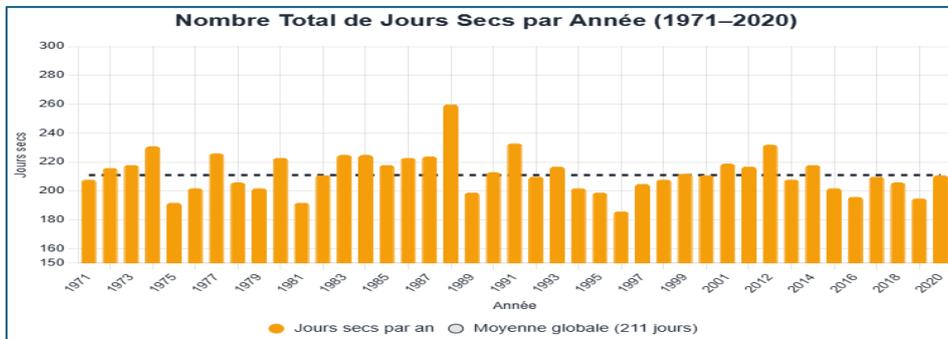
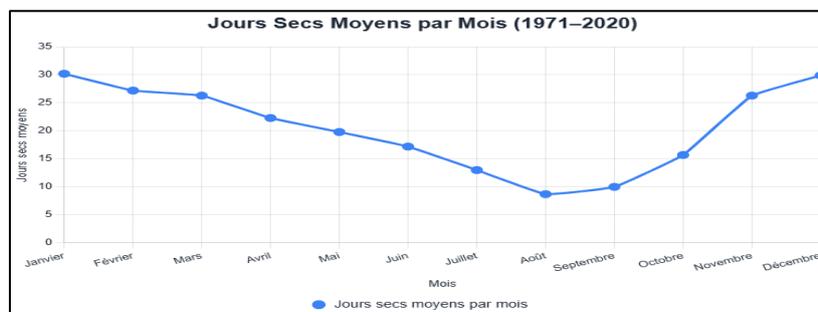


Figure 9 : Jours secs moyens par mois



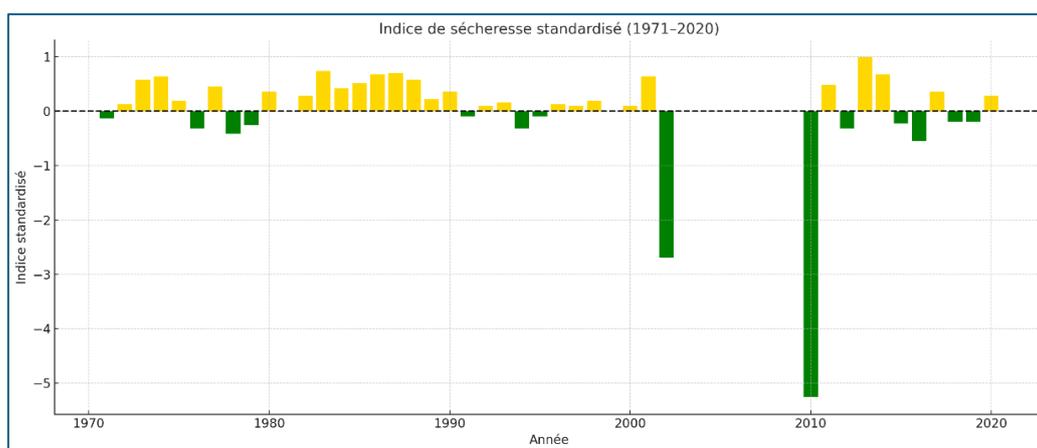
Les mois de janvier, février et décembre affichent les jours secs les plus élevés, ce qui correspond à la saison sèche dans la Région du Folon. Parallèlement, les mois de Juin, juillet, août et septembre affichent les valeurs les plus faibles, ce qui représente la période de fortes précipitations. A partir des années 2000, on constate qu'une tendance

à la hausse des jours secs semble se dessiner, ce qui pourrait révéler une augmentation des épisodes de sécheresse dans la région du Folon.

2.1.1.3.2 Indice de sécheresse

L'évolution de l'indice de sécheresse basé sur le nombre de jours secs enregistrés chaque année selon le graphique, met en exergue une variabilité importante du nombre de jours secs au fil des années. Des pics de sécheresse (sécheresse sévères) avec indice de sécheresse supérieur à 0 (indice sécheresse > 0) sont perçus notamment en 1983, 1987, 2013 et 2014, révélant une fréquence anormalement élevée de jours secs. En revanche, les années 1981, 2002 et 2010, années moins sèches indiquent des indices négatifs (indice sécheresse < 0), donc humide que la moyenne. Le constat est que depuis le début des années 2000, la fréquence des années sèches tend à augmenter.

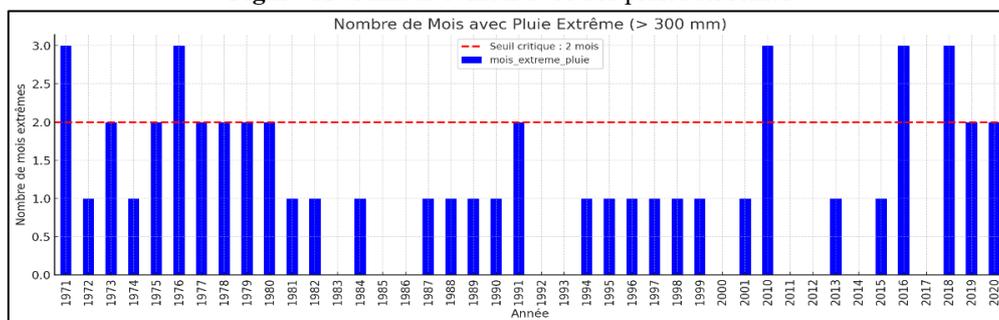
Figure 10 : Indice de sécheresse



2.1.2 Excès pluviométriques

Les données pluviométriques de 1971 à 2020 de la Région du Folon, montrent des événements pluviométriques extrêmes, faisant apparaître une tendance à leur augmentation après les années 1990. Ces événements constituent des risques liés aux inondations récurrentes. En effet, des pics très humides sont perçus en 1971, 1995, 2003, 2016, 2019, contribuant à des épisodes d'inondation accrus, avec des précipitations annuelles, allant plus de 1800 mm. Le graphique indique également les années comportant au moins un mois avec plus de 300 mm de pluie. Bien vrai que ces événements sont rares, mais il n'en demeure pas quels sont croissants à partir de 1990, ce qui atteste une intensification des pluies extrêmes en 1994, 2003, 2014 et 2016. La ligne de niveau rouge représentant un seuil critique où les pluies extrêmes dépassent un seuil potentiellement problématique pour les cultures à cause des risques d'inondations.

Figure 11 : Années et mois avec des pluies extrêmes



Cette analyse des précipitations mensuelles à dans la Région du Folon sur plusieurs décennies révèle une variabilité significative, notamment une augmentation progressive de la fréquence des mois très pluvieux (plus de 300 mm). Les années récentes telles que 2003, 2014, 2016, ont connu plusieurs mois extrêmes de pluviométrie qui ont

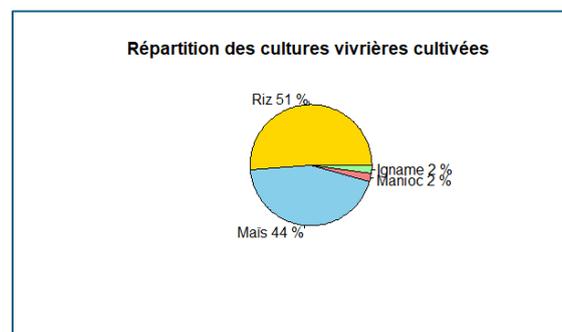
dépassé un seuil critique pouvant causer des inondations. Ces événements pluvieux intenses sont des signes évidents que le régime pluviométrique est marqué par des séquences d'inondation.

2.2 Variabilité pluviométrique et rendement agricole

2.2.1 Cultures vivrières dans la Région du Folon

Les cultures vivrières pratiquées dans la Région du Folon sont essentiellement de type pluvial. Cela dit, la production est majoritairement tributaire des précipitations de sorte que la saison des pluies est cruciale pour le succès des récoltes. Cette production est principalement dominée par des petits producteurs, souvent des exploitations familiales, qui cultivent pour leur consommation et la commercialisation des surplus au moyens des technologies traditionnelle. Les cultures vivrières les plus cultivées dans la Région sont le riz (51%), le maïs (44%), le mil (2%) et le manioc (2%). L'analyse révèle que le riz et le maïs sont les principales cultures vivrières cultivées par les paysans dans la Région du Folon. Selon les informations recueillies auprès d'ANADER (Agence Nationale d'Appui au Développement Rural), la riziculture est largement dominée par les pratiques traditionnelles, notamment le riz pluvial de plateau et de bas-fond peu aménagé. La majorité des paysans n'ont pas encore accès aux semences améliorées malgré les efforts consentis par le gouvernement. Quant au maïs, il est cultivé en milieu paysans avec des semences et des technologies traditionnelles.

Figure 12 : Répartition des cultures vivrières dans la Région de Folon



Les superficies de ces deux principales cultures que sont le riz et le maïs varient entre 1 ha et 6 ha avec une superficie moyenne de 3 ha. Les surfaces cultivées sont variables d'une culture (spéculation) à une autre et d'une année à l'autre. D'une manière générale, on note une tendance à la stabilité des superficies emblavées. En effet, 71% des agriculteurs interrogés ont répondu que les superficies emblavées n'ont pas connu de variation les 5 dernières années contre 29% qui ont répondu favorable.

2.2.2 Perception de la variabilité pluviométrique par les agriculteurs

L'enquête menée auprès des agriculteurs dans la Région du Folon notamment dans les deux départements (Minignan et Kaniasso) révèle que 89% des agriculteurs ont affirmé observer une variabilité pluviométrique perceptible à travers les irrégularités des précipitations (12%), les sécheresses (44%) et les précipitations excessives en l'occurrence les inondations (44%). Au niveau des irrégularités des précipitations, 80% des producteurs enquêtés ont affirmé que cette irrégularité se manifeste par des retards ou avances de la saison des pluies, ainsi qu'un arrêt brusque de précipitation pendant la saison des pluies. De même, les agriculteurs (81%) dans leur majorité, ont affirmé au cours de l'enquête que les sécheresses auxquelles font face la Région sont des sécheresses prolongées. En outre, ceux-ci (78%) ont révélé que les inondations sont précédées par des pluies intenses et soudaines.

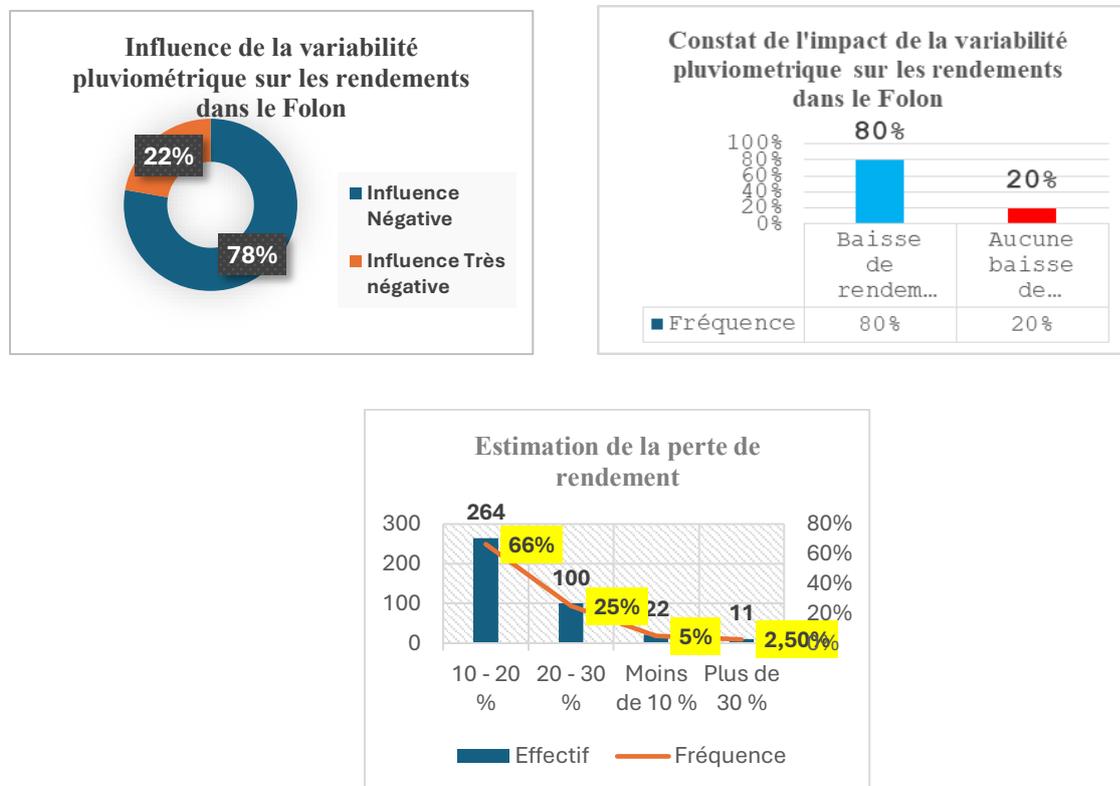
2.3 Impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements agricoles

2-3.1 Impact perçu et ressenti par les agriculteurs

Selon l'enquête réalisée auprès des agriculteurs de la région du Folon, 77,77 % de ces agriculteurs ont déclaré que la variabilité pluviométrique affecte négativement les rendements du maïs, du riz, du manioc et du mil, tandis que 22,22 % estiment que cette influence est très négativement. Par conséquent, 80 % des répondants ont observé une diminution de leur rendement au cours des cinq dernières années en raison de la variabilité pluviométrique, notamment les sécheresses, les inondations et les irrégularités pluviométriques. Interrogé sur la perte des

rendements, la majorité (66%) a affirmé que la perte de rendement est estimée entre 0% et 20%, tandis que 25% estiment que cette perte de rendement est estimée entre 20% à 30%.

Figure 13 : Influence et constat d'impact de la pluviométrie sur le rendement agricole et estimation de perte de rendements selon les agriculteurs



Selon eux, les variabilités interannuelles, le décalage dans les dates de début et de fin des saisons des pluies, la variation des durées de saison, l'interruption brusque des précipitations pendant la saison agricole et les arrêts précoces des pluies entraînant une perturbation des calendriers culturaux, un retard dans les semis et une compromission de la maturation des cultures sont à l'origine de la baisse des rendements du maïs et du riz. A cela, s'ajoute selon les enquêtés, les déficits pluviométriques et sécheresses prolongées (épisode de jours secs et de sécheresse) causant des stress hydriques ayant pour corollaire le ralentissement ou stoppage de la croissance ou mortalité des plants de maïs et de riz. Les enquêtés ont révélé également que les extrêmes pluviométriques (épisodes de fortes pluies) pouvant conduire à des épisodes d'inondations sont également à la base de la baisse des rendements du maïs et du riz à travers des dommages causés aux cultures (noyade des jeunes plants, pourriture des racines), l'érosion des sols, la prévalence de maladies des plantes et des ravageurs.

2-3.2 Corrélation pluviométrie et rendement agricole

L'analyse de la relation entre la pluviométrie et les rendements du maïs et de riz à travers les modèles de régression linéaire a permis de mettre en relief l'impact de la pluviométrie sur les rendements agricoles du maïs et du riz, les deux cultures principales cultivées dans la Région du Folon. Ainsi, les données recueillies auprès d'ANADER (tableau 1) nous a permis de modéliser la relation linéaire entre la pluviométrie et le rendement du maïs et du riz, à travers le modèle de régression linéaire simple.

$$Y = \beta_0 + \beta t + \varepsilon$$

Y : variable expliquée, t : variable explicative, β_0 : constante, ε : résidu ou erreur

Tableau 1 : Statistiques des données de rendement du riz et maïs de la Région du Folon

Année	Pluviométrie (mm)	Rendement maïs (t/ha)	Rendement riz (t/ha)
2015	1245,3	1,21	1,08
2016	1682,2	1,26	1,33
2017	1090,5	1,19	0,97
2018	1603,5	1,24	1,29
2019	1847,9	1,27	1,46
2020	1676,5	1,25	1,32
2021	1279,6	1,22	1,13
2022	1310,8	1,23	1,21
2023	1200,5	1,21	1,02
2024	1210,9	1,20	1,06

Source : Agence Nationale du Développement Rural (ANADER) de la Région du Folon Folon

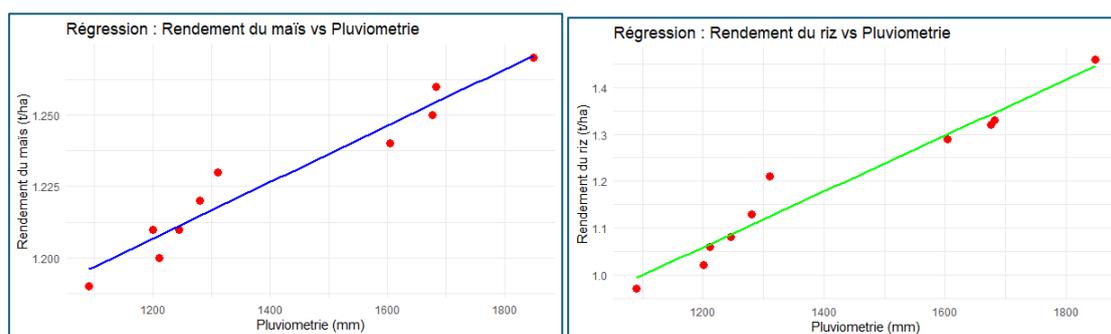
L'analyse statistique du tableau a permis d'identifier deux équations de modèle de régression linéaire simple linéaire suivante après estimation des paramètres :

Modèle 1 (maïs) : $\text{Rendement_maïs} = 1,0883 + 0,00009872 \times \text{Pluviométrie}$ où « Rendement_maïs » est la variable expliquée et « Pluviométrie » la variable explicative

Modèle 2 (riz) : $\text{Rendement_riz} = 0,3427 + 0,0006 \times \text{Pluviométrie}$ où « Rendement_riz » est la variable expliquée et « Pluviométrie » la variable explicative

Concernant le maïs, l'analyse des données montre une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du maïs ($r = 0,970$), confirmant que la pluviométrie est un facteur clé de la productivité dans la région du Folon. Cela dit, une augmentation de 100 mm de précipitation (pluie) entraîne une augmentation moyenne de rendement de 0.0099 tonne/ha de maïs, tandis qu'une diminution de 100 mm se traduit par une baisse de rendement de 0.0099 tonne/ha. Les irrégularités pluviométriques sont corrélées à des baisses de rendements du maïs. La valeur de R^2 est élevée ($R^2 = 0,940$), ce qui indique la relation linéaire entre les deux variables. En d'autres termes, 94% de la variabilité du rendement du maïs est expliquée par la pluviométrie. Ces résultats sont statistiquement significatifs grâce à une p-value inférieure à 5% ($p\text{-value} < 5\%$). L'analyse des résidus montre que les hypothèses de linéarité, d'homoscédasticité et de normalité sont respectées. Le test de Durbin-Watson ($DW = 1,49$) ne montre pas d'autocorrélation préoccupante des résidus. Pour ce qui est du riz, l'analyse des données révèle une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du riz ($r = 0,976$). Cela indique qu'une augmentation de 100 mm de précipitation (pluie) entraîne une augmentation moyenne de 0.06 tonne/ha de rendement du riz, en revanche une diminution de 100 mm de précipitation induit une baisse de 0,06tonne/ha de rendement de riz. Les irrégularités pluviométriques sont corrélées à des baisses de rendements du riz. La valeur de R^2 est élevée ($R^2 = 0,951$), ce qui met en exergue la relation linéaire entre les deux variables. Autrement dit, 94% de la variabilité du rendement du maïs est expliquée par la pluviométrie. Ces résultats sont statistiquement significatifs grâce à une p-value inférieure à 5% ($p\text{-value} < 5\%$). L'analyse des résidus montre que les hypothèses de linéarité, d'homoscédasticité et de normalité sont respectées. Le test de Durbin-Watson ($DW = 2,25$) indique l'absence d'autocorrélation des résidus.

Figure 14 : Corrélation entre pluviométrie et rendements agricole de maïs et de riz



Les résultats de cette analyse soutiennent l'idée que la pluviométrie est un déterminant des rendements du maïs et du riz. Une augmentation de la pluviométrie, entraîne une hausse du rendement et une diminution de la pluviométrie induit une baisse du rendement. Les années humides (1847,9 mm) correspondent à des rendements élevés, tandis que les années sèches (1090.5 mm) montrent des rendements plus faibles. Les deux modèles sont bien ajustés et adhèrent aux hypothèses de la régression linéaire. La corrélation est plus forte avec le riz en raison de ses besoins hydriques plus élevés.

3. DISCUSSION

La variabilité pluviométrique dans la Région du Folon est caractérisée par une irrégularité de la pluviométrie, des déficits pluviométriques et sécheresse, et un excès pluviométrique. L'analyse des données pluviométriques de 1971 à 2020 montrent une variabilité interannuelle significative des précipitations avec une moyenne de 1381.7 mm et un écart-type élevés de 226.3 mm. Les années les plus humides ($SPI > 1$) incluent 2019, 1976 et 1971, tandis que les années les plus sèches ($SPI < -1$) incluent 1987, 1986 et 1983. Les études de Y. T. Brou et al., (2005). D. NOUFE et al., (2015) abondent dans le même sens en montrant l'évolution des pluies en zone Nord. Le test de Pettitt, et la méthode Bayésienne montre une rupture significative en 1974 avec un pic en 1982, marquant le début d'une période plus sèche. Cette rupture est statistiquement significative ($p\text{-value} \approx 0,043$), ce qui confirme un changement significatif dans le régime des pluies. Ces résultats sont en phase avec ceux d'Y.T. BROU (2005), selon lesquels les tendances générales des ruptures en Côte d'Ivoire ont été identifiées dans les années 1970. Le processus de segmentation d'Hubert appliqué à l'indice de Nicholson a permis de détecter 12 ruptures possibles de séries dans la Région du Folon. Ces ruptures sont principalement concentrées entre 1973 et 1985, indiquant une période d'instabilité significative. L'analyse montre également une variabilité significative dans les dates de début et de fin de saison des pluies d'une année à une autre. Certaines années (1988) montrent un début très tardif, tandis que d'autres (1993) présentent un début plus précoce. Ces résultats obtenus s'inscrivent dans le même sens que ceux de GOULA et al. (2010), qui ont montré que le début des saisons des pluies est marqué par un retard sur toute l'étendue de la Côte d'Ivoire, mais plus significatif dans le Nord du Pays.

Cette variabilité pluviométrique, selon 77 ; 77% des agriculteurs de la Région du Folon affecte négativement les rendements du maïs, du riz, du manioc et du mil. De même, 80% de ces agriculteurs ont observé une diminution de leur rendement au cours des cinq dernières années en raison de la variabilité pluviométrique notamment l'irrégularité pluviométrique, des déficits pluviométriques et sécheresse ainsi que des excès pluviométriques. Ces résultats corroborent les études menées par K. G. EFFO et al.(2020) qui ont montré une perturbation de la pluviométrie et une baisse générale des indices pluviométriques, impactant la production vivrière, notamment le maïs. Les travaux de S. NIANG, A. NDIAYE, M. NDIAYE et al (2018) réalisés au Bénin et au Sénégal vont dans le même sens en soulignant également que le retard du début des pluies et la baisse du total pluviométrique entraînent une diminution significative des rendements du riz.

L'analyse de la relation entre la pluviométrie et les rendements du maïs et de riz à travers les modèles de régression linéaire simple a permis de mettre en relief l'impact de la pluviométrie sur les rendements agricoles du maïs et du riz dans la Région du Folon. L'analyse des données montre une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du maïs ($r = 0,970$), confirmant que la pluviométrie est un facteur clé de la productivité dans la région du Folon. Ainsi, une augmentation de 100 mm de précipitation entraîne une augmentation moyenne de rendement de 0.0099 tonne/ha de maïs, tandis qu'une diminution de 100 mm se traduit par une baisse de rendement de 0.0099 tonne/ha. Concernant le riz, l'analyse des données révèle une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du riz ($r = 0,976$). Cela indique qu'une augmentation de 100 mm de précipitation (pluie) entraîne une augmentation moyenne de 0.06 tonne/ha de rendement du riz, en revanche une diminution de 100 mm de précipitation induit une baisse de 0,06tonne/ha de rendement de riz. Ces conclusions confirment les travaux de DIOMANDE et al (2014) qui ont mis en évidence une corrélation positive entre pluie et rendements du riz pluvial. Les recherches de S. NIANG, A. NDIAYE, M. NDIAYE et al (2018) réalisés au Bénin et au Sénégal vont dans le même sens en soulignant que le retard du début des pluies et la baisse du total pluviométrique entraînent une diminution significative des rendements du riz.

Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'analyser, au regard des données pluviométriques et des données sur les rendements agricoles, l'impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements agricoles dans la Région du Folon. Ainsi, les données pluviométriques de 1971 à 2020 montrent que la Région de Folon fait face à une grande irrégularité pluviométrique caractérisée par une variabilité interannuelle significative et une forte variation des dates de début et de fin de saisons de pluies. On peut clairement observer cela à travers l'indice pluviométrique interannuel de Nicholson, les tests de rupture de Pettit, Hubert et méthode bayésienne de LEE ainsi que le décalage dans les dates de début et de fin de saison. En outre, la Région de Folon est confrontée à un déficit pluviométrique et sécheresse, de même que des excès pluviométriques perceptible par une moyenne annuelle de 211 jours secs, avec une variation significative allant de 186 à 260 jours et des pics de sécheresse (sécheresse sévères) avec indice de sécheresse supérieur à 0 (indice sécheresse > 0) sont perçus notamment en 1983, 1987, 2013 et 2014, révélant

une fréquence anormalement élevée de jours secs. Enfin, le régime pluviométrique est marqué par des séquences de pluviométries extrêmes et d'inondations. Selon l'enquête réalisée auprès des agriculteurs de la région du Folon, 77,77 % de ces agriculteurs ont déclaré que la variabilité pluviométrique affecte négativement les rendements du maïs, du riz, du manioc et du mil. Ainsi, 80 % ceux-ci ont observé une diminution de leur rendement au cours des cinq dernières années en raison de la variabilité pluviométrique, notamment les sécheresses, les inondations et les irrégularités pluviométriques. Interrogé sur la perte des rendements, la majorité (66%) a affirmé que la perte de rendement est estimée entre 10% et 20%, tandis que 25% estiment que cette perte de rendement est estimée entre 20% à 30%. L'analyse des données révèlent une forte corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et les rendements du maïs ($r = 0,970$) et du riz ($r = 0,976$), confirmant que la pluviométrie est un facteur clé de la productivité dans la région du Folon. Cela dit, une diminution des précipitations se traduit par une baisse de rendement, et une augmentation de la pluviométrie jusqu'à un seuil entraîne une baisse des rendements.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **AHOUSI K. E.** (2013). Étude de la variabilité climatique et de son impact sur les ressources en eau en Côte d'Ivoire : cas des secteurs Abidjan–Agboville.
- [2] **ALTILDEGLA M., KOUASSI A., TOURE F.**, (2017), Analyse de la variabilité climatique et gestion des risques hydrologiques en Afrique de l'Ouest. *Revue Climat et Société*, vol. 12, n°2, p. 101–117.
- [3] **AROUNDA J. S., BOKO M., & AKINSOLA O. A.** (2021). Rainfall variability and its impact on rainfed rice production in West Africa: A review. *International Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 1-10.
- [4] **BROU Yao Telephore** (2005), Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 212 p. 14
- [5] **DIOMANDE M., TIEMOKO D., & KOUASSI K. L.** (2014). Situation pluviométrique et sécurité alimentaire dans le département de Dimbokro dans le centre-est de la Côte d'Ivoire. *LEIDI*, 12.
- [6] **EFFO Kra Gabin, ADAYE Akoua Assunta, & KOFFIÉ-BIKPO Céline Yolande.** (2020), Variabilité climatique et production vivrière dans la Région de Gbêkê. *DALOGÉO*.
- [7] **FOSSOU R. M. N., TIEHI G. D., DIALLO A., & KOUASSI A. M.** (2016). Variabilité pluviométrique et riziculture dans la sous- préfecture de béoumi au centre-nord de la côte d'ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2.
- [8] **GOULA Bi Tié Albert, KOUASSI V.J. et SAVANE Issiaka**, 2006, « Impacts du changement climatique sur les ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire ». *Agronomie Africaine* 18 (1). p.1-11
- [9] **IPCC**, 2021 – Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution du Groupe de Travail I au Sixième Rapport d'Évaluation du GIEC. Éditeurs : Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., ... Zhou B. (eds.). Cambridge University Press, 2391 pp.
- [10] **MOUMENI A., TRAORE F., et OUEDRAOGO M.** (2014). Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest. *Horizon IRD*.
- [11] **NIANG I., RUPPEL O.C., ABDRABO M.A., ESSEL A., LENNARD C., PADGHAM J., URQUHART P.**, (2014), Africa. In : Barros V.R. et al. (éds), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution du Groupe de travail II au cinquième rapport du GIEC*. Cambridge University Press, p. 1199–1265.
- [12] **NIANG, S., NDIAYE, A., NDIAYE, M., SEYE, A. S., & DIAKITE, S.** (2018), Risques agrométéorologiques et production du riz pluvial (*Oryza spp.*) au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences de la Vie et de la Terre*, 13(1), 76-85.
- [13] **OMM.** (2012), Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. OMM-N° 1090, Genève (Suisse), 25p.
- [14] **SULTAN B., GAETANI M.**, (2016), Agriculture in West Africa in the twenty-first century: Climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, art. 1262.