

Contribution à l'Amélioration du Rendement du Soja (Glycine Max (L.) Merr.) dans un Contexte de Variabilité Climatique : Cas de la Commune de Banikoara (Nord Benin)

TODE⁽¹⁾ K.M, IDOHOU⁽²⁾ L. H., AHAMIDE⁽³⁾ B. W.E.Vissin ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, BP : 01BP 526 Cotonou, BENIN

⁽²⁾ Institut National de l'Eau, Université d'Abomey Calavi, BP : 01BP 526 Cotonou, BENIN

⁽³⁾ Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi, BP : 01BP 526 Cotonou, BENIN

⁽⁴⁾ Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Université d'Abomey Calavi, BP 1388 Abomey Calavi, BENIN



Résumé – Le soja (*Glycine max* (L.) Merr.) est une plante moins exigeante en eau mais sensible au stress hydrique. Malgré l'engagement et la volonté des paysans à en produire beaucoup plus, la filière peine à décoller, son rendement moyen tourne autour de 500 kg/ha largement inférieur au rendement potentiel estimé à 3 t/ha. L'objectif général de l'étude est de contribuer à l'amélioration du rendement du soja à travers le choix approprié de dates de semis dans le contexte actuel de variabilité climatique. La méthodologie adoptée est axée sur l'analyse des données pluviométriques et de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) sur la période de 1981 à 2015. L'analyse de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique est basée sur l'Indice Pluviométrique Standardisé du cumul annuel. La détermination du début et de la fin de la saison des pluies a été effectuée à l'aide du logiciel Instat + à partir de la méthode de SIVAKUMAR. Les approches du bilan hydrique ont permis de déterminer les périodes favorables à la culture du soja. Dans le but de proposer une date de semis pour le soja dans cette Commune, une expérimentation a été réalisée à travers un dispositif comportant quatre (4) dates de semis (1^{er} juillet, 15 juillet, 1^{er} Août et 15 Août) répété chacun quatre fois d'où quatre traitements par bloc. Sur le site expérimental les paramètres de rendement du soja ont été évalués. De plus, la comparaison de l'ETM (calculée par stade de développement du soja) et de la pluviométrie (moyenne obtenu par stade de développement) a été également faite. Les résultats ont révélé que la commune de Banikoara est caractérisée par une variabilité climatique sous la forme d'une alternance d'années déficitaires et excédentaires et présente une tendance à la hausse avec une moyenne pluviométrique de 1136 mm sur la période d'étude. L'ETP moyenne sur la période est 1710mm. La variabilité pluviométrique a induit un raccourcissement drastique (de 159 à 129 Jours) sur la durée de la saison pluvieuse dans la commune. Le bilan climatique a permis de déceler les périodes de mi-Mai à Octobre comme périodes favorables à la culture du soja. L'expérimentation a montré que les dates de semis ont en générale une influence fortement significative sur la production du soja ($p<0,05$) et que les semis du 15 juillet ont donné un bon rendement suggérant ainsi la période du 1^{er} et 15 Juillet comme propice pour le semis du soja dans la commune.

Mots clés – Variabilité climatique, variabilité pluviométrique, dates de semis, Banikoara.

Abstract – Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is a plant that requires less water but sensitive to water stress. Despite the commitment and willingness of farmers to produce more this crop, the sector met many difficulties to take off while its average yield is around 500 kg / ha, below the potential yield estimated at 3 t / ha. The general objective of the study is to contribute to the improvement of soybean yield through the appropriate choice of sowing date in the current context of climate variability. The methodology adopted is based on the analysis of rainfall data and ETP over the period 1981 to 2015. The analysis of the interannual variability of the rainfall regime is based on the Standardized Pluviometric Index of the annual cumulative. The start and end of the rainy season was determined using the Instat + software using the SIVAKUMAR method. Water balance approaches have made it possible to determine favorable periods for growing soybeans. In order to propose a date for sowing soybeans in this Municipality, an experiment was carried out through a device comprising four (4) sowing dates (July 1st, July 15th, August 1st and August 15th) each repeated four times hence four treatments per block. On the

experimental site the soybean yield parameters were evaluated. In addition, the comparison of ETM (calculated by soybean development stage) and rainfall (average obtained by development stage) was also made. The results revealed that the municipality of Banikoara is characterized by climatic variability in the form of an alternation of deficit and surplus years and shows an increasing trend with an average rainfall of 1136 mm over the study period. The average FTE over the period is 1710mm. The rainfall variability has led to a drastic shortening (from 159 to 129 days) over the duration of the rainy season in the town. The climatic balance made it possible to identify the periods from mid-May to October as favorable periods for the cultivation of soybeans. Experimentation has shown that the sowing dates in general have a highly significant influence on soybean production ($p < 0.05$) and that the sowing of July 15th gave a good yield, thus suggesting the period of July 1st and 15th as suitable for the sowing of soybeans in the town.

Keywords – Climate variability, rainfall variability, sowing dates, Banikoara.

I. INTRODUCTION

L'agriculture béninoise demeure essentiellement une agriculture de subsistance. Presque exclusivement pluviale, c'est une agriculture extensive et itinérante sur brûlis, aux rendements et productions aléatoires car tributaires des données climatiques [1]. Selon [2], l'absence, l'excès ou la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies sont sources et génératrices des crises climatiques et économiques, avec leurs retombées sociopolitiques surtout dans la mesure où du climat, dépend l'augmentation ou la diminution des récoltes. La culture de soja fait partie des principales cultures mondiales à plus forte expansion contribuant ainsi, à la nutrition humaine en termes d'apports énergétiques et protéiniques. Mais malgré l'engagement des entreprises privées à faire la promotion de la filière soja et la volonté des paysans à en produire beaucoup plus, la filière peine à décoller malgré l'existence de marché d'écoulement. Le rendement moyen est de 500 kg/ha [3] et est inférieur au rendement potentiel estimé à 3 t/ha pour les variétés de soja recommandées au Bénin [4]. Selon [5], le rythme d'installation des saisons (sèche et pluvieuse) n'est plus respecté et les producteurs n'ont plus la maîtrise des dates de semis. Cette situation est en partie et surtout imputable aux perturbations climatiques actuelles. Ainsi, il s'avère nécessaire de mettre au point de nouveau calendrier cultural en définissant de nouvelle période propice pour les dates de semis adaptées aux variabilités climatiques. Lever l'équivoque au sein des acteurs de notre économie et contribuer à l'intensification de la production du soja justifie la pertinence de la présente étude intitulée **“ contribution à l'amélioration du rendement du soja (*Glycine max (L.) merr.*) dans un contexte de variabilité climatique : cas de la commune de Banikoara (Nord Bénin) ”**. Spécifiquement, il s'est agi de caractériser la variabilité climatique, d'analyser la variabilité pluviométrique sur la saison culturale du soja ; d'établir les périodes favorables à la

culture du soja, montrer l'impact de la date de semis sur les paramètres de rendement et proposer une date de semis appropriée à la culture du soja dans la commune de Banikoara.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation du milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans de la commune de Banikoara (Nord-Bénin) plus précisément dans l'enceinte du Lycée Technique Agricole de Banikoara situé dans le village de Kommon dans l'arrondissement de Banikoara-Centre. La commune de Banikoara est située au Nord-Ouest du Bénin dans le Département de l'Alibori, entre 2°05' et 2°46' de longitude est et entre 11°02' et 11°34' de latitude nord. Elle est limitée au Nord par la commune de Karimama, au Sud par les communes de Kérou et de Gogounou, à l'Est par la commune de Kandi et à l'Ouest par le Burkina Faso (Figure 1). Elle couvre une superficie de 4397,2 km² [6] D'une façon générale, la pluviométrie du commun est relativement important avec une hauteur moyenne des pluies qui est de 1000 mm par an. L'ETP moyenne de la commune de Banikoara oscille autour de 1710 mm/an. La température est élevée tout au long de l'année avec des minima qui se situent entre 23°C et 24°C et des maxima entre 35°C et 36°C [7]. De par sa position géographique, le climat dans la zone évolue du type soudanien dans sa partie Sud vers le type Soudano-Sahélien dans sa partie Nord [7]. Elle se caractérise par deux saisons :

Une saison pluvieuse qui se manifeste, généralement, de mai à octobre avec remontée de la mousson (vent chaud et humide d'origine océanique et une nature extrémiste du temps : très chaud ou froid) ;

Et une saison sèche de 6 mois également qui dure de novembre à avril avec la prédominance de l'harmattan qui est un vent sec et poussiéreux venant du Sahara.

La figure 1 suivante présente la situation géographique de la commune de Banikoara.

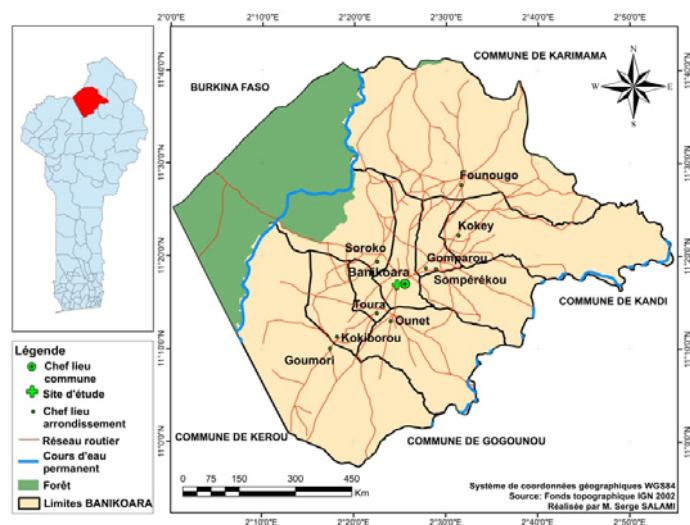


Figure 1: Situation géographique de la commune de Banikoara

III. MATÉRIEL

Données

L'étude s'est basée sur la pluviométrie, la température, l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration maximale (ETM). Les données climatiques journalières de 1981 à 2015 utilisées, proviennent de la base des données de l'Agence Météo Bénin. D'autres données concernent les mesures des paramètres phénologiques relevées sur les plants ont été exploitées. Il s'agit en effet de la hauteur des plants, de nombre gousses, le diamètre des capsules de de nombre de graines par gousse.

Matériel du terrain

Il concerne l'ensemble des outils utilisés pour la mise en place du dispositif d'expérimentation et la prise des mesures des différents paramètres étudiés.

Le matériel végétal utilisé a été le soja (*Glycine max*). Les graines utilisées ont un taux de germination de 97.5%.

Les principaux matériels de mesure utilisés pour l'exécution des travaux sur le terrain ont été les suivants : un pluviomètre à lecture directe pour l'enregistrement des précipitations tombées pendant la période d'étude; un décimètre pour le chainage du site expérimental; un centimètre pour la mesure des paramètres phénologiques; des plaques indiquant les dates de semis sur les parcelles; une balance électronique de précision pour la pesée des échantillons et les produits récoltés.

IV. MÉTHODES

L'indice pluviométrique standardisé (IPS) est calculé. Il est une moyenne des cumuls pluviométriques centrés et réduits.

$$IPS = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} ; \quad (1)$$

Où P est la pluie de l'année i , $\bar{P}$ est la pluie moyenne interannuelle, et σ est l'écart-type de la série considérée. Il indique à lui seul le caractère excédentaire ($IPS > 0$) ou déficitaire ($IPS < 0$) de l'année considérée (Tableaux 1). La grille considérée résulte de la combinaison des grilles de [8 et 9] citée par [10].

Tableau 1: Classification combinée de [8 et 9] en fonction de l'IPS

IPS du cumul	>2	[1; 2]	[0,25; 1]	] -0,25; 0,25[	[-1; -0,25]	[-2; -1[	<-2
types d'années	Humidité Extrême	Très pluvieuse	Modérément pluvieuse	Normale	Modérément sèche	Très sèche	Sécheresse Extrême

Source: [10]

Détection des ruptures

Le Programme de calcul « Khronostat », mis au point par Hydro Sciences Montpellier [11] a été utilisé pour détecter d'éventuelles ruptures de stationnarité sur les séries pluviométriques. La détection de ruptures au sein des séries temporelles a nécessité l'application d'un ensemble de méthodes; notamment le Test non paramétriques de Pettitt, 1979, la procédure bayésienne de [12]

Influence de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale du soja dans la commune de Banikoara au Nord Bénin

La détermination du début et de la fin de la saison des pluies a été effectuée à partir de la méthode de Sivakumar [13, 14, 15]. Cette méthode basée sur des seuils empiriques de précipitations a été reprise par [16,17]. Ainsi :

Le début de la saison des pluies a été défini comme le premier jour, à partir du 15 mars [16,17], lorsqu'on enregistre au moins 20 mm de pluie sur 2 jours successifs. Cependant, un épisode sec de plus de 07 jours consécutifs ne doit pas être observé pendant les 30 jours qui suivent le démarrage.

La fin de saison des pluies dans la zone nord unimodale a lieu à partir du 1^{er} Octobre [16,17]., et correspond au premier jour après une date fixée quand un sol capable de contenir 70 mm d'eau disponible est complètement épuisé par une perte journalière d'évapotranspiration de 4 mm. Autrement dit, lorsque le bilan hydrique est nul.

La longueur de la saison est exprimée par la différence entre la date de fin et celle de début de la saison des pluies.

Détermination des périodes favorables à la culture du soja dans la commune de Banikoara au Nord Bénin

L'étude prend en compte ici de l'approche agro-climatique du bilan hydrique développé par [18]. Ces différentes approches ont permis de faire l'analyse agro-

climatique du bilan hydrique pour déterminer la position des précipitations et l'ETP.

Détermination d'une date de semis appropriée à la culture du soja dans la commune de Banikoara au Nord Bénin

Les logiciels R, Excel, KRONOSTAT et Instat + ont servi aux traitements des différentes données. Un site est aménagé selon un dispositif en 4 blocks aléatoires complets (Figure 2) comportant 4 traitements (1^{er} juillet, 15 juillet, 1^{er} Août et 15 Août). Les parcelles des traitements ont été séparées entre elles de 2 m et les blocs séparés aussi de 2 m les uns des autres. La figure 2 présente le périmètre expérimental du soja.

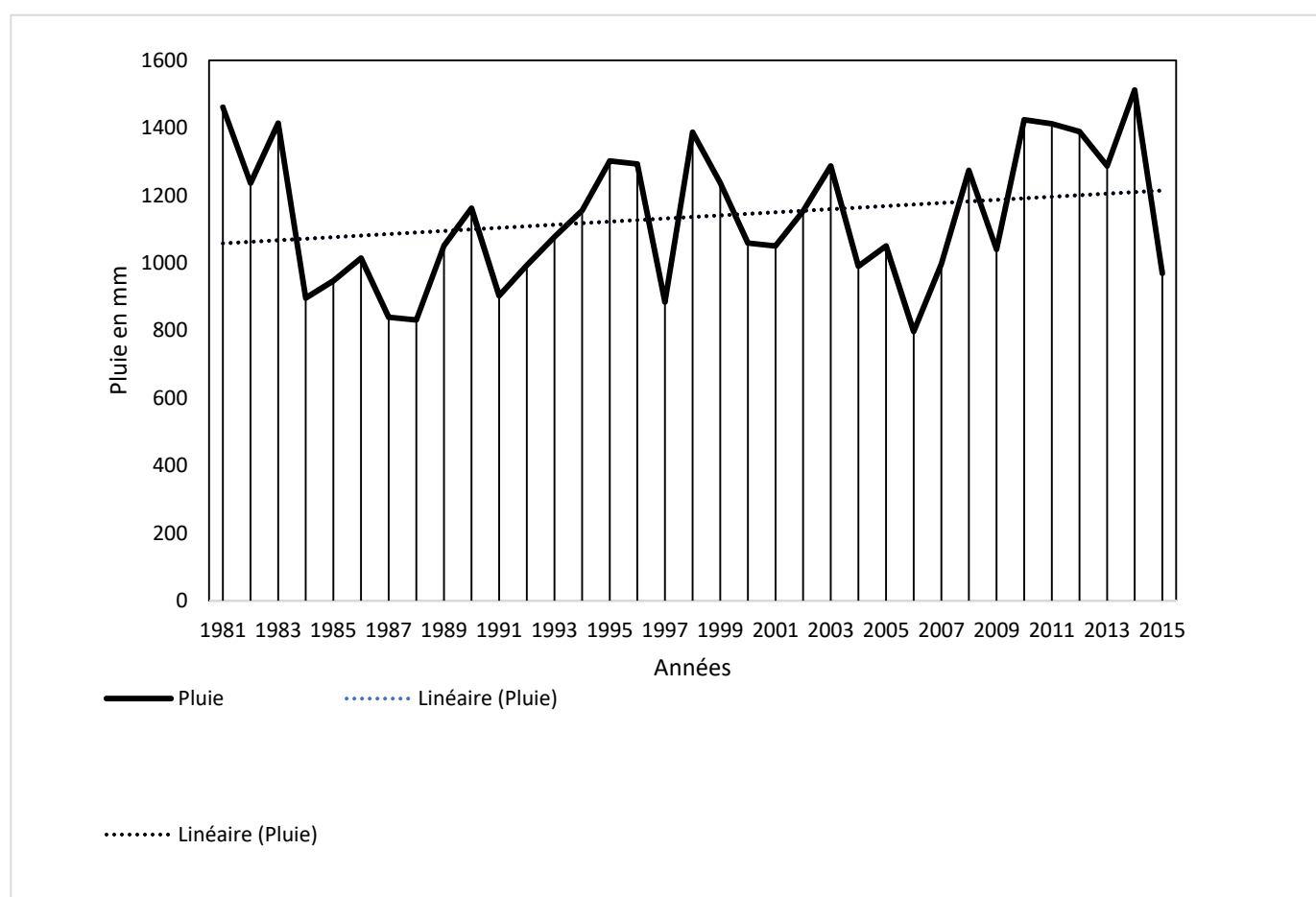


Figure 2: Périimètre expérimental de dates de semis du soja

Sur le site, un carré de rendement de dimensions 1m sur 1m est posé sur chaque parcelle de culture du soja pour éviter les effets de bordure. Les paramètres de rendement du soja

ont fait l'objet de suivi. Soient S_p , p_f respectivement la surface parcellaire, le poids des graines de soja par parcelle, R le rendement parcellaire en tonne par hectare (T/ha).

$$R = \frac{10000 \times pf}{S_p}; \quad (2)$$

Avec S_p en m^2 et pf en T (tonne)

Calage du cycle de la culture du soja dans la commune de Banikoara

Pour le calage du cycle de culture, l'ETM est calculée par stade de développement du soja. Les résultats obtenus de la comparaison de l'ETM et de la pluviométrie ont permis de déterminer la date propice de semis pour le soja dans la commune de Banikoara. Le tableau 2 présente les caractéristiques culturales du soja. A partir de ce tableau,

ETM=ETP×Kc ;

(3)

Avec ETP, l'évapotranspiration et Kc, le coefficient cultural.

Tableau 2: Caractéristiques culturales du soja

Stades	Stade			
	Initial (*)	végétatif	Intermédiaire (**)	de mûrissement et de séc
Kc	0,3 - 0,4	0,7 - 0,8	1,0 - 1,15	0,7 - 0,8
Valeurs utilisées	0,35	0,75	1,08	0,75
Durées des phases (Jour)	15	20	50	20

(*) Le stade initial va du semis jusqu'au stade de la formation de la première feuille trifoliée

(**) Le stade intermédiaire couvre le début de la floraison et la formation des gousses.

Résultats Caractérisation de la variabilité climatique dans la commune de Banikoara

La figure 3 présente la variation interannuelle de la pluviométrie à Banikoara.

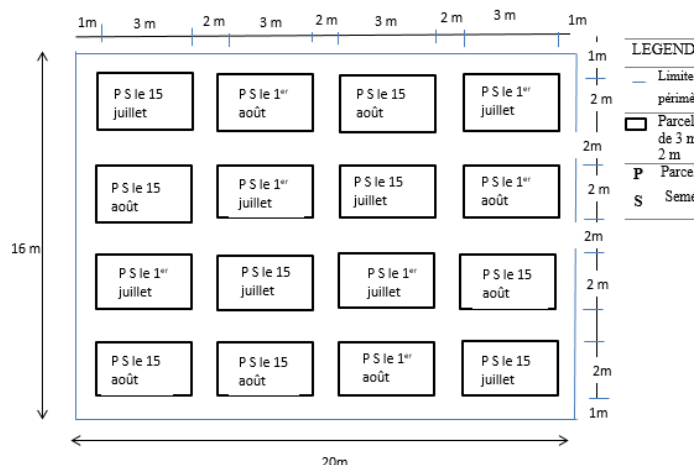


Figure 3: Variabilité interannuelle de la pluviométrie de Banikoara

La pluviométrie dans la Commune de Banikoara oscille autour de 1136,34 mm de hauteur d'eau annuellement de 1981 à 2015 (figure 3). L'analyse de la figure 3 montre une évolution de la pluviométrie en dent de scie. Les précipitations ont été très variables sur la période d'étude. La modification du régime pluviométrique et des cumuls annuels observés atteste déjà la variabilité pluviométrique.

Variabilité des évapotranspirations potentielles (ETP)

La figure 4 présente l'évolution de l'ETP sur la période de 1981 à 2015

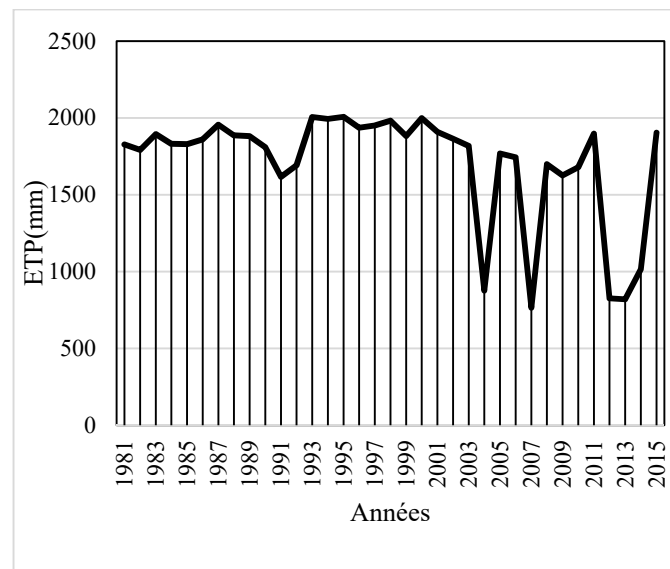


Figure 4: Evolution des ETP sur la période de 1981 à 2015

L'analyse de la figure 4 montre une variation des ETP avec une tendance à la baisse. L'ETP moyen sur la période de 1981 à 2015 est de 1710,2 mm. Ainsi on constate que de 1981 à 2002, il y a eu très peu de variation des ETP. On remarque au contraire, de 2003 à 2015, une variation des évapotranspirations mais en baisse par rapport aux ETP de 1981 à 2015.

L'IPS calculé illustre l'instabilité au niveau de l'offre pluviométrique. La figure 5 présente les indices pluviométriques de la commune de Banikoara au cours des années 1981 à 2015.

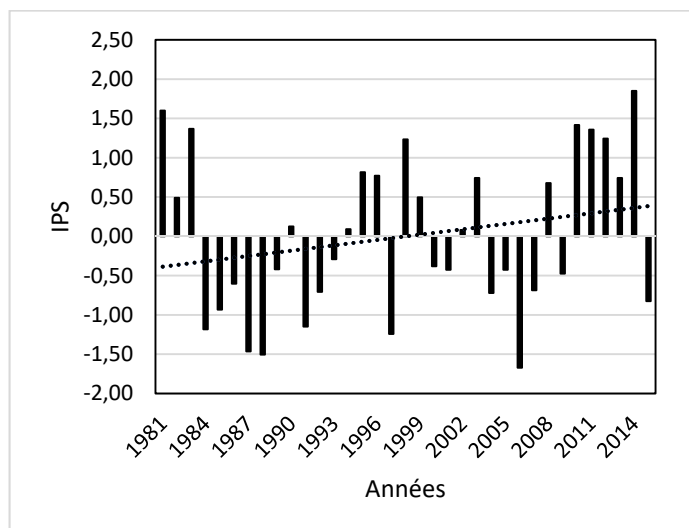


Figure 5: Indice de l'IPS au cours de la période de 1981 à 2015

L'analyse de la figure montre que l'IPS est caractérisée par une tendance à la baisse avec 51 % d'années déficitaires et 49 % d'années excédentaires.

Le tableau 3 présente la classification des années de 1981 à 2015 selon l'IPS.

Tableau 3 : Classification des années selon l'IPS

Années	IPS du cumul	Caractéristiques des années
1981, 1983, 1998, 2010, 2011, 2012, 2014	>2 [1 ; 2]	Humidité Extrême Très pluvieuse
1982, 1995, 1996, 1999, 2003, 2008, 2013	$[0,25 ; 1]$	Modérément pluvieuse
1990, 1994, 2002	$] -0,25 ; 0,25[$	Normale
1985, 1986, 1989, 1992, 1993, 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2009, 2015	$[-1 ; -0,25]$	Modérément sèche
1984, 1987, 1988, 1991, 1997, 2006	$[-2 ; -1[$	Très sèche
	< -2	Sécheresse Extrême

Le tableau 3 présente la Classification des années selon l'IPS de 1981 à 2015. Il ressort des résultats que la pluviométrie dans le temps à Banikoara a un caractère aléatoire/variable ce qui pourrait affecter les rendements agricoles.

➤ Détection de rupture de stationnarité

D'après le test de Lee et Pettitt il y a absence de rupture durant toute la période d'étude dans la commune de Banikoara au seuil de confiance de 95%.

Caractérisation de la variabilité climatique dans la commune de Banikoara

La figure 6 présente l'évolution de la date de début et de fin de la saison sur la période de 1981 à 2015.

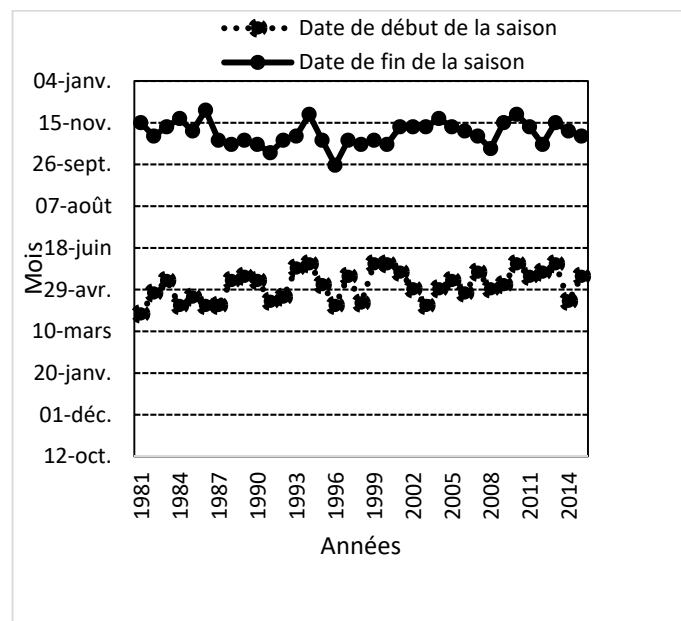


Figure 6 : Evolution de la date de début et de fin de la saison sur la période de 1981 à 2015

De l'analyse de la figure 6, la date de démarrage et de fin de la saison pluvieuse sur l'ensemble de la période d'étude a connu une tendance à la hausse. La pluie commence et s'arrête de façon saltatoire (commence tardivement et finit plus tôt).

La figure 7 présente la variation inter annuelle du nombre de jours de pluies sur la période de 1981 à 2015.

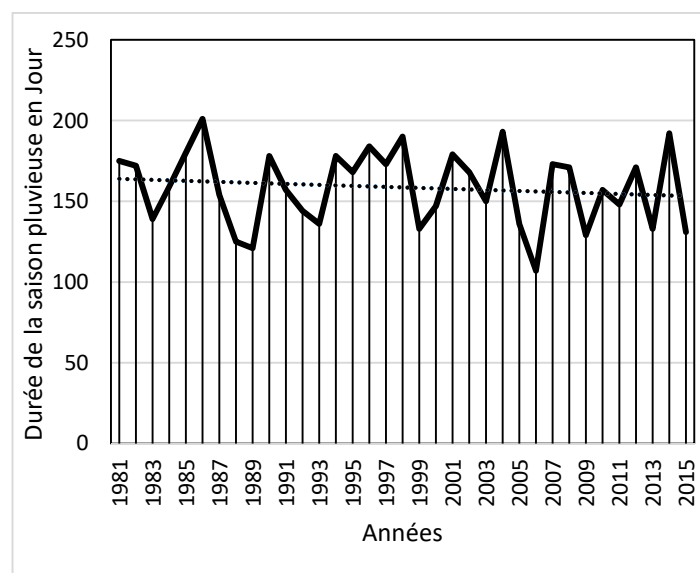


Figure 7 : Variabilité inter annuelle du nombre de jours de pluies sur la période de 1981 à 2015

Le nombre de jour de pluie sur la période de 1981 à 2015 est en moyen de 159. Il y a une diminution moyenne de 30 Jours sur la durée moyenne de la saison des pluies. Le raccourcissement de la durée des saisons empêche de satisfaire les besoins hydriques des cultures durant son cycle de développement d'où la baisse de rendement.

Périodes favorables à la culture du soja dans la commune de Banikoara au Nord Bénin

La pluviométrie et l'évapotranspiration permettent d'observer les périodes humides favorables au développement des cultures en général. La figure 8 présente le Bilan hydrique de la commune de Banikoara sur la période de 1981 à 2015.

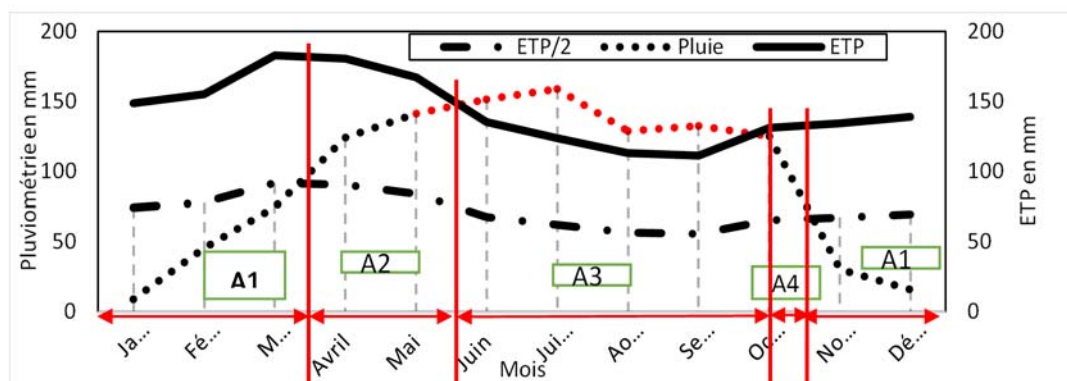


Figure 8 : Bilan hydrique de la commune de Banikoara sur la période de 1981 à 2015

L'analyse de la figure 8 a permis de dégager les différentes périodes climatiques dans la commune de Banikoara. Le régime pluviométrique de la commune de Banikoara est unimodal avec quatre périodes distinctes : la période sèche ($P < 1/2 \text{ ETP}$) A1 : mi-octobre à mi-mars, période au cours de laquelle la pluie est inférieure à l'ETP/2 ; la période pré-humide ($\text{ETP}/2 < P < \text{ETP}$) A2 : mi-mars à mi-mai, au cours de laquelle la quantité de pluie est inférieure à l'évapotranspiration potentielle dans le milieu d'étude; la période humide ($P > \text{ETP}$) A3 : mi-mai à octobre, durant laquelle la pluie est globalement supérieure à l'évapotranspiration potentielle et la quantité d'eau dans le sol est suffisante pour la croissance des plants; puis la période humide ($P > \text{ETP}$) A4 : mi-octobre à mi-mars, durant laquelle la pluie est globalement supérieure à l'évapotranspiration potentielle et la quantité d'eau dans le sol est suffisante pour la croissance des plants. Ainsi, la période humide est favorable à la culture du soja dans la commune de Banikoara

car les précipitations sont suffisantes dans cette période pour assurer le développement normal des cultures tout au long de leurs cycles de développement.

Date de semis pour la production du soja dans la commune de Banikoara au Nord Bénin

De l'expérimentation, il ressort que les dates de semis ont d'influences fortement significative ($p < 0,01$) sur le rendement en grain moyen. Le rendement en grain moyen obtenu au cours de l'essai est de 930 Kg/ha. Le soja semé le 15 juillet observe 449 Kg/ha de plus que ceux semés le 1^{er} juillet alors que ceux du 1^{er} et 15 Août observent respectivement 127 Kg/ha et 326 Kg/ha gousses de moins que le traitement témoins (1^{er} juillet).

La figure 9 présente l'évolution des besoins en eau du soja sur la période d'étude.

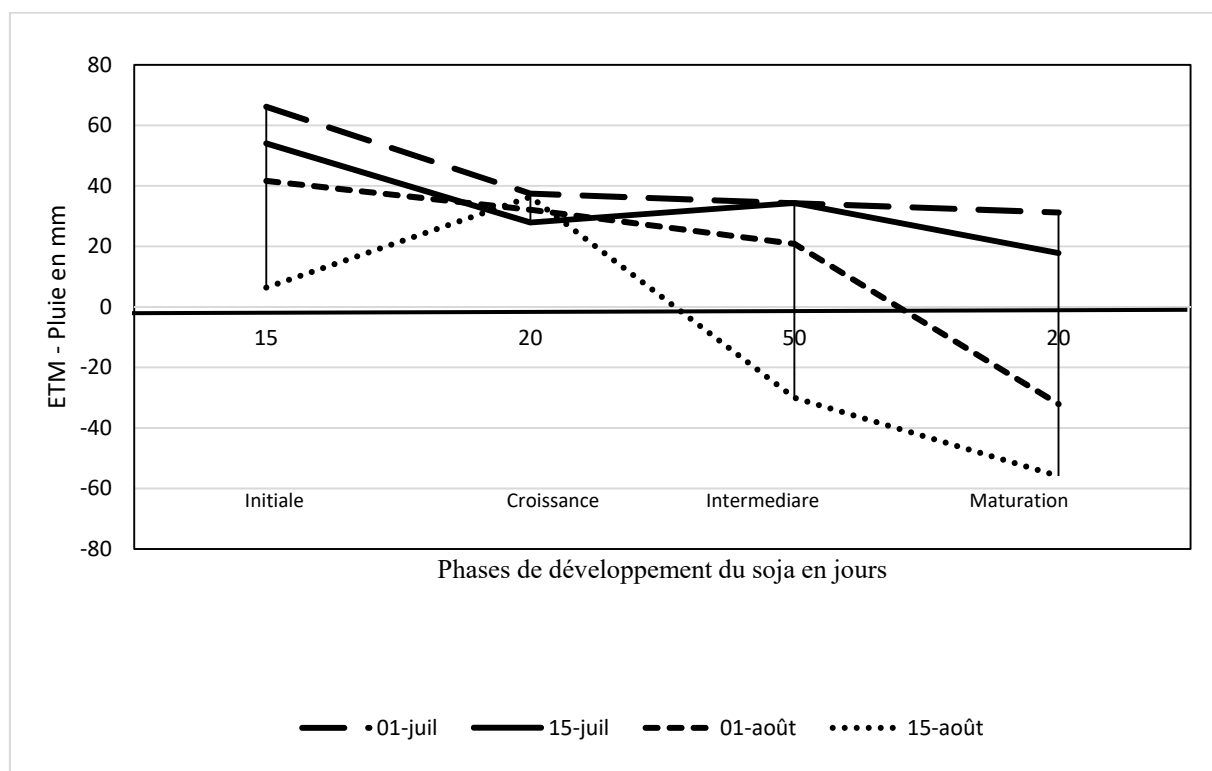


Figure 9 : Evolution des besoins en eau du soja sur la période de 1981 à 2015

De l'analyse de la figure 9 il est fort de constater que la pluviométrie obtenue pendant les phases initiale et de croissance du soja pour les quatre dates de semis satisfait les besoins en eau du soja. La pluviométrie de la période d'étude a permis de satisfaire les besoins en eau du soja semé le 1^{er} Juillet, le 15 Juillet et le 1^{er} Août durant la phase de maturation ; ce qui n'a pas été le cas pour le soja semé le 15 Août (déficit de 30,03 mm). En ce qui concerne la phase de maturation, les besoins en eau du soja ont été satisfaits au niveau des semis effectués le 1^{er} et 15 Juillet. Ce qui n'a pas été le cas pour les semis du 1^{er} et 15 Août. Suite à l'incapacité de satisfaire les besoins en eau du soja durant toutes les phases de son développement, les dates de semis du 1^{er} et 15 Août sont exclus. Vue les résultats de l'expérimentation sur la variation des dates de semis afin de déterminer la date idéale de semis du soja dans la commune de Banikoara et en fonction des résultats obtenus sur le calage du cycle de soja, les dates de semis idéales du soja dans la commune de Banikoara se situent donc entre le 1^{er} et 15 Juillet.

V. DISCUSSION

La commune de Banikoara est caractérisée par une forte variabilité pluviométrique sous la forme d'une alternance d'années déficitaires et excédentaires. Ces résultats sont en

conformité avec les résultats de [19]. En effet, il a montré que le Nord connaît une variabilité climatique qui bouleverse le calendrier des cultures. Les courbes des moyennes mobiles, qui sont un bon indicateur des grandes fluctuations interannuelles font ressortir une seule période (la période de 1981 à 2015) ; ce qui est conforme aux résultats du programme ICCARE de l'IRD [20] qui signale l'absence de rupture sur cette période d'étude.

La variabilité pluviométrique influence négativement la saison culturale du soja en réduisant la durée de la saison pluvieuse. Cette déduction est soutenue par les travaux de plusieurs auteurs qui sont [21,22]. Pour ces auteurs, à la variabilité interannuelle constatée dans tout le Bénin s'ajoute une tendance à l'installation tardive des pluies, à la précocité de la fin de la période pluvieuse. Ces derniers confirment les résultats obtenus par [23,24,25] qui soutiennent que le retard dans l'installation des pluies et la précocité de la fin des événements pluvieux sont à l'origine d'un raccourcissement drastique de la durée de la saison pluvieuse. La réduction du nombre de jours de pluie dans le milieu d'étude confirme la recherche de certains auteurs [12] qui ont déjà montré que le Nord du Bénin connaît une baisse considérable du nombre de jours de pluie. En clair, les analyses montrent combien de fois les conditions pluviométriques dans la Commune de

Banikoara impactent négativement le déroulement des saisons culturales du soja.

La variabilité climatique est devenue très accentuée au point où les repères traditionnels de précision et de prise de décision des producteurs sont dépassés [6]. La période de mi-mai à Octobre est favorable aux cultures dans la commune de Banikoara. Cette conclusion est soutenue par les travaux [26]. Selon ces auteurs, les périodes humides sont favorables aux cultures car durant cette période la quantité d'eau dans le sol est suffisante pour la croissance des plants. Ainsi, les plants bénéficieront de bonnes conditions hydriques pour leurs croissances. De plus ils soutiennent que les fortes valeurs de la pluviométrie enregistrées au cours de la période humide sont favorables aux activités agricoles en générale.

Les dates de semis ont d'influences fortement significatives sur le nombre de gousse et le rendement des différentes dates de semis. Cette déduction est justifiée par [27] qui a montré que le remplissage des gousses constitue une période critique pour le soja en ce qui concerne ses besoins en eau... De l'analyse de l'évolution des besoins en eau du soja sur la période de 1981 à 2015 il ressort que la date propice pour le semis du soja dans la commune de Banikoara se trouve entre le 1^{er} et 15 Juillet. Ce résultat est corroboré par les travaux de [28] qui ont aussi réfuté les dates de semis qui ne permettaient pas aux plants de soja de satisfaire leur besoin hydrique. Aussi, [29] affirme que le déficit pluviométrique entraîne le décalage des dates de semis ce qui est la source de la baisse de production. Donc pour éviter qu'un stress hydrique survienne au cours du cycle de développement de soja, il faut opter faire le semis entre le 1^{er} et 15 Juillet.

VI. CONCLUSION

Dans la mesure des données exploitées, cette étude confirme que la pluviométrie de la commune de Banikoara n'échappe guère aux phénomènes de péjoration climatique. D'où la commune de Banikoara est caractérisée par une variabilité climatique qui se traduit par l'alternance d'années déficitaires et excédentaires. Par ailleurs, elle prouve que les forçages atmosphériques ont plus affecté les composantes du cumul pluviométrique (nombre de jours pluvieux). En effet, elle est, a priori, occultée par le retard de démarrage des saisons et leur raccourcissement mis en évidence de façon générale. De plus la période de mi-mai à octobre est la période favorable dans la commune pour la culture du soja. Aussi les résultats de cette étude ont montré que les semis du 1^{er} et 15 Août ont entraîné un ralentissement de croissance et une baisse de rendement. Le rendement du soja augmente significativement pour un semis effectué le 1^{er} et le 15 juillet

dans la commune de Banikoara. Il est important que cette étude se répète plusieurs afin de déterminer avec précision une date de semis qui tienne compte de la variabilité climatique. Par ailleurs, la gestion de l'eau et la promotion de l'irrigation ne doivent pas être occultées pour réduire la vulnérabilité de notre agriculture face aux variabilités climatiques. En effet, il convient de mener des recherches sur l'adoption d'un système d'irrigation adéquat à la culture du soja afin de rendre cette dernière indépendante de la pluviométrie.

REFERENCES

- [1] Boko M., 1988, Climats et communautés rurales du Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat ès d'Etat, Université de Bourgogne, Dijon, 601 p.
- [2] Houndenou C, 1999, Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat en Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon, 390 p.
- [3] Batamoussi M. H, 2016, Effect of different formulations of mineral fertilizers on the climate change condition of central Benin, ISSN 2351 -8014 vol. 24 n° 1 jun. pp 86 - 94.
- [4] Giller K.H., Vanlauwe B., 2006, Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment 116:34-46.
- [5] Boko M., Kosmowski F., Vissin E.W., 2012, Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin : Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest. Konrad-Adenauer-stiftung, Cotonou, 65p.
- [6] Katé S, 2016, Effets des changements climatiques sur l'agriculture et mesures d'adaptation en zone agropastorale de production cotonnière dans la Commune de Banikoara (Bénin). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi. 273 p
- [7] Dimon R, 2008, Adaptation aux changements climatiques: perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara, au Nord du Bénin 74/209
- [8] Mickée N.J. Doesken J., Kleist E., 1993, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, Calif, Boston, Mass, American Meteorological Society, vol. 179, no. 84, pp. 17-22.

- [9] Ali A., Lebel T., Amani A., 2008, Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel, *Sécheresse* vol. 19, pp 227-35.
- [10] Houssou S.C., AND Agbossou K.E., 2016, Variabilité pluviométrique et impact sur le bilan hydrique des sols sous culture d'ananas au Sud-Bénin, ISSN : 2028-9324 Vol. 15 No. 4, May 2016.
- [11] Boyer M., Gelberman R., Weiland A., 2006, Sierem an environmental information system for water resources. IAHS publication, vol. 308, p. 19.
- [12] Lee. Heghinian, 1977, A shift of the mean level in a sequence of independant normal random variables. A Bayesian approach. *Technometrics* 19: 503-506.
- [13] Sivakumar M, 1988, Predicting rainy season potential from the onset of rains in the southern sahelian and soudanian climatic zone of West Africa. *Agricultural and forest meteorology*, 42: 295-305.
- [14] Balme M., Galle S., Lebel T., 2005, Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger, *Sécheresse*, 16 (1), (2005), pp 15-22.
- [15] Stern R., Rijks D., Dale I., et Knock J., 2006, instat Climatic Guide INSTAT+ for Windows V3.036 Statistical Services Center, University of Reading: Reading. 330p.
- [16] Sarr B, 2007, Manuel d'utilisations destinées aux ingénieurs en agrométéorologie. Centre Régional AGHYMET, Niamey, 72p.
- [17] Goula, B. T. A., Srohourou, B., Brida, A., N'zué, K. A., & Goroza, G. 2010, Determination and variability of growing seasons in Côte d'Ivoire. *Int J Eng Sci*, 2(11) : 5993-6003.
- [18] Erpicum M., Binard M., Peters J.P., Alexandre J., 1988, Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahéenne (Exemples pris au Sénégal)", In : Erpicum (Eds.), *Actes des Journées de Climatologie*, Mont-Rigi, Belgique : Presses Universitaires de Liège, pp. 43-56.
- [19] Djohy G.L., 2015, Variabilite climatique et production cotonniere dans la commune de kandi. P. 325.
- [20] Servat Eric., Paturel J., Lubes-Niel H., Brou Kouamé., Masson J., Travaglio Michel., Marieu B., 1999, Différent aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non Sahélienne. *Revue des sciences de l'eau/ Journal of water science* 12 (2), 363-387.
- [21] Yabi I, 2013. Incidences de la variabilité de la durée de la seconde saison agricole sur la production de l'arachide dans la commune de Savalou au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi n° 11*, Saint Louis, Sénégal, pp. 58-74.
- [22] Allé U.C.S.Y., Vissoh P.V., Guibert H., Agbossou E.K. et Afouda A.A. 2013, Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. *Vertigo*, Vol. 13, Num. 3, 22 p.
- [23] Affo-Dogo A, 2012, Vulnérabilité et stratégies d'adaptation des agriculteurs dans la région des plateaux au Togo face au changement climatique : cas de la communauté rurale de Kpimé. *Mémoire de Master II*, Centre Régional AGRYMETH, p 81.
- [24] Chédé F, 2012, Vulnérabilité et stratégies d'adaptation au changement climatique des paysans du Département des Collines au Bénin : cas de la Commune de Savé, *Mémoire de Master II*, Centre Régional AGRYMETH, p 86.
- [25] Codjo H.T, 2016, Aménagement hydro-agricole pour la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans la commune d'Adjohoun. *Mémoire de Master 2*, Gestion des Risques Catastrophes. MIRD/FLASH, UAC, p 96.
- [26] Houssou V.M.C., Hounsou B. M., Allé C.S.U.Y., Imorou F., Ouorou B., 2014, Contraintes Climatiques, Pédologiques et Production Agricole Dans l'Atacora (Nord-Ouest Du Bénin). 224-2014/UAC/EDP.
- [27] Nieuwenhuis R., Nieuwelink J., 2005, La Culture du Soja et d'autres Légumineuses. *Agromisa CTA*; 15-16.
- [28] Pettitt, 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 28: 126-135. DOI: 10.2307/2346729.
- [29] Ray S., Das G., Singh J.P., 2006, Influence of large amounts of nitrogen on non-irrigated and irrigated soybean. *Crop Science*, 46, 52-60.
- [30] Mansah L, 2007, Impacts des changements climatiques sur l'agriculture et les stratégies d'adaptation dans le bassin au Sénégal, *mémoire de Master*, ISRA/LERG-SENEGAL, 52p.