

## BAISSE DE LA PLUVIOMÉTRIE ET PRODUCTION DU SORGHO DANS LE BASSIN CÉRÉALIER D'ATI (TCHAD)

**Mahamat Brahim NOURADINE**

*Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Département d'Aménagement du Territoire*  
[mahamatbrahim66@yahoo.com](mailto:mahamatbrahim66@yahoo.com)

**Vincent MOUTEDE-MADJI**, *Université de N'Djaména, Département de*  
*Géographie, [moutedevincent@gmail.com](mailto:moutedevincent@gmail.com)*

**Brahim Abakar MOUSSA**, *Université de N'Djaména, Département de Géographie,*  
[brabimamk93@gmail.com](mailto:brabimamk93@gmail.com)

### Résumé

L'activité agricole occupe une place centrale dans l'économie des ménages du bassin céréalier d'Ati, située dans la province du Batha, au centre du Tchad. Laquelle activité entretient une étroite dépendance à l'égard du climat qui, depuis quelques décennies subit des bouleversements profonds. La présente étude vise à analyser les effets de la baisse de la pluviométrie sur la production du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati. L'étude s'est appuyée sur les données pluviométriques produites par la station climatologique de l'Aéroport d'Ati et les statistiques agricoles fournies par la Direction des Statistiques Agricoles couvrant la période 2014-2024. Les données démographiques utilisées proviennent de l'INSEED, issues du RGPH2 organisé en 2009. Un univers d'enquête de 143 ménages répartis dans trois villages a été enquêté, suivant la technique d'échantillonnage aléatoire systématique aux pas de trois. Les conclusions révèlent une forte concentration des précipitations entre juillet et août (80%), l'Indice Pluviométrique Standardisé et l'Indice de Pluviosité donnent trois années humides et huit autres sèches, la courbe de tendance pluviométrique est à la baisse et un coefficient de régression faible ( $R^2 = 0,5$ ). La moyenne de la production est de 0,52 t/ha. Le rapprochement entre la pluie et la production affiche un coefficient négatif ( $r = - 0,33$ ) et celui établi entre l'IPS et l'IPA présente trois couples d'années (2019, 2020, 2023) qui s'épousent parfaitement. La modification des calendriers agricoles, l'introduction des variétés à cycle court et la reprise de semis sont entre autres ; les stratégies d'adaptation développées par les paysans dudit bassin agricole.

**Mots-clés** : *Baisse de la pluviométrie, impact, production du sorgho, bassin céréalier d'Ati, Batha*

## DECLINE IN RAINFALL AND SORGHUM PRODUCTION IN THE ATI GRAIN BASIN (CHAD)

### Abstract

Agriculture plays a central role in the economy of households in the Ati cereal-growing region, located in Batha Province in central Chad. This activity is highly dependent on the climate, which has undergone profound changes in recent

decades. This study aims to analyse the effects of declining rainfall on sorghum production in the Ati cereal-growing region. The study was based on rainfall data produced by the Ati Airport weather station and agricultural statistics provided by the Directorate of Agricultural Statistics covering the period 2014-2024. The demographic data used comes from INSEED, based on the RGPH2 organised in 2009. A survey universe of 143 households in three villages was surveyed, using a systematic random sampling technique in steps of three. The findings reveal a high concentration of rainfall between July and August (80%), with the Standardised Rainfall Index and the Rainfall Index showing three wet years and eight dry years, a downward trend in rainfall and a low regression coefficient ( $R^2 = 0.5$ ). Average production is 0.52 t/ha. The correlation between rainfall and production shows a negative coefficient ( $r = -0.33$ ), and the correlation between the IPS and the IPA shows three pairs of years (2019, 2020, 2023) that match perfectly. Modifying agricultural calendars, introducing short-cycle varieties and resuming sowing are among the adaptation strategies developed by farmers in this agricultural basin.

**Keywords:** *Decline in rainfall, impact, sorghum production, Ati grain basin, Batha*

## Introduction

Jouissant d'un immense territoire (1 284 000 Km<sup>2</sup>), le Tchad se situe en plein cœur de la bande sahélienne. De ce fait, il est largement concerné par la situation du dérèglement climatique, car les deux tiers de sa superficie se trouvent dans la partie où le climat connaît une grande variabilité pluviométrique, se traduisant par une forte sécheresse depuis les années 1970 (L. Traoré et al., 2013, p.165 ; N. Mahamat Brahim, 2023, p.2). L'irrégularité des pluies et l'instabilité des saisons agricoles constituent quelques-uns des multiples indicateurs du changement climatique actuel dans cette région. Au Tchad, à l'instar de nombreux pays où la sécurité alimentaire prend appui sur l'agriculture pluviale, les effets du changement climatique demeurent une préoccupation majeure, d'autant plus qu'il existe une forte corrélation entre sécheresses et famines et, de plus en plus, entre inondations et déficits céréaliers (Banque Mondiale, 2014). La relation entre la pluie et la production agricole est complexe et non univoque car une année pluvieuse n'implique pas systématiquement une bonne moisson agricole et vice versa (F. Adama et al., 2018, p.301). Celle-ci est fonction de la répartition dans le temps et dans l'espace des pluies et de leurs caractéristiques (hauteur, intensité), en plus des facteurs sociaux, environnementaux, etc. Durant ces dernières années, les pluies se sont caractérisées par une forte variabilité spatio-temporelle au Tchad, du fait de l'intermittence et de la modification des caractéristiques des systèmes précipitants convectifs et par une intensification des pluies. Ces comportements pluviométriques ne sont pas sans incidences sur les productions agricoles à travers le décalage entre le début de la saison des pluies et la date de semis réussi (G.S Romain et al., 2016, p.52 ; N. Mahamat Brahim, 2023, p.199), l'exacerbation de stress hydrique au cours de la croissance des cultures, le raccourcissement des

saisons pluvieuses et la baisse des rendements (L. Traoré et al., 2013, p.166). D'où une fréquence des déficits céréaliers. Ces facteurs limitants de production font que le retour de la pluviosité observée depuis les années 1990 est, soit non perçu par les acteurs locaux, soit de peu d'intérêts agronomiques. En fin de compte, les difficultés de l'agriculture pluviale restent aussi pendantes que lors des périodes de sécheresse des années 70 et 90 (G.S Romain et B. Laohoté, 2015, p.94) et place les populations au premier plan face aux risques climatiques. Afin de minimiser ces risques, plusieurs tentatives de réorientation des politiques agricoles ont été initiées par l'Etat Tchadien et ses partenaires au développement, à travers notamment la réalisation des ouvrages de mobilisation des eaux et la promotion des cultures irriguées. Relativement à cette situation, il est hautement nécessaire d'évaluer l'impact du changement climatique sur les rendements de principales céréales pluviales cultivées au Tchad afin de pouvoir identifier le degré de perte et les capacités d'augmentations de la production agricole pour subvenir aux besoins de la population du pays en rapport avec les tendances actuelles et futures du climat. C'est dans cette optique que la présente réflexion s'articule autour des effets de la dégradation de la pluviométrie sur la production du sorgho cultivé au Batha. Fondamentalement, l'étude vise à évaluer les variations des productions sous l'emprise de la variabilité pluviométrique dans le bassin céréalier d'Ati.

## **1. Méthodes de recherche**

La conduite de ces travaux de recherche a nécessité une panoplie des méthodes méticuleuses afin de collecter des données dont la fiabilité est moins reprochable pour l'atteinte des objectifs fixés. La démarche méthodologique a pris appui sur une enquête menée auprès d'un échantillon de trois (03) villages choisis dans le bassin céréalier d'Ati. Le choix desdits villages n'est pas fortuit, ils font partie des bassins de production des céréales en l'occurrence le sorgho, dans la province du Batha. Ainsi, l'approche hypothético-déductive a été mobilisée dans le cadre de la présente étude.

### **1.1. Collecte des données secondaires**

Pour parfaire ce travail, des documents physiques et digitaux ont été feuilletés. Il s'agit notamment de la littérature grise (thèses, articles, mémoires, rapports), des ouvrages et des rapports d'activités des services déconcentrés. Les structures fréquentées étaient entre autres ; les archives des bibliothèques des villes d'Ati et de N'Djamena, du Centre d'Etude et de Formation pour la Développement (CEFOD), du Centre National de la Recherche et de Développement (CNRD), du Ministère de l'Agriculture et de la production animale ainsi que de l'Agence Nationale pour le Développement Rural (ANADER). Les données pluviométriques de 2014 à 2024, ont été obtenues à la station climatologique de l'Aéroport d'Ati, celles des productions céréalières ont été mises à notre disposition par la Délégation Provinciale de l'Agriculture du Batha et l'Antenne de l'ANADER siégeant à Ati.

## **1.2. Collecte des données primaires**

### **1.2.1. Observation directe**

Cette méthode nous a donné l'occasion d'entrer directement en contact avec le terrain. Explicitement, la descente sur le terrain était un moment idéal qui nous a permis d'observer et de constater de visu le paysage de notre terrain de recherche et les différentes activités qui s'effectuent. Un état des lieux nous a permis de toucher du doigt la réalité du phénomène. Nous avons aussi réalisé quelques illustrations photographiques.

### **1.2.2. Enquête par questionnaire et entretien**

Les déroulements de ces opérations nous ont permis de collecter des données auprès des ménages, pris comme étant unités d'enquête et auprès des responsables/autorités capables de nous livrer des informations pertinentes et pointues relatives à notre thème de recherche. Pour ce faire, des questionnaires d'enquête et des guides d'entretiens ont été administrés. Ils sont constitués des questions fermées, ouvertes et à choix à éventail. Cet exercice a été complété par l'organisation de focus groups, une méthode qui nous a permis de collecter in situ, en un temps record autant d'informations.

### **1.2.3. Échantillonnage et échantillon**

A travers cette étude, l'idéal était de mener une enquête exhaustive, c'est-à-dire soumettre l'ensemble des ménages résidents dans les différents villages que regorge le bassin céréalière d'Ati. Pratiquement, cette opération a été jugée ardue et exige autant des moyens financiers et humains. Partant, l'obligation de déterminer un échantillon représentatif s'est imposée. C'est une étape basique et cruciale dans le processus de la recherche scientifique. A cet effet, les résultats issus du RGPH<sub>2</sub>, organisé par l'Institut National de Statistique, des Études Économique et Démographique (INSEED) en 2009 ont servi de base. C'est dire que nous avons utilisé l'approche non probabiliste pour déterminer l'échantillon d'enquête. Il résulte donc du recensement que les trois (03) les villages enquêtés que sont Alay, Birny et Mankallah ont enregistré respectivement 140, 656 et 178 ménages, soit un total de 974. Projetés en 2020, ces chiffres ont donné par ordre 206, 964 et 262, soit un total de 1432 ménages. La Méthode d'Échantillonnage Aléatoire Simple (MEAS) a été utilisée pour déterminer l'univers de l'enquête dont la formule suit :  $f = n/N$ , où  $f$  est le pas de sondage,  $n$  correspond au nombre total des ménages tirés dans la base des données et  $N$  est la taille d'échantillon de cette étude. C'est suivant cette démarche que l'effectif total des ménages à interroger a été obtenu. La structuration de l'habitat, la représentativité et la forte productivité en céréales justifient les critères de choix des villages susmentionnés. En appliquant la formule, les villages sont symbolisés par  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$ . Le  $f_1$  correspond au village Alay, le  $f_2$  à Birny et le  $f_3$  à Mankallah.

A cet effet, pour un échantillonnage de 10% de la population-mère des ménages du village Alay, nous avons retenu 21 ménages, correspondant aux pas de

sondage, en application de  $f1 = 206/10$ . Suivant la même logique, Birny nous avons eu 96 et à Mankallah 26 ménages. De façon cumulative, les trois villages totalisent un échantillon de 143 ménages (Tableau I).

**Tableau I. Répartition des ménages enquêtés par village dans le bassin céréalier d'Ati**

N°	Villages enquêtés	Nombre de ménages		Taille de l'échantillon (2020)
		2009	2020	
01	Alay	140	206	21
02	Birny	656	964	96
03	Mankallah	178	262	26
TOTAL		974	1432	143

*Source : INSEED, 2009, estimations 2020*

Afin de parvenir à un échantillon espacé et une bonne couverture de la base d'échantillonnage (Gumuchian et Marois, 2000), la technique d'échantillonnage aléatoire systématique au pas de trois (03) a été retenue pour la sélection des unités d'enquête (ménages) et le déroulement de l'enquête.

### 1.3. Traitement et analyse des questionnaires

Préalablement, toutes les informations recueillies auprès des enquêtés ont été dépouillées manuellement. Leur traitement a été fait manuellement et numériquement. Premièrement, il a été question pour nous d'essayer de trier les informations regroupées en fonction des variables et indicateurs constituant notre travail. Ensuite, nous avons créé une base de données sur Excel. Cette base des données a servi de support pour le stockage des données obtenues à l'aide du questionnaire d'enquête. En fonction de nos variables et indicateurs recherchés, nous avons formulé des requêtes dont les résultats ont été traités et générés sous formes de statistiques simples, des tableaux et des figures (graphiques). Il en ressort de ces démarches une appréhension systématique des données et l'illustration des résultats trouvés.

### 1.4. Traitement et analyse des entretiens

Les données collectées par le canal des entretiens ont été aussi traitées et analysées. A cet effet, deux étapes importantes ont marqué ce travail à savoir ; la transcription des enregistrements audio et le décryptage des textes. La première tâche a consisté en la conversion des documents audio en documents texte, avant qu'ils ne soient analysés et la seconde a consisté à ressortir les parties saillantes des documents. En vue de rendre exploitable et consommable les données découlant des entretiens, nous les avons rassemblées selon les grandes rubriques et les thématiques qui ont constitué les guides d'entretiens. Au total, quatre (04) entretiens ont lieu.

## 1.5. Traitement et analyse des données pluviométriques

### 1.5.1. Choix d'une loi statistique de distribution

Dans le cadre de cette étude, les données pluviométriques mobilisées proviennent de la station climatologique implantée au niveau de l'Aéroport d'Ati. Explicitement, il s'agit des données annuelles et mensuelles dont le traitement a été rendu possible grâce au tableau Excel et à la commande Hydrolab.01.1 associée à l'Excel version 1993 à 2003. En prélude à chaque analyse, lesdites données ont été soumises à des lois. Lesquelles lois nous renseignent sur leur ajustement ou non à telles ou telles autres pluies. Suite à quoi, les données sont soumises à une analyse et à une exploitation.

Autant que les précipitations annuelles, celles mensuelles du domaine sahélien s'ajustent mieux à la loi normale. Appelée aussi loi de Gauss, la loi normale est symétrique tandis que la loi racine-normale est dissymétrique. Ainsi donc, l'expression mathématique de la loi normale suit :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} ;$$

U variable réduite de Gauss est égal à :  $u = \frac{\sqrt{x} - \overline{\sqrt{x}}}{\sigma \cdot \sqrt{x}}$  ;

$\overline{\sqrt{x}}$  = la moyenne des racines carrées de la série ;

$\sigma \cdot \sqrt{x}$  = écart-type de racines carrées de la série.

Dans la pratique, une base des données a été créée sur le tableur Excel, version 1993 à 2003. Sur cette version, la Commande Hydrolab .01.1 a été greffée. A chaque fois, une requête est formulée, générant ainsi la droite théorique et des paramètres statistiques, notamment la moyenne, l'écart-type, la variance, les bornes de la série, etc.

### 1.5.2. Indice Pluviométrique Standardisé (Anomalies centrée-réduites)

Comme sus-annoncé, à partir de l'écart-type, les anomalies centrée-réduites pluviométriques interannuelles ont été calculées en standardisant les données. Ainsi donc, la formule ci-après a été appliquée afin d'apprécier les anomalies de chaque poste pluviométrique du site d'étude :

$$X_i' = \frac{X_i - \overline{X}}{\sigma(X)}$$

$X_i'$  étant l'anomalie centrée réduite pour l'année  $i$ ,  $X_i$  la valeur de la variable,  $\overline{X}$  la moyenne de la série et  $\sigma(X)$  l'écart-type de la série. Le calcul de l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) est indispensable car, il rend compte de la sévérité de la sécheresse selon les différentes classes. Les valeurs de ces différentes classes déterminées ont contribué à la caractérisation de la tendance pluviométrique dans le bassin céréalier d'Ati comme le spécifie le Tableau II.

**Tableau II. Classification de l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS)**

H. extrême	H. forte	H. modérée	S. modérée	S. forte	S. extrême
IPS > 2	1 IPS < 2	0 IPS < 1	-1 IPS < 0	-2 IPS < -1	IPS < -2

Source : OMM, 2012

Le Tableau II présente la classification de l'indice de Nicholson, sur la base duquel, la détermination du degré de la sécheresse a été possible à l'échelle cantonale et aux niveaux des stations. Il comprend six (6) différentes classes dont chaque classe est associée à un indice montrant le degré de la sécheresse.

Indice de pluviosité (IP)

L'indice de pluviosité fournit une appréciation globale sur l'état et l'évolution de la pluviométrie. Il est obtenu en faisant le rapport de la hauteur de précipitations d'une année  $P_i$  à la moyenne annuelle des pluies  $P$  de la série. La formulation mathématique est la suivante :

$$IP = \frac{P_i}{P}$$

Si le résultat de ce rapport est supérieur à 1, l'année est humide ; s'il est inférieur à 1, l'année est sèche. L'avantage de cet indice réside sur le fait qu'il affiche les grandes tendances en excluant les faibles variations internes de la variable, tel que l'indice de pluviosité du bassin céréalier d'Ati le présente (Figure 5).

#### **1.6. Instruments mobilisés pour la collecte et le traitement des données**

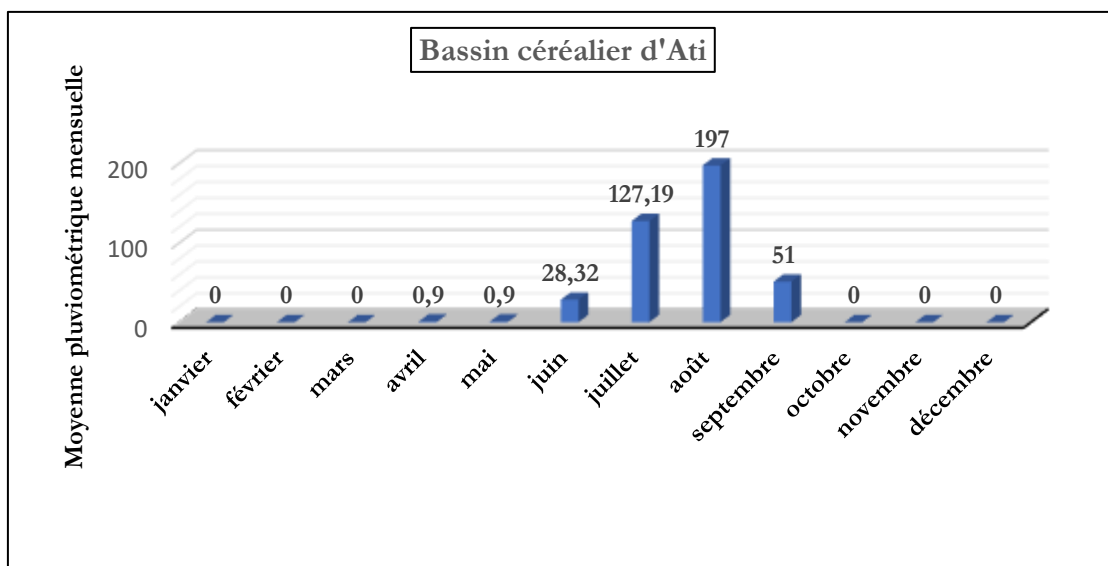
Le recueil des informations sur le site de recherche a été fait à l'aide des outils que sont les fiches d'enquête et les guides d'entretien. Pour la même cause, des logiciels et une commande ont été utilisés. Il s'agit notamment de Word pour la saisie et le traitement du texte, de tableur Excel pour réaliser des graphiques et calculer des paramètres statistiques. De plus, un appareil photographique numérique incorporé dans smart phone nous a permis de filmer les différents éléments illustratifs pour l'étude et un Global Positionning System (GPS) incorporé dans l'appareil téléphonique pour relever les coordonnées géographiques des différents villages ayant servi des cadres d'enquête.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Mise en évidence de la variabilité pluviométrique

#### 2.1.1. Forte concentration des pluies abondantes au milieu de la saison

La grande partie de la pluviométrie est enregistrée au coeur de la saison. Cet état des choses obéit aux mécanismes pluviométriques dominés par la montée en été et la descente en hiver de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Le rythme pluviométrique est marqué par une période de forte activité qui se situe au centre de l'été (juillet-août) malgré la dénomination hivernale qu'on lui donne. Les histogrammes des pluies moyennes mensuelles calculées sur période de onze (11) ans, allant de 2014 à 2024 (Figure 1) illustrent bien ce fait.



Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

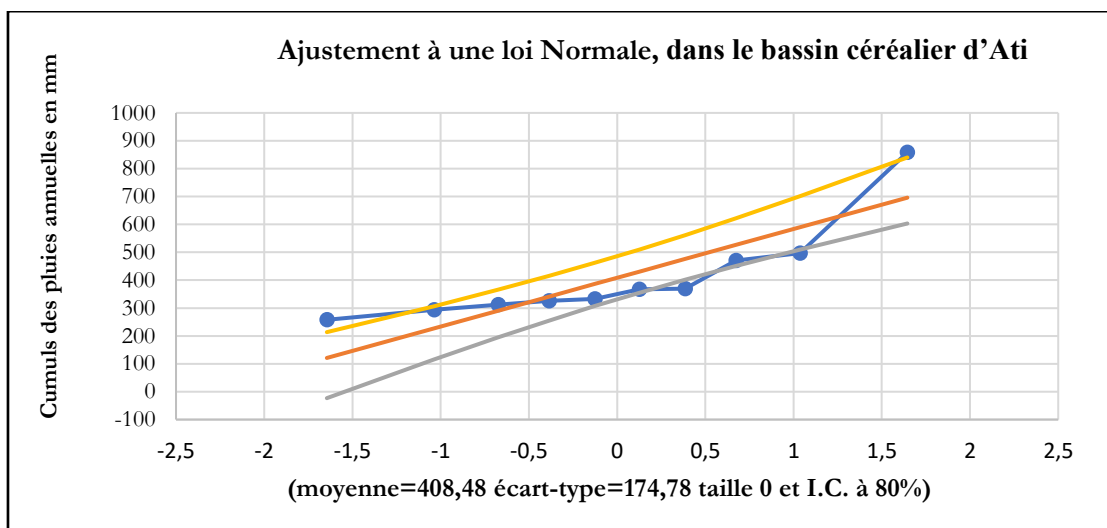
#### Figure 1. Répartition annuelle des pluies dans le bassin céréalier d'Ati

Il est établi que 80% (324,19 mm) du volume de pluies enregistrées durant la saison pluvieuse tombent en mois de juillet et août, tel que l'indique la figure 1. Ce poids pluviométrique de ces deux (02) mois est plus déterminant dans la répartition pluviométrique mensuelle. Une telle concentration de pluies n'est pas sans effets sur les cultures, particulièrement sur le sorgho, une plante hydrophyte aux besoins assez élevés en eau.

### 2.1.2. Analyse de la variabilité pluviométrique au pas annuel

#### 2.1.2.1. Choix d'une loi statistique de distribution

L'ajustement des pluies annuelles à une loi statistique de distribution est une étape cruciale en climatologie. Elle a permis d'apprécier au mieux le type de loi statistique qui ajuste parfaitement avec les précipitations annuelles. Pour les pluies annuelles de la bande sahéenne, l'ajustement est beaucoup adéquat avec la loi normale, comme le montre la figure 2.



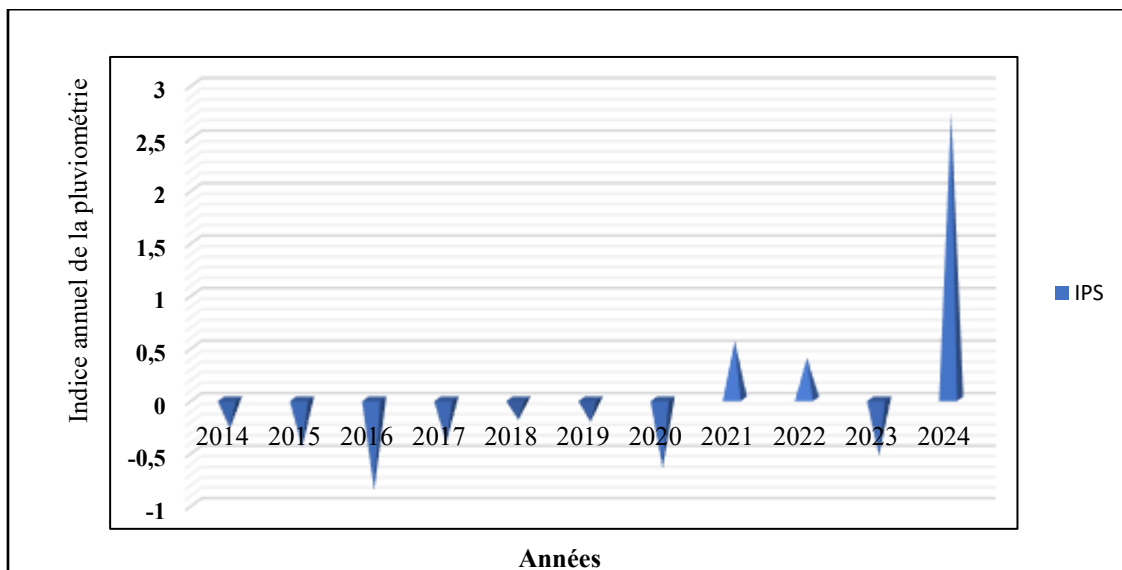
**Figure 2. Ajustement des pluies annuelles à la loi normale dans le bassin céréalier d'Ati**

Il ressort de l'analyse de la figure 2 que l'alignement des points est approximatif. La droite théorique de cette loi se raccorde aux points expérimentaux. L'intersection avec la fréquence 50 %, soit  $u = 0$  correspond à la valeur moyenne ou la médiane. L'ajustement à cette loi rend possible la détermination d'autres paramètres pluviométriques.

### 2.1.3. Variation interannuelle des pluies dans le bassin céréalier d'Ati

Pour mieux distinguer les années ou décades sèches de celles qui sont humides, il paraît indispensable de mettre en application l'indice de Nicholson, qui est une variable centrée réduite de Gauss sur les hauteurs des pluies précitées annuellement en appliquant la formule sus-évoquée.

Ainsi donc, si l'indice donne une valeur positive, cela signifie que l'année est excédentaire et la valeur négative traduit le déficit de l'année. IPS a été calculé pour chaque année dans chaque station avant de ramener les résultats aux moyennes annuelles (Figure 3).



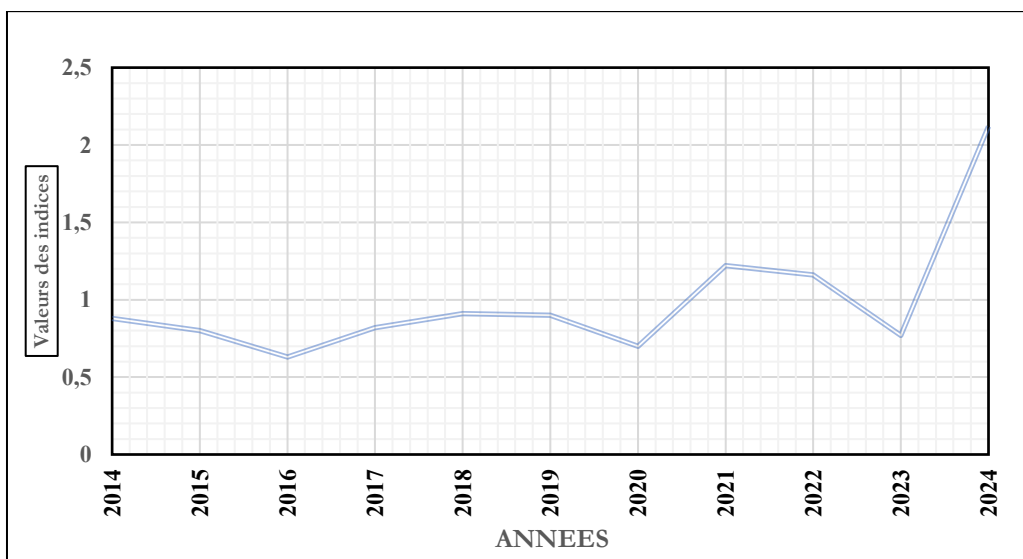
Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

**Figure 3. Indices de variation des pluies à l'échelle annuelle**

La Figure 3 met en relief la variation interannuelle de la pluviométrie dans le bassin céréalier d'Ati. Il se dégage une disproportion notable entre les années sèches et les années humides. Au fait, 08 années sur 11 observées se sont révélées sèches et les 08 autres humides. Parmi les années sèches, l'année 2016 s'est comportée spécifiquement drastique avec un indice de -0,87, Elle est talonnée des années 2020 (-0,66) et 2023 (-0,54). Ces quatre années ayant marqué le paroxysme de la sécheresse de ces dernières décennies au sahel n'ont point épargné la plaine d'Ati, au centre du Tchad. Pour ce qui est des années humides, l'année 2024 détient le pic avec un indice de 2,72. L'année 2021, avec 0,55 seconde de loin l'année la plus excédentaire. Dans l'ensemble, les années déficitaires présentent des indices disparates avec parfois des écarts significatifs ce qui certifie leur dissemblance. Il en est de même des années humides. Cette situation reflète bien l'image réelle du caractère complexe du climat sahélien (Figure 3).

## 2.2. Détermination de l'indice de pluviosité dans le bassin céréalier d'Ati

L'Indice de pluviosité (IP) est le second indicateur calculé en vue d'apprécier la variabilité des pluies dans le bassin céréalier d'Ati. Contraire à l'Indice pluviométrique Standardisé (IPS), l'Indice de Pluviosité s'intéresse uniquement aux grandes tendances pluviométriques, en excluant les faibles variations internes de la variable, telle est la situation présentée par le bassin céréalier d'Ati (Figure 4).



Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

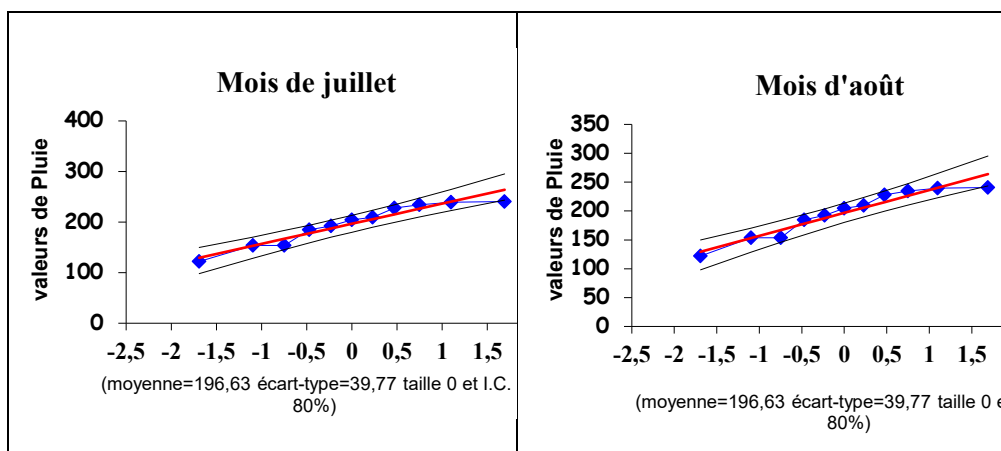
**Figure 4. Indice de pluviosité du bassin céréalier d'Ati**

Vu l'allure de la courbe de la figure 4, nous pouvons aisément affirmer sans risque de se tromper que la pluviométrie interannuelle dans le bassin céréalier d'Ati est fortement variable. Grossièrement, le tableau d'indice de pluviosité ressort trois (03) années (2021, 2022, 2024) humides parce qu'ayant des valeurs supérieures à 1 et huit (08) autres sèches. Singulièrement, avec 2,12, l'année 2024 détient le record de l'humidité et l'année 2016 (0,63) celui de la sécheresse. Cette situation globale ne peut que confirmer la situation ci-haut analysée des IPS.

### 2.3. Analyse de la pluviométrie au pas mensuel

#### 2.3.1. Choix d'une loi statistique de distribution

Autant que pour les pluies annuelles, les pluies mensuelles du domaine sahélien s'ajustent mieux à la loi normale. Comme nous l'avons susmentionné, cette loi est très apparentée à celle de Gauss. L'analyse s'est limitée seulement aux mois de juillet et d'août qui sont les plus pluvieux pour la région (Figure 5).



Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

**Figure 5. Ajustement de pluies des mois de juillet et d'août à la loi normale**

Les précipitations des deux mois (juillet et août) de la région, s'ajustent parfaitement à la loi normale, d'après le rapport de la figure 5. En effet, le choix porté sur les deux mois est loin d'être fortuit, il s'agit des mois les plus arrosés de la saison pluvieuse. Pour s'en rendre compte davantage de l'irrégularité des pluies mensuelles, les paramètres statistiques de tendance centrale et de dispersion ont été mis en évidence (Tableau III).

**Tableau III. Précipitations moyennes mensuelles de juillet et août**

Mois	Paramètres statistiques de la pluviométrie		
Juillet	$\bar{p}$ (mm)	$\sigma p$ (mm)	C.V
	127,19	89,28	0,7
Août	$\bar{p}$ (mm)	$\sigma p$ (mm)	C.V
	196,62	39,77	0,20

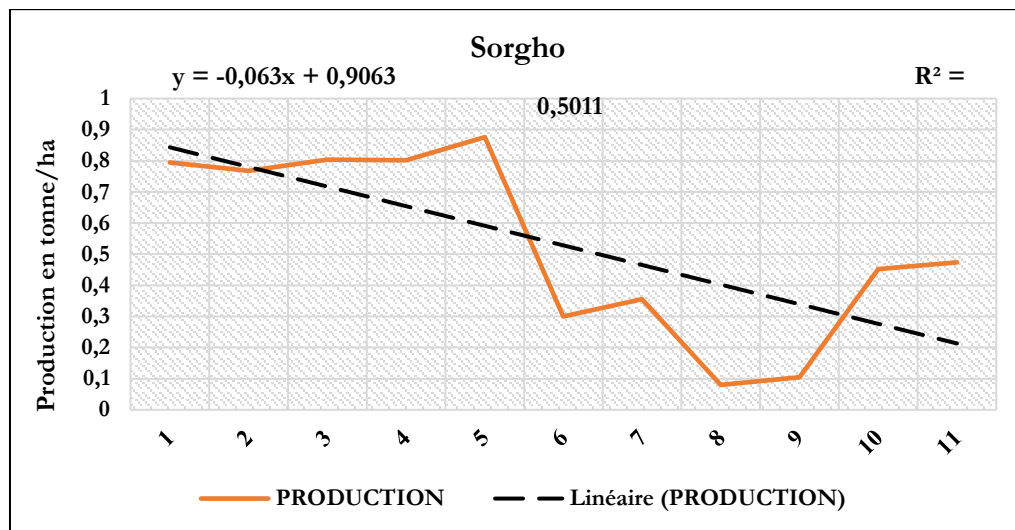
Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

Les fortes variations inter mensuelles des pluies apparaissent à travers les différences importantes de volumes entre les mois, comme le tableau III l'a attesté. En effet, les mois de juillet et août enregistrent de grosses quantités de pluies tandis au détriment des autres mois. Cet état de choses démontre que la saison des pluies démarre tard et prenne fin rapidement. La lecture des coefficients de variation, nous fait constater que la quantité pluviométrique du mois de juillet s'éloigne plus de la moyenne que celle du mois d'août. Bien que les deux mois soient tous deux au cœur de la saison, cependant elles n'ont pas des coefficients de variation identiques.

#### 2.4. Dynamique de la production annuelle du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati

Les campagnes agricoles se suivent mais elles ne ressemblent guère. Elles sont marquées par des campagnes des bonnes récoltes et celles des mauvaises récoltes, autrement dit, par des années déficitaires et rarement des années excédentaires.

Cette situation est largement imputable au rythme des saisons pluvieuses. A quelque exception près, les mauvaises campagnes agricoles trouvent souvent leur explication dans les années pluviométriques médiocres (Figure 6).



Source : DSA, 2024

**Figure 6. Evolution de la production du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati 2014-2024**

L'illustration 6 met en exergue l'évolution de la production du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati durant les onze (11) dernières années (2014 à 2024). De façon globale, il est à observer que la tendance de la production agricole est à la baisse, comme les font observer la courbe de tendance linéaire et le coefficient de régression (0,5). Schématiquement, la courbe présente une allure dessinant des irrégularités, certifiant des années dont les récoltes sont appréciables et d'autres qui ont connu des chutes remarquables. Grossièrement, la série statistique étudiée présente deux extrêmes que sont l'année 2018 (0,87 t/ha) correspondant au seuil de la production et l'année 2021 (0,08 t/ha).

#### 2.4.2. Variabilité pluviométrique et production du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati

La relation entre les précipitations et les plantes, en particulier celles qui sont cultivées est plus qu'une évidence. L'excès tout comme le déficit de la pluviométrie influence inexorablement le cycle de la plante et par voie de conséquence son rendement. Pour se rendre à l'évidence, une corrélation entre les deux (02) variables a été établie. Afin de mieux apprécier cette situation, une synthèse des résultats de régression linéaire simple a été consignée sur le Tableau IV.

**Tableau IV. Résultats de régression linéaire simple entre les pluies et le sorgho**

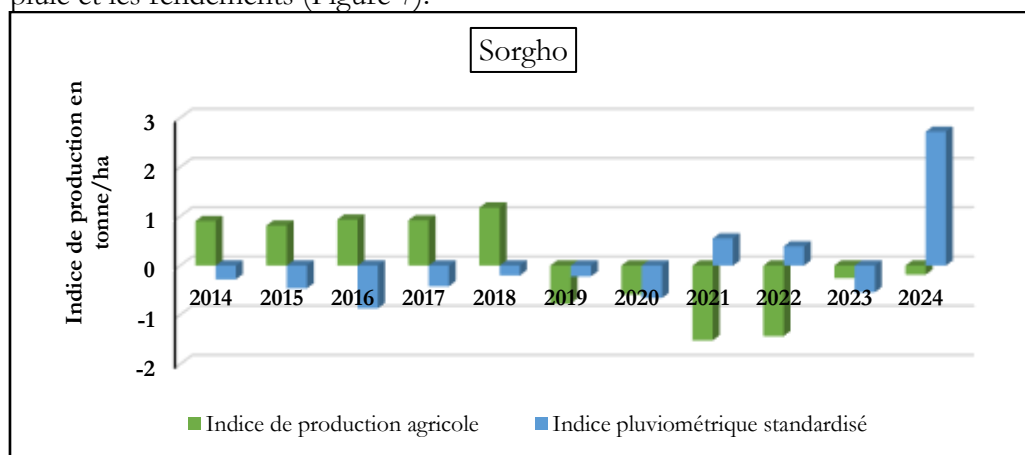
Station	Paramètres/variables	Production (Variable à expliquer)	Pluie (Variable explicative)
Aéroport d'Ati	Moyenne	0,528	404
	Écart-type	0,295	166,53
	Coefficient de corrélation (r)	- 0,331	
	Nombre de couples (n)	11	
	Période	2014-2024	
	Équation de régression	$Y = - 0,000587109X + 0,7653422$	

Source : Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

Le coefficient de corrélation entre les pluies et la production dans le bassin céréalier d'Ati est négatif, donc non significatif. Conformément aux données du tableau 4, le coefficient de corrélation entre les deux paramètres est négatif ( $r = - 0,33$ ). Ces résultats, dénotent donc que la quantité pluviométrique enregistrée annuellement dans cette localité impacte moins la production du sorgho. Cette baisse de la production peut être liée à la répartition spatio-temporelle, aux phénomènes d'inondations et bien d'autres facteurs.

### 2.5. Rapprochement entre les deux indices : IPA et IPS

Pour se saisir davantage des liens entre la pluie et les paramètres agricoles, l'examen des indices offre une vue d'ensemble de ce rapport. Le calcul de l'indice des paramètres agricoles est identique à celui de l'indice pluviométrique standardisé. La représentation graphique des indices permet d'appréhender également les relations qui existent entre la pluie et les productions et/ou entre la pluie et les rendements (Figure 7).



Source : DSA et Relevé de la station climatologique de l'aéroport d'Ati, 2024

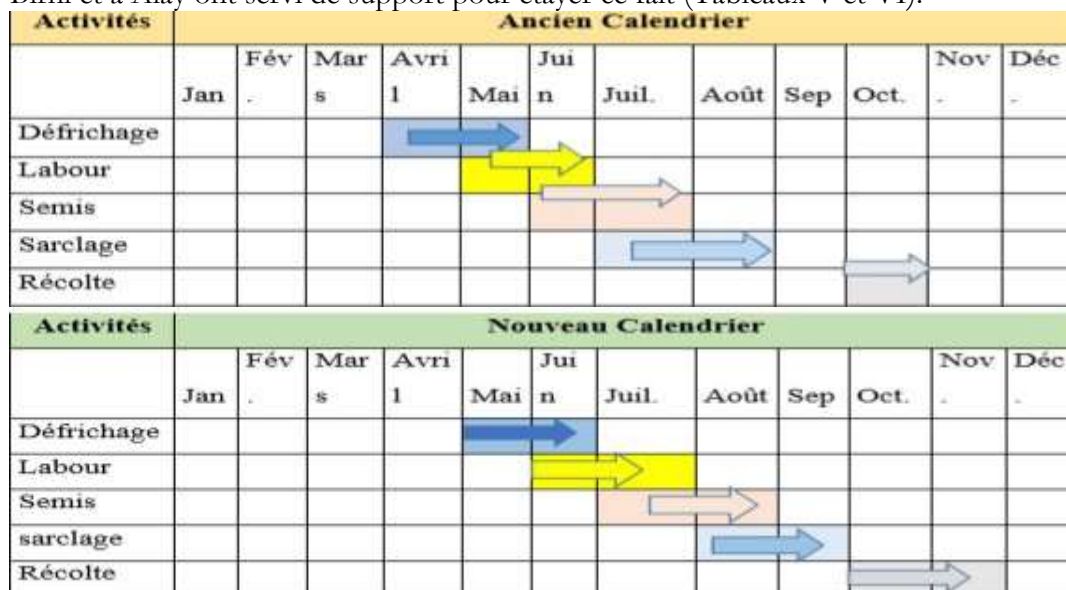
**Figure 7. Évolution de l'indice pluviométrique et de l'indice de la production**

La Figure 7 met simultanément en exergue l'évolution de l'indice pluviométrique annuel et l'indice de la production agricole. A première vue, nous sommes tenté

croire qu'à Indice pluviométrique négatif correspond un indice de production agricole négatif. Cependant, en scrutant la situation de façon isolée, nous nous rendons compte que cette logique ne s'applique pas sur toutes les années. Ainsi donc, les indices des années 2019, 2020 et 2023 s'épousent normalement. En clair, les années précitées affichent des IPS et des IPA négatifs.

## 2.6. Réaménagement des calendriers cultureux dans le bassin céréalier d'Ati

Des modifications profondes dans le calendrier culturel ont été observées dans le bassin céréalier d'Ati. Les activités effectuées subissent une mutation significative d'un mois à un autre où d'une année à une autre. La mise en terre des semences se faisait généralement au mois de juin est décalée au mois de juillet. Avant les dégradations pluviométriques avancées, le mois d'octobre correspondait à la consommation des nouveaux grains, avec le décalage, il faut attendre le mois de novembre ou décembre pour en consommer. Les anciens calendriers cultureux à Birni et à Alay ont servi de support pour étayer ce fait (Tableaux V et VI).



Source : ANADER, 2023

**Figure 8. Présentation du nouveau et ancien calendrier à Birni et Alay**

La Figure 8 transparaît les amendements qu'ont connus les calendriers agricoles ayant affecté les systèmes cultureux dans le bassin céréalier d'Ati. En comparant les deux tableaux, nous constatons qu'autre fois, les travaux champêtres commencent en mois d'avril, mais depuis quelques décennies, ils sont repoussés en mois de mai. La récolte s'effectuait en octobre, conformément à l'ancien calendrier, alors que dans le calendrier récent, la récolte démarre en octobre pour prendre fin en mi-novembre. Cette situation est due au manque de maîtrise des calendriers cultureux par les agriculteurs. 77% des paysans interrogés basculer au nouveau calendrier contre 23% conservateurs. Les fluctuations accentuées des

saisons pluvieuses ont substantiellement perturbé les rythmes habituels des travaux champêtres. Ces fluctuations sont marquées par des installations tardives des saisons de pluies et leurs arrêts précoces. Les situations de faux démarrage des saisons pluvieuses ainsi que leur raccourcissement plongent les cultivateurs à semer autant de fois. Ce qui fait que dans certains domaines champêtres observés, les cultures accusent significativement un retard (photo 1).



*Source : Cliché B.A Moussa, Août 2022*

### **Photo 1. Vue d'une parcelle de sorgho à Mankallah**

A l'avant-plan de l'illustration imagée 1, transparaissent des cultures amorçant le premier cycle de leur croissance végétative, lesquelles se développent sur un sol limono-sableux. Par contre à l'arrière-plan, nous apercevons des plantes sauvages en pleine croissance. Cette situation a contraint les paysans à reprendre les semis par endroit. Pourtant, la photo a été prise en mois d'août, en plein milieu de la saison pluvieuse dans la bande sahéenne, en l'occurrence au village de Mankallah, se trouvant dans le bassin céréalier d'Ati. Une telle évolution compromet sans doute la croissance de la plante et par voie de conséquence son rendement optimal.

### **3. Discussion**

De 2014 à 2024, les cumuls pluviométriques moyens annuels dans le bassin céréalier d'Ati oscillent entre 257,8 mm à 496,8 mm pour la série chronique. Aucune année pluviométrique dans cet intervalle ne coïncide avec les isohyètes 500 à 600 mm/an typiques au domaine sahéen. Ces valeurs englobent celles (300 à 400) obtenues par N. Mahamat Brahim (2023, p.147) dans une étude presque similaire effectuée dans le Canton Assalé, dans la Province de Hadjer El hamis, se trouvant dans la même bande bioclimatique. Exceptionnellement, l'année 2023 a totalisé environ 858,4 mm. La moyenne pluviométrique de cette tranche annuelle est de 404,4 mm, alors que Mbagnik Faye et al. (2018, p.8), dans une étude menée

dans les régions des Terres Neuves du Sénégal Oriental ont obtenu une moyenne de 852,5 mm. De plus, la grande partie de la quantité pluviométrique enregistrée dans cet intervalle se concentre en milieu de la saison (Juillet-Août). Le déficit autant que la mauvaise répartition de la pluviométrie dans le temps et dans l'espace ont des impacts sur les cultures, en particulier le sorgho, une plante aux besoins assez élevés en eau variant entre 350 à 600 mm (CNEV, 2012). Le calcul de l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) a révélé que trois (03) années sur onze (11) sont humides. Ces résultats se convergent avec ceux de B. Lardia Ali et al. (2018, p.267) dans leurs travaux réalisés dans les zones sahéenne et soudano-sahéenne du Burkina Faso entre la période 1980 à 2010 et de ceux auxquels est parvenu N. Mahamat Brahim (2023, p.50) au niveau du Canton Assâléd dans la partie méridionale du Lac Tchad. La dégradation du régime pluviométrique ne se résume pas qu'à la seule quantité, mais également à la qualité. En d'autres termes, sur la bonne répartition spatio-temporelle. Le bassin céréalier d'Ati subit énormément à propos. Certains chercheurs, à l'exemple de B. Lardia Ali et al. (2018, p.271) n'ont pas manqué de souligner cet aspect dans leurs travaux, en parlant de la dispersion des pluies dans le temps. Ces comportements pluviométriques ont influencé négativement la production du sorgho comme l'attestent la droite de tendance et le coefficient de détermination de la production, tel déterminé par D.L.T Mahamadou et al. (2023, p.107) dans les travaux de recherche faits dans les Communes rurales du Niger et I. Hamidine et al. (2021, p.10) dans leurs études déroulées à Dosso, à Maradi ainsi qu'à Zinder. Pourtant, au Sénégal, les niveaux des températures et de précipitation ont influencé positivement les rendements céréaliers, y compris le sorgho (F. Adama, 2018, p. 291). Le coefficient de corrélation ( $r = - 0,33$ ) n'explique pas parfaitement les effets de la dégradation de la pluviométrie sur la production. Cependant, le rapport entre l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) et l'Indice de Production Agricole (IPA) stipule que sur onze (11) années, trois années (2019, 2020, 2023) s'épousent nettement, c'est dire qu'à un IPS négatif, un IPA négatif. Cette situation certifie que la pluviométrie n'est pas entièrement responsable de la baisse du rendement du sorgho, bien qu'elle soit la principale. Afin de transcender cette situation, les cultivateurs essayent réajuster leurs calendriers agricoles et d'orienter leurs choix sur les variétés à cycle court, mais en vain. Étant donné que le sorgho une plante exigeante, la seule connaissance du régime pluviométrique ne suffit pas à expliquer amplement son rendement ou sa production. Des études complémentaires liées à d'autres paramètres climatiques tels que la température, l'humidité, l'évapotranspiration ou même des études pédologiques sont vivement recommandées afin de booster la production.

## **Conclusion**

La dégradation de la pluviométrie dans le bassin céréalier d'Ati est un fait patent. Elle manifestation à travers la mauvaise répartition interannuelle et intra-annuelle, le raccourcissement des saisons pluvieuses dû au démarrage tardif et à l'arrêt

prématuré, des fortes fluctuations des pluies marquées par une alternance entre les années déficitaires et excédentaires et une tendance à la baisse. Ces attitudes des précipitations ont agi négativement sur la production du sorgho. Les paysans se trouvent dans une posture complexe quand il s'agit de maîtriser les calendriers culturels. Le cas des semis à répétition est illustratif. En sus, la corrélation établie entre l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) et celui de la Production Agricole (IPA) est parlante. Cependant, à travers le coefficient de corrélation obtenu, il est à retenir que la variabilité de la pluviométrie est partiellement responsable de la baisse de la production du sorgho dans le bassin céréalier d'Ati. C'est pourquoi, il est envisageable d'étendre les recherches sur d'autres facteurs, notamment les nutriments des sols et les paramètres climatiques restants, ou bien encore sur la même thématique mais des échelles beaucoup plus fines.

### Références bibliographiques

BOUGMA Lardia Ali, Mahamadi, OUEDRAOGO Hamed, SAWADOGO Nerbéwendé, SAWADOGO Mahamadou, BALMA Didier et VERNOOY Ronnie, 2018, « Perceptions paysannes de l'impact du changement climatique sur le mil dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso », *Afrique SCIENCE*, 14(4), pp 264 – 275.

Danièle Clavel, Hélène Guétat-Bernard et Eric Verger, 2022, « Des céréales locales pour la transition climatique et alimentaire. Pratiques paysannes et pratiques féminines sur les sorghos et les mils du sahel sénégalais au Deccan indien », *Revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 22 (1), pp 1-23 ;

DJANGRANG Man-na, KOMBIENI Hervé, AZONANON Fernand et DIONKO Samuel, 2023, *Plan de Développement de la Province du Batha*, Ati, 92 p ;

FAYE Adama, NDIAYE Malick et NDIAYE Abdoulaye, 2018, « L'impact des changements climatiques sur les rendements des principales cultures céréalières au Sénégal », *Revue internationale des économistes de langue française*, Vol. 3 (2), pp 291-301 ;

GOUATAINE SEINGUE Romain et BAOHOUTOU Laohoté, « Mise en évidence de la variabilité pluviométrique sur la plaine du Mayo-kébbi, Sud-ouest du Tchad », *Rev.Ivoir.Sci.Technol.*, 25 (2015) 93-109, pp 93-109 ;

GOUATAINE SEINGUE Romain, 2018, *Effets des variabilités pluviométriques sur les systèmes de culture et adaptation des agriculteurs dans la plaine du Mayo-Kébbi (Sud-Ouest du Tchad)*, Thèse de Doctorat Ph.D, Université de Maroua au Cameroun, 367 p ;

GOUATAINE SEINGUE Romain, DADOUM DJEKO Magloire et BAOHOUTOU Laohoté, 2016, « Stratégies paysannes d'adaptation face aux risques d'instabilité pluviométriques annuelles dans la plaine du Mayo-kebbi », *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°2, pp. 50-62.

ISSAKA Hamidine, SITOU Lawali, RABE Mahaman Moctar et BOUKARY Baoua Ibrahim, 2021, « Caractérisation des exploitations agricoles familiales

productrices du mil et leur niveau de résilience dans la bande sud du Niger », *Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, Vol. 14 (7), pp 05-16 ;  
L. Traoré, O.D. Bello, B. Balogoun, F. Chabi, M.Y. Issifou, Y. Yabi, E.L. Ahoton et A. Saïdou, 2022, « Variabilité intra-saisonnière des pluies et production du sorgho en zones soudanienne et sahélienne du Mali », *European Scientific Journal*, Vol. 18 (40), pp 161-186.

MAHAMADOU Dan Ladi Tchoho, AGALI Alhassane, SEYDOU Traoré et AGOSSOU Gadedjisso-Tossou, 2023, « Impacts Potentiels du Changement Climatique sur les Rendements du Mil et du Sorgho Cultivés dans les Communes Rurales au Niger », *European Scientific Journal*, ESJ, 19 (36), pp 95-123 ;

Mbagnick Faye, Ababacar Fall, Guilgane Faye et Etienne Van Hecke, 2018, « La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal Oriental », *Revue belge de géographie*, 17 p ;

Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation, 2013, *Plan quinquennal de développement de l'agriculture au Tchad*, République du Tchad/FAO, 58 p ;

Ministère de l'Agriculture, 2015, *Catalogue National des Espèces et des Variétés Végétales (CNEV) au Tchad*, Tchad, 116 p ;

Ministère de l'Environnement, de l'Eau et des Ressources Halieutiques, 2010, *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques (PANATchad)*, N'Djaména/Tchad, 92 p ;

Ministère de la Coopération et du Développement, 1991, *Mémento de l'Agronome*, Paris en France, Collection « Techniques rurales en Afrique », 4<sup>ème</sup> édition, 1641 p ;

NOURADINE Mahamat Brahim, 2023, *Variabilité pluviométrique et production du maïs dans les rives méridionales du Lac Tchad (Canton Assâlé au Tchad)*, Thèse de Doctorat Ph.D, Université de Dschang/Cameroun, 438 p ;

Organisation Mondiale de la Météorologie, 2014, *Guide des pratiques climatologiques*, Genève (Suisse), 152 p ;

République du Niger, 2012, *Catalogue national des espèces et variétés végétales (CNEV)*, Ministère de l'Agriculture, 280 p ;