

INCIDENCES DE LA VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE SUR LE RENDEMENT DU MIL PENICILAIRE DANS LA PLAINE D'ATI (CENTRE DU TCHAD)

Mahamat Brahim NOURADINE

Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Département d'Aménagement du Territoire

Courriel : mahamatbrahim66@yahoo.com

Résumé

L'agriculture occupe une place prépondérante dans la vie économique de la population de la plaine d'Ati, située dans la province du Batha, au centre du Tchad. Cette activité entretient une étroite dépendance vis-à-vis du climat, soumis de plus en plus, à des changements ces derniers temps. Le présent travail, vise à examiner les incidences de la variabilité des pluies sur le rendement du mil dans la plaine d'Ati. L'analyse prend appui sur les données pluviométriques produites par l'Agence Nationale de la Météorologie, les statistiques agricoles provenant de la Direction des Statistiques Agricoles de la période 2000-2020 et les données démographiques issues du Recensement Général de la Population et de l'Habitat organisé en 2009 par l'INSEED. Un échantillon de 143 ménages répartis dans 03 villages a été enquêté. La technique d'échantillonnage aléatoire systématique aux pas de trois (03) a été retenue pour la sélection des ménages et l'opérationnalisation de l'enquête. Les résultats révèlent une concentration de la pluviométrie entre juillet-août (71%). L'indice de Nicholson calculé, donne 12 années sèches et 09 autres humides, avec une tendance pluviométrique à la hausse, comme l'indique le coefficient de régression (a). Ces comportements des pluies ont influencé négativement le rendement du mil, comme le signifient la droite de tendance et le coefficient de régression. Conclusions confirmées par 76% des enquêtés. Le réajustement des calendriers culturels, l'utilisation des variétés précoces, sont entre autres ; les stratégies d'adaptation développées, respectivement par 79% et 64% des paysans, afin de transcender la situation.

Mots-clés : *Variabilité pluviométrique, incidence, rendement du mil, plaine d'Ati, Batha*

Impact of rainfall variability on pearl millet yield in the Ati plain

Abstract

Agriculture occupies a predominant place in the economic life of the population of the Ati plain, located in the Batha Province, in central Chad. This activity maintains a close dependance on the climate, which has been increasingly subject to variations and changes in recent times. This work aims to examine the impact of rainfall variability on millet yield in the Ati plain. This analysis is based on rainfall data produced by the National Meteorological Agency, agricultural statistics from the Directorate of Agricultural Statistics for the period 2000-2020

and general census of population and housing organized in 2009 by INSEED. A sample of 143 households distributed in 03 villages was surveyed. The systematic random sampling technique in steps of three (03) was retained for the selection of households and the operationalization of the survey. The results reveal a concentration of rainfall between July and August (71%). The calculated Nicholson index gives 12 dry years and 9 other wet years, with an increasing rainfall trend, as indicated by the regression coefficient (α). These rainy behaviors negatively influenced millet yield, as indicated by the trend line and the regression coefficient. Conclusions confirmed by 76% of respondents. The readjustment of crop calendars, the use of early varieties, are among others; adaptation strategies developed, respectively by 79% and 64% of farmers, in order to overcome the situation.

Keywords: *rainfall variability, incidence, millet yield, Ati plain, Batha.*

Introduction

La pluviométrie constitue l'un des éléments fondamentaux de la production agricole. Cependant, avec les bouleversements climatiques globaux, la production agricole est devenue de plus en plus instable avec des profondes disparités (G.S. Romain, 2016, p. 2). Aujourd'hui, le climat mondial est caractérisé par une forte modification de ses paramètres qui affecte non seulement la disponibilité de l'eau, mais aussi les activités agricoles, car la variabilité temporelle de la ressource en eau, est source de problèmes, parmi lesquels des situations de pénurie, de désertification, d'exode de populations. Ainsi, le contexte actuel des changements climatiques et surtout celui des variabilités des précipitations est alarmant, en ce sens qu'il est au centre des débats scientifiques, politiques, médiatiques (N. Mahamat Brahim, 2023, p. 3). Les effets des activités anthropiques sous l'emprise de la croissance démographique rapide dans les pays sous-développés exercent une pression supplémentaire sur un système de production alimentaire déjà fragilisé par la variabilité climatique. De ce fait, les experts signalent que, si la situation actuelle perdure, l'Afrique ne pourra subvenir qu'à 13% de ses besoins alimentaires d'ici 2050 (Banque mondiale, 2014). Cette situation peut également constituer une nouvelle menace sur les quelques 65% de travailleurs africains dont la subsistance dépend de l'agriculture, y compris sur les enfants, les femmes et les personnes âgées, premières victimes de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle (ENSA, 2021, p.19). Au Tchad, le facteur primordial de la production agricole reste et demeure l'eau, dont sa disponibilité est le socle de développement de cette activité. Pour ce faire, l'agriculture constitue l'une des mamelles de l'économie nationale dans la mesure où elle occupe près de 60% de la population active (G.S. Romain, 2016, p. 3). Mais, l'absence, l'excès ou la mauvaise répartition spatio-

temporelle des pluviométries entraîne des variations brutales telles que les sécheresses et les inondations ayant des répercussions profondes sur la vie des paysans et la production agricole (G.S. Romain et B. Laohoté, 2015, p. 108). En effet, considéré comme le pays le plus vulnérable aux effets des variations pluviométriques, combinait à une pauvreté élevée, de conflits fréquents, de systèmes de gouvernances faibles, le Tchad fait face à de nombreux défis d'ordres socio-économiques et environnementaux urgents accentués de nos jours par le phénomène de la variabilité climatique. En outre, le déficit pluviométrique a entraîné une diminution de la production céréalière est particulièrement accentuée dans la bande sahélienne dont le Tchad compte 56%. Pourtant les céréales constituent la base de l'alimentation humaine avec 36,2% des apports caloriques et 40 % des apports protéiques (Fao, 2014, p.12). Toutefois, le secteur agricole dans la plaine d'Ati dispose des atouts importants pour jouer pleinement un rôle économique de premier plan dans le développement, mais ce secteur connaît des contraintes majeures qui limitent ou freinent son émergence. Parmi ces contraintes, on peut citer la forte variabilité spatio-temporelle et interannuelle des précipitations, les politiques de développement agricole inadaptées et les pratiques de résilience quasi-inexistantes et/ou insuffisantes et inappropriées. En effet, dans la plaine d'Ati, la corrélation entre la variabilité pluviométrique et la production céréalière est une réalité, car les effets de la variabilité pluviométrique sont perceptibles sur la production agricole en générale. Dès lors, la dernière décennie du XXe siècle et les débuts du XXIe siècle sont marquées par des variations extrêmes du climat avec une baisse notoire des précipitations et une hausse des températures. Cette tendance est qualifiée de nouvelle phase du changement climatique qui a de graves conséquences sur la production agricole. Dans ce contexte, la plaine d'Ati a connu une récession climatique, en particulier celle des précipitations aux ampleurs très prononcées, couplée à une hausse significative du nombre d'années sèches. Cette situation a engendré une baisse des rendements agricoles et surtout des céréales.

En réalité, les variabilités pluviométriques deviennent inquiétantes, car elles affectent plusieurs domaines de la vie courante et portent préjudice aux activités humaines entraînant ainsi famine, maladie, pauvreté, migrations. Ainsi, la forte variabilité pluviométrique est aussi génératrice des conflits sociaux. Alors, les conflits intercommunautaires sont de plus en plus courants au Tchad et par extension dans l'ensemble de la bande sahélienne dont fait partie la plaine d'Ati. Bien que la variabilité des précipitations soit une réalité au Tchad, cependant, aucune étude de ses incidences sur le rendement du mil pénicillaire (*Pennisetum typhoides*) dans la plaine d'Ati, au centre du Tchad n'a été réalisée. C'est ce qui motive notre réflexion autour de cette thématique aussi pertinente que d'actualité.

1. Approche méthodologique

La réalisation du présent travail a nécessité une méthodologie rigoureuse afin de recueillir les informations pour atteindre les objectifs fixés. La méthodologie adoptée s'est appuyée sur une enquête qui a été menée auprès d'un échantillon de trois (03) villages choisis dans la plaine d'Ati. Leur choix se justifie par leurs importances et dominances en matière de production céréalière. Ainsi, l'approche hypothético-déductive a été utilisée dans le cadre de notre recherche est une démarche.

1.1. Collecte des données secondaires

Des documents issus de bibliothèques numérique et physique ont été consultés. Il s'agit notamment des ouvrages, thèses, articles, rapports et mémoires. Ces structures ciblées sont entre autres ; les archives des bibliothèques des villes d'Ati et de N'Djamena, du CEFOD, du CNRD, du Ministère de la production, de l'irrigation et des équipements et de l'ANADER. Les données pluviométriques de 2000 à 2020, ont été obtenues à l'ANAM, celles des productions céréalières ont été mises à notre disposition par la Délégation provinciale de l'agriculture et l'Antenne de l'ANADER basée à Ati.

1.1. Collecte des données primaires

1.1.1. Enquête exploratoire

L'observation de terrain a permis d'être en contact avec le paysage naturel et de faire un état des lieux afin de mieux apprécier les informations obtenues, lues et entendues. Elle a permis aussi de toucher du doigt la réalité du phénomène perçu et faire la prise de vue.

1.1.2. Enquête par questionnaire et entretiens

L'opération a consisté à recueillir des informations auprès des ménages, considérés comme unités d'enquête et auprès des responsables susceptibles de fournir des informations pertinentes. A cet effet, des fiches d'enquête et des guides d'entretiens ont été administrés. Ils sont constitués des questions fermées, ouvertes et à choix multiple/à éventail. Cet exercice a été complété par l'organisation de focus groups.

1.1.3. Echantillon et méthode d'échantillonnage

L'idéal dans ce travail consiste à faire une enquête exhaustive, c'est-à-dire interroger tous les ménages résidents dans les différents villages que recèle la plaine d'Ati, dans le Département du Batha Ouest. Pratiquement, cette opération a été jugée ardue et exige autant des moyens financiers qu'humains. Dans cette optique, l'obligation de déterminer un échantillon représentatif s'est faite sentir.

C'est une étape indéniablement cruciale dans le processus de la recherche heuristique. Ainsi donc, les travaux du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, organisé en 2009 par l'Institut National de Statistique, des Etudes Economique et Démographique (INSEED) ont servi de base. D'après cette opération, les villages de la plaine d'Ati que sont Alay, Birny et Mankallah ont dénombré respectivement 140, 656 et 178 ménages, soit un total de 974. Ces valeurs estimées en 2020 ont donné par ordre 206, 964 et 262, soit un cumul de 1432 ménages. La méthode d'Echantillonnage Aléatoire Simple (EAS) a été choisie pour déterminer l'univers de l'enquête dont la formule est : $f = n/N$, où f est le pas de sondage, n correspond au nombre total des ménages tirés dans la base des données et N est le nombre des ménages à enquêter, autrement dit la taille d'échantillon de cette étude. C'est sur la base de cette démarche que le nombre total des ménages à interroger a été obtenu. La structuration de l'habitat et la représentativité justifient les critères du choix porté sur les trois (03) 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 $f_1 = 206/10$. Suivant la même logique, Birny nous avons eu 96 et à Mankallah 26 ménages. De ce fait, cumulativement, les trois localités totalisent un échantillon de 143 ménages (Tableau I).

Tableau I. Répartition des ménages enquêtés par village dans la plaine 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

Pour obtenir 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 ménages et l'opérationnalisation de l'enquête.

1.1.4. Traitement et analyse des questionnaires

Nous avons procédé par le dépouillement de toutes les informations recueillies auprès des ménages. Le traitement a été fait manuellement et numériquement.

Ainsi, dans un premier temps, nous avons essayé de trier les données rassemblées en fonction des variables et indicateurs constituant notre étude. Par la suite, nous avons créé une base de données sur Excel. Laquelle base des données a servi de support pour le stockage des données obtenues à l'aide du questionnaire d'enquête. Sur la base 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 graphiques. Il en découle de ces démarches une appréhension systématique des données et l'illustration des résultats obtenus.

1.1.5. Traitement et analyse des entretiens

Les données obtenues via des entretiens ont été également traitées et analysées. A cet effet, deux étapes importantes ont marqué ce travail : la transcription des enregistrements audio et le décryptage des textes règlementaires. 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 dégager 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.

1.1.6. Traitement et analyse des données pluviométriques

1.1.6.1. Choix d'une loi statistique de distribution

Les données pluviométriques utilisées dans le cadre de ce travail proviennent de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM). Réparties par différentes échelles de temps, ces données ont été traitées sur Excel et la Commande Hydrolab.01.1 associée à Excel version 93 à 2003. A chaque étude, ces données ont été soumises à des lois. Lesquelles lois nous renseignent sur leur ajustement ou non. Après cette étape, les données sont analysées et exploitées.

Les pluies annuelles autant que mensuelles de la zone sahélienne 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.

Pratiquement, une base des données a été créée sur le tableur Excel, version 1993 à 2003. A 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, etc.

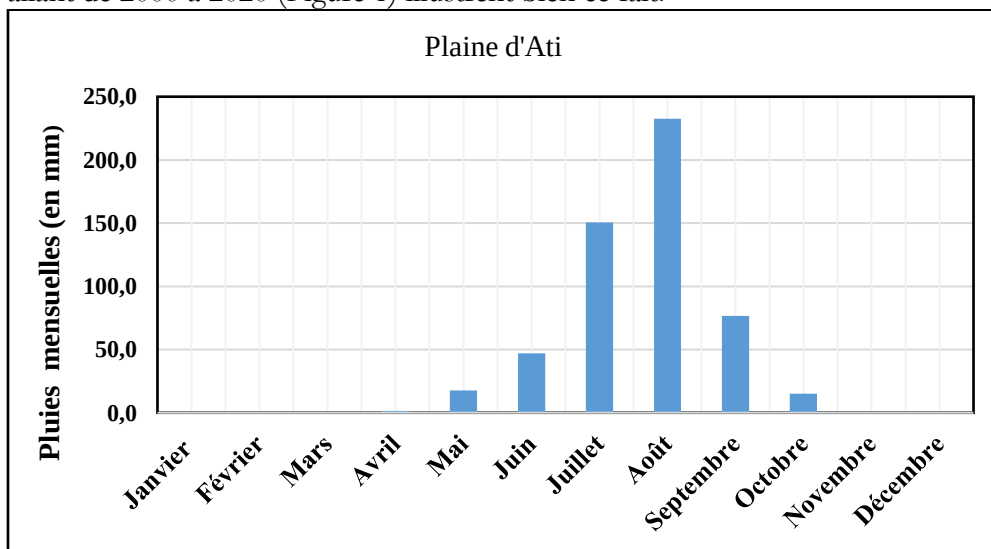
1.1.7. Outils utilisés pour la collecte et le traitement des données

La collecte des données sur le terrain et leur traitement ont été possibles grâce aux logiciels et une commande. Il s'agit notamment de Word pour la saisie et le traitement du texte, de tableur Excel pour réaliser des graphiques, calculer des paramètres statistiques et QGIS a été utilisé pour élaborer la carte. En plus, un appareil photographique numérique incorporé dans smart phone nous a permis de filmer les différents éléments illustratifs pour l'étude ; un Global Positionning System (GPS) incorporé dans l'appareil téléphonique pour relever les coordonnées des différents villages enquêtés et un fond de cartes du Tchad pour établir la carte de localisation du site d'étude nous a servi de support.

2. RESULTATS

2.1. Concentration des pluies abondantes au cœur de la saison

L'essentiel des quantités pluviométriques est enregistré au milieu de la saison. Cette situation 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 (entre juillet et août) malgré la dénomination hivernale qu'on lui donne. Les histogrammes des pluies moyennes mensuelles calculées sur la période allant de 2000 à 2020 (Figure 1) illustrent bien ce fait.



Source : ANAM, 2021

Figure 1. Répartition annuelle des pluies dans la plaine d'Ati

Il est établi que 71% (383,2 mm) du volume de pluies enregistrées durant la saison pluvieuse tombent au cours des 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, et le mil pénicillaire spécifiquement.

2.2. Ajustement des précipitations annuelles à 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 sahélienne, l'ajustement est beaucoup adéquat avec la loi normale, comme le montre la figure 2.

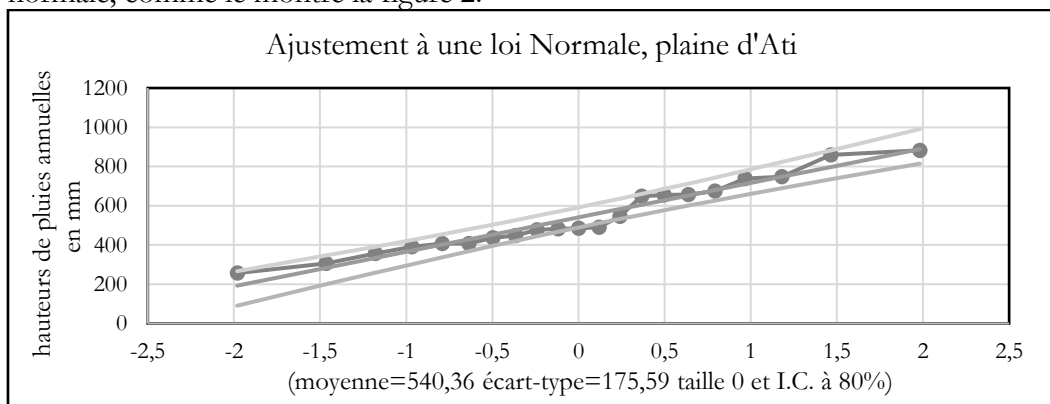


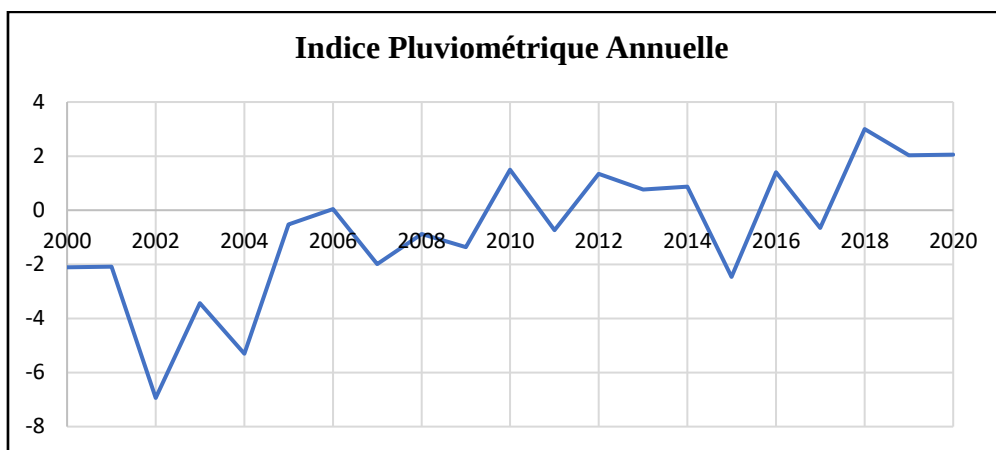
Figure 2. Ajustement des pluies annuelles à la loi normale dans la plaine d'Ati

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.

2.3. Variation interannuelle des pluies dans la plaine 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. IPA a été calculé pour chaque année dans chaque station avant de ramener les résultats aux moyennes annuelles et décennales (Figure 3).



Source : ANAM, 2021

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

La Figure 3 met en exergue la variation interannuelle de la pluviométrie dans la plaine d'Ati. Il se dégage une parité entre les années sèches et les années humides. Au fait, 12 années sur 21 observées se sont révélées déficitaires et les 09 autres excédentaires. Parmi les années déficitaires, l'année 2006 s'est comportée spécifiquement drastique avec un indice de -0,52. Elle est talonnée des années 2017 (-0,66) et 2011 (-0,74). 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. En ce qui concerne les années excédentaires, l'année 2020 détient le record avec un indice de 2,05. L'année 2019, avec 2,03, s'approche étroitement du pic. Globalement, les années déficitaires présentent des indices voisins les uns des autres ; ce qui certifie leur ressemblance. Les années humides quant à elles, affichent des indices disparates, de fois avec des écarts trop importants traduisant l'image réelle de la complexité climatique de la bande sahélienne (Figure 3).

2.4. Indice Pluviométrique Standardisé Indice (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 :

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

X_i' étant l'anomalie centrée réduite pour l'année i , X_i la valeur de la variable, $\bar{X}$ la moyenne de la série et $\sigma(X)$ l'écart-type de la série. Le calcul de l'Indice Pluviométrique Standardisé (SPI) 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 Canton Assâlê comme le spécifie le Tableau II.

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

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

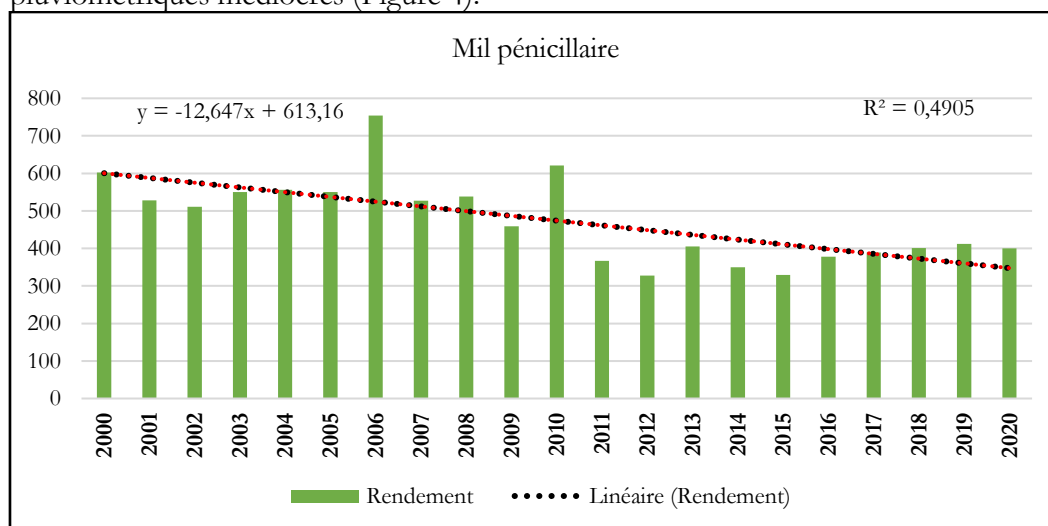
Source : OMM, 2012

Le présent Tableau II expose 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.

Au-delà des variations interannuelles, la Figure 3 apprécie aussi la tendance de la pluviométrie dans la localité d'étude. Lecture faite de la valeur du coefficient de régression (a) dans l'équation de droite, nous constatons que la tendance est à la hausse. Pratiquement, le coefficient de régression est 21,56.

2.5. Évolution de la production annuelle du mil pénicillaire

Les campagnes agricoles se suivent mais elles ne ressemblent point. Il existe des années déficitaires et rarement des années excédentaires. Cette situation est largement imputable au rythme des saisons pluvieuses. Naturellement, les mauvaises campagnes agricoles trouvent leur explication dans les années pluviométriques médiocres (Figure 4).



Source : DSA, 2021

Figure 4. Evolution de la production du mil pénicillaire dans la plaine d'Ati 2000-2020

La figure 4 met en relief la dynamique de la production du mil pénicillaire dans la plaine d'Ati de 2000 à 2020. Globalement, 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 (-12,64). Schématiquement, la courbe présente une allure en dents de scie, avec cependant des années dont les récoltes sont appréciables. Durant les deux décennies étudiées, le pic de la production est détenu par l'année 2006 (754 t), suivie de l'année 2010 (621 t). Tandis que les années 2012 et 2015, avec respectivement 328 t et 329 t, se trouvent au plus bas de l'échelle.

2.6. Impact de la variabilité pluviométrique sur le rendement du mil pénicillaire

Il est plus qu'une évidence que la pluie et la plante cultivée entretiennent une relation étroite. Pour se rendre à l'incidence, une corrélation a été établie entre les deux (02) variables. Afin de mieux apprécier cette situation, une synthèse des résultats de régression linéaire simple a été consignée sur le tableau III.

Tableau III. Résultats de régression linéaire simple entre pluies et rendement du mil

Station	Paramètres/variables	Rendement (Variable à expliquer)	Pluie (Variable explicative)
Ati	Moyenne	474	540
	Écart-type	112	175
	Coefficient de corrélation (r)	-0,33	
	Nombre de couples (n)	21	
	Période	2000-2020	
	Équation de régression	Y= -0,22X+591	

Source : ANAM, 2021

Le coefficient de corrélation entre la pluie et le rendement du petit mil (*Pennisetum Glaucom*) dans la plaine d'Ati est négatif, donc non significatif. Conformément aux données du tableau III, 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 le rendement du mil pénicillaire. Cette baisse du rendement peut être liée à la répartition spatio-temporelle et bien d'autres facteurs.

2.7. Impact de la variabilité pluviométrique sur la production agricole

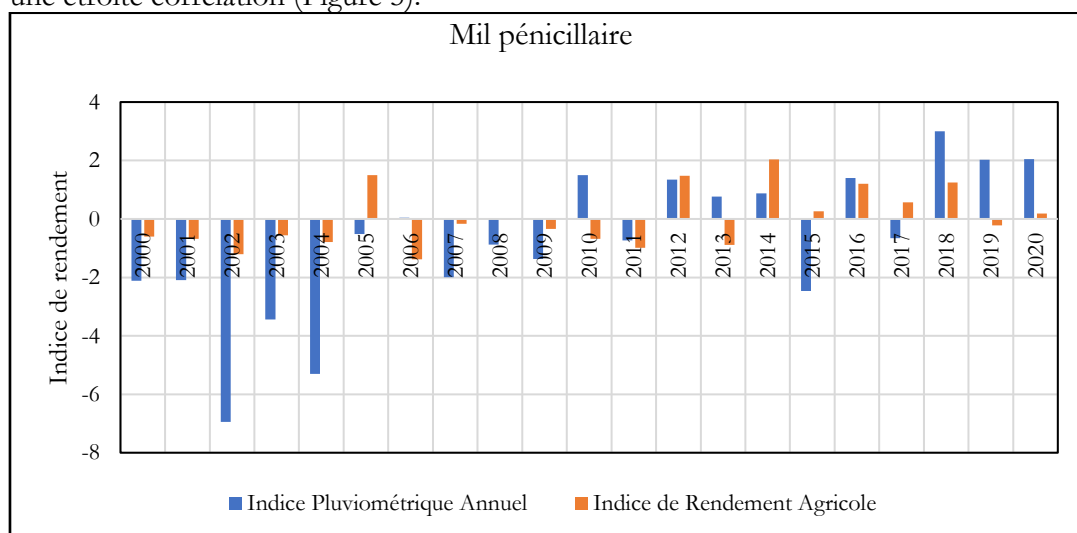
A la différence du rendement, la production agricole est impactée négativement par la variabilité pluviométrique, comme le certifient le coefficient de corrélation et l'équation de régression (Tableau IV).

Tableau IV. Résultats de régression linéaire simple entre pluies et surface cultivée

Station	Paramètres/variables	Surface cultivée (Variable à expliquer)	Pluie (Variable explicative)
Ati	Moyenne	384439	540
	Écart-type	170202	176
	Coefficient de corrélation (r)	0,42	
	Nombre de couples (n)	21	
	Période	2000-2020	
	Équation de régression	$Y = 410X + 162654$	

Source : ANAM, 2019

Le rapport du tableau IV confirme que le coefficient de corrélation entre les variables pluie et production agricole du mil pénicillaire est passablement significative ($r = 0,42$). Cela signifie que la variabilité pluviométrique a une ascendance non négligeable sur la production du mil. Elle est estimée à 42%. De même, la valeur du coefficient de régression (a) dans l'équation de droite, atteste une étroite corrélation (Figure 5).



Source : DSA, 2021

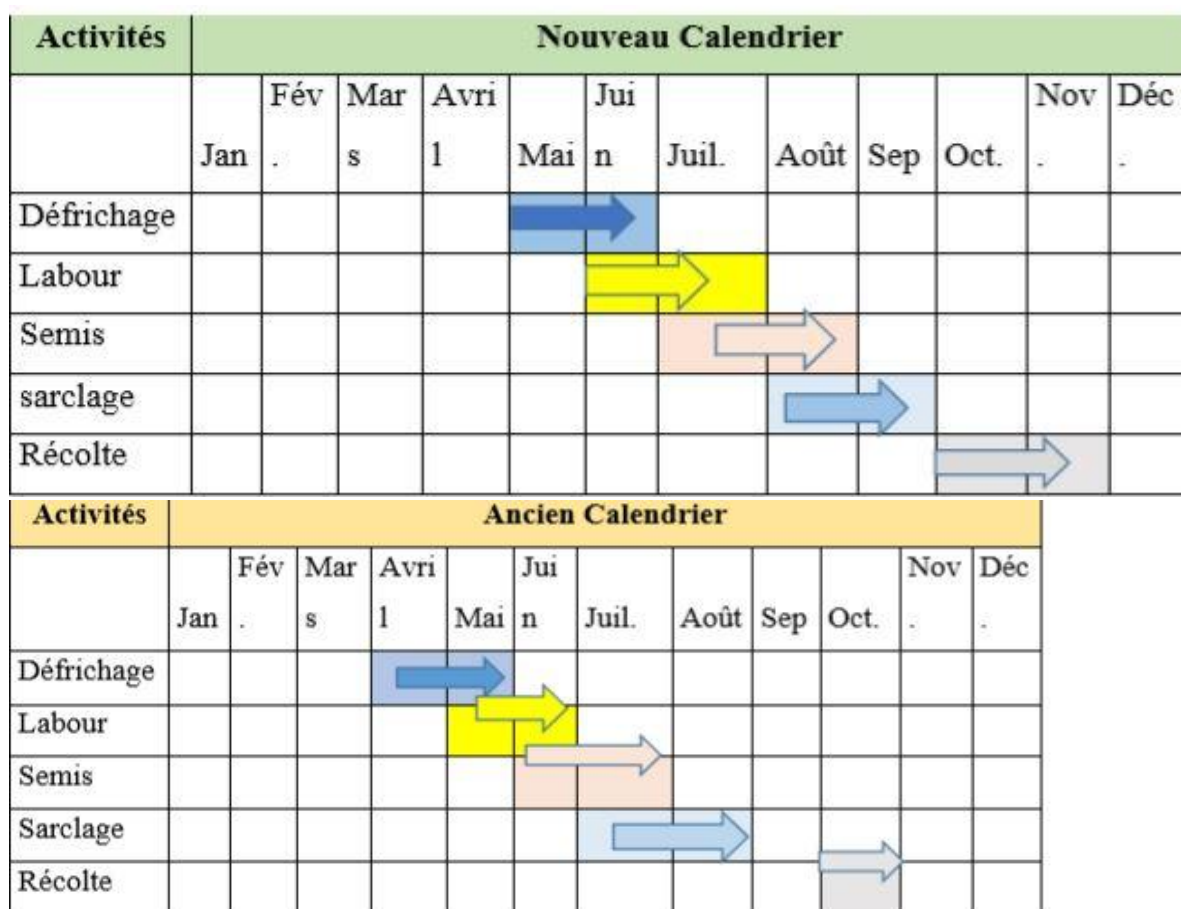
Figure 5. Évolution de l'indice pluviométrique et de l'indice de rendement du mil

La figure 5 met simultanément en exergue l'évolution de l'indice pluviométrique annuel et l'indice de rendement agricole. La première impression laisse comprendre qu'à un Indice Pluviométrique Annuel positif/négatif, correspond un Indice de Rendement Agricole positif/négatif. En scrutant la situation de façon isolée, nous nous rendons compte que cette logique ne s'applique pas sur toutes les années. Singulièrement, les années 2005, 2006, 2010, 2013, 2015, 2017

et 2019 présentent des indices pluviométriques négatifs alors que ceux de rendements agricoles sont positifs.

2.8. Effets de la variabilité pluviométrique sur le calendrier agricole dans la plaine d'Ati

Dans la plaine d'Ati, le calendrier agricole a subi des profondes modifications. Les activités menées subissent une profonde mutation d'un mois à un autre où d'une année à une autre. Les semis qui se faisaient généralement au mois de juin sont décalés au mois de juillet. Avant les fortes modifications pluviométriques, le mois d'octobre correspondait à la consommation du nouveau mil alors que dans le décalage, il faut attendre le mois de novembre ou décembre pour en consommer. Les calendriers agricoles traditionnels à Birni et à Alay sont illustratifs (tableau 5 et 6).



Source : ANADER, 2023

Figure 6. Présentation du nouveau et ancien calendrier à Birni et Alay

La figure 6 montre les modifications des calendriers agricoles ayant affecté les systèmes cultureux dans la plaine d'Ati. En rapprochant les deux tableaux, nous constatons qu'autre fois, les travaux champêtres débutent en avril, depuis quelques décennies, ils sont décalés en mai. La récolte s'effectue en octobre, conformément à l'ancien calendrier, alors dans le nouveau calendrier, la récolte commence en octobre pour finir en mi-novembre. Cette situation est due au manque de maîtrise des calendriers cultureux par les paysans. 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 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 mil pénicillaire à Birny

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 cultures en phase de croissance avancée. Cette situation atteste que les paysans ont repris par endroit le semis. Pourtant, la photo a été prise en mois d'août, en plein milieu de la saison pluvieuse dans la bande sahélienne, en l'occurrence au village de Birny, se trouvant dans la plaine d'Ati. Une telle évolution impacte sans aucun doute le rendement agricole.

3. Discussion

De 2000 à 2020, les quantités pluviométriques dans la plaine d'Ati varient entre 256 à 882,5 mm et une moyenne de 515 mm pour la série chronologique. Les deux bornes des cumuls pluviométriques ne coïncident pas les isohyètes 500 à 600 mm/an correspond à la bande sahélienne. Ces valeurs divergent des celles (300 à 400) obtenues par N. Mahamat Brahim (2023, p.146) dans une étude presque similaire effectuée dans le Canton Assâlé, se trouvant dans le même espace sahélien. En plus, une grande partie de la quantité pluviométrique enregistrée dans la localité se concentre en milieu de la saison (Juillet-Août). La baisse tout comme la mauvaise répartition des pluies ont des incidences sur les cultures, en particulier le mil pénicillaire, une plante qui a un besoin en eau variant entre 200 à 800 mm des pluies bien réparties pour croître normalement et donner un bon rendement. Le calcul des Indices Pluviométriques Annuelles (IPA) a donné douze (12) années déficitaires et neuf (09) autres excédentaires. Ces résultats épousent ceux obtenus par B. Lardia Ali et al. (2018, p. 267) dans leur étude effectuée dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso entre la période 1980 à 2010 et ceux auxquels est parvenu N. Mahamat Brahim (2023, p. 149) dans ses travaux réalisés dans les rives méridionales du Lac Tchad. La dégradation du régime pluviométrique ne se résume pas seulement sur la quantité, mais également sur la qualité, autrement sur la bonne répartition temporelle et spatiale. Tel n'est pas le cas dans la plaine d'Ati. Certains auteurs, en l'occurrence B. Lardia Ali (2018, p. 271) ont évoqué dans leurs travaux la dispersion des précipitations dans le temps. L'expression graphique des hauteurs des précipitations via le coefficient de régression (a) dans l'équation a montré que la tendance à la hausse. Ces comportements des pluies ont impacté négativement la production du mil pénicillaire comme l'attestent la droite de tendance et le coefficient de détermination du rendement. B. Lardia Ali (2018, p. 271), ont fait mention d'une perte des rendements à hauteur de 62%. Ces conclusions se rapprochent étroitement à celles tirées par M. Dan Ladi Tchoho et al. (2023, p. 112) et I. Hamidine et al. (2021, p. 5) dans leurs recherches déroulées respectivement dans les Communes Rurales nigériennes et 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 mil (F. Adama, 2018, p. 291). La corrélation explique 54 à 61% les effets des changements climatiques sur les rendements céréaliers (p. 301), devaient-ils sous-tendre. Il convient de noter que les variations pluviométriques n'affectent pas seulement les rendements, mais aussi les dimensions des surfaces emblavées, tel qu'a souligné G.S. Romain (2018, p. 185) dans les travaux menés dans la plaine de Mayo-kébbi, au sud du Tchad. Cet état de la pluviométrie n'est pas entièrement responsable de

la chute du rendement du mil, il y a bien d'autres facteurs. Pour surmonter cette situation, les paysans essayent réadapter davantage leurs calendriers culturels et d'orienter leurs choix sur les variétés à cycle court, mais en vain. Etant donné que le mil une plante exigeante, la seule connaissance du régime pluviométrique ne suffit pas à expliquer le son rendement ou sa production. Des études complémentaires liées notamment aux conditions thermiques, hygrométriques ou pédologiques pourront apporter une plus-value au système de production.

Conclusion

La variabilité des pluies dans la plaine d'Ati est un fait réel. Elle se manifeste à travers la concentration des précipitations au cœur de la saison (Juillet-Août), l'installation tardive et le l'arrêt précoce des saisons pluvieuses, une forte variabilité interannuelle des pluies marquée une tendance à la hausse et une alternance entre les années sèches et humides. Ces comportements de la pluviométrie ont eu sans nul doute des incidences négatives sur le rendement du mil. La corrélation établie entre l'indice pluviométrique annuel (IPA) et l'indice Rendement Agricole est édifiante. La variabilité des pluies n'explique pas davantage la baisse de la production du mil. A travers ce coefficient, nous retenons que la pluie n'est pas entièrement responsable de la chute du rendement du mil dans la plaine d'Ati. Des recherches relatives aux autres paramètres du climat et aux valeurs agronomiques des sols sont envisageables.

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.
- 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 ;

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 ;

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 ;

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 (PANA-Tchad)*, 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^{ème} 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 Tchad, 2021, *Enquête Nationale de Sécurité Alimentaire (ENSA)*, Institut National de Statistique, des Etudes Economique et Démographique (INSEED), 30 p ;