

# *Analyse croisée de l'alternance de déficits et excédents pluviométriques et ses effets sur l'activité rizicole et la sécurité alimentaire dans la Vallée du Logone (Extrême-Nord Cameroun)*

## *[Joint analysis analysis of alternating rainfall deficits and surpluses and their effects on rice farming and food security in the Logone Valley (Far North Cameroon)]*

<sup>1,2\*</sup>KOLAOUNA LABARA Bruno, <sup>3</sup>OMBOLO Auguste, <sup>1,2</sup>AHMED Hamana, <sup>1,2</sup>DANBE Nicodeme, <sup>1,2</sup>DJEOUFO Yvonne, <sup>1</sup>SAKATAÏ Pierre Derik, <sup>1</sup>MVONDO Valentin Yvan Emmanuel, <sup>1,4</sup>SIDSI Bienvenu

<sup>1</sup>Institut de Recherche Agricole pour le Développement, IRAD-Cameroun

<sup>2</sup>UFD Sciences de l'Ingénieur, Université de Maroua, Cameroun

<sup>3</sup>Université de Garoua, Cameroun

<sup>4</sup>UFD Sciences Fondamentales, Université de Maroua, Cameroun

\*Auteur correspondant : Kolaouna Labara Bruno, Email : [brunolabara@gmail.com](mailto:brunolabara@gmail.com)



**Résumé**— Cette étude met en évidence les déterminants des crises de déficit et d'excédent pluviométriques, ainsi que leurs incidences sur l'activité rizicole et les aspects de disponibilité/stabilité alimentaire dans la vallée du Logone à l'Extrême-Nord Cameroun. Des tests de tendances et indices d'anomalie pluviométrique ont été effectués sur la série chronologique 1982-2022 afin de mesurer l'intensité et l'orientation des tendances d'évolution. En outre les enquêtes par questionnaires ont été effectuées auprès de 210 riziculteurs afin de déterminer et évaluer leurs niveaux de perception ainsi que leurs mesures d'adaptation. Il en est ressorti que la pluviométrie de la zone est marquée par une forte tendance de fluctuations interannuelles des précipitations plutôt qu'un changement strict sur le long terme. Cette irrégularité des précipitations favorise l'émergence à la fois des risques de sécheresse et inondation en cas de pics de déficits et d'excédents qui s'accompagnent d'effets ressentis sur l'activité rizicole, principalement en termes de perturbation du calendrier cultural, des tendances à la baisse progressive des rendements, voire des pertes totales de la production, et ce d'autant plus que la pluviométrie permet d'expliquer près de 96% de la variance du rendement selon le modèle de régression linéaire utilisé. Pourtant, malgré cela, les stratégies de ripostes des producteurs sont dépourvues d'une réelle efficacité, car elles sont déstructurées et manquent de moyens d'intervention. Ceci met en lumière la nécessité d'une prise en compte des acteurs locaux dans les stratégies de riposte face aux aléas pluviométriques à travers des renforcements des capacités en techniques culturelles innovantes et adaptées aux conditions climatiques, tout comme des structurations de systèmes locaux d'alerte et d'intervention rapide en situation de crise.

**Mots clés**— Riziculture, Aléa pluviométrique, Sécheresse, Inondation, Sécurité alimentaire

**Abstract**— This study highlights the determinants of rainfall deficit and surplus crises, as well as their impact on rice farming and food availability/stability in the Logone Valley in the Far North region of Cameroon. Trend tests and rainfall anomaly indices were conducted on the 1982-2022 time series to measure the intensity and direction of these trends. In addition, questionnaire surveys were administered to 210 rice farmers to determine and assess their perceptions and adaptation strategies. The findings indicate that rainfall in the area is characterized by a marked interannual variability rather than strict long-term change. This irregular rainfall pattern fosters the emergence of both drought and flood risks during periods of high and low rainfall, which in turn have a significant impact on rice farming. These impacts primarily manifest as disruptions to the planting calendar, a gradual decline in yields, and even total production losses. This is especially true given that rainfall accounts for nearly 96% of the variance in yield, according to the linear regression model used. Despite this, producers' response strategies remain largely ineffective due to a lack of structure and resources. This underscores the critical need to integrate local stakeholders into rainfall mitigation strategies. This integration should be achieved through capacity

**building in innovative farming techniques adapted to climatic conditions, as well as the development of local early warning and rapid response systems for crisis situations.**

**Keywords— Rice cultivation, Rainfall hazards, Drought, Flooding, Food security**

## I. INTRODUCTION

L'agriculture joue un rôle important dans le développement économique comme un bien essentiel, une source d'épargne, une main-d'œuvre pour l'industrie et un facteur de débouchés pour celle-ci, au point où la faible productivité de l'agriculture représente un facteur essentiel de blocage de l'économie (Hugon, 2002) et un risque majeur d'insécurité alimentaire. C'est pourquoi l'agriculture est considérée comme un élément majeur dans la modification et l'amélioration de la structuration des économies dans le monde (Bertheliet et Lipchitz, 2005), et la croissance des revenus agricoles réduit plus efficacement la pauvreté que la croissance des autres secteurs de l'économie (Cervantes-Godoy et Dewbre, 2010). Selon la Banque mondiale (2008), bien que la population mondiale soit de plus en plus urbanisée, près de 3 des 7 milliards d'habitants du monde vivent dans des zones rurales, et parmi lesquels près de 2,5 milliards vivent de l'agriculture. Et selon la FAO (2020), sur la décennie 2019-2030, la production agricole devrait croître de 15 % pour une utilisation des terres agricoles globalement inchangée ; et sur cette même période, l'essentiel de la demande en produits agricoles viendra de régions et de pays à forte croissance démographique, en particulier ceux d'Afrique subsaharienne et d'Inde, ainsi que du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord.

Il est justement connu que l'Afrique, en particulier l'Afrique subsaharienne, offre les taux les plus élevés de pauvreté dans le monde, ce qui fait de l'agriculture l'activité phare de cette population à majorité pauvre qui vit pour la plupart en zone rurale, à 70% environ ; et donc en zone à prédominance agricole. Bien que contrastée quand on se rend d'une région à une autre du continent, l'agriculture représente malgré tout, pas moins de 20% du PIB africain (Hugon, 2002).

C'est le cas également au Cameroun où le secteur agricole représente plus de 22,9% du PIB du pays et emploie plus de 62% de la population active (MINADER, 2022). L'État camerounais mise beaucoup sur l'agriculture dans sa vision de développement et notamment celle d'émergence à l'horizon 2035, la considérant comme une composante majeure dans la transformation structurelle de l'économie, se fiant au postulat selon lequel l'augmentation de la production agricole camerounaise impactera positivement les filières industrielles à l'instar de l'agro-industrie. C'est pourquoi dans sa politique nationale de croissance, contenue dans le document de Stratégie Nationale de Développement (SND30) qui représente le cadre de référence pour l'action gouvernementale sur la décade 2020-2030, l'État camerounais ambitionne de mener une révolution agricole. Cependant, malgré les grandes ambitions affichées par la volonté gouvernementale, les réalités sur le terrain agricole ne suivent toujours pas.

En effet, parmi les spéculations agricoles les plus en vue au Cameroun, le riz occupe une place de choix, car les niveaux de consommation annuels ne cessent de croître au fil des années. Parmi les céréales, le riz joue un rôle central dans la sécurité alimentaire des catégories les plus pauvres des populations rurales et urbaines, du fait de la facilité et des faibles coûts de sa préparation, des prix bas et de la régularité de l'approvisionnement, devenant ainsi une denrée de consommation courante pour les tranches de la population urbaine (Temple *et al.*, 2009). Il demeure vrai que le riz est un aliment de grande consommation au Cameroun, atteignant une consommation nationale de plus de 800 000 tonnes par an. Cependant, cette consommation est principalement le fruit des importations de riz, en particulier de l'Asie, car la production locale est loin d'atteindre ces seuils de consommation (Folefack, 2014). En effet, au Cameroun le riz local n'atteint qu'environ 300 000 tonnes par an (MINADER, 2022), ce qui est clairement insuffisant pour une population de près de 30 millions d'habitants. Par ailleurs les bassins de production rizicole sont très peu nombreux et concentrés dans quelques zones du pays, contrairement à d'autres spéculations de céréales qui connaissent une production massive sur toute l'étendue du territoire national (Malaa *et al.*, 2017).

Justement, la vallée du Logone dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun, représente un des principaux bassins de production rizicole du pays, avec des aménagements de périmètres irrigués à plus de 13 500 hectares (JICA, 2021). Cependant, malgré cette mobilisation et les investissements injectés, les résultats sont loin des attentes. Plusieurs contraintes à la fois naturelles, conjoncturelles et structurelles sont à mettre à l'actif de ce retard dans le développement de la riziculture. C'est le cas notamment des dérèglements climatiques et la dégradation des terres, l'augmentation de la pauvreté et la baisse des investissements, ainsi que les défaillances dans la gouvernance des acteurs rizicoles (Folefack, 2014). Néanmoins, si les contraintes structurelles et conjoncturelles sont l'apanage de l'action humaine, les contraintes naturelles et principalement climatiques ne dépendent pas directement de cette action anthropique. En fait, les riziculteurs font face aux perturbations du climat et vivent au rythme des variations d'une année à une autre dans l'ensemble de la zone semi-aride soudano-sahélienne (Clark *et al.*, 2022 ; Nelson *et al.*, 2014 ; Stige *et al.*, 2006 ; Wollburg *et al.*, 2024). L'intensité et l'ampleur du changement climatique compromettent l'évolution des systèmes économiques, notamment l'agriculture, à travers la diminution des surfaces de terres arables, de la durée des saisons de culture et des rendements (Gorst *et al.*, 2015). Plus encore, le changement climatique pourrait entraîner une réduction des rendements de 30 % et une accélération de l'insécurité alimentaire avec un supplément de 1 à 3 millions de personnes non prises en charge par l'offre alimentaire en 2050 (Jalloh

et *al.* 2010). Or, le riz étant une plante fragile, les fluctuations climatiques constituent un risque majeur pour la culture dans ce sens que, pour garantir un rendement optimal, le riz est fortement dépendant de conditions biophysiques adéquates telles qu'une quantité d'eau permanente et des températures idéales pour sa bonne croissance et maturation (Malaa, 2017).

En considération de cela, la vallée du Logone qui appartient à la partie sahélienne du Cameroun, se trouve exposée, car étant marquée par une très longue saison sèche (08 mois) et une très courte saison des pluies (04 mois), avec les quantités de pluies parmi les plus marginales du pays autour de 750-800 mm par an ; ce qui est faible comparativement aux autres régions du pays, et même aux autres zones géographiques de la même région de l'Extrême-Nord. Cette indigence pluviométrique conditionne déjà les activités rizicoles du fait des importants besoins en eau des plantes (Dancette, 1983) mais du fait des éléments perturbateurs liés aux variations saisonnières et interannuelles du climat, les dégâts tendent à être plus sévères. La zone en effet, de par ses prédispositions géomorphologiques et hydrologiques correspond à une zone très vulnérable à la fois aux déficits et aux excédents pluviométriques. En clair, dans la vallée du Logone, les années se suivent mais ne se ressemblent pas en termes de conditions climatiques. Les années de déficits pluviométriques causent des sécheresses et les années d'excédents pluviométriques causent des inondations qui représentent chacun un danger permanent majeur (Hansen, 2002 ; Barbier et *al.*, 2009).

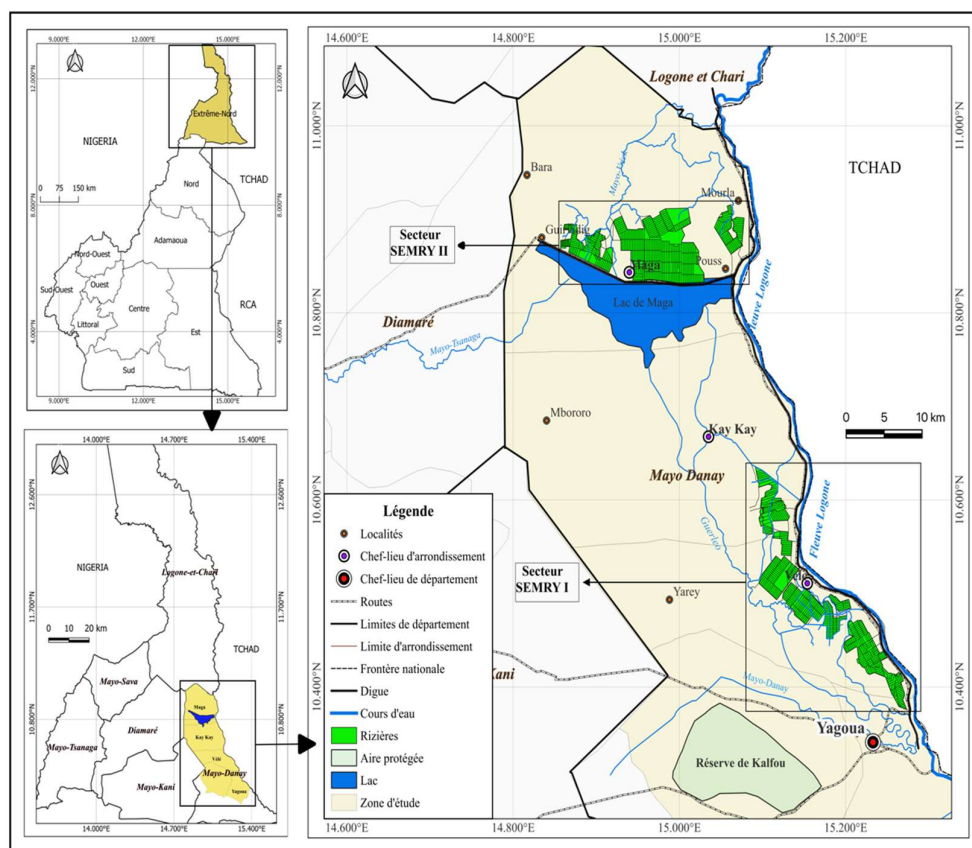
Plus les paramètres hydroclimatiques sont changeants, plus les événements climatiques extrêmes émergent et plus les risques et dégâts sur la production sont importants. Ceci nécessite de bonnes pratiques d'atténuation et d'adaptation, représentant les piliers de la politique globale de lutte contre les phénomènes climatiques (Shalizi et Lecocq, 2009 ; GIEC, 2014). Aussi, cette situation met en lumière la nécessité de rechercher une réponse plus intégrée et plus efficace en matière d'adaptabilité et de résilience des systèmes de production rizicole face aux impacts des variations climatiques (Assane, 2021), devant permettre ainsi de protéger les moyens de subsistance et assurer par cette même occasion la sécurité alimentaire des communautés les plus vulnérables » (Hallegatte et *al.*, 2010). Face à cela, se pose alors le défi pour les riziculteurs de maintenir ou atteindre une production suffisante et satisfaisante malgré les risques permanents de crises climatiques.

C'est au regard de cela que l'objectif de ce travail est d'analyser conjointement les déterminants des crises climatiques en matière de déficit et d'excédent pluviométriques et leurs impacts sur l'activité rizicole et par corollaire sur la sécurité alimentaire dans la vallée du Logone. De façon plus précise, il s'agit d'entrée de jeu d'explicitier les tendances de déficits et excédents pluviométriques, ensuite d'évaluer leurs effets respectifs sur l'activité rizicole, et enfin de déterminer l'influence des crises pluviométriques sur la production rizicole et sur les modalités de disponibilité et stabilité alimentaire dans la zone.

## II. MATERIELS ET METHODE

### 2.1. Cadrage géographique de l'étude et justification du choix des sites

La zone géographique de l'étude correspond au département du Mayo-Danay situé dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. Il est situé entre 9,916° et 11,107° de latitude Nord et entre 14,775° et 15,701° de longitude Est. La zone est limitée au nord par le département du Logone et Chari, au Sud-Est par le Tchad, et à l'Ouest par les départements du Mayo-Kani et du Diamaré (Figure 1). De façon spécifique, l'étude a porté sur la partie du département où la culture du riz est abondamment pratiquée, à savoir les arrondissements de Yagoua, Vélé, Kay-Kay, Maga.



**Figure 1. Localisation de la zone d'étude**

## 2.2. Données de l'étude

### 2.2.1. Données pluviométriques

Les données pluviométriques utilisées dans le cadre de cette étude correspondent à une série de données pluviométriques journalières en mm/jr couvrant la période de 41 ans allant de janvier 1982 à décembre 2022, compte tenu du fait que les études de variabilité climatique nécessitent des données d'au moins 30 ans. Ces données pluviométriques journalières sont issues des compilations historiques et numériques combinant les normales climatologiques provenant de Worldclim, de CRU Ts4.0 et de la JRA55 et accessibles sur la plateforme mondiale TerraClimate hébergée par Climate Engine. Ces données ont l'avantage d'être complètes sans données manquantes, facilement accessibles et d'une très bonne précision (Abatzoglou *et al.*, 2018). La validation de ces données a également été démontrée par Amon *et al.* (2021) et Hanchane *et al.* (2023). L'extraction des données pour la zone d'étude a été faite suivant la méthode de polygonisation et agrégation des données sur la zone d'intérêt couvrant le terrain d'étude, ce qui a l'avantage d'offrir des données surfaciques de synthèse déjà prétraitées ne nécessitant plus des méthodes d'agrégation post-collecte ou de comparaison de données ponctuelles de différents lieux de la même zone cible. Néanmoins, afin de comparer spatialement le régime pluviométrique de la zone étudiée avec le reste de la région de l'Extrême-Nord, des données stationnaires des différents départements de la région ont été collectés pour la même période (1982-2022) auprès du service météorologique régional de l'Extrême-Nord Cameroun. Il s'agit de données de précipitations mensuelles qui ont été cumulées afin d'obtenir les données annuelles et décennales devant servir pour les analyses spatiales par interpolation.

### 2.2.2. Données socio-économiques et agricoles

Les données socio-économiques et agricoles de l'étude proviennent des enquêtes par questionnaire administrées auprès des riziculteurs. En effet, l'étude s'est appuyée sur une approche empirique utilisant des enquêtes auprès des acteurs cibles dans les principales localités de la zone d'étude. Pour ce faire, des enquêtes par sondage ont été effectuées. La méthode d'échantillonnage choisie est la méthode non probabiliste, car la base de sondage constituée des communautés de riziculteurs n'est pas exhaustive. C'est pour cette raison que la technique d'échantillonnage par choix raisonné et la technique d'échantillonnage par réseau ou effet boule

de neige ont été privilégiées. Ces techniques consistent à cibler suivant un profil prédéfini, les individus disposant le plus d'informations et un individu enquêté avait la possibilité d'orienter vers un autre. En clair, les individus enquêtés étaient au préalable identifiés comme résidant dans la localité et exerçant effectivement la riziculture depuis au moins 20 ans. Lorsque des individus correspondant au profil recherché étaient choisis et interrogés, ceux-ci fournissaient des informations pour l'identification et le choix d'individus suivants.

C'est ainsi que 210 individus ont été interrogés dans les principales localités de la zone d'étude et répartis par arrondissement à savoir : Yagoua (65 individus, soit 31%), Vélé (40 individus, soit 19%), Kay-Kay (40 individus, soit 19%) et Maga (65 individus, soit 30%). Cette répartition est fonction des proportions approximatives des riziculteurs de chaque arrondissement par rapport à l'ensemble de la zone étudiée. Les entretiens s'étaient déroulés sur la période allant de décembre 2024 à janvier 2025, en utilisant la langue couramment parlée par l'individu à savoir : le français ou les langues locales (principalement la langue Massa à Yagoua et Vélé, et la langue Mousgoum à Kay et Maga).

Les questions posées permettaient de recueillir les informations concernant : les aléas pluviométriques de sécheresse et inondation et leurs impacts sur l'activité agricole, notamment en termes d'années d'occurrence critique, de durée des épisodes ainsi que la nature des dégâts causés. Les informations sur les productions annuelles correspondent à des données de mémoire recueillies auprès de chaque paysan enquêté et représentent la production annuelle par parcelle d'01 hectare sur la période 2002 à 2022, soit 21 ans. Chaque producteur estimait sa production annuelle en nombre de sacs de 50kg/ha, et la quantité obtenue était par la suite convertie en tonnes/hectare. Aussi, le choix de la fourchette temporelle 2002-2022 repose sur le fait que les producteurs possédant plus de 20 ans d'exploitation sur une même parcelle, (antérieure à 2002) étaient assez rares et les souvenirs des quantités produites étaient moins précis après cette date. Aussi, la date finale de 2022 a été retenue afin de garantir la correspondance à celle des données pluviométriques recueillies pour l'étude, malgré que les entretiens s'étaient déroulés sur la période allant de décembre 2024 à janvier 2025.

Par ailleurs, afin de pouvoir mesurer les effets des aléas pluviométriques sur l'activité agricole, les informations recueillies lors des enquêtes avec les riziculteurs concernaient également les proportions de pertes dans la production lors des survenues des catastrophes, tout comme les informations sur la typologie des stratégies de ripostes, leur efficacité et les perspectives d'amélioration de ces stratégies.

## 2.3. Méthodes d'analyse

### 2.3.1. Détection des tendances et anomalies pluviométriques

Les mesures de tendances d'évolution de la pluviométrie interannuelle ont été faites en réalisant la somme des précipitations journalières par année pour obtenir les cumuls annuels de 1982 à 2022. Compte tenu du nombre limité d'années d'observations ( $N=41$ ), pour déterminer la dispersion des valeurs pluviométriques autour de la moyenne de la série et garantir la validité celle-ci pour les analyses climatologiques, le calcul de l'Incertitude Type ( $S\bar{x}$ ) a été effectué selon la formule

$$S\bar{x} = S / \sqrt{N}$$

où :

$S$  : écart type

$N$  : nombre d'observations

Afin de déterminer les tendances décennales de la pluviométrie, ont été effectués des calculs de moyennes et fréquences statistiques des cumuls pluviométriques annuels pour 04 fenêtres d'environ une décennie à savoir : 1982-1991, 1992-2001, 2002-2011, 2012-2022. Les tendances pluviométriques de ces 04 fenêtres ont ensuite été spatialisées afin de réaliser des cartes de la répartition spatiale moyenne des pluies grâce à la méthode de cartographie par interpolation par pondération inverse de distance (IDW) qui détermine les valeurs des cellules à l'aide d'une combinaison pondérée linéairement d'un ensemble de points d'échantillonnage. Les cartes ont été produites à la fois à l'échelle régionale et zonale afin de comparer les tendances observées dans la vallée du Logone à celles du reste de la région de l'Extrême-Nord. Le rayon de recherche variable de 12 points, ainsi que la puissance standard  $P=2$  ont été retenus car, offrant généralement un bon équilibre pour la plupart des phénomènes environnementaux.

Afin de confirmer les tendances d'évolution des paramètres pluviométriques, des test et indice statistiques ont été calculés. Il s'agit du calcul du test de tendance de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) avec pente de Sen, et du calcul de l'indice de variabilité pluviométrique selon la méthode de Lamb (1982) et Nicholson (1981). Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique utilisé dans le but de déterminer si dans une série chronologique il existe une tendance ou non. Le seuil de significativité fixé à 5% permet d'évaluer que la tendance est bien réelle lorsque la p-value est inférieure au seuil, ce qui offre un seuil de confiance de 95%. Cependant puisque le test en lui seul ne donne pas d'orientation en hausse ou en baisse de la tendance, la pente de Sen qui est une droite de régression y est associée pour visualiser l'orientation.

Pour sa part, l'indice d'anomalies standardisé (SAI) selon la formule de Lamb et Nicholson est calculé comme une variable centrée-réduite et utilisé pour caractériser la variabilité climatique afin de calculer les écarts à la moyenne à long terme et ainsi déterminer les fluctuations interannuelles. Il se calcule selon la formule :

$$SAI = (p_i - p_m) / \sigma$$

Où :

**P<sub>i</sub>** : Précipitation de l'année i

**P<sub>m</sub>** : Précipitation moyenne

**σ** : Ecart type

Les valeurs négatives permettent d'identifier les années déficitaires, tandis que les valeurs positives permettent d'identifier les années excédentaires, et que les valeurs proches de zéro indiquent une pluviométrie normale. Par ailleurs, les seuils de classification utilisés afin de catégoriser les observations sont présentés selon le tableau suivant :

**Tableau 1. Valeurs de l'indice d'anomalie standardisé**

Classes SAI	Interprétation
SAI > 1	Très humide
0,5 < SAI < 1	Humide
-0,5 < SAI < 0,5	Normal
-1 < SAI < -0,5	Sec
SAI < -1	Très sec

### 2.3.2. Analyse statistique des perceptions paysannes sur les aléas pluviométriques

En ce qui concerne les manifestations des aléas et leurs impacts, des calculs de fréquences statistiques de perceptions des individus enquêtés ont été effectués pour les cas des aléas de sécheresse et inondation et leurs impacts sur l'activité agricole, notamment en termes d'années d'occurrence critique, de durée des épisodes ainsi que de la nature des dégâts causés.

### 2.3.3. Caractérisation de la production rizicole et analyse de son lien statistiques avec les indicateurs pluviométriques

Afin de caractériser la dynamique de la production rizicole sur la période 2002-2022, les calculs de statistiques descriptives (moyennes, variance, écart type) ont été effectués sur les rendements moyens annuels (tonne/hectare) dans les 04 sous-zones de production (Yagoua, Vélé, Maga et Kay-Kay) en comparant les valeurs obtenues pour chaque sous-zone avec les valeurs moyennes de la zone globale.

Par la suite, une analyse de corrélation de Pearson a été effectuée afin d'examiner la relation entre les cumuls pluviométrique annuels et les rendements moyens annuels pour la zone étudiée. Cette analyse a permis de mesurer l'existence (donnée par une valeur p) et la force (donnée par le coefficient de corrélation r compris entre -1 et +1) d'une relation linéaire entre pluviométrie et rendement. Un coefficient  $r > 0$  indique une relation linéaire positive, où une augmentation de l'une des variables s'accompagne d'une augmentation de l'autre, tandis qu'un coefficient  $r < 0$  reflète une relation linéaire négative signifiant que lorsque l'une des variables augmente l'autre diminue, alors qu'un coefficient  $r = 0$  traduit l'absence de relation linéaire entre les deux variables, ce qui implique qu'aucun lien direct n'est observable.

En outre, dans le but d'examiner la relation causale entre le rendement et la pluviométrie, une analyse de régression linéaire a été effectuée afin de mesurer l'existence d'une influence significative de l'évolution de la pluviométrie sur l'évolution du rendement sur la période concernée. Pour ce faire, le modèle de régression linéaire simple sans constante noté :  $Y = aX$  a été utilisé, avec **Y** représentant la variable dépendante (Rendement en t/ha), **X** la variable explicative (Pluviométrie en mm) et **a** le paramètre de régression. Le calcul s'est appuyé sur la méthode des Moindres Carrés Ordinaires pour estimer les paramètres du modèle en trouvant la droite de régression qui minimise la somme des carrés des erreurs résiduelles. Le choix du modèle qui supprime la constante et force le plan de régression à passer par l'origine du repère (0) repose sur l'hypothèse selon laquelle une absence de variable explicative (valeur nulle de X) implique une absence d'effet (valeur nulle de Y). En clair, dans le cas de cette étude, l'absence de précipitations entraîne l'absence de rendement, en supposant qu'en agriculture pluviale, sans pluviométrie il n'y a pas de possibilité de conduire une activité agricole.

En plus de cela, l'analyse de la variance a été effectuée afin d'évaluer la pertinence globale du modèle en comparant la variance expliquée par la droite de régression à la variance résiduelle. Le test de Fisher associé à cette analyse de variance permet de vérifier si cette relation linéaire est statistiquement significative pour un seuil de risque  $\alpha = 0,05$ . Si  $p\text{-value} < 0,05$  alors le modèle est globalement significatif et X apporte une information importante pour expliquer Y ; tandis que si  $p\text{-value} \geq 0,05$  le modèle n'est pas significatif et l'influence de X sur Y n'est pas démontrée.

Le test  $t$  a également été associé au modèle afin de déterminer si la pluviométrie contribue réellement à expliquer le rendement au même seuil de risque  $\alpha=0,05$ . Une valeur  $t$  élevée en valeur absolue indiquerait que la pluviométrie a un impact réel sur la variable expliquée.

#### **2.4. Analyse des influences sur la production rizicole et la disponibilité/stabilité alimentaire**

Dans le but de déterminer le rôle des aléas pluviométriques sur la production rizicole, des indicateurs pluviométriques déterminés sur la série chronologique 2002-2022 ont été mis à contribution à savoir : le cumul annuel des précipitations (CumulPrec), le nombre annuel de jours pluvieux (NJP), la durée de la saison pluvieuse (courte, ordinaire, longue), le nombre de séquences sèches (nbre seq sech) et le nombre de séquences humides (nbre seq hum) par année. Le cumul pluviométrique représente la somme des quantités de précipitations obtenues durant l'année. Le nombre de jours pluvieux est obtenu selon l'approche d'Erpicum *et al.* (1988) par comptage des jours de pluies  $\geq 1$ mm. La durée de la saison pluvieuse est déterminée en obtenant la différence entre le nombre de jours compris entre la date de démarrage et la date d'arrêt de précipitations. La saison pluvieuse démarre dès lors qu'on obtient un nombre consécutif de 03 jours pluvieux cumulatif au moins 20mm sans être suivis de plus de 07 jours consécutifs secs dans les 30 jours qui suivent, pour éviter les faux départs ; alors que la saison s'arrête dès lors qu'on enregistre 20 jours consécutifs secs et quand un sol capable de contenir 60mm d'eau disponible est complètement épuisé par une perte quotidienne d'évapotranspiration de 5mm (Sivakumar, 1988). Cette approche est privilégiée car elle caractérise mieux la saison pluvieuse agricole dans la zone sahélienne. S'agissant des séquences sèches et humides, elles sont comprises comme les périodes de minimum 03 jours successifs avec ou sans pluie, en s'appuyant sur la typologie de classification de la pluviométrie journalière (Alhassane *et al.*, 2013).

Chacun de ces indicateurs pluviométriques (cumul pluviométrique, nombre de jours pluvieux, séquences sèches et séquences humides) a été utilisé dans le cadre d'une analyse bivariable par croisement avec le rendement, et ce, en fonction de la durée de la saison pluvieuse pour chaque année d'observation, en explicitant une courbe de tendance linéaire pour chaque type de saison.

Par ailleurs, afin d'apprécier le rôle joué par les aléas pluviométriques dans l'insécurité alimentaire, a été effectuée une analyse des fréquences de perception des individus sur les proportions de pertes dans la production lors des survenues des catastrophes pluviométriques, tout comme les perceptions sur les stratégies de riposte, leur efficacité et les perspectives d'amélioration proposées par les riziculteurs.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des logiciels statistiques XLSTAT 2021 fourni par Addinsoft et Khronostat 1.0.1 fourni par l'IRD (Boukhaly, 2017), pendant que les analyses spatiales et cartographiques ont été réalisées à l'aide du logiciel de systèmes d'information géographique QGIS 3.40.

### **III. RESULTATS**

#### **3.1. Déterminants spatio-temporels de la variabilité et instabilité pluviométrique dans la vallée du Logone**

Le département du Mayo-Danay, tout comme l'ensemble de la région de l'Extrême-Nord Cameroun, correspond au climat monomodal de type tropical soudano-sahélien marqué par deux saisons bien distinctes à savoir une longue saison sèche de 08 à 09 mois (octobre à mai) et une courte saison des pluies de 03 à 04 mois (juin à septembre). Cependant, cette répartition varie en fonction des zones géographiques de la région. La zone de montagne (dans le Mayo-Tsanaga) possède des cumuls de pluies annuels bien supérieurs à ceux des zones de plaine, dépassant les 1000 mm de pluies par an. Ceci n'est pas le cas en plaine, à l'instar de la vallée du Logone dans le Mayo-Danay où se situent les périmètres rizicoles. Ici, les années les plus arrosées peuvent atteindre environ 900mm de pluies, tandis que les années les moins arrosées peuvent se limiter à moins de 600 mm (Figure 2).

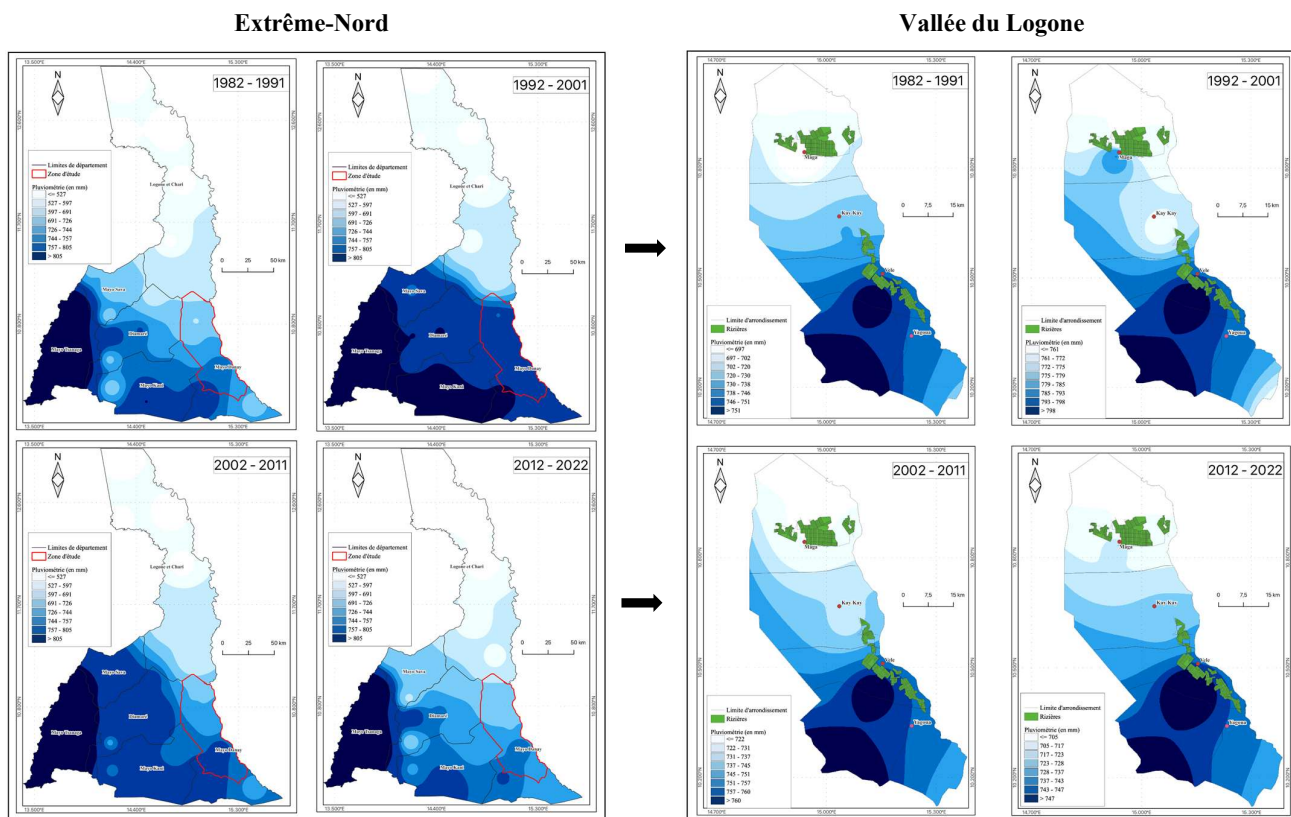


Figure 2. Répartition spatiale des évolutions des cumuls pluviométriques moyens par décennie dans la vallée du Logone en comparaison au reste de la région de l'Extrême-Nord

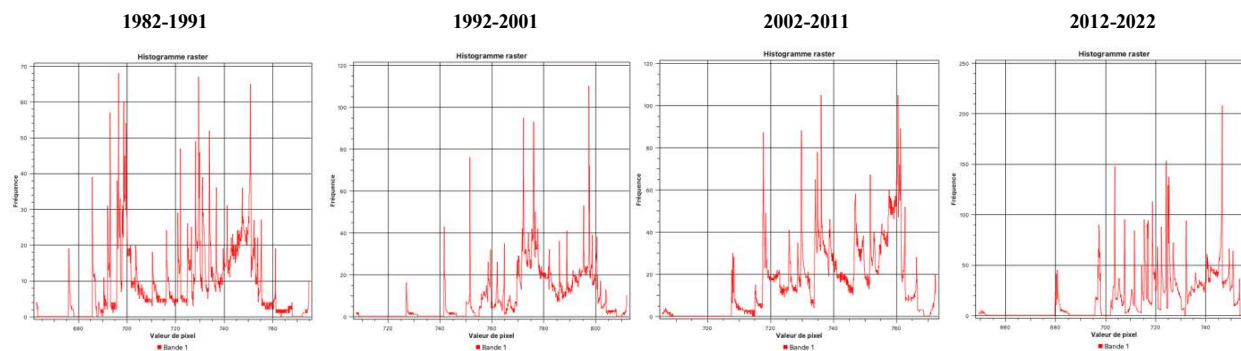


Figure 3. Comparaison des fréquences de cumuls pluviométriques interpolés par décennie dans la vallée du Logone

Les analyses spatiales et décennales des moyennes pluviométriques mettent en lumière le fait que la dernière décennie en particulier (2012-2022) enregistre une concentration des valeurs fréquentielles, contrairement aux décennies précédentes où elles semblent plus dispersées (Figure 3). Ceci traduit le fait que sur l'ensemble des 04 décennies il n'y a pas une similarité nette dans la répartition des pluies d'une année à une autre, ce qui est donc la conséquence d'une variabilité climatique qui pourrait mettre en exergue des années très arrosées et d'autres qui le sont beaucoup moins. Néanmoins, la répartition spatiale des valeurs pluviométriques sur toutes les 04 fenêtres temporelles indiquent que la zone d'étude met en évidence le fait que plus on avance du sud vers le nord, plus la pluviométrie diminue.

### 3.1.1. Indicateurs des tendances interannuelles de déficit et d'excédent pluviométriques

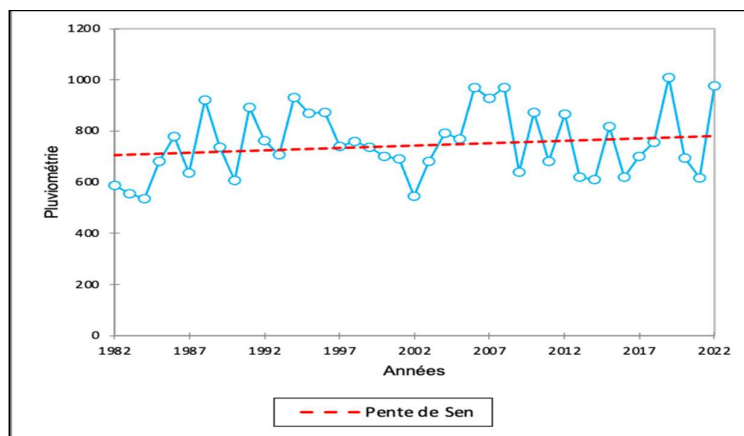
Déterminer les tendances pluviométriques revient à savoir quelle est la direction (hausse ou baisse) ainsi que l'ampleur (forte ou faible) de la tendance de la pluviométrie au sein de la série chronologique étudiée (1982-2022) à l'aide du test de tendance de Mann-Kendall (Tableau 2 ; Figure 4) avec pente de Sen (Tableau 3 ; Figure 4).

**Tableau 2. Test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral :**

	Tau de Kendall	S	Var(S)	p-value (bilatérale)	alpha	Tendance
Pluviométrie	0,102	84,000	7926,667	0,354	0,05	Non

**Tableau 3. Statistiques de la Pente de Sen :**

	Valeur	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Pente	1,888	-2,149	5,639
Constante	-3035,811	-10535,112	5034,944

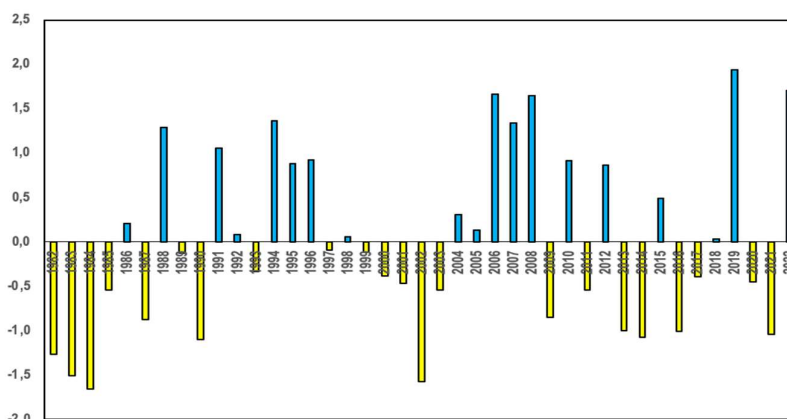


**Figure 4. Courbe de tendance des précipitations annuelles avec pente de Sen**

Les résultats issus du test de tendance de Mann-Kendall appliqué à la période 1982-2022 montrent que l'hypothèse nulle  $H_0$  indiquant l'absence de tendance dans la série ne peut être rejetée au seuil de signification de 5%, puisque la p-value calculée présente une valeur de  $0,354 > 0,05$ . Ceci indique qu'aucune tendance monotone statistiquement significative n'est détectée dans la série de précipitations annuelles observées, mais qu'elles présentent plutôt une certaine homogénéité au seuil de signification de 5%. Par ailleurs, les résultats de la pente de Sen (1,888), qui sert à indiquer l'ampleur de la direction de la tendance linéaire, présentent une tendance positive non significative au seuil de 5%. Ce qui est confirmé par le Tau de Kendall illustrant une faible augmentation des précipitations annuelles de 0,102 mm/an. Ceci traduit effectivement le fait qu'il n'y a aucune tendance à la hausse ou à la baisse dans la série chronologique, et démontre par ce fait que le signal dominant dans ce cas est la variabilité interannuelle plutôt qu'une tendance à long terme.

### 3.1.2 Détermination des anomalies pluviométriques interannuelles

Afin de déterminer l'intensité des fluctuations pluviométriques interannuelles, l'indice d'anomalies climatiques a été calculé sur l'ensemble de la série 1982-2022. Pour effectuer le calcul, la moyenne climatologique (**pm**) des cumuls annuels de précipitations sur l'ensemble de la série qui a été utilisée est **752,48**, et l'écart type ( **$\sigma$** ) utilisé est **131,38**. La mesure de l'Incertitude Type a donné une valeur basse de **20,52**, qui traduit la fiabilité des mesures pluviométriques de la série à utiliser pour les analyses d'anomalies standardisés. Les résultats de ces analyses d'anomalies sont représentés selon la figure 5 ci-dessous.



**Figure 5. Évolution interannuelle de l'indice d'anomalie pluviométrique standardisé (SAI)**

D'après la figure 5, le pic excédentaire est enregistré en 2019, tandis que le pic déficitaire est enregistré en 1984. Les plus grands déficits s'observent sur la période de 1982 à 2003, tandis que les plus grands excédents s'observent sur celle de 2004 à 2022.

**Tableau 4. Classification des valeurs de l'indice d'anomalie standardisé des précipitations de 1982 à 2022**

Classes SAI	Interprétation	Années correspondantes	Nombre d'années (Fréquence %)
SAI > 1	Très humide	1988, 1991, 1994, 2006, 2007, 2008, 2019, 2022	08 (19,51%)
0,5 < SAI < 1	Humide	1995, 1996, 2010, 2012	04 (9,76%)
-0,5 < SAI < 0,5	Normal	1986, 1989, 1992, 1993, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2004, 2005, 2015, 2017, 2018, 2020	15 (36,59%)
-1 < SAI < -0,5	Sec	1985, 1987, 2003, 2009, 2011, 2013	06 (14,63%)
SAI < -1	Très sec	1982, 1983, 1984, 1990, 2002, 2014, 2016, 2021	08 (19,51%)

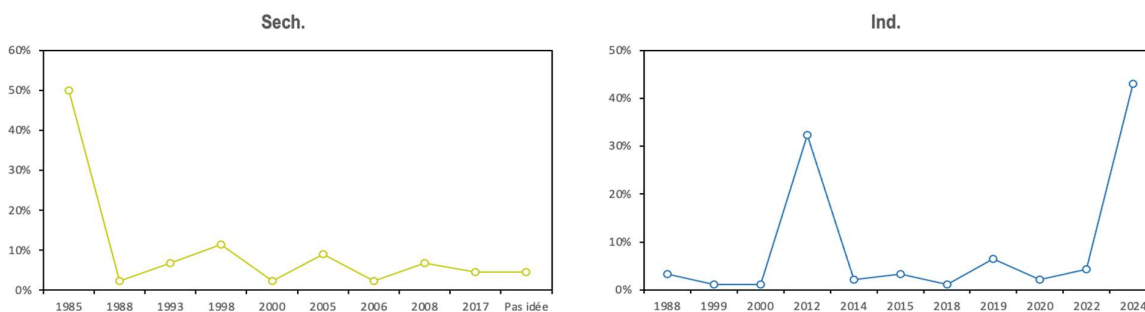
Les résultats issus de la classification des valeurs annuelles de l'indice d'anomalie standardisé (Tableau 4) relèvent le fait qu'on assiste à une prédominance du nombre d'années à pluviométrie Normale (15 ans, soit 36, 59%), par rapport aux années Très humides et Très sèches (08 ans, soit 19,51% pour les deux classes), et encore plus par rapport années Sèches (06 ans, soit 14,63%) et aux années Humides (04 ans, soit 9,76%). Cette catégorisation met également en évidence le fait que les différentes classes regroupent moins d'années consécutives appartenant à une même classe en dehors de celles de la classe Normale avec 05 années successives (1997, 1998, 1999, 2000, 2001), la classe Très Humide avec 03 années (2006, 2007, 2008) et la classe Très Sèche avec 03 années également (1982, 1983, 1984). Cette discontinuité confirme l'absence d'une tendance pluviométrique spécifique sur le moyen terme ou le long terme, et donc reflète donc la situation de variabilité interannuelle.

Au vu de ces résultats qui révèlent la persistance de fluctuations pluviométriques dans la zone, il importe d'en déterminer les effets sur l'activité rizicole qui est fortement dépendante de ces paramètres climatiques.

### 3.2. Manifestations des aléas de déficits et excédents pluviométriques sur l'activité rizicole

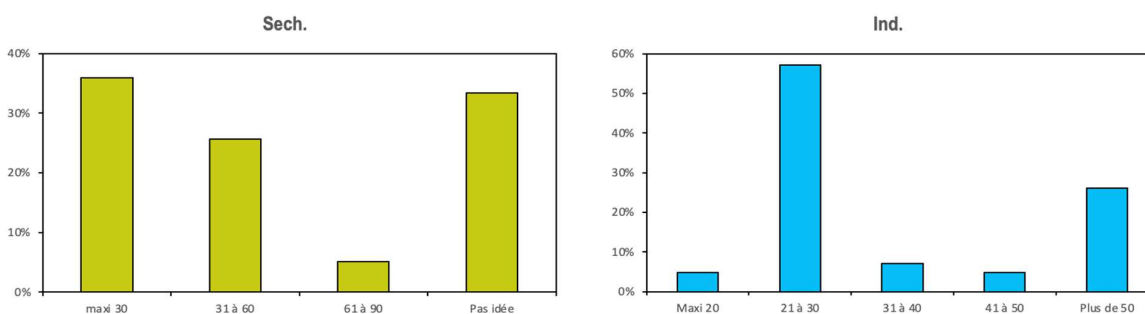
Dans la formulation conceptuelle du risque qui correspond au croisement entre le danger et les vulnérabilités en présence en fonction d'une probabilité d'occurrence, les aléas pluviométriques à travers leurs expressions de déficit ou sécheresse (Sech.) et excédent ou inondation (Ind.) correspondent de ce fait à la composante « danger », tandis que l'activité rizicole représente la composante « vulnérabilité » en présence.

La fréquence de survenue des aléas (Figure 6), leur durée (Figure 7) et leur intensité déterminent l'ampleur du risque et de la catastrophe qui se matérialise à travers les effets ressentis et les dégâts causés sur les éléments de vulnérabilité.



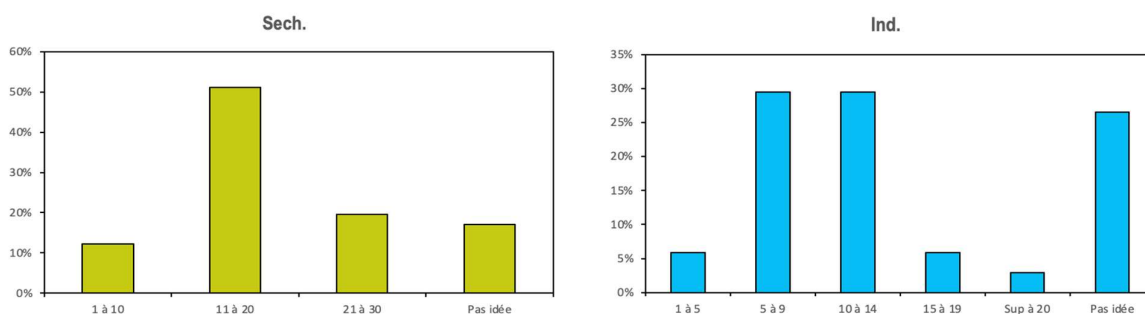
**Figure 6. Années des survenues des épisodes de sécheresses et inondations les plus sévères**

En s'appuyant sur la mémoire du risque basée sur les perceptions des individus interrogés dans le cadre de l'étude, les fréquences de survenue des plus remarquées en 1985, qui se situe dans la période où l'ensemble de la zone sahélienne a été affectée par des sécheresses sévères, avant une reprise plus ou moins normale de la pluviométrie à partir des années 1991. Pour le cas des épisodes d'inondations, en se limitant à la fourchette temporelle climatique 1982-2022 prise en compte dans cette étude, les années avec les épisodes les plus sévères correspondent à l'année 2012 principalement, suivie de l'année 2019. Néanmoins de façon anecdotique et en guise de comparaison afin d'apprécier au mieux l'ampleur des dégâts de ces catastrophes, les inondations de 2024 ont été évoquées lors des entretiens avec les riziculteurs, puisque ceux-ci ont eu lieu après la survenue en 2024. Et selon les résultats obtenus, les inondations de 2024 se sont avérées plus dévastatrices que toutes celles enregistrées durant la série chronologique de cette étude.



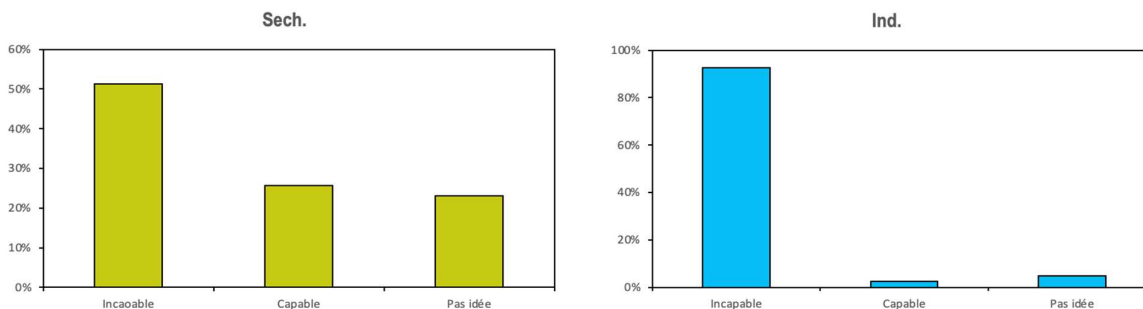
**Figure 7. Nombre de jours moyens d'expression d'un épisode de sécheresse et d'inondation**

Par ailleurs, les aléas ont une durée d'expression variable selon les perceptions des riziculteurs qui estiment pour la plupart qu'un épisode de sécheresse, entendu ici comme le nombre de jours successifs sans aucune précipitation, durent généralement au maximum 01 mois, mais peut également aller à 2 mois, mais beaucoup moins à 3 mois. Par contre, la durée de manifestation pour les cas d'épisodes d'inondations est perçue en semaines et décades. Ainsi, selon les riziculteurs, les épisodes moyens d'inondation dans la zone durent principalement entre 03 et 04 semaines, mais peuvent également s'étendre entre 05 et 06 semaines (Figure 8).



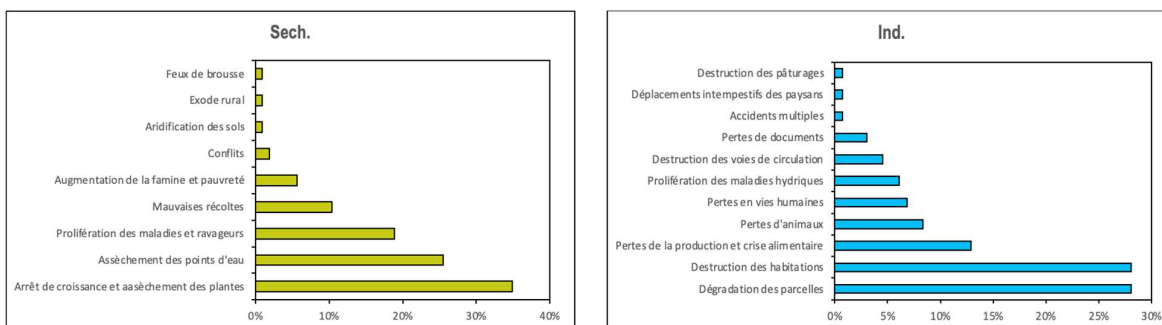
**Figure 8. Nombre maximal de jours de résistance du riz face aux sécheresses et inondations**

La figure 8 pour sa part, montre que la durée de manifestation se ressent différemment sur les cultures. En effet, les riziculteurs pensent principalement que le nombre de jours de résistance du riz aux sécheresses se situe entre 11 et 20 jours, tandis que pour les épisodes d'inondation cette résistance se situe entre 5 et 9 jours, mais pouvant également résister entre 10 et 14. C'est alors après ces périodes marquant le seuil capacité de résistance que les dégâts surviennent le plus ou s'intensifient.



**Figure 9. Appréciation de la capacité de résistance du riz face aux sécheresses et inondations**

Comme l'indique la figure 9, la durée de résistance détermine la capacité de résistance dont dispose la plante en cas de survenue d'aléas ; et selon les producteurs, le riz est incapable de résister aux sécheresses et inondations. Cependant, si pour la quasi-totalité des producteurs aucune résistance n'est possible face aux inondations, dans le cas des sécheresses, une certaine capacité est à relever bien que globalement l'incapacité domine toujours. La capacité de résistance s'observe donc à travers la nature des dégâts causés sur les plantes cultivées en champs et sur les cultivateurs (Figure 10).



**Figure 10. Nature des dégâts causés en champs lors de la survenue de sécheresses et inondations**

Comme le montrent les résultats ci-haut, les dégâts posés par les aléas pluviométriques sur l'activité rizicole sont divers et variés et touchent directement les composantes environnementales et socioéconomiques liées à la culture du riz. En effet, en cas de sécheresse les dégâts affectent directement la disponibilité en eau pour les plantes causant ainsi un arrêt de croissance voire un assèchement total. Les dégâts sont également d'ordre pédologique avec la dégradation des terres (qui est tout aussi liée au déficit hydrique intense), et d'ordre biologique avec la prolifération de maladies et ravageurs de riz favorisés par la chaleur. Cette même chaleur favorise l'émergence de feux de brousse qui ravagent les plantes sur les terres asséchées. D'un point de vue socioéconomique, surviennent alors des pertes de la production et donc, l'augmentation de la famine et la pauvreté pour les paysans.

En ce qui concerne les cas d'inondations, les dégâts sont tout aussi nombreux. Les vagues d'eau violentes et stagnantes entraînent en premier plan d'un point de vue agricole, la dévastation des parcelles et les pertes de production. Sur le plan économique, on note les pertes de biens multiformes et des aménagements des riziculteurs. Plus grave encore sur le plan humain, les inondations sévères occasionnent de fortes migrations, des accidents multiples dus à la détérioration des voies de circulations, mais aussi l'émergence de maladies hydriques et des pertes en vies humaines.

Au vu de ces catégories de dégâts causés par les aléas pluviométriques qui affectent la production du riz, une perche est ainsi tendue par ceux-ci aux marqueurs de l'insécurité alimentaire.

### 3.3. Influence des perturbations pluviométriques sur la production rizicole

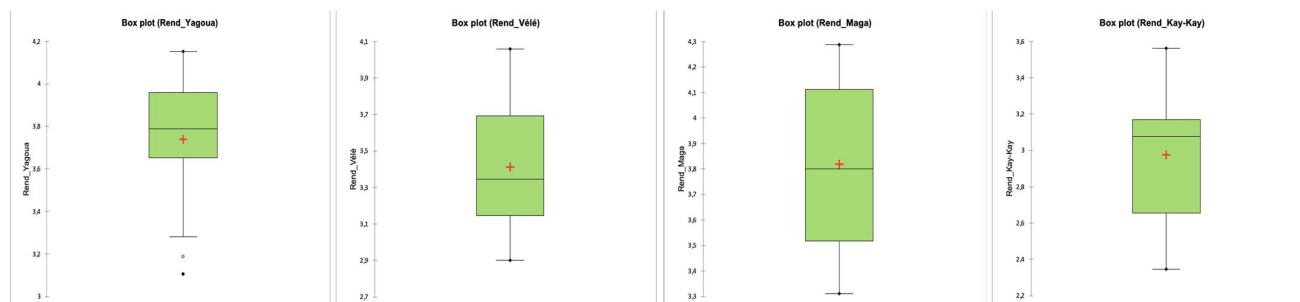
Un des marqueurs principaux de l'influence des conditions pluviométriques sur la production rizicole est la production totale obtenue au terme de la campagne agricole. En conditions climatiques optimales, et selon les variétés cultivées, un certain rendement peut être espéré par les producteurs. Pour le cas de la vallée du Logone, l'encadrement mis en place par la SEMRY dès sa création visait un rendement moyen de 06 tonnes à l'hectare, ce qui n'est toujours pas le cas sur la période 2002-2022 considérée dans le cadre de cette étude.

#### 3.3.1. Dynamique évolutive de la production rizicole

Les résultats obtenus dans cette étude distinguent les rendements moyens (Rend.) obtenus dans 04 sous-zones de production que sont les arrondissements de Yagoua, Vélé, Maga et Kay-Kay sur 21 ans (Tableau 5 ; Figure 11).

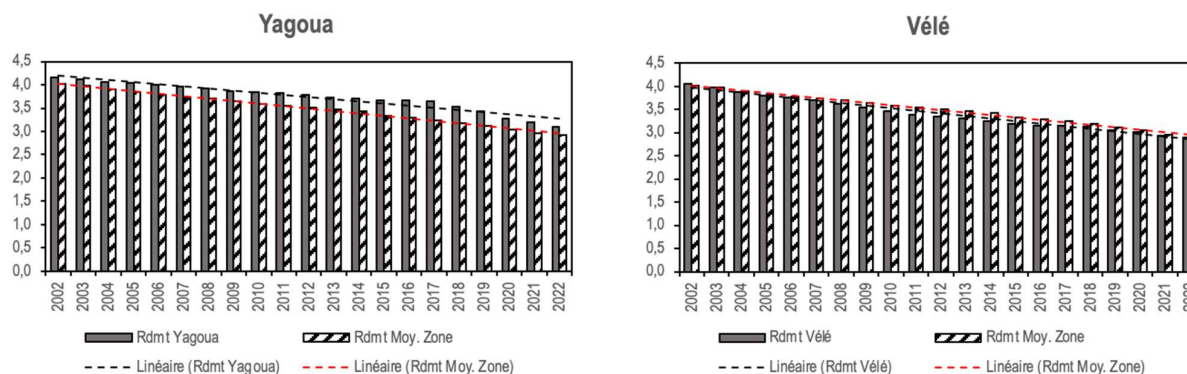
**Tableau 5. Comparaison des rendements annuels moyens par sous-zone de production**

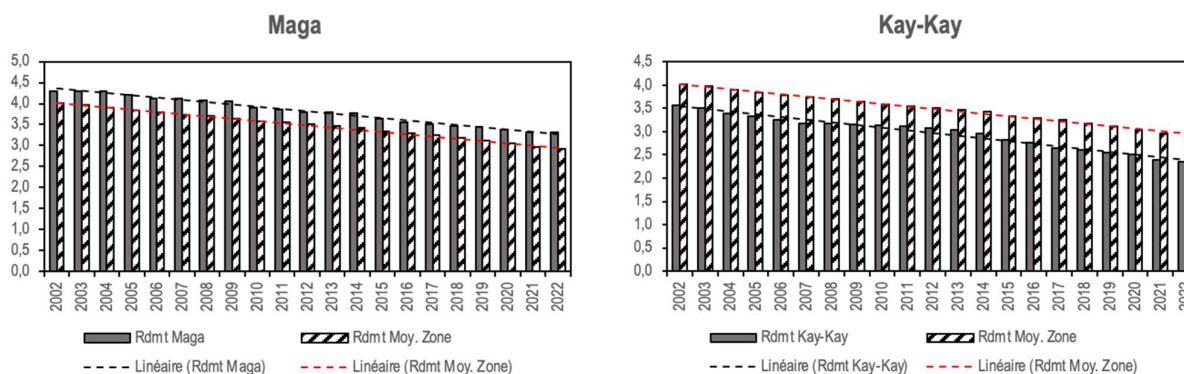
Statistique	Rend_Yagoua	Rend_Vélé	Rend_Maga	Rend_Kay-Kay	Rend_Moy
Nb. d'observations	21	21	21	21	21
Minimum	3,1	2,9	3,3	2,3	2,9
Maximum	4,1	4,0	4,2	3,5	4,0
Médiane	3,7	3,3	3,8	3,0	3,5
Moyenne	3,74	3,41	3,82	2,97	3,48
Variance	0,08	0,12	0,11	0,13	0,11
Ecart-type	0,29	0,35	0,33	0,36	0,33



**Figure 11. Distribution statistiques des rendements moyens par sous-zone de production**

Les analyses de distributions statistiques révèlent que la zone de Maga suivie de Yagoua ont les valeurs moyennes de rendement les plus élevées comparativement à Vélé et Kay-Kay. Les valeurs maximales et minimales suivent ce même ordre. Les caractéristiques de dispersion des valeurs de rendement autour de la moyenne montrent que les valeurs sont bien plus resserrées à Yagoua par rapport aux trois autres sous-zones, mettant donc en évidence moins de rapprochements dans les rendements produits au sein de ces dernières.





**Figure 12. Évolution interannuelle des rendements annuels moyens par sous-zone de production en comparaison à la moyenne zonale globale**

D'après les résultats issus de la figure 12, l'observation de l'évolution des rendements annuels de riz produits dans chaque sous-zone de production en comparaison avec la moyenne de la zone entière révèle à première vue que pour les 04 sous-zones on note une tendance claire vers la baisse de la production, avec des rendements moyens de plus en plus bas d'une année à une autre, illustrée notamment par des courbes de tendances systématiquement négatives, indiquant la valeur maximale au point initial de la série temporelle (l'année 2002) et la valeur minimale au point final de la série (année 2022).

Par ailleurs, en comparant les rendements annuels dans chaque sous-zone par rapport à la moyenne zonale entière, on remarque que seule la sous-zone de Vélé a des valeurs proches de la moyenne zonale globale qui sur certaines années s'avère plus élevée. Dans les autres sous-zones on enregistre des écarts bien marqués par rapport à la moyenne globale. Cependant, si à Yagoua et à Maga les moyennes annuelles des rendements sont supérieurs à ceux de la zone globale, ce n'est pas le cas à Kay-Kay qui enregistre des valeurs annuelles totalement en deçà de la moyenne globale. En effet, d'après les enquêtes avec les riziculteurs, le fait que les rendements soient des plus bas dans cette dernière sous-zone en comparaison avec les trois autres s'explique par le fait que sa prédisposition hydro-géomorphologique de dépression à proximité du système lacustre-fluvial (Lac de Maga et Fleuve Logone) l'expose à des inondations récurrentes, à la dégradation et salinisation des terres. En outre, il s'agit de la sous-zone la moins avancée sur le plan socio-économique disposant des producteurs aux revenus les plus modestes, et aussi d'une zone enclavée et difficile d'accès en saison pluvieuse, ce qui contraint les approvisionnements rapides en intrants agricoles, ainsi qu'un accompagnement et encadrement permanent et efficace des agents techniques de la SEMRY.

Au regard de cette dynamique dans la production rizicole, il s'avère important de réaliser une analyse du lien statistique entre rendement et pluviométrie afin de déterminer l'influence réelle de cette dernière sur la production rizicole.

### 3.3.2. Liens entre les paramètres pluviométriques et la production rizicole

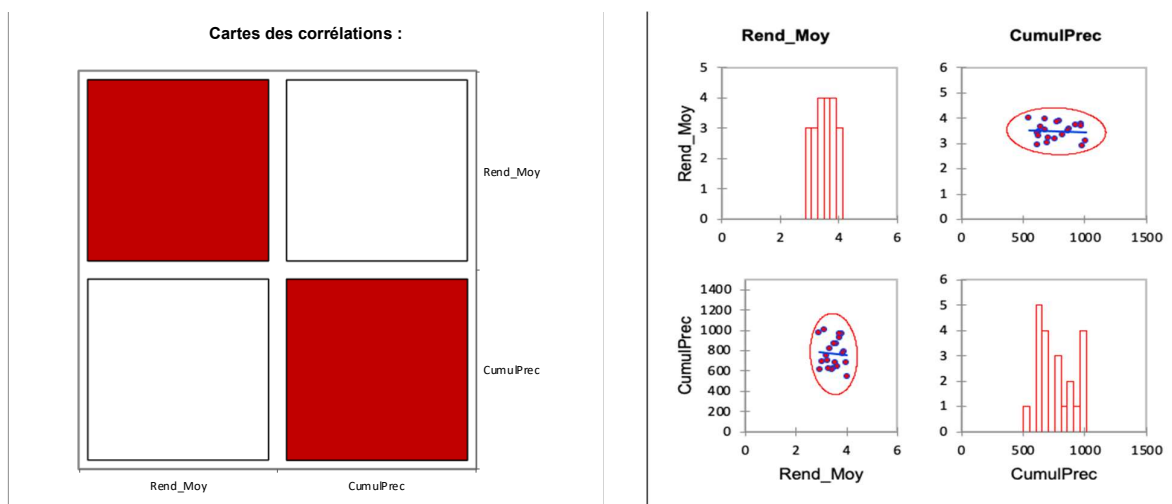
L'activité rizicole étant fortement dépendante des apports pluviométriques, il s'est avéré important de déterminer et évaluer l'intensité et la direction de la relation entre pluviométrie et rendement agricole sur les 21 années d'observation de la production.

**Tableau 6. Statistiques descriptives des variables pluviométrie et rendement sur la série 2002-2022**

Variable	Observations	Obs. avec données		Obs. sans données			
		manquantes	manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Rendement	21	0	21	2,91	4,01	3,48	0,33
Pluviométrie	21	0	21	546,06	1007,60	768,70	143,76

**Tableau 7. Matrice de corrélation de Pearson entre la pluviométrie et le rendement**

	Pluviométrie	Rendement
Pluviométrie	1	-0,062
Rendement	-0,062	1



**Figure 13. Cartes et diagrammes de corrélation entre pluviométrie et rendement**

L'analyse de corrélation entre pluviométrie et rendement annuels sur la série chronologique 2002-2022 (Tableau 7 ; Figure 13) présente un coefficient de corrélation  $r = -0,062$  qui indique une corrélation négative entre les deux variables à un seuil de confiance de 95%, traduisant ainsi le fait que la pluviométrie d'une année donnée peut être en hausse tandis que le rendement est faible.

Si les résultats de l'analyse de corrélation montre une corrélation négative entre pluviométrie et rendement traduisant une irrégularité dans la distribution des valeurs pluviométriques dans le temps, les résultats de l'analyse de régression linéaire mettent en lumière l'intensité de cette relation pluviométrie-rendement rizicole.

**Tableau 8. Analyse de la variance (Rend\_Moy) :**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	1	246,550	246,550	450,143	< 0,0001
Erreur	20	10,954	0,548		
Total corrigé	21	257,504			

Calculé contre le modèle  $Y=0$

D'après les résultats du test F de Fisher dans le précédent tableau 8 d'analyse de la variance, il ressort qu'étant donné la valeur élevée de F (450,143) et que la probabilité associée à cette valeur est dans ce cas inférieure à 0,0001, cela signifie que l'on prend un risque de moins de 0,01% en concluant que la variable explicative apporte une quantité d'information significative au modèle.

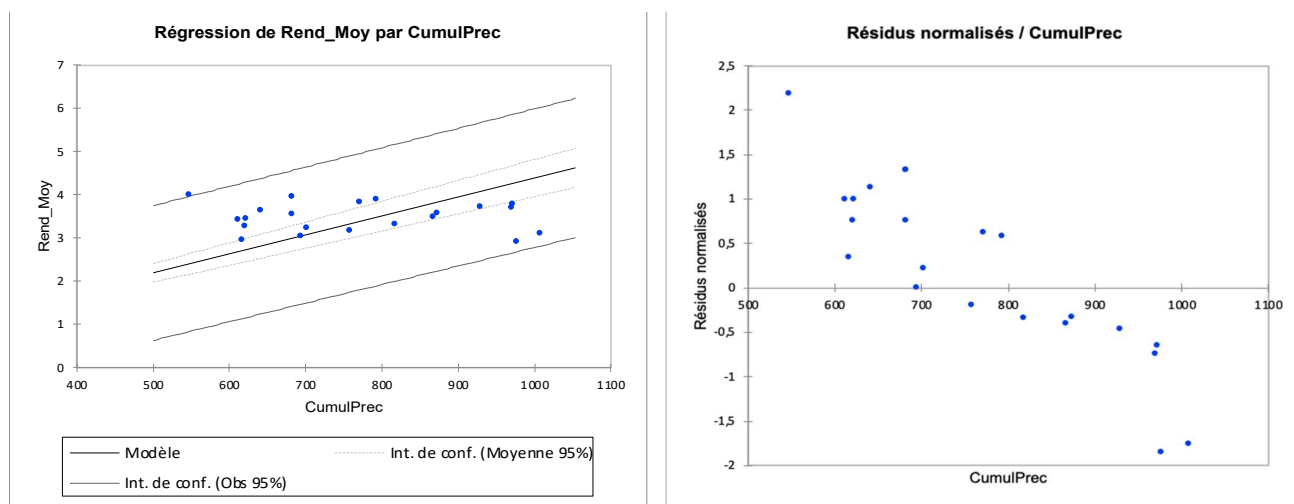
Par ailleurs, en s'appuyant sur les résultats du test  $t$  dans le tableau ci-dessous, il ressort que la variable explicative (Pluviométrie) a un impact réel sur la variable expliquée (Rendement) puisque la valeur élevée de  $t = 21,2$  à un seuil de risque de 5% indique un coefficient statistiquement significatif de la pente.

**Tableau 9. Paramètres du modèle de Régression linéaire du Rendement moyen en fonction de la pluviométrie**

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr >  t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	0,000					
CumulPrec	0,004	0,000	21,217	< 0,0001	0,004	0,005

Note :  $N= 21$  ;  $Rend\_Moy = 4,38497805381641E-03 * CumulPrec$  ;  $R^2=0,957$  ;  $R^2\text{ ajusté}=0,955$  ;  $MCE=0,548$  ;  $RMCE=0,740$

En outre, la probabilité associée à la valeur  $t$  (0,0001) est inférieure au seuil de risque 0,05, ce qui signifie que l'on peut rejeter l'Hypothèse nulle et confirmer que le lien entre la pluviométrie et le rendement est statistiquement significatif. Fort de cela, le coefficient de détermination ( $R^2 = 0,957$ ) très élevé montre que la pluviométrie explique près de 96% de la variance du rendement.

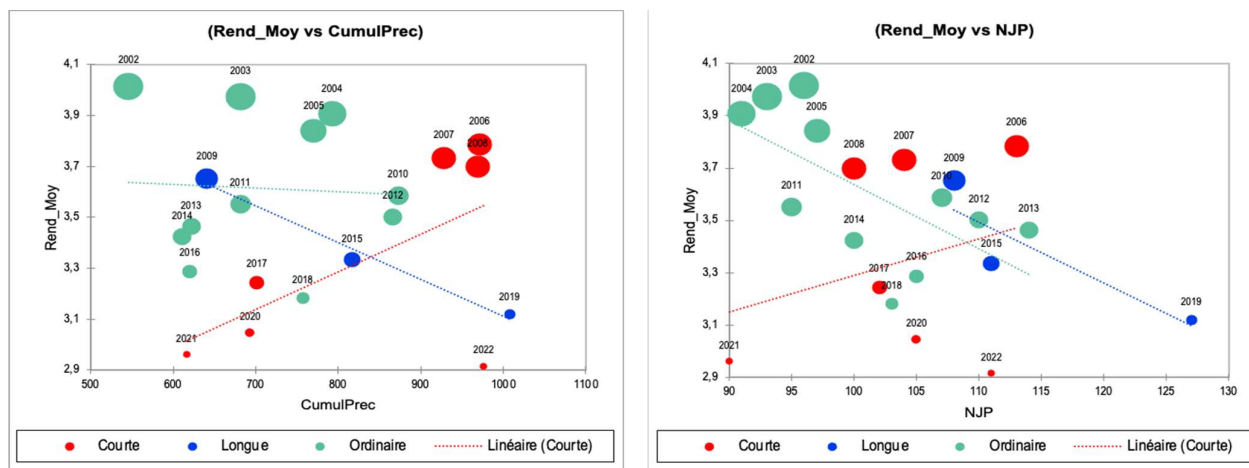


**Figure 14. Modèle de régression et résidus normalisés de la relation Rendement - Pluviométrie**

En outre, le graphique du modèle de régression (Figure 14) permet d’observer également l’orientation positive de la pente de la droite de régression, ainsi que la variabilité des observations autour de cette droite dont le modèle de calcul prend en compte l’hypothèse selon laquelle l’absence de X (Pluviométrie) implique une absence d’effet de Y (Rendement). Aussi, le graphique des résidus normalisés en fonction de la variable explicative (Pluviométrie) montre que les résidus ont tendance à garder une certaine homogénéité au centre du repère, ce qui reflète ainsi la fiabilité du modèle et renforce l’idée du lien statistique entre la pluviométrie sur le rendement.

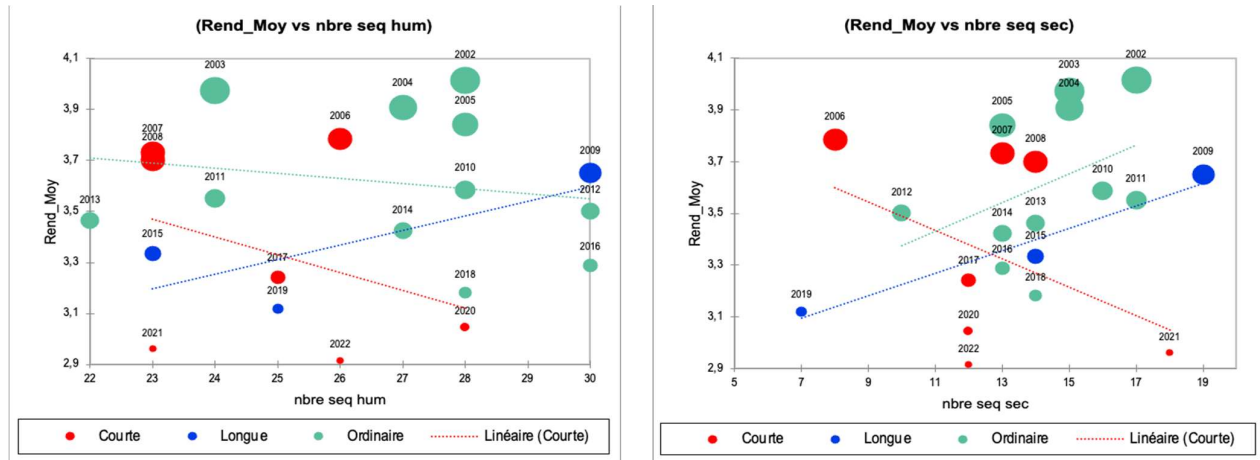
### 3.3.3. Influence des épisodes de crises déficits/excédents pluviométriques sur la production rizicole et la disponibilité/stabilité alimentaire

Au vu des tendances pluviométriques et de rendement précédemment observées dans les résultats, ces derniers renforcent l’idée selon laquelle la dynamique de la production rizicole est effectivement influencée par la dynamique de la pluviométrie annuelle. Néanmoins, afin de caractériser ces dynamiques pour en déterminer le rôle direct des aléas pluviométriques, d’autres indicateurs liés aux précipitations sont à considérer, notamment la répartition du nombre de jours de pluies sur l’ensemble de la saison pluvieuse, ainsi que sa durée, qui s’avèrent également déterminants au vue de l’explication du rôle de l’alternance des années à pluviométrie déficitaire ou excédentaire sur la production rizicole (Figure 15).



**Figure 15. Relation évolutive entre précipitations, jours pluvieux et rendements annuels**

L'analyse de la relation bivariée entre les cumuls pluviométriques annuels (X) et les rendements moyens annuels (Y ; Z) montre que les rendements sont plus élevés lorsque la saison pluvieuse a une durée ordinaire, c'est-à-dire normale. On note aussi que les années présentant les saisons longues et courtes présentent les rendements les plus bas, parce que ces saisons sont marquées respectivement par les épisodes d'excédents et de déficits pluviométriques qui limitent la production. Ceci est encore plus valable pour les saisons longues avec les jours pluvieux (NJP) les plus nombreux, car l'arrêt tardif des pluies détruit les grains déjà arrivés à maturité. Ceci traduit alors le fait que les rendements sont plus faibles lorsque les pluies s'arrêtent beaucoup trop tôt ou beaucoup trop tard.

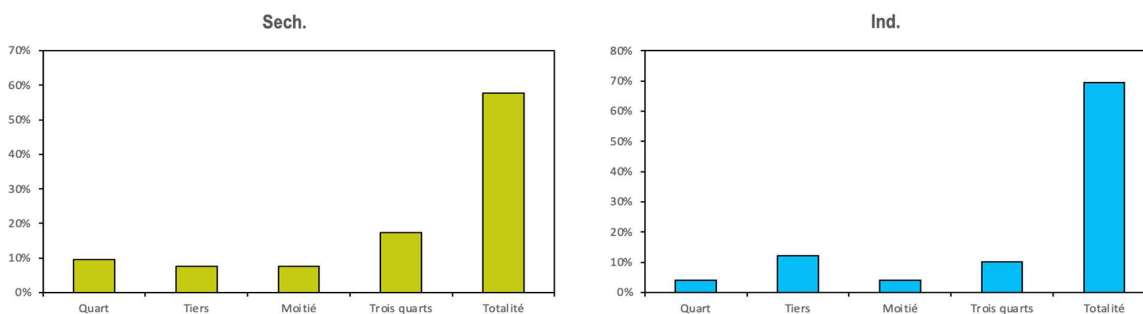


**Figure 16. Relation évolutive entre les indicateurs de déficits/excédents pluviométriques et les rendements annuels**

D'après la figure précédente, l'analyse de la relation bivariée entre les évolutions de rendements (Y ; Z) en fonction des aléas pluviométriques (X) révèle pour sa part que les rendements demeurent toujours meilleurs lors des saisons pluvieuses à durée ordinaire et qui présentent des séquences humides (seq hum) comme sèches (seq sec) plutôt moyennes, c'est-à-dire des saisons ni trop humides, ni trop sèches. Les rendements sont plus faibles durant les saisons courtes et continuent de baisser au fur et à mesure que les séquences humides comme les séquences sèches augmentent. Les rendements observés lors des saisons de longue durée sont quant-à eux plus moyens ; ce qui met en évidence le fait que plus une saison est longue, plus elle est sujette à des aléas d'excédent pluviométrique accompagnée d'un arrêt tardif des pluies, qui ne favorise pas de meilleurs rendements. Cette baisse observée dans l'évolution des rendements rizicoles du fait des phénomènes pluviométriques extrêmes a une incidence sur la sécurité alimentaire et nécessite une riposte de la part des acteurs de la production, notamment les riziculteurs eux-mêmes ainsi que les institutions d'encadrement, s'ils envisagent inverser la tendance négative.

### 3.4. Incidence des crises pluviométriques et agricoles sur la disponibilité/stabilité alimentaire et mesures d'adaptation

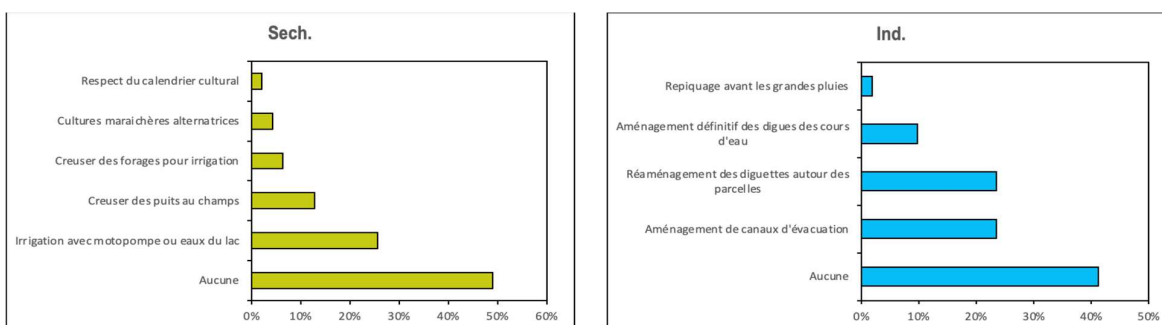
La disponibilité des denrées alimentaires en quantité suffisante ainsi que la stabilité de l'approvisionnement représentent 02 piliers cruciaux de la sécurité alimentaire. Au vu de la considération des aléas pluviométriques comme facteurs de risques d'insécurité alimentaire, ces 02 piliers sont de ce fait pris en compte dans le cadre de cette étude. Puisque la riziculture est dépendante des conditions hydroclimatiques adéquates et incontournables dans le cycle végétatif des plantes et dans la recherche d'une production optimale, il va sans dire que les perturbations observées dans ces conditions hydroclimatiques entraînent des risques à long termes de ne pouvoir produire en quantité et en qualité suffisantes, en réduisant ainsi la capacité d'autosuffisance alimentaire. L'insécurité alimentaire liée aux phénomènes climatiques extrêmes apparaît dès lors que ces derniers posent des effets néfastes sur la production, notamment en causant des pertes (Figure 17) qui n'auraient pas été enregistrées dans des conditions climatiques normales.



**Figure 17. Proportions de pertes dans la production en cas de sécheresses et inondations**

Les résultats de la figure précédente nous renseignent en effet sur les proportions des pertes perçues par les riziculteurs lors de la survenue de crises pluviométriques de sécheresses et d'inondations. Il en ressort que dans les deux cas de figure, les pertes sont pour la plus part enregistrées en termes de pertes totales de la production, dans 57,69% des cas pour les épisodes de sécheresses, et atteignant jusqu'à 69,39% des cas pour les épisodes d'inondations. Ces valeurs élevées des proportions de pertes dans la production rizicole en cas de déficit et d'excédents pluviométriques confirme l'idée selon laquelle les risques climatiques, et principalement les risques pluviométriques, correspondent à la typologie des risques majeurs pour la sécurité alimentaire, quand on sait qu'un risque majeur se caractérise justement par ses fréquences d'occurrences et la gravité des dégâts occasionnés.

Face justement à cette ampleur des dégâts engendrés par les aléas pluviométriques, la capacité de réaction des producteurs de riz (Figure 18), est un indicateur à considérer dans l'évaluation de leur vulnérabilité en cas de crise, et donc le rôle qu'ils pourraient jouer dans la volonté de limiter l'insécurité alimentaire qui accompagne les risques pluviométriques.



**Figure 18. Mesures de riposte en champs en cas de sécheresses et inondations**

L'analyse de la capacité de réaction des riziculteurs en cas de crise pluviométrique à travers la mise en œuvre de mesures de riposte en champs met directement en lumière le fait que cette capacité de réaction est quasi nulle. En effet, selon les affirmations de ces derniers, en cas de sécheresse (à 48,94%) et en cas d'inondations (à 41,18%) aucune action n'est entreprise. Autrement dit, cette frange des riziculteurs préfère rester attentistes et subir les effets des aléas sans intervention directe, dans l'espoir que les dégâts seront moindres et qu'une partie de la production pourrait être récupérable. Cette attitude traduit véritablement le risque d'augmentation de l'indisponibilité/instabilité alimentaire en rejoignant les tendances de perte totale de la production (Figure 15) puisque la grande majorité des producteurs est inactive face aux aléas.

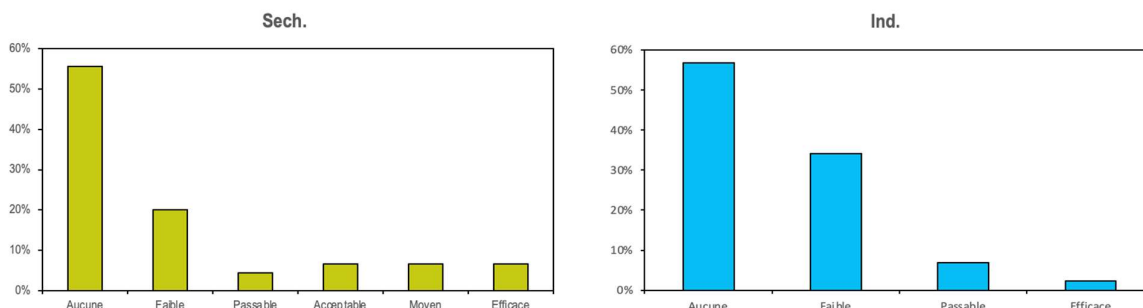
Néanmoins, des mesures sont également mises en œuvre afin soit de s'adapter, soit d'atténuer les effets des crises en champs. En effet, les résultats révèlent que les mesures de réaction interviennent aussi bien en avant, pendant et après la survenue des crises.

Tout d'abord, les mesures préventives avant la survenue des catastrophes concernent pour le cas des sécheresses, l'ajustement du calendrier cultural en évitant des itinéraires techniques pratiqués hâtivement ou tardivement, et aussi le choix des variétés à cycle court. Pour le cas des inondations, les mesures d'anticipation consistent en l'aménagement des digues de protection aux abords des cours d'eau et des parcelles, et c'est également en guise de prévention que quelques riziculteurs n'attendent pas les grandes pluies pour procéder au repiquage du riz dans les parcelles afin d'éviter que ces plantes soient emportées par les eaux en cas de pluies successives et violentes au début de la saison rizicole.

Par la suite, pendant le déroulement de la catastrophe, en cas de sécheresse, les mesures sont surtout prises pour satisfaire les besoins en eau des plantes en faisant usage des eaux de surface et eaux souterraines pour irriguer les champs suite à la création des puits ou des forages manuels, bien que d'autres producteurs préfèrent abandonner la culture du riz et se reconverter aux cultures maraichères à cycle rapide pour rattraper des pertes économiques dues à l'échec de la campagne rizicole. Pour le cas des inondations, on assiste au réaménagement des barrières endommagées par la force de ruissellement des eaux, ainsi que l'entretien des canalisations pour l'évacuation des eaux stagnantes.

Pour terminer, les mesures de rétablissement après le passage des catastrophes aussi bien en cas de sécheresse que d'inondation, consistent surtout en la reconversion vers des cultures alternatives (cultures maraichères notamment), le réaménagement des parcelles et la simple attente en vue de la campagne agricole prochaine.

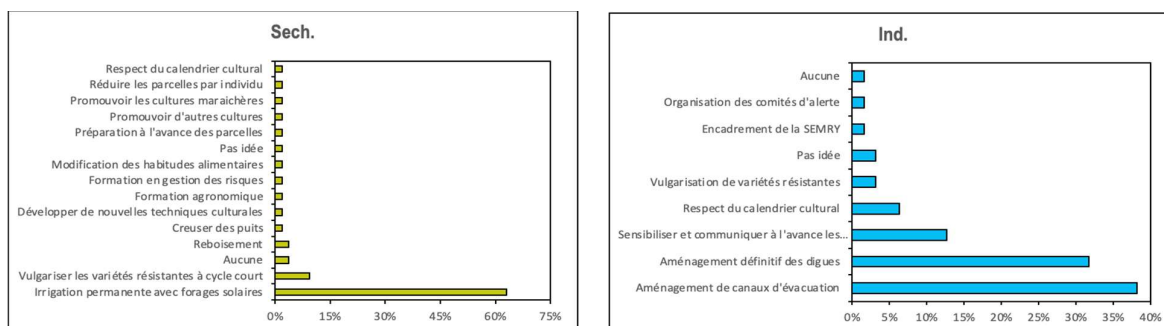
Cependant, ces mesures prises ne sont pas toujours gages de succès selon les affirmations des riziculteurs (Figure 19).



**Figure 19. Niveaux d'efficacité des mesures de riposte en champs face aux sécheresses et inondations**

Comme le révèle la figure ci-dessus, selon la très grande majorité des riziculteurs, les mesures de riposte face aux aléas pluviométriques n'ont d'une part aucune efficacité (55,56% en cas de sécheresse contre 34,09% en cas d'inondation) ou alors une faible efficacité (20,00% en cas de sécheresse contre 56,82% en cas d'inondation). D'autre part, pour une frange marginale de riziculteurs, ces stratégies sont jugées passable (4,44% en cas de sécheresse contre 6,82% en cas d'inondation), acceptable (6,67%), moyennement efficace (6,67%) ou efficace (6,66% en cas de sécheresse contre 2,27% en cas d'inondation). On note alors une forte tendance vers une efficacité négative (Aucune + Faible) avec 75,56% en cas de sécheresse contre 90,91% en cas d'inondation), contre une efficacité positive (Passable + Acceptable + Moyen + Efficace) avec 24,44% en cas de sécheresse contre 9,09% en cas d'inondation. Ceci traduit le fait que les riziculteurs ont une meilleure capacité adaptative en cas de sécheresses contrairement aux cas inondations.

Malgré cela la tendance négative des valeurs de riposte nécessite la prise de mesures à l'effet d'améliorer les stratégies de riposte aussi bien d'adaptation que de mitigation (Figure 20).



**Figure 20. Perspectives envisagées pour l'amélioration des mesures de riposte face aux sécheresses et inondations**

Au vu du fait que les réactions des riziculteurs en situation de crise pluviométrique soient généralement des actions individuelles et isolées, le succès est rarement au rendez-vous. C'est ainsi que des perspectives d'amélioration sont envisagées par ces derniers afin mieux répondre aux aléas et maintenir leur production.

D'une part, face aux crises de sécheresse, les producteurs dans leur grande majorité (62,96%) envisagent comme solution la plus adéquate, la modernisation de l'hydraulique rurale et la maîtrise des eaux à travers l'irrigation permanente alimentée par des forages fonctionnant à énergie solaire, afin de réduire ainsi les manquements de la riziculture pluviale stricte, puisque la zone est bien fournie en rayonnement solaire. Les puits à ciel ouverts peuvent également être mis à contribution pour irriguer les champs en période de crise. Le volet purement agronomique est également à améliorer avec la nécessité de vulgariser des variétés de riz à cycle court compte tenu du raccourcissement des saisons pluvieuses et de la baisse du nombre annuel de jours pluvieux. Toujours sur le plan agronomique, de nouvelles techniques agricoles plus innovantes doivent être introduites afin de corriger les manquements observés dans le système cultural qui, pour la plupart, reste le même depuis plus de 50 ans de vulgarisation de la riziculture dans la zone. Il est aussi envisagé la diversification culturale par la promotion d'autres cultures, notamment les cultures maraichères, qui peuvent servir de compléments aux pertes dans la production et les baisses de rendements progressifs que connaît la riziculture pluviale stricte. En outre, les autres perspectives d'amélioration concernent surtout le volet renforcement des capacités des riziculteurs qui ont besoin d'un meilleur encadrement technique non plus seulement sur le plan agronomique mais aussi sur le plan de la gestion des risques et catastrophes climatiques.

D'autre part, face aux crises d'inondation, les mêmes aspects hydrauliques, agronomiques et de formation sont souhaitées par les riziculteurs. En effet, la majorité (69,85%) recommande des aménagements définitifs des canaux d'évacuation des eaux autour des périmètres rizicoles ainsi que des digues de protection aux abords des cours d'eau et du lac, notamment la grande digue du fleuve Logone et la digue du lac de Maga, dont les débordements s'accompagnent d'inondations sévères au sein des rizières. D'un point de vue agronomique, les paysans souhaitent une vulgarisation des variétés de riz qui peuvent résister plus longtemps aux inondations, mais aussi l'ajustement du calendrier cultural qui doit être actualisé pour éviter les échecs dans la conduite des itinéraires techniques. Le volet lié à l'encadrement des producteurs, au renforcement des capacités et formations techniques devra aboutir à l'amélioration de la gestion des risques et catastrophes climatiques ainsi que la mise en place de systèmes d'alertes précoces en milieu paysan, ce qui est incontournable pour la communication de crise, la prévention des risques et le rehaussement du niveau d'efficacité des mesures de riposte.

Par ailleurs, et plus spécifiquement, l'aspect lié à l'encadrement des riziculteurs fait directement appel au rôle de la SEMRY qui représente l'institution centrale chargée du développement de la filière riz dans cette partie du pays, créée par l'État camerounais au début des années 1970 avec parmi ses objectifs d'atteindre un rendement de 6t/ha. En effet, les enquêtes auprès des paysans ont révélé que 87,2% pensent que la SEMRY devrait mieux encadrer les producteurs en leur fournissant de nouvelles techniques de production plus adaptées aux conditions climatiques actuelles, car selon eux, les méthodes culturales continuent d'être anciennes et héritées de l'époque de la création de l'institution il y a plus de 50 ans. Par contre, 10,6% estiment que les riziculteurs doivent être autonomes et ne plus fortement dépendre de la SEMRY, pendant que 2,2% pensent que cette société devrait être tout simplement privatisée et confiée à des groupes d'investissements étrangers spécialisés dans la culture du riz, notamment des occidentaux ou des asiatiques, qui seraient d'après eux plus aptes à insuffler un nouveau souffle dans le développement de la filière riz dans la zone. Ils justifient cela par la situation de retards fréquents qui sont enregistrés dans la conduite des opérations de labour, de curage des canaux et de mise à disposition à temps des intrants (semences et engrais) par les agents de la SEMRY. Pour ces riziculteurs, la conduite efficace de ces opérations s'avère déterminante pour le bon fonctionnement de la campagne agricole, la garantie d'un meilleur rendement et l'adaptation aux aléas pluviométriques. Ce dernier point qui, selon eux, est désormais incontournable, car, les paysans font face seuls aux aléas du climat sans soutien véritable de la SEMRY en matière de gestion des risques et catastrophes.

#### IV. DISCUSSION

Cette étude a été conduite avec comme finalité la mesure des tendances de déficits et excédents pluviométriques et leurs effets respectifs sur l'activité et la production rizicole, et corrélativement sur la sécurité alimentaire, en admettant l'idée qu'au sein de la région sahélienne particulièrement, c'est le régime des précipitations qui est le facteur principal de la productivité alimentaire (Tucker, 1991 ; Sarr, 2013).

Malgré que la taille de la série pluviométrique était relativement courte (N=41ans) pour définir des valeurs de référence climatologiques stables, un calcul d'Incertitude Type a été associé à cette série afin de garantir la fiabilité des mesures utilisées pour les analyses. Il en est de même pour la fourchette temporelle des informations d'enquêtes de perception (N=21ans) utilisée pour recueillir les rendements annuels des riziculteurs, qui s'est avérée inférieure à celle de la série climatologique puisqu'elle se basait sur des données de mémoire et que les informations étaient susceptibles d'imprécisions au-delà de cette période. Ainsi, afin d'établir un lien pertinent entre pluviométrie et rendement et éviter les risques de biais de mémoire, la série s'est limitée à la fourchette 2002-2022, qui fût suffisante pour réaliser notamment les analyses de corrélation et régression servant à confirmer l'influence de la pluviométrie sur le rendement.

De ce fait, les résultats ont spécifié l'aspect selon lequel la tendance à des fluctuations pluviométriques interannuelles met en lumière une alternance des années soit déficitaires, soit excédentaires par rapport à la normale sur les quatre dernières observées

(1982-2022). Toutefois, on y note un nombre plus élevé d'années à pluviométrie normale que d'années sèches et très sèches ou humides et très humides. Les années sèches et très sèches s'observent principalement au début de la série chronologique, notamment les deux premières décennies, tandis que les années humides et très humides se remarquent plus lors des deux dernières décennies. Ceci traduit le fait que la vallée du Logone a connu de très sévères années sèches durant les décennies 1980 et 1990, d'où des pics d'épisodes de déficits durant ces décennies là (1984 et 1998), tandis que les pics d'excédents pluviométriques se situent surtout durant la dernière décennie de 2011 à 2022, avec des épisodes d'inondations extrêmes dans cette dernière décennie (2012 et 2022). Ce retour à une pluviométrie élevée après la période sèche rejoint l'idée selon laquelle la vallée du Logone suit la même tendance que le Sahel au sens large, non seulement pendant la période de sécheresse intense des années 1980, mais aussi pendant la phase humide post-2010 marquée par une reprise des précipitations à la hausse. Cette tendance a été démontré par les travaux de Nicholson (2018) dans la zone sahélienne qui indiquent une évolution significative du climat sahélien, caractérisé par une atténuation de la méga-sécheresse des années 1970 à 1990 et une alternance vers des régimes pluviométriques plus humides mais devenus irréguliers. Il indique tout autant qu'il ne s'agit pas d'une stabilisation de la pluviométrie, mais plutôt d'une forte variabilité interannuelle, tout comme le soutiennent les résultats des tendances pluviométriques de notre étude. Dans le même ordre d'idées, les travaux de Ozer et *al.* (2010) ont également révélé que les périodes de 1970 et 1980, constituent les périodes charnières de la baisse drastique de la pluviosité moyenne annuelle dans la zone sahélienne. Ly et *al.* (2013), ont pour leur part confirmé que dans l'observation des tendances climatiques sahéliennes, c'est justement à partir des années 1990 qu'il a fallu assister à une hausse importante des températures associée à une forte variabilité des précipitations.

Néanmoins, selon les travaux de Lebel et Ali (2009), il s'agit d'une phase de reprise fragile et hétérogène avec des niveaux inférieurs à ceux d'avant 1970 et marquée plutôt par une forte instabilité climatique, évoluant vers des pluies plus extrêmes et concentrées, augmentant paradoxalement les risques d'inondations malgré un contexte globalement sec. C'est la raison pour laquelle Ahidjo (2019) a développé l'idée selon laquelle l'eau est une denrée rare dans la vallée du Logone et la zone soudano-sahélienne du Cameroun en général, mais reflète un paradoxe pour lequel son abondance nuit aux activités humaines. Pour lui, cette nuisance est d'autant plus préoccupante que la récurrence des inondations et des sécheresses remet en cause la question de la gouvernance des risques météorologiques par les pouvoirs publics qui ne disposent pas d'outils nécessaires de prévention et sont parfois surpris par ces phénomènes naturels, contribuant ainsi à augmenter la vulnérabilité de la zone face aux risques pluviométriques. Or, la réduction de la vulnérabilité au risque et au danger, est gage de la réduction du risque ou du danger en lui-même, car c'est la vulnérabilité qui offre les conditions de l'endommagement et qui peut provoquer l'état de catastrophe (D'Ercole, 2014).

Par ailleurs, les résultats de notre étude mettent en évidence le fait que l'analyse des tendances pluviométriques sur des moyennes de longues séries chronologiques peuvent faire perdre de vue des fluctuations interannuelles, pourtant nécessaires à la compréhension d'une dynamique marquant des variations interannuelles plutôt que des changements brusques. Cette compréhension de la dynamique s'avère fondamentale dans le choix de la nature des mesures de riposte à engager par les acteurs (Sambo, 2013). Par ailleurs, au vu de cette alternance pluviométrique à la fois excédentaire et déficitaire, cela prédispose la culture du riz à une forte vulnérabilité et donc une faible résistance d'après les riziculteurs face aux crises pluviométriques (Adger, 2006). Ceci se traduit d'une part par la nature de l'exposition géophysique de la zone elle-même qui correspond à une zone de plaine avec de faibles degrés de pente pour faciliter le ruissellement des eaux et des sols rugueux et argileux très lents en infiltration et percolation. D'autre part, on note la sensibilité physiologique du riz qui est une plante fragile avec de besoins en eaux spécifiques, et qui s'assèche rapidement en cas de manque d'eau et connaît un pourrissement tout aussi rapide en cas d'excès d'eau.

C'est fort de cela que les dégâts posés par les aléas pluviométriques sur la culture du riz impactent fortement l'activité et la production rizicole dans la zone, en ayant une incidence sur la disponibilité/stabilité alimentaire. Les résultats issus de l'analyse des liens entre la dynamique pluviométrique irrégulière et les rendements rizicoles dans différentes sous-zones de production ont effectivement démontré une tendance à la baisse des quantités produites dans chacune de ces sous-zones. N'Guessan et Koffi-Bikpo (2025) ont démontré dans leurs travaux l'influence de la variabilité pluviométrique sur les rendements rizicoles à travers une corrélation positive entre pluviométrie et rendement, tout en indiquant qu'une diminution de la pluviométrie entraîne une baisse de rendement et une augmentation de la pluviométrie entraîne par contre une hausse des rendements. Nos résultats quant-à eux ont indiqué que la pluviométrie seule ne saurait justifier la baisse systématique des rendements, car les tendances d'évolution croisées ont révélé que des années peuvent être très arrosées mais avec des rendements faibles, tandis que des années moins arrosées peuvent disposer de rendements plus élevés. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les excédents pluviométriques s'accompagnent généralement de fortes d'inondations qui dévastent les parcelles et engendrent des pertes importantes, voire totales dans les récoltes. En outre, pendant les épisodes de déficits pluviométriques, ceux-ci pourraient être atténués par des mesures réactives, à l'instar de l'irrigation par retenue d'eau des parcelles au sein des périmètres aménagés, ou encore des techniques d'irrigation par motopompe, forages, ou même des puits d'arrosage traditionnel creusés pour la circonstance, qui contribueraient à maintenir l'activité rizicole malgré l'absence d'eau de pluies. En outre, d'autres facteurs naturels et anthropiques peuvent influencer le production rizicole dans la vallée du Logone, notamment l'épuisement des sols, les pratiques agricoles obsolètes, les variétés de riz qui ne sont plus adaptées aux conditions climatiques, mais aussi le faible accompagnement technique et matériel des riziculteurs ainsi que des défauts de gouvernance de la part des organes en charge du développement de la filière riz.

En considération de ce qui précède, l'insécurité alimentaire, sociale et la baisse des revenus rizicoles serait par conséquent, plutôt exacerbée par les impacts climatiques, car de cette dernière découle notamment la dégradation et salinisation des terres, l'abandon des parcelles et la migration voire le délaissement de la riziculture par les paysans, surtout ceux de jeune âge, puisque cette culture ne leur garantit plus une source de revenu satisfaisante (Ndiaye, 2020). La vulnérabilité du riz, laisse entrevoir donc le fait que cette culture est plus propice à des saisonnalités ordinaires, c'est-à-dire ni trop longues, ni trop courtes, car dans ces derniers cas les rendements sont beaucoup plus modestes, puisque les années marquées de saisons raccourcies sont généralement déficitaires en quantité de pluies et nombre de jours pluvieux, ce qui empêche les plantes de boucler leur cycle et bien produire ; tandis que les saisons marquées de rallonges sont généralement excédentaires en quantité de pluies et nombre de jours pluvieux, ce qui contribue à dévaster les grains mûrs et perturber les récoltes.

Par conséquent, la disponibilité permanente des denrées et la stabilité de l'activité en sont alors fortement compromis. Ceci l'est d'autant plus que le niveau de capacité d'atténuation et d'adaptation des riziculteurs est limitée à des actions marginales, isolées et non structurées, ce qui n'est de nature qu'à augmenter le degré de vulnérabilité aux risques pluviométriques et à l'insécurité alimentaire. Les résultats ont démontré que les mesures de riposte face aux aléas pluviométriques, lorsqu'elles sont prises de façon individuelle et sans coordination, s'avèrent dépourvues d'efficacité réelle, et nécessitent à cet effet d'être inscrites dans de réels attitudes collectives de prévention, d'intervention et de réhabilitation. Ceci est corroboré par les études menées par Hinnou et *al.* (2018) et Hermans (2017) qui ont démontré que lorsque les riziculteurs sont encadrés, suivis techniquement par des experts et structurés sur le plan organisationnel, ils sont plus aptes à disposer des informations permanentes sur les techniques de production innovantes, ainsi que sur les évolutions climatiques et les ripostes efficaces. C'est également dans cet ordre d'idées que les travaux de Folefack (2014) dressent des pistes pour booster la riziculture au Cameroun et garantir la sécurité alimentaire, en indiquant la nécessité de la réhabilitation des périmètres irrigués, l'aménagement des bas-fonds et des plaines inondables, l'introduction de la riziculture autour des futurs barrages et la diversification des systèmes de production avec un accent particulier sur la riziculture pluviale et de bas-fond. Les travaux de l'auteur corroborent également nos résultats qui relatent la nécessité d'une véritable structuration socio-économique et scientifique de la filière en développant les pistes comme une meilleure organisation de la filière riz, une recherche rizicole plus dynamique, une amélioration de la productivité et de la compétitivité du riz local par rapport au riz importé, un appui institutionnel plus poussé, ainsi qu'un soutien financier et matériel des producteurs durant les situations climatiques critiques.

## V. CONCLUSION

Somme toute, il était question au départ dans le cadre de cette étude d'analyser conjointement les déterminants des crises climatiques en matière de déficit et d'excédent pluviométrique dans la vallée du Logone à l'Extrême-Nord Cameroun, en montrant comment celles-ci affectent l'activité rizicole et par la même occasion la disponibilité/stabilité alimentaire. Les méthodes statistiques basées sur le test de tendance et le calcul d'indices d'anomalies pluviométriques sur la série chronologique de 1982 à 2022 ont été utilisées. Ces statistiques ont permis de déterminer les tendances pluviométriques, pendant que les analyses fréquentielles basées sur les perceptions des riziculteurs ont servi à mesurer les effets et les niveaux d'influence des crises pluviométriques sur la production rizicole et la disponibilité/stabilité alimentaire dans la zone sur la période 2002-2022. Les résultats issus de l'étude ont mis en lumière le fait que la tendance d'évolution de la pluviométrie dans la zone est marquée par des fluctuations permanentes entre des années déficitaires et des années excédentaires dans la dynamique pluviométrique de la zone étudiée. Ceci a indiqué une absence systématique d'une tendance exclusivement à la hausse ou à la baisse durant la série considérée, à l'image de dynamique de l'ensemble de la zone sahélienne durant cette période. Les pics d'excédents ont ainsi reflété des épisodes d'inondation tandis que les pics de déficits ont reflété des épisodes de sécheresse. En outre, il est ressorti des résultats que les épisodes de séquences sèches et ceux de séquences humides peuvent avoir des durées variables selon les perceptions faites par les riziculteurs, en ce sens que dans les deux cas elles peuvent se limiter entre 01 et 02 semaines et dans d'autres cas aller jusqu'à 02 à 03 mois de crise. Face à cette durée des crises, la culture du riz est quasiment dépourvue d'une quelconque résistance du fait de la fragilité de la plante en question. Les dégâts causés par ces phénomènes s'avèrent d'autant plus sévères qu'ils touchent non seulement l'aspect physiologique de la plante, mais aussi l'environnement de production avec notamment les sols et les eaux, réduisant ainsi les rendements rizicoles marqués d'une décroissance d'une année par rapport à sa précédente. L'influence de la pluviométrie sur la production agricole s'est avérée statistiquement significative. En plus, l'intégration d'autres indicateurs pluviométriques à l'instar du nombre de jours pluvieux, des séquences sèches et séquences humides, ainsi que des types de saisons, a servi à montrer que les meilleurs rendements correspondent aux années ayant une saison des pluies ni trop longue ni trop courte, puisque lorsque les pluies s'arrêtent tardivement les récoltes sont détruites, et lorsque les pluies s'arrêtent hâtivement elles ne mûrissent pas, s'assèchent et meurent. L'insécurité alimentaire est ainsi renforcée dès lors que les phénomènes pluviométriques extrêmes ne permettent pas de produire en quantité et en qualité suffisantes, et qu'ils conditionnent la disponibilité permanente ainsi que l'accessibilité à l'aliment hautement sollicité par les ménages que représente le riz. L'insécurité alimentaire est renforcée par les pertes quasi totales des cultures en situation de crises, ainsi que la capacité de réaction limitée des riziculteurs dont les mesures de riposte en champs, qui sont en général individuelles et isolées, sont perçues comme sans efficacité aucune par la plupart des riziculteurs. Afin de garantir du succès à ces mesures endogènes de riposte

face aux aléas pluviométriques, il est nécessaire de développer des méthodes de culture innovantes avec de nouvelles techniques et de nouvelles variétés de riz plus résistantes aux crises climatiques. Les riziculteurs, dont la capacité d'adaptation et réaction est plutôt faible, ont également besoin d'être mieux encadrés par les sociétés en charge du développement de la riziculture. Ils doivent également voir leurs capacités renforcées en ce qui concerne les techniques culturales modernes et innovantes et le respect du calendrier agricole actualisé. Des formations sont également nécessaires en matière de gestion des crises et catastrophes climatiques au travers du développement de systèmes de prévision et d'alerte précoce, tout comme des systèmes d'interventions groupées, coordonnées et structurées au sein des communautés, afin de contribuer au renforcement de la sécurité alimentaire face aux conditions climatiques qui s'avèrent très instables dans la zone.

## REFERENCES

- [1] Hugon, P. (2002). L'agriculture en Afrique sub-saharienne : enjeux et perspectives. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Dossier : Afrique : agriculture, développement et recherche*, 9(6), 409-415.
- [2] Berthelie, P. et Lipchitz, A., (2005). Quel rôle joue l'agriculture dans la croissance et le développement ? *Revue Tiers Monde*, 46(183), 603-624.
- [3] Cervantes-Godoy, D. et Dewbre, J. (2010). *Importance économique de l'agriculture dans la lutte contre la pauvreté. Documents de travail de l'OCDE sur l'alimentation, l'agriculture et les pêches*, N°23, Éditions OCDE. 68p.
- [4] Banque Mondiale. (2008). *Rapport sur le développement dans le monde*. The International Bank for Reconstruction and Development. Washington, USA. 36p.
- [5] FAO. 2020. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture*. Rome. 234p.
- [6] MINADER. (2022). *Statistical yearbook of the Ministry of Agriculture and Rural Development*. Agristat N°18, 167p.
- [7] Temple, L., Fofiri, N.E., Ndamé, J.P., Ndjouenkeu, R. (2009). Impacts de la croissance urbaine sur l'innovation dans les filières vivrières du Nord Cameroun. In L. Seiny-Boukar, P. Boumard (éditeurs scientifiques), 2010, Actes du colloque, *Savanes africaines en développement : innover pour durer*, 20-23 avril 2009, Garoua, Cameroun. PRASAC, N'Djaména, Tchad ; CIRAD, Montpellier, France.
- [8] Folefack D. P. (2014). Booster la production locale du riz pour le renforcement de la sécurité alimentaire au Nord Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 82, 7449-7459.
- [9] Malaa, D., Simo, B.R., Agboh-Noameshie, A.R., Jaff, A.B., Mouafor, B.I., Mfouapon, A., and Woin, N. (2017). Caractéristiques Biophysiques Préférées dans le Riz par Genre au Cameroun. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20(4), 1099-1106.
- [10] JICA. (2021). Analyse de la Compétitivité du Riz Local par Rapport au Riz Importé Cameroun. In *Enquête pour la collecte de données sur les programmes liés au riz dans les pays membres de la CARD*. Rapport final. Agence japonaise de coopération internationale : NTC International Co., Ltd. : RECS International Inc., 2021. 8, Annexe A. 25p.
- [11] Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., et Harrington, L. (2022). Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. *Environmental Research: Climate*, 1(1), 012001.
- [12] Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlík, P., Ahammad, H., Deryng, D., ... & Willenbockel, D. (2014). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 111(9), 3274-3279.
- [13] Stige, L. C., Stave, J., Chan, K. S., Ciannelli, L., Pettorelli, N., Glantz, M., ... & Stenseth, N. C. (2006). The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(9), 3049-3053.
- [14] Wollburg, P., Markhof, Y., Bentze, T., & Ponzini, G. (2024). Substantial impacts of climate shocks in African smallholder agriculture. *Nature sustainability*, 7(11), 1525-1534.
- [15] Gorst, A., Groom, B., Dehlavi, A. (2015). Crop productivity and adaptation to climate change in Pakistan. *Environment and Development Economics*, 23(6), 679-701.
- [16] Jalloh, A., Nelson, G.C., Thomas, T.S., Zougmore R., Roy-Macauley, H. (2010). *West African Agriculture and Climate Change: A Comprehensive Analysis*. Washington, DC International Food Policy Research Institute (IFPRI), 408 p.
- [17] Dancette, C. and Hall, A. E. (1983). Agroclimatology applied to water management in the Sudanian and Sahelian zones of Africa. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 22(1), 8-26.
- [18] Hansen, J.W., (2002). Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agricultural Systems*, 74, 309-330.
- [19] Barbier, B., Yacouba, H., Karambiri, H., Zorome, M., Some, B. (2009). Human vulnerability to climate variability in the Sahel: Farmer's adaptation strategies in Northern Burkina Faso. *Environmental Management*, 43: 790-803.
- [20] Shalizi, Z., Lecocq, F. (2009). To Mitigate or to Adapt: Is that the Question? Observations on an Appropriate Response to the Climate Change Challenge to Development Strategies. *Oxford University Press*, 25, 295-321.
- [21] GIEC (2014). *Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Suisse-Genève : organisation de la météorologie mondiale-programme des Nations Unies pour l'environnement (OMM-PNUe), 116 p.
- [22] Assane, B. (2021). Améliorer la productivité rizicole sous changement climatique au Sénégal : quelles stratégies d'adaptation ?, *Économie rurale* [En ligne], 377 | juillet-septembre, mis en ligne le 04 janvier 2023, consulté le 04 octobre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/9228> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/economierurale.9228>
- [23] Hallegatte, S., Lecocq, F., De-Perthuis, C. (2010). *Économie de l'adaptation au changement climatique*. Rapport du Conseil économique pour le développement durable, Paris, 90 p.

- [24] Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A. & Hegewisch, K. C. (2018) TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Sci. Data* 5:170191. doi: 10.1038/sdata.2017.191.
- [25] Amon, O.H., Dibi-Anoh, P.A. et N'da, K.C. (2021). *Exploitation des données CHIRPS et TERRACLIMATE pour l'étude des pluies urbaines sur le district autonome d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*. Éditions Francophones Universitaires d'Afrique, 30p.
- [26] Hanchane, M., Kessabi, R., Krakauer, N.Y., Sadiki, A., El Kassoui, J., Aboubi, I. (2023). Performance Evaluation of TerraClimate Monthly Rainfall Data after Bias Correction in the Fes-Meknes Region (Morocco). *Climate*, 11(6), 1-14. <http://doi.org/10.3390/cli11060120>
- [27] Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
- [28] Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods (4<sup>th</sup> ed.)*. Charles Griffin, London. 202p.
- [29] Lamb, P. J. (1982). Persistence of subsaharan drought. *Nature*, 299 (5878), 46-48.
- [30] Nicholson, S. E. (1981). Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in West Africa. *Monthly Weather Review*, 109 (10), 2191-2208.
- [31] Erpicum, M., Binard, M., Peters, J.P. et Alexandre, J. (1988). Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (Exemples pris au Sénégal). In Erpicum M. (Ed), *Actes des journées de climatologie*. (Mont-Rigi, Belgique, 5-7 novembre 1987), Presses Universitaires de Liège, 43-56.
- [32] Sivakumar MVK. (1988) Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric For Meteorol*, 42: 295-305.
- [33] Alhassane, A., Salack, S., Ly, M.S., Lona, I., Traoré S.B. et Sarr, B. (2013). Évolution des risques agroclimatologiques associés aux tendances récentes du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. *Revue Sécheresse* 2(4) : 282-293. DOI : <http://doi.org/10.1684/sec.2013.0400>
- [34] Boukhaly Traore, V., Lamine Ndiaye, M., Malomar, G., Sarr, J., Chedikh Beye, A., Tahirou Diaw, A. (2017). KhronoStat Model as Statistical Analysis Tools in Low Casamance River Basin, Senegal. *World Environment*, 7(1), 10-22. <http://doi.org/10.5923/j.env.20170701.02>
- [35] Tucker, C.J. Dregne, H.E. and Newcomb, W.W. (1991). Expansion and Contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253(5017) 1982 – 1984.
- [36] Sarr, A., Zorome, M., Seidou, O., Bryant, C.R. and Gachon, P. (2013). Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal-A change point approach. *J. Hydrol.*, (55) 326 - 334.
- [37] Nicholson, S.E. (2018). Assessing recovery and change in West Africa's rainfall regime from a 161-year record. *International Journal of Climatology*, 38(10), 3777-3796.
- [38] Ozer, P., Hountondji, Y-C., Niang, A.J., Karimoune, S., Laminou, M.O. et Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel : historique et perspectives. *BSGLg*, (54), 69-84.
- [39] Ly, M., Traore, S.B., Alhassane, A. and Sarr, B. (2013). Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel. *Weather Clim. Extrem.*, (1), 19-25.
- [40] Lebel, T. and Ali, A. (2009). Recent trends in Central and western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology*, 375(1-2), 52-64.
- [41] Ahidjo, P. (2019). Les Inondations Dans La Vallée Du Logone : Enjeux Humanitaires Autour D'un Phénomène Écologique complexe. *International Journal of Current Advanced Research*, 08(02), 17547 17552. DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2019.17552.3333>
- [42] D'Ercole, R. (2014). Vulnérabilité : vers un concept opérationnel ? *Conférence invitée, Colloque international « Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion »*, Brest, Institut Universitaire Européen de la Mer (3-4 juillet 2014), 33p.
- [43] Sambo, A. (2013). Perceptions locales et pratiques d'adaptation au changement climatique dans la gestion rationnelle des ressources en eau du Lac Tchad. *Geo-Eco-Trop.*, 37(2), 293-302.
- [44] Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Glob Environ Change*. 16(3), 268–281. <http://doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- [45] N'Guessan, M.J.J.S. et Koffie-Bikpo, C.Y. (2025). Impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements des cultures vivrières dans la région du Folon (Côte d'Ivoire). *Revue-IRS*. 3(4), 3478-3491. <http://doi.org/10.5281/zenodo.15869462>
- [46] Ndiaye, T.M.N. (2020). La variabilité pluviométrique, une pression supplémentaire sur les systèmes de production vivrière : cas de la riziculture inondée dans le département d'Oussouye, Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 16(1), 1-10.
- [47] Hinnou, C.L., Aniambossou, M., Houessionon, P., Adjovi, R.A., & Mongbo, L. (2018). Déterminants socio-économiques de l'adoption des technologies améliorées du riz local diffusées à l'une des plateformes d'innovation au Centre Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 83, 55–72.
- [48] Hermans, F., Sartas, M., Van Schagen, B., Van Asten, P., & Schut, M. (2017). Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PLOS ONE*, 12(12), e0169634.