

## **Production maïsicole à l'épreuve de la variabilité pluviométrique dans le Canton Assale, Tchad**

**Mahamat Brahim NOURADINE<sup>1\*</sup>, Désiré NDOKI<sup>2</sup> et Médard NDOUTORLENGAR<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Département de l'Aménagement du Territoire, Laboratoire de Climatologie et de l'Environnement, BP 20 Ati, Tchad*

<sup>2</sup> *Université de Dschang, Département de Géographie, Aménagement, Environnement, Laboratoire de Climatologie et de l'Environnement, BP 49 Dschang, Cameroun*

<sup>3</sup> *Université de Sarh, Département de Géographie, Laboratoire de Géomatique et Environnement, BP 105 Sarh, Tchad*

(Reçu le 06 Décembre 2021 ; Accepté le 21 Mars 2022)

---

\* Correspondance, courriel : [mahamatbrahim66@yahoo.com](mailto:mahamatbrahim66@yahoo.com)

### **Résumé**

L'agriculture est une activité économique très importante pour la population de Canton Assâlê, situé au Nord-ouest de Ndjamenâ, la capitale tchadienne. Ce secteur dépendant potentiellement d'un climat de plus en plus soumis à des variations et à des changements. L'étude vise à examiner les incidences de la variabilité pluviométrique sur la production du maïs dans le Canton Assâlê. L'analyse s'appuie sur des données climatologiques (pluviométrie) de la période de 1990-2019 et sur les statistiques de la production du maïs de la période 1990-2019. Les résultats révèlent un régime pluviométrique dont la longueur varie entre 3 à 4 mois et une prédominance des classes des pluies nulles à faibles (1-15 mm). L'évolution annuelle de la pluviométrie sur la période de 1990 à 2019 montre une tendance marquée par 50 % d'années déficitaires et 50 % d'années excédentaires. De plus, les coefficients de régression ( $\alpha$ ) et de détermination ( $R^2$ ) présentent une forte tendance vers la baisse de la pluviométrie. Tous ces comportements des pluies ont impacté négativement la production du maïs et son rendement.

**Mots-clés :** *production du maïs, variabilité pluviométrique, impact, Canton Assâlê, Tchad.*

### **Abstract**

#### **Maize production under the test of rainfall variability in Assâlê Canton, Chad**

Agriculture is a very important economic activity for the population of Canton Assâlê, located in northwest of Ndjamenâ, the Chadian capital. This sector is potentially dependent on a climate that is increasingly subjected to variations and changes. This study aims to examine the impacts of rainfall variability on maize production in Assâlê Canton. The analysis is based on climatological data (rainfall) from the period between 1990-2019 and maize production statistics from the period between 1990-2019. The results reveal a rainfall regime that varies in length from 3 to 4 months and a predominance of no to low rainfall classes (1-15 mm). The annual evolution of rainfall over the period from 1990 to 2019 shows a trend marked by 50 % of deficit years and

50 % of surplus years. Furthermore, the regression coefficients ( $a$ ) and the determination ( $R^2$ ) indicate a strong downward trend in rainfall. All these rainfall behaviors have negatively impacted maize production and yield.

**Keywords :** *maize production, rainfall variability, impact, Canton Assâlé, Chad.*

## 1. Introduction

La fluctuation et la mauvaise distribution des précipitations dans le temps et dans l'espace observées au cours des dernières décennies au Tchad constituent des défis majeurs pour l'agriculture [1, 2]. Parmi les paramètres climatiques, les pluies jouent un rôle indispensable pour les différentes activités agricoles [3, 4]. Leur insuffisance, excès, manque ou mauvaise répartition spatio-temporelle engendrent des récessions climatiques [5, 6]. Les dernières décennies ont été émaillées d'une perturbation notoire de la production vivrière, en l'occurrence celle du maïs, dans nombre des régions des pays sous-développés [7]. Cette situation ne laisse indifférente la communauté scientifique, soucieuse de comprendre les relations entre ces deux variables, dans un contexte de lutte pour garantir la souveraineté alimentaire des Etats et le développement économique durable à l'échelle globale [8]. Le Tchad, à l'instar des autres pays sahéliens a connu des périodes marquées par des épisodes des grandes sécheresses (décennies 70 et 80) [9]. Lesquelles périodes ont été affectées par une baisse drastique de la pluviométrie dans l'ensemble du domaine bioclimatique [10]. Pourtant, les pluies sont une composante climatique essentielle pour le développement des activités agricoles [11]. La chute de la production agricole à l'échelle nationale, n'épargne point la variation et la baisse brutale des hauteurs des pluies [12]. Les variations du climat engendrent une mutation des systèmes des cultures, occasionnent un déficit de la balance commerciale, ébranlent le système économique et tout le tissu social [2]. Les différentes perturbations que connaissent les systèmes de production trouvent leurs explications dans entre autres l'instabilité des régimes pluviométriques, la forte récurrence des intermittences sèches, des faux-départs, des épisodes pluvieux abondants et violents [13, 14]. Le système agricole étant tributaire de la saison pluvieuse, les aléas précités perturbent le calendrier agricole, baissent la production, perdent le capital semencier, prolifèrent les ennemis des cultures et augmentent les risques d'inondation [15, 16]. Il s'en suit donc des phénomènes tels que la disette, la migration, l'accentuation de la précarité des conditions de vie des populations en général et celles des agriculteurs de manière spécifique [17]. En faisant l'hypothèse que la dégradation pluviométrique occasionne la diminution de la production du maïs dans le Canton Assâlé, ce travail se propose de faire une analyse du régime pluviométrique et ses incidences sur la production du maïs à l'intervalle de trente (30) ans (1990 à 2019).

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Milieu d'étude

Les travaux sont effectués dans le Canton Assâlé. Distant de 112 km nord-ouest de la capitale tchadienne (N'Djamena), le Canton Assâlé se trouve dans la zone sahélienne. Il se localise entre  $12^{\circ} 15'$  et  $13^{\circ} 15'N$  et  $14^{\circ} 45'$  et  $15^{\circ} 15' E$ . Territorialement, le Canton Assâlé couvre une superficie de 2.643 km<sup>2</sup>. Sur le plan administratif, le Canton Assâlé dépend de la sous-préfecture de Karal dans le Département de Dagana relevant de la Province de Hadjar El hamis, il partage des frontières au nord avec le Canton Kangelom (au Lac), au sud-est avec le Canton Dagana, à l'ouest avec le Canton Mani et à l'Est avec le Canton Kouri. Situé en bordure du Lac Tchad, le Canton Assâlé est le plus affecté par les fluctuations pluviométriques et celles des surfaces du lac Tchad, limitant considérablement les activités humaines, surtout agricole sur les berges. Le haut niveau du lac Tchad est observé jusqu'en 1971 et le plus bas depuis 1986 [18]. Ces variations offrent des larges potentialités favorables à une agriculture dessaisonnée, lors de la décrue qui ne commence qu'en décembre-janvier.

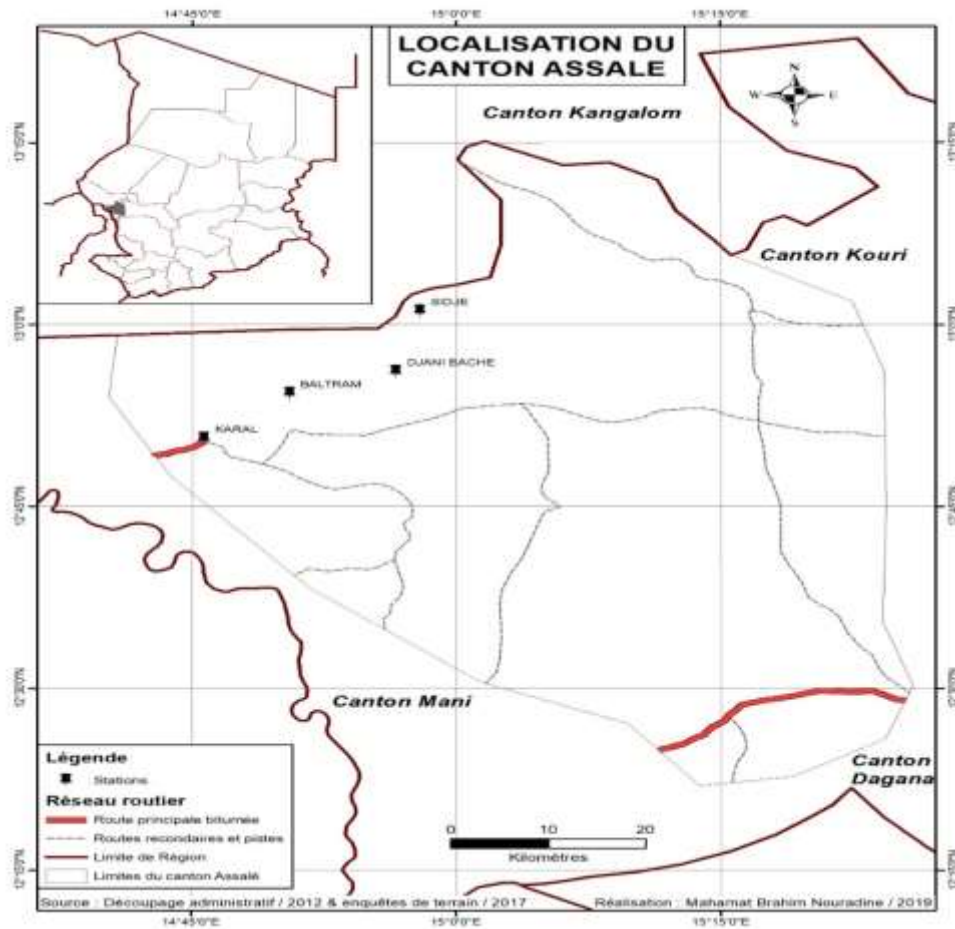


Figure 1 : Localisation de terrain d'études dans la zone méridionale au Tchad

**2-2. Données utilisées**

Dans le cadre de cette étude, les données mobilisées sont de quatre types : Les données pluviométriques collectées auprès de l'Agence Nationale de Développement Rural (ANADER) et concernent les postes pluviométriques suivants : Karal, Baltram, Djani Bâche et Sidjé. Sont mises en évidence principalement les données pluviométriques annuelles couvrant l'étendue temporelle allant de 1990 à 2019. Les statistiques relatives à l'évolution des surfaces emblavées, les rendements et les productions du maïs sont fournies également par la même structure (ANADER). Enfin, les coordonnées géographiques des différents postes ont été relevées sur le terrain à l'aide du GPS incorporé dans l'appareil téléphonique (Smartphone). Lesquelles données ont servi à localiser les postes et à établir les altitudes par rapport au niveau de la mer.

**Tableau 1 : Postes pluviométriques retenus**

Postes pluviométriques	Dates d'implantation	Coordonnées géographiques (X, Y, Z)		
		Latitude	Longitude	Altitude
Karal	1986	12° 50' N	14° 50' E	267 m
Baltram	1988	12° 54' N	14° 50' E	249 m
Djani Bâche	1990	12° 56' N	14° 56' E	264 m
Sidjé	1990	13° 1' N	14° 57' E	263 m

Source : ANADER/Karal et relevés GPS, 2019

NB : Disponibilité des données pluviométriques annuelles, mensuelles et journalières.

Les données pluviométriques ont été analysées grâce aux logiciels tels qu'Excel, XLSTAT et la commande Hydrolab01.1 greffée sur Excel version 1997-2003. Ces outils permettent de générer des graphiques avec des courbes des tendances, d'ajuster les valeurs pluviométriques à des lois statistiques de distribution et d'établir des corrélations entre les deux variables (pluviométrie et production agricole) mises en étude.

## 2-3. Méthodes

### 2-3-1. Caractérisation de la saison pluvieuse

Le rythme pluviométrique dans le sahel tchadien est marqué par une période de forte activité qui se situe au cœur de l'été (Juillet-Août) malgré l'appellation hivernale qu'on lui attribue. L'essentiel de la quantité d'eau précipitée au cours de l'année est enregistré par ces deux mois. Cette concentration atteste de la mauvaise répartition de la pluie dans le temps et dans l'espace. En plus, les précipitations de la bande sahélienne sont largement dominées par les pluies nulles à faibles (1-15 mm). Une telle quantité de pluie est reconnue comme faible pour servir de guide pour la conduite des semis. Aussi, la saison pluvieuse est marquée par une disproportion de nombre d'événements pluvieux. Les pluies de quantité nulle à faible détiennent le record durant les deux années mises à l'épreuve. Ces comportements de la pluviométrie ne sont pas sans conséquences sur les rendements du maïs.

### 2-3-2. Calcul de l'Indice Pluviométrique Annuelle (IPA)

Pour mieux distinguer les années sèches de celles qui sont humides, il paraît indispensable de mettre en application l'indice de Nicholson [19] qui est une variable centrée réduite de Gauss sur les hauteurs des pluies précipitées annuellement dont la **Formule** s'écrit :

$$X = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

$x$  étant la hauteur de pluie de l'année considérée ;  $\bar{x}$  la moyenne interannuelle et  $\sigma$  l'écart-type des pluies annuelles.

Ainsi, si l'indice donne une valeur positive, cela signifie que l'année est excédentaire et la valeur négative traduit le déficit de l'année [20]. Sur cette base, l'indice pluviométrique de chaque année et par station pluviométrique a été calculé. Par la suite, les résultats obtenus sont exprimés en moyennes annuelles.

### 2-3-3. Délimitation de la saison pluvieuse

La thématique sur le régime saisonnier a retenu l'attention des nombreux auteurs [21, 22]. Ces derniers ont réalisé respectivement leurs études dans le septentrion camerounais et le haut bassin du fleuve Sénégal. Aussi, des travaux similaires ont été déroulés dans la zone méridionale du Tchad et une partie du Sahel [10]. Dans la zone méridionale du lac Tchad et dans le Canton Assâlé en particulier, le régime pluviométrique correspond à deux saisons bien tranchées à savoir, une saison sèche et une saison pluvieuse, dont l'étendue et l'intensité de la pluie varient selon la localité. Le début et la fin des pluies suivent la même logique d'une station à une autre. Dans cette optique, pour délimiter la saison pluvieuse dans notre zone de recherche, nous nous sommes servis des méthodes développées à propos dans le nord du Cameroun [23], lesquelles méthodes tirent leur source d'inspiration des études effectuées au Niger [24]. Ces derniers fondent leurs méthodes sur un certain nombre des critères :

- Lorsqu'il est observé 20 mm de pluies en deux jours d'affilé, non suivis d'une séquence sèche d'une semaine dans les 30 jours d'après, on parle de démarrage de la saison des pluies ;

- Après qu'une pluie supérieure à 1 mm s'abat et à laquelle succèdent au moins 20 jours secs, c'est la fin de la saison pluvieuse.

Pris cette logique comme base, le seuil de 15 mm s'avère être raisonnable pour caractériser le début de la saison de pluies dans le Canton Assâlé ; étant donné que la région se trouve dans le sahel. De manière conséquente, l'analyse situationnelle à l'échelle de chaque poste pluviométrique a été faite. Au passage, il convient de noter que la date de démarrage des pluies et la durée de la saison sont deux aspects cruciaux pour l'agriculture, puisqu'elles fixent d'un côté, la date de semis et, de l'autre, la durée de la période durant laquelle, les cultures peuvent en bénéficier de l'eau précipitée indépendamment des conditions d'approvisionnement hydrique de cette période.

### **2-3-4. Choix d'une loi statistique de répartition des pluies annuelles**

Les études climatologiques consacrent une bonne place aux lois statistiques. Mis à part le calcul des divers paramètres de l'aspect étudié, ces lois permettent également une bonne appréhension de la distribution dudit aspect ainsi que sa répartition temporelle. De même, les périodes de retour évoquées permettent la connaissance à quelle période le fait climatique étudié est dépassé tous les deux ans, cinq ans, dix ans, demi-siècle et un siècle. Etant dans la région sahélienne, les séries pluviométriques observées s'ajustent mieux à la loi racine-normale [4] comme le montre la **Figure 4**. Cette loi de distribution très apparentée à la loi normale ou loi de Gauss a pour **Expression** :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} ; \text{U variable réduite de Gauss est égal à } u = \frac{\sqrt{x} - \overline{\sqrt{x}}}{\sigma \cdot \sqrt{x}} \quad (2)$$

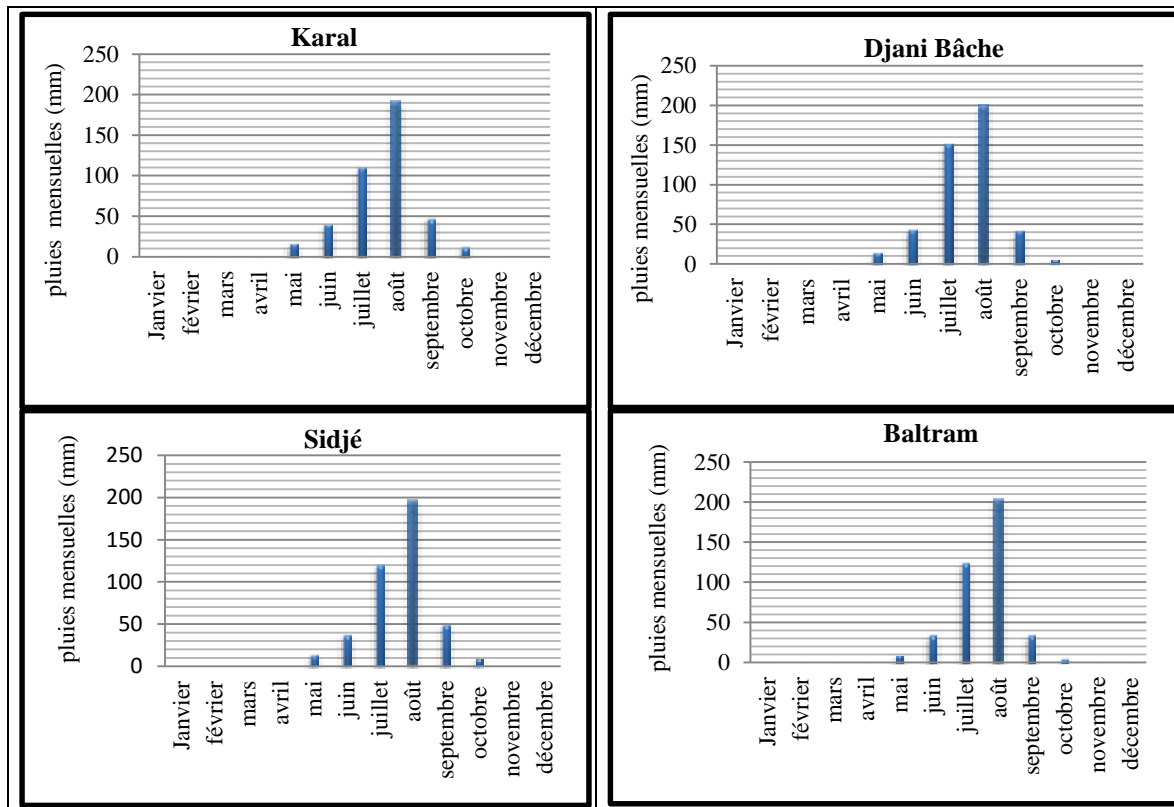
Où :  $\sqrt{x}$  correspond la moyenne des racines carrées de la série et  $\sigma \cdot \sqrt{x}$  l'écart-type de racines carrées de la série

La différence entre cette loi et celle de Gauss se trouve au niveau des paramètres (moyenne et écart-type) : pour la loi de Gauss, ces paramètres sont ceux des variables précitées, alors que pour la loi racine normale, ces paramètres sont ceux des racines des variables.

## **3. Résultats**

### **3-1. Concentration des pluies abondantes au cœur de la saison**

A l'instar des autres régions sahéliennes, dans le Canton Assâlé, le rythme pluviométrique est marqué par une période de forte activité qui se situe au milieu de l'été (Juillet et Août) malgré la dénomination hivernage qu'on lui accorde. Les histogrammes des pluies moyennes mensuelles calculées sur la période 1990 à 2019 (**Figure 2**) en donnent une parfaite illustration.



**Figure 2 :** Répartition annuelle des pluies dans les quatre stations de Canton Assilé

La **Figure 2** met clairement en relief la répartition disproportionnée des pluies durant l'année. En fait, pour les quatre postes pluviométriques étudiés, les mois de Juillet et d'Août, cumulent à eux seuls un volume pluviométrique annuel d'environ 957,2 mm soit 71 % de la quantité totale (**Tableau 2**) dans les quatre stations. Ce poids des pluies de Juillet-Août est plus déterminant pour les stations de Djani Bâche (80,19 %) et de Baltram (72,22 %), suivies de celles de Karal et de Sidjé, respectivement 68,34 % et 61,43 %. Une telle concentration au milieu de la saison de pluies n'est pas sans effets sur les cultures, et le maïs en particulier.

**Tableau 2 :** Poids du volume de pluies des mois de Juillet-Août sur la pluviométrie annuelle

Stations	Volume pluviométrique annuel (mm)	Pluies des mois de Juillet-Août	
		Volume (mm)	Pourcentage (%)
Baltram	292,4	211,2	72,22
Djani Bâche	395,3	317	80,19
Karal	272,8	186,5	68,36
Sidjé	394,75	242,5	61,43
Total	1355,25	957,2	71

Il transparaît de la lecture du **Tableau 3** une prédominance du mois de Juillet et du mois d'Août. Cependant, ce caractère pluvieux varie d'une station à une autre. Il est davantage important pour les stations localisées à l'Est que pour celles se trouvant à l'Ouest. Ainsi, à Djani Bâche, les deux mois totalisent 317 mm soit 80,19 % du total pluviométrique annuel. Vient ensuite la station de Baltram avec 211,2 mm soit 72,22 %. Les postes de Karal et de Sidjé enregistrent respectivement 186,5 et 242,5 mm soit 68,36 et 61,43 % de leurs totaux pluviométriques respectifs. Cette tendance très variable ajoutée à celle du nombre d'événements pluvieux n'est pas sans incidences sur la qualité et la quantité productives du maïs [25].

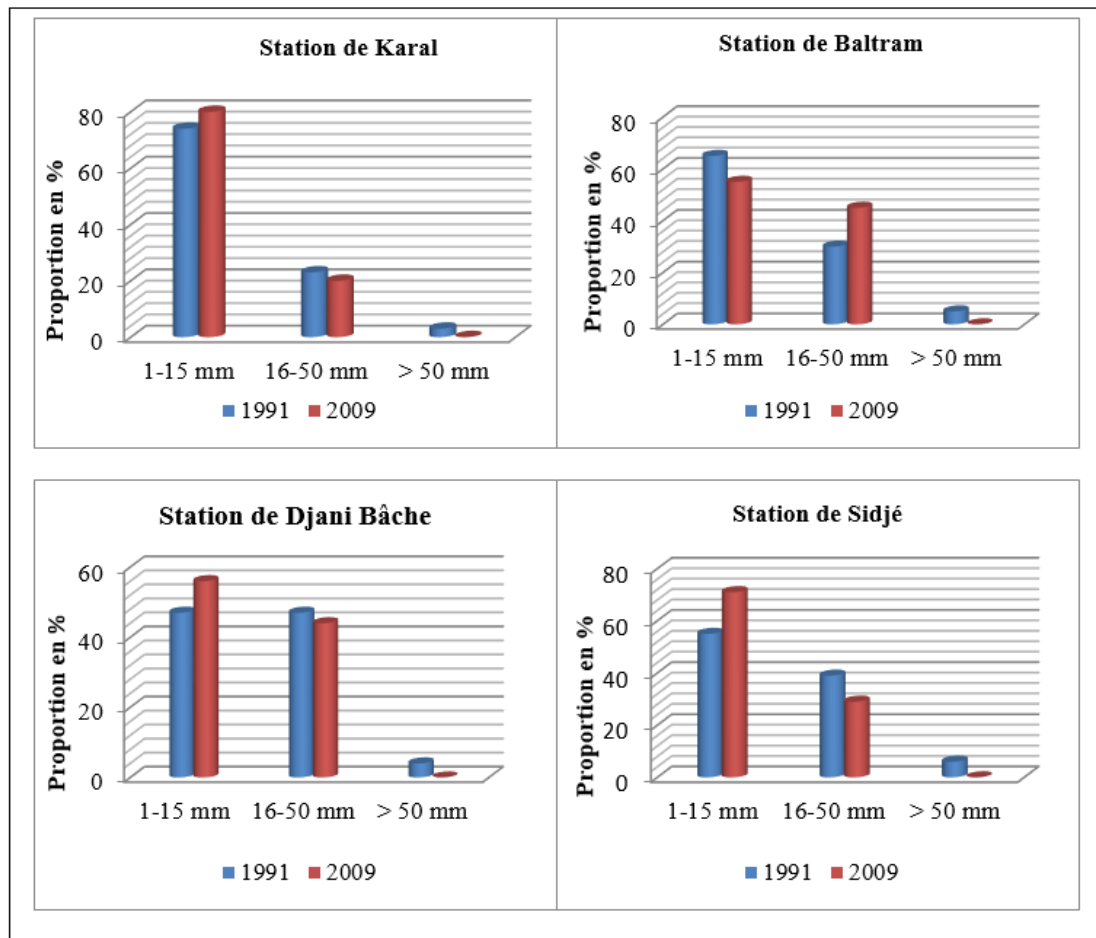
### 3-2. Prédominance des pluies faibles

Les précipitations du domaine d'étude sont largement dominées par des pluies faibles (inférieures à 15 mm) à chaque tombée. Une telle quantité de pluie (15 mm) est reconnue comme faible conformément à la classification des pluies établie par Prudenzano (1994) pour servir de guide pour la conduite des semis. Cet auteur estime qu'un cumul de pluie de 5 mm est considéré comme nul ; il est faible de 5 à 15 mm, modéré de 15 à 30 mm ; moyen de 30 à 50 mm ; important de 50 à 75 mm et très important de 75 à 100 mm et plus. Sur la base de cette répartition, nous avons fait une recomposition en trois classes de pluies afin de rechercher leurs proportionnalités : une classe de pluie nulle à faible (de 1 à 15 mm) ; une classe de pluie modérée à moyenne (de 16 à 50 mm) et une classe de pluie importante à très importante (supérieure à 50 mm). En admettant les années 1991 et 2009 comme représentatives, respectivement des années normales et sèches, nous avons déterminé les proportions desdites classes pluviométriques dans les quatre stations ayant fait l'objet d'étude, comme le récapitule le **Tableau 3**.

**Tableau 3 : Nombre d'événements pluvieux selon le volume de 1991 et 2009**

Stations	Nombre d'événements pluvieux en 1991				Nombre d'événements pluvieux en 2009			
	1-15 mm	16-50 mm	>50 mm	Total	1-15 mm	16-50 mm	>50 mm	Total
Karal	29	9	1	39	12	3	0	15
Baltram	34	11	2	37	11	9	0	20
Djani B	16	16	2	34	14	11	0	25
Sidjé	18	13	2	33	12	5	0	17
Total	87	14	7		49	28	0	

Au regard du **Tableau 4**, la situation d'ensemble dans les quatre stations de Canton Assâlé présente une forte proportion des pluies de quantité nulle à faible. En 1991, le nombre d'événements pluvieux est de 87 pour les quatre postes, il est de 49 en 2009. Aussi, le fait le plus marquant est que l'année 2009 n'a enregistré aucune quantité de pluies importantes à très importantes. Une représentation graphique (**Figure 3**) permet de mieux illustrer cette situation.



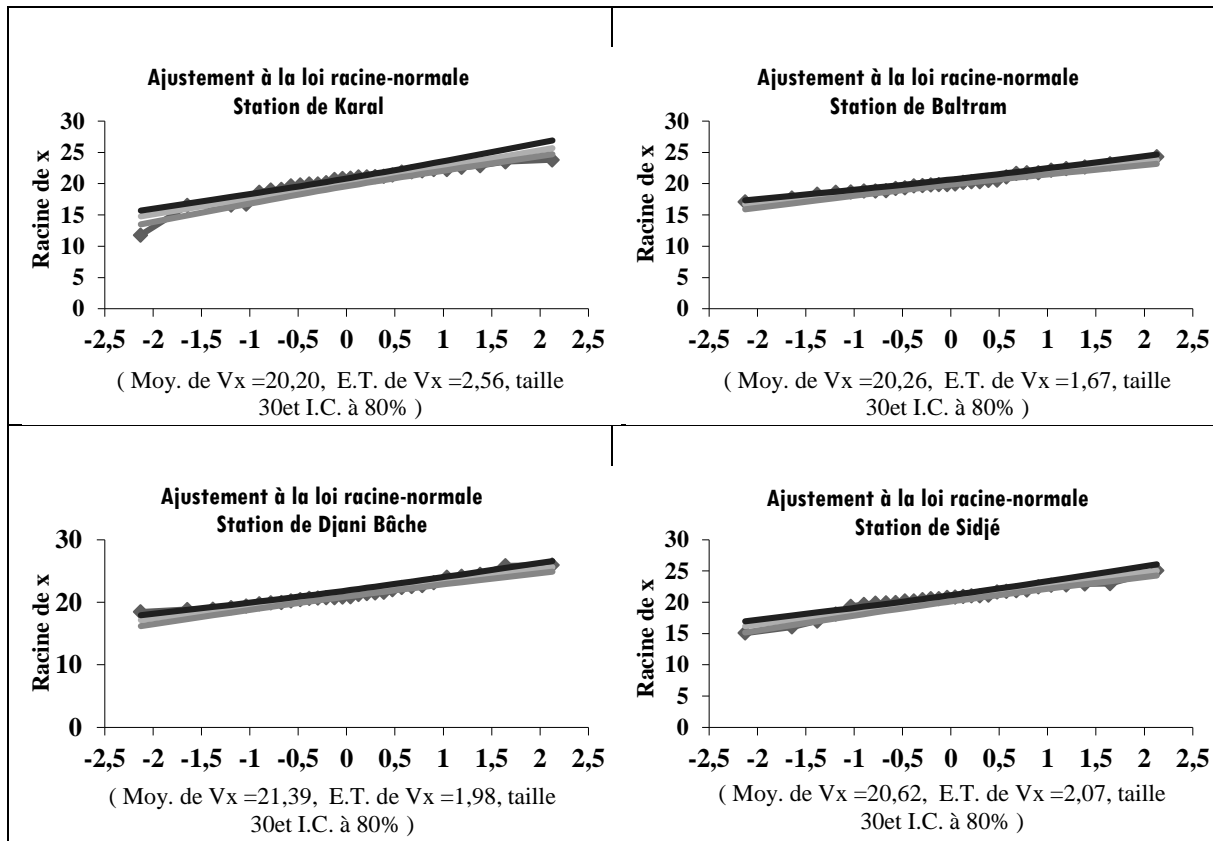
**Figure 3 :** Proportion des pluies de différentes classes dans la répartition pluviométrique annuelle

Au vu de la **Figure 3**, les pluies nulles à faibles (1-15 mm) occupent une proportion de l'ordre de 64 % dans la distribution des pluies au cours de l'année. Elles sont davantage importantes dans la zone de Karal, où elles atteignent facilement 80 % environ lors des années sèches. Cette prédominance des pluies nulles à faibles est l'un des problèmes majeurs pour la culture du maïs, surtout en cas de leur succession dans le temps. L'autre fait frappant est la quasi inexistence des fortes pluies, elles se chiffrent à 3 % seulement. Les pluies moyennes quant à elles ont une proportion de 36 %. Cette situation atteste de manière évidente que la bande sahéenne dans laquelle se trouve le Canton Assâlê (Zone d'étude) a cessé depuis longtemps d'enregistrer des pluies suffisantes pour les activités humaines. A ce phénomène s'ajoutent d'autres tels que l'irrégularité et la mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace, la concentration au cœur de la saison, la prépondérance de pluies faibles, etc. contribuent à fléchir la courbe de la production des cultures vivrières, en premier rang le maïs, une plante hydrophile.

### 3-3. 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 nous permet d'apprécier le type aux 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 racine-normale, comme le montre la **Figure 4**.





**Figure 4 :** Ajustements des pluies annuelles à la loi racine-normale dans les 4 stations étudiées

Les quatre graphiques de la **Figure 4** obtenus des séries des données pluviométriques annuelles ajustées à la loi racine-normale fournissent les renseignements suivants :

- La moyenne des racines : pour  $u = 0$  ;  $\Rightarrow x = \bar{x}$  ;
- L'écart-type des racines de la série ; par exemple en prenant  $u = 2$  nous pouvons obtenir la variable  $x$  ;
- La taille de l'échantillon (nombre d'observations ou de variables), dans notre cas ce nombre  $n$  est de 30 puisque nous avons travaillé sur une série de 30 ans ;
- Enfin l'intervalle de confiance (pourcentage de chance pour que la variable soit observée) qui est de 80 %.

Il ressort de l'analyse desdits graphiques (**Figure 4**) 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 des fréquences et des probabilités des pluies.

### 3-4. Variation interannuelle des pluies

**Tableau 4 : Indices de variation des pluies à l'échelle annuelle**

ANNEE	IPA	ANNEE	IPA
1990	-0,12	2005	-0,06
1991	1,47	2006	-0,42
1992	2,06	2007	0,27
1993	0,69	2008	-1,09
1994	0,96	2009	-1,61
1995	-0,39	2010	0,68
1996	0,31	2011	-1,29
1997	0,68	2012	-0,04
1998	0,69	2013	-0,54
1999	-0,64	2014	-0,23
2000	0,65	2015	-1,23
2001	-0,28	2016	0,16
2002	0,28	2017	0,20
2003	0,26	2018	0,34
2004	-0,54	2019	-1,09

Source : Relevés pluviométriques des stations, 2019

Le **Tableau 4** met en exergue la variation interannuelle des pluviométries dans le Canton Assâlé. Il se dégage une parité entre les années sèches et les années humides. Au fait, 15 années sur 30 observées se sont révélées déficitaires et les 15 autres excédentaires. Parmi les années déficitaires, l'année 2009 s'est comportée spécifiquement drastique avec un indice de -0,04, l'année 2005 la talonne directement avec -0,06. Deux autres années ne sont pas du reste, il s'agit de l'année 1990 (-0,12) et l'année 2001 (-0,28). Ces quatre années ayant marqué le paroxysme de la sécheresse de ces dernières décennies au sahel n'ont point épargné les rives méridionales du lac Tchad, en particulier le Canton Assâlé. Pour ce qui est des années excédentaires, l'année 1992 détient largement le record avec un indice de 2,06 ; l'année 1991 s'approche un tout petit peu d'elle avec 1,47, viennent les années 1994 (0,96), 1993 et 1998 présentant le même indice (0,69), il en est de même pour 1997 et 2010 (0,68). 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.

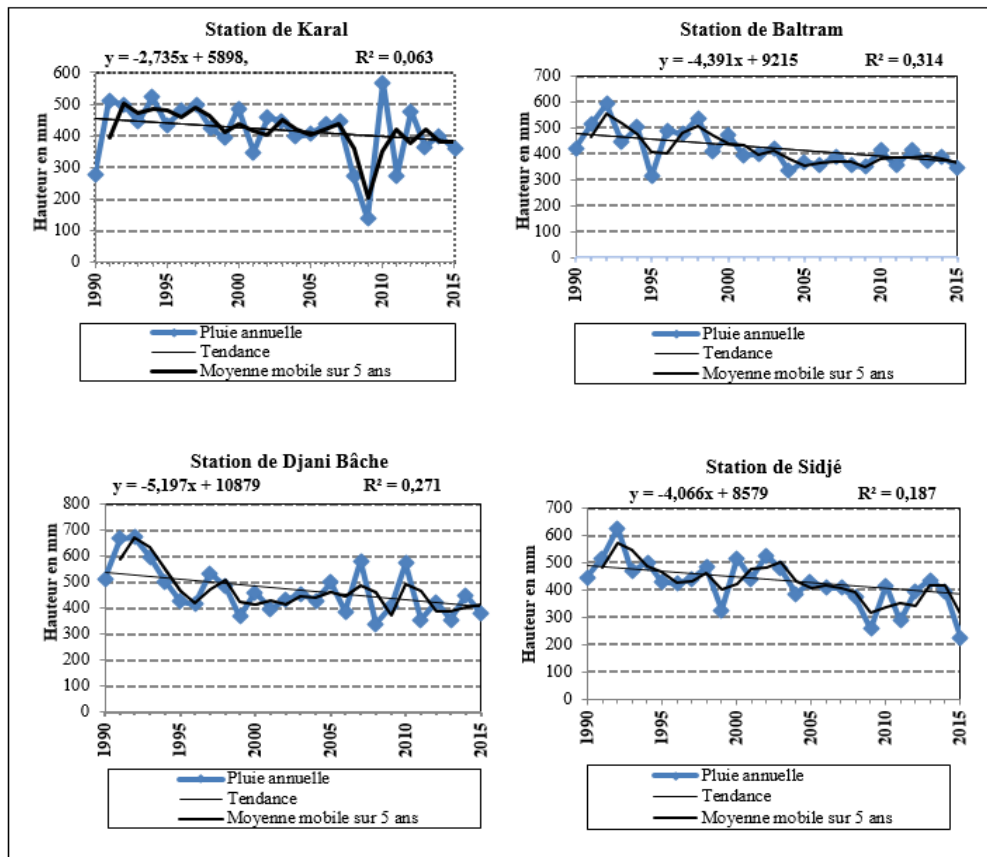


Figure 5 : Variations interannuelles et tendances de la pluviométrie dans le Canton Assâlê

Au-delà des variations interannuelles, les graphiques de la **Figure 5** apprécient aussi les tendances de la pluviométrie dans le terrain d'études. En scrutant les valeurs du coefficient de régression (a) dans les équations nous observons que la tendance à la hausse n'existe pas. Tous les quatre postes pluviométriques analysés présentent des valeurs négatives. Ainsi, par ordre d'importance, le poste pluviométrique de Karal se place au premier rang avec un coefficient de régression de -2,73. Les tendances pluviométriques dans les trois autres stations ne sont pas du reste : à la station de Sidjé le coefficient de régression est de -4,6 ; il est de -4,39 à Baltram et de -5,19 au niveau de Djani Bâche. De ce qui précède, nous retenons que la tendance générale de la pluviométrie est fortement à la baisse dans toute la région d'étude, prouvant ainsi un recul des précipitations dans cette entité spatiale. La dégradation du climat de ces dernières années ne donne point une lueur d'espoir quant au retour des pluies normales. L'évolution interannuelle de la pluviométrie saute aussi manifestement à l'œil nu. Elle s'effectue en dents de scie dont les affaissements traduisent les valeurs déficitaires et les pics des valeurs excédentaires. La prééminence des années sèches sur les années humides, sous-tendue par la baisse significative des valeurs de la pluviométrie sur l'ensemble des stations au moyen des moyennes mobiles sur 5 ans augure très mal.

### 3-5. Impact de la variabilité pluviométrique annuelle sur la production du maïs

Pour mettre en évidence l'incidence de la pluviométrie annuelle sur la production du maïs, une corrélation a été établie. Afin de mieux apprécier l'impact de cet aspect, la corrélation entre l'indice pluviométrique et la production du maïs de décrue a été établie d'une part et entre l'indice des pluies et la production du maïs pluvial d'autre part. Puisque l'emplacement géographique du Canton Assâlê offre l'opportunité aux paysans de pratiquer ces deux types des cultures. Suivant cette démarche, l'analyse a été faite par station et par type de culture comme le montrent les **Tableaux 5 et 6**.

**Tableau 5 : Corrélation entre l'indice pluviométrique et la production du maïs de décrue par station**

Stations	Paramètres statistiques	Maïs de décrue	
		Production (variable à expliquer)	Indice(variable explicative)
Baltram	Moyenne	798,03	0,001
	Ecart-type	273,16	0,99
	Coeff. de corrélation	0,72	
	Equation	$Y = 0,00X - 2,10$	
Djani Bâche	Moyenne	722,18	0,002
	Ecart-type	105,67	0,99
	Coeff. de corrélation	0,63	
	Equation	$Y = 0,01X - 4,34$	
Karal	Moyenne	498,27	0,01
	Ecart-type	163,28	0,98
	Coeff. de corrélation	0,84	
	Equation	$Y = 0,01X - 2,54$	
Sidjé	Moyenne	903,67	0,001
	Ecart-type	268,22	0,99
	Coeff. de corrélation	0,19	
	Equation	$Y = 0,00X - 0,65$	

**Tableau 6 : Corrélations entre l'indice pluviométrique et la production du maïs pluvial par station**

Stations	Paramètres statistiques	Maïs pluvial	
		Production (variable à expliquer)	Indice (variable explicative)
Baltram	Moyenne	305,76	0,001
	Ecart-type	43,50	0,99
	Coeff. de corrélation	0,80	
	Equation	$Y = 0,02X - 5,66$	
Djani Bâche	Moyenne	372,05	0,002
	Ecart-type	95,59	0,99
	Coeff. de corrélation	0,88	
	Equation	$Y = 0,01X - 3,41$	
Karal	Moyenne	866,57	0,01
	Ecart-type	248,72	0,98
	Coeff. de corrélation	0,88	
	Equation	$Y = 0,00X - 3,03$	
Sidjé	Moyenne	453,50	0,001
	Ecart-type	109,37	0,99
	Coeff. de corrélation	0,94	
	Equation	$Y = 0,01X - 3,89$	

Globalement, Il ressort de l'examen des **Tableaux 6 et 7** qu'il existe une relation étroite entre la pluviométrie et la production malsicole. En effet, les coefficients de corrélation entre l'indice pluviométrique et la production du maïs sont très significatifs (0,80 à 0,94) pour la production du maïs pluvial et moins significatifs (0,19 à 0,84) pour la production du maïs de décrue. Ce qui signifie que l'indice pluviométrique explique 80 à 94 % de production du maïs sous pluie et 19 à 84 % de production du maïs de décrue. Il transparait donc que le lien entre la pluviométrie et la culture du maïs pluvial est plus important qu'entre la pluviométrie et le maïs de décrue. Cela est dû au fait que le premier type de culture dépend exclusivement

des pluies locales alors que le second dépend beaucoup plus des eaux du système hydrographique Chari-Logone, l'eau de pluie vient juste en complément, environ 10 % [18]. Pour la production de maïs pluvial, l'indice pluviométrique annuel à Sidjé est 0,94 et de 0,19 pour la production du maïs de décrue. Cela s'explique par le fait que Sidjé soit moins distant du Lac Tchad.

### 3-6. Dates de démarrage et de clôture de la saison dans le Canton Assâlé

L'installation tout comme l'arrêt de la saison des pluies n'obéit à aucune loi, sinon à celle de la nature. Elles sont marquées par des dates instables. Le retard ou la précocité de la pluie influence systématiquement la durée de la saison. Il est fréquent de constater à l'intérieur d'une même localité des décalages entre les stations. Le phénomène de variabilité pluviométrique ignore les barrières spatio-temporelles. Dans le Canton Assâlé, la moyenne de la saison pluvieuse oscille entre trois (03) (Juillet-Septembre) à 4 mois (Juillet-Octobre), avec ce pendant une tendance qui évolue vers trois (03) mois. D'autant plus que sur les 120 observations, 55 ont bouclé leurs saisons en trois mois, contre 51 qui ont connu des saisons de quatre (04) mois, huit (08) ont comptabilisé cinq (5) mois, quatre (04) ont connu des saisons de six (06) mois. Par ailleurs, il y a deux saisons extrêmes que la situation pluviométrique a ressorties et qui font rappeler au Canton Assâlé, les périodes fastes et néfastes vécues. Il s'agit respectivement de trois années de six (06) mois (1991, 1992 et 2016) correspondant aux périodes normales et deux années de deux (02) mois (2003 et 2009) qui rappellent les périodes de la sécheresse. Analyse faite cas par cas, chaque station ou poste pluviométrique a ses réalités. Certes, il existe tant des points de rapprochement, mais les points de dissemblance ne sont pas aussi exclus. En général, dans tous les quatre postes, la saison de pluies commence à partir de la première décennie du mois de Juillet et prend fin à la troisième décennie de mois de Septembre ou Octobre. L'autre point commun est la durée de la saison pluvieuse. En fait, pour toutes les séries chronologiques observées, la durée de la saison pluvieuse varie entre 3 à 4 mois. Cependant, quelques particularités existent entre les différents postes. Selon les observations, à la station de Baltram, 18 années sur trente ont enregistré des saisons de 3 mois, alors qu'à la station de Karal, il y a eu 18 années de 4 mois. De façon exceptionnelle, la station de Djani Bâche a connu deux saisons de 6 mois, tandis que Karal a connu 2 saisons très courtes (2 mois). Des variations sont également observées sur le nombre des jours pluvieux. Globalement, le nombre des jours pluvieux fluctuent entre 25 à 29 jours. Il est de 29 jours au poste de Djani Bâche, de 28 jours à Karal, de 26 et 25 jours respectivement aux postes de Sidjé et de Baltram.

## 4. Discussion

De 1990 à 2019, les cumuls pluviométriques dans le Canton Assâlé oscillent entre 300 à 400 mm, de seuils qui sont en dessous des normales (500 à 600 mm/an) dans la zone sahélienne [6]. En plus, l'essentiel de la quantité pluviométrique enregistrée dans la localité se concentre au cœur de la saison (Juillet-Août). La baisse tout comme la mauvaise répartition des pluies ont des impacts sur les cultures, en particulier le maïs, une plante hydrophyte qui a besoin entre 500 à 800 mm des pluies bien réparties pour croître normalement et donner un bon rendement [17, 26]. La dégradation du régime pluviométrique n'est pas le seul apanage de la bande sahélienne, elle affecte aussi les domaines soudanien et soudano-sahélien [3, 9]. Cette disproportion du volume pluviométrique annuel est également observée entre les quatre stations ayant servi de cadre d'études. Poursuivant les observations, il a été remarqué que le nombre d'événements pluvieux présente les mêmes disparités. Les pluies nulles à faibles (1-15 mm) sont beaucoup plus importantes que celles des classes modérées (16-50 mm) et très importantes (supérieure à 50 mm). Et donc, l'insuffisance des précipitations peuvent engendrer une siccité des plants du maïs et/ou compromettre la croissance et la production maïsicoles [27, 28]. Les saisons s'alternent entre les années excédentaires et déficitaires, selon les Indices

Pluviométriques Annuels calculés [29]. Au total, il existe 15 années sèches et 15 autres humides. Il convient de notifier que l'appellation humide desdites années n'est qu'une simple aberration, car ces années sont très loin des années normales que le domaine sahélien a connues. L'expression graphique des hauteurs des précipitations par station via le coefficient de régression (a) dans l'équation a montré que la tendance à la hausse n'existe pas. Les données pluviométriques des quatre stations analysées affichent des coefficients de régression négatifs et des coefficients de détermination faibles, et des courbes de tendance qui fléchissent. Ces comportements des pluies ont impacté la production maïsicole comme l'attestent les coefficients de corrélation établis. Autant que le maïs pluvial, le maïs de décrue a été aussi affecté. Cependant, le premier a été beaucoup plus impacté, vu sa dépendance totale de la pluie. Malgré, la variabilité de la pluie n'est pas entièrement responsable de la chute de la production du maïs. Cette tendance pluviométrique va imposer aux maïsiculteurs de réadapter davantage leurs calendriers culturaux et d'orienter leurs choix sur les variétés à cycle court. Etant donné que le maïs une plante exigeante, la seule connaissance du régime pluviométrique ne suffit pas à expliquer le son rendement ou sa production [8, 30]. Des études complémentaires liées notamment aux conditions thermiques, hygrométriques ou pédologiques pourront apporter des détails sur les 20 % non expliqués par les corrélations établies entre la production et les indices pluviométriques annuels.

## 5. Conclusion

La variabilité pluviométrique dans le Canton Assâlé est plus qu'une évidence. Elle se manifeste à travers la concentration des précipitations au milieu de la saison (Juillet-Août), le raccourcissement de la saison des pluies (3 à 4 mois), la prédominance de la classe des pluies nulles à faibles (1-15), une forte variabilité interannuelle des pluies avec une tendance à la baisse et une succession des années sèches et humides. Ces comportements de la pluviométrie ont impacté la production du maïs. La corrélation établie entre l'indice pluviométrique annuel (IPA) et la production du maïs confirme que, la variabilité des pluies explique de 80 à 94 % la baisse de la production du maïs pluvial et de 19 à 84 % celle du maïs cultivé en décrue. A travers ces coefficients, nous retenons que la pluie n'est pas la seule responsable de la chute de la production maïsicole dans le Canton Assâlé, mais la principale. Des études sur les autres paramètres climatiques et les valeurs agronomiques des sols sont envisageables pour être au complet.

## Références

- [1] - S. ROMAIN GOUATAIN, Effets des variabilités pluviométriques sur les systèmes de culture et adaptations des agriculteurs dans la plaine du mayo-kebbi (sud-ouest du Tchad). Thèse de Doctorat, Université de Maroua, Cameroun, (2016) 327 p.
- [2] - B. ANDRE, Dynamique des systèmes agraires et des modes de gestion de l'espace dans le bassin de Mayo Kebbi (sud-ouest du Tchad), Thèse de Doctorat, Université de Lomé, Togo, (2012) 389 p.
- [3] - G. L. DJOHY, A. H. EDJA et G. S. NOUATIN, Variation climatique et production vivrière : la culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la commune de Parakou au Nord-Bénin, *Afrique SCIENCE*, 11 (6) (2015) 183 - 194
- [4] - B. DOUKPOLO, Changements climatiques et productions agricoles dans l'ouest de la République Centrafricaine, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (2014) 338 p.
- [5] - D. NOUFE, L. BRUNO, G. MAHE, E. SERVAT, B.Y. TELESPHORE, B. Z. KOLI, J-L. CHALEARD, Variabilité climatique et production de maïs en culture pluviale dans l'est Ivoirien, *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1 (2011) 156 - 167

- [6] - S. ROMAIN GOUATAIN, F. MOCTAR SINA, Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison agricole à l'ouest du Tchad, *Afrique Science*, 11 (15) (2015) 159 - 171
- [7] - Z. ABDOUL HABOU1, M. K. BOUBACAR, T. ADAM, Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (3) (2016) 1262 - 1272
- [8] - D. NOUFE, Z. A. KOUADIO, G. E. SORO, T. P. WAYOU, B. T. A. GOULA, I. SAVANE, Impact de la variabilité climatique sur la production du maïs et de l'igname en Zones Centre et Nord de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 27 (3) (2015) 241 - 255
- [9] - B. ABDOULAYE, B. B. CLOBITE, A. MBANGHOGUINAN, A. ISSAK, L. BAOHOUTOU, Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au sud du Tchad : effets du changement climatique. *Revue Ivoirienne Sciences et Technologie*, 23 (2014) 13 - 30
- [10] - B. ABDOULAYE, B. B. CLIBITE, A. MBANGHOGUINAN, A. ISSAK, L. BAOHOUTOU, Variabilités climatiques et ruptures dans les séries de précipitations en République du Tchad. *Revue Ivoirienne Sciences et Technologie*, 21 (2013) 187 - 208
- [11] - I. YABI, F. AFOUDA, S. ZAKARI, M. BOKO, Quelques caractéristiques de la seconde saison agricole dans le département des collines (Bénin) : 530-535. In Boko M., Vissin E.W., Afouda S., « Climat Agriculture, Ressources en Eau d'hier à demain », Actes du XXVIème Colloque de l'AIC, Bénin, (2013) 573 p.
- [12] - S. ROMAIN GOUATAINE, L. BAOHOUTOU, Mise en évidence de la variabilité pluviométrique sur la plaine du Mayo-Kebbi, sud-ouest du Tchad. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 25 (8) (2015) 93 - 109
- [13] - S. SALACK, Analyse des pauses pluviométriques et évaluation des incertitudes de la pluie des modèles régionaux de climat à l'aide d'un modèle de culture, Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, (2013) 412 p.
- [14] - F. AFOUDA, A. PIERRE MAGLOIRE, I. YABI, 2014, Instabilité intra-saisonnière des pluies de la grande saison agricole dans la Commune de Kétou au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, 12 (2014) 26 - 47
- [15] - S. ROMAIN GOUATAINE, D. DADOUM MAGLOIRE, L. BAOHOUTOU, Stratégies paysannes d'adaptation face aux risques d'instabilités pluviométriques annuelles dans la plaine du Mayo-Kebbi. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 (2016) 51 - 62
- [16] - C. AMANI YAO, Production agricole et changement climatique : vers une tragédie des comportements paysans à Tassilé ?. *In European Scientific Journal*, Vol. 8, (16) (2013) 227 - 244
- [17] - D. BAMBARA, A. BILGO, E. HIEN, A. MASSE, A. THIOMBIANO, V. HIEN, Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio environnementales à Tougou et Donsin, climats sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso, *Bulletin de la Recherche, Agronomie du Bénin (BRAD)*, N° 74 (Décembre 2013) 16 p.
- [18] - CIMA INTERNATIONAL, Etude de faisabilité du projet de transfert d'eau de l'Oubangui au lac Tchad, CBLT, Ndjamen, Tchad, (2011) 93 p.
- [19] - S. NICHOLSON, On the question of the "recovery" of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63 (2005) 615 - 41
- [20] - A. ABDOU, T. LEBEL, A. AMANIE, Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel., 19 (4) (2009) 227 - 235
- [21] - C. RANGE, Multi-usage des ressources et mobilités : l'intensification dans une zone humide sahélienne : le Lac Tchad vu par sa fenêtre Camerounaise, Thèse de Doctorat, l'Institut des Sciences Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris, France, 694 p.
- [22] - B. ANSOUMANA, D. HONORE, D. ALAIN, Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo*, Vol. 51, (1) (2011) 107 - 124



- [23] - G. TCHADIEU, T. MAURICE, R. MBAYI, La délimitation de la saison des pluies dans le Nord-Cameroun (6°-11° N). Association Internationale de Climatologie, Vol. 12, (1999) 150 - 158
- [24] - M. V. K. SIVAKUMAR, A. MAÏDOUKIA, R. D. STERN, Agro-climatologie de l'Afrique de l'Ouest : Le Niger. Deuxième édition, Bulletin d'information n°5, Institut International de Recherche sur les cultures des Zones Tropicales semi-arides, ICRISAT, Niamey, (1993) 108
- [25] - A. JOSEPH ARMATHEE, S. ABESSOLO, S. B. ROMAIN ARMAND, Dynamique du climat et impacts sur la production du maïs dans la région de l'ouest du Cameroun. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 21 et 22, (2013) 209 - 234
- [26] - B. SARR, L. KAFANDO, S. ATTA, Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (4) (August 2011) 1659 - 1675
- [27] - E. MUSABANGANDJI, Contraintes et stratégies d'amélioration de la Filière maïs au Rwanda, Thèse de Doctorat, Université de Liège-Gembloux AGRO-BIO TECH, Liège, Belgique, (2017) 251 p.
- [28] - A. AKINDELE, E. OGOUWALE, I. YABI, Vulnérabilité et adaptation de la production vivrière aux contraintes climatiques dans la commune d'adja-ouere : 45-50. In Boko M., Vissin E. W., Afouda S., « Climat Agriculture, Ressources en Eau d'hier à demain », Actes du XXVIème Colloque de l'AIC, Cotonou, Bénin, (2013) 573 p.
- [29] - D. OUMAROU, L'adaptation de l'agriculture au changement et à la variabilité climatiques au Québec : un processus de diffusion des innovations, Thèse de Doctorat, Université de Montréal, Canada, (2014) 264 p.
- [30] - M-S. ISSA, Changements climatiques et agrosystèmes au Bénin central : Impacts et stratégies d'adaptation, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, (2012) 273 p.