

## Variabilité pluviométrique et impact sur le bilan hydrique des sols sous culture d'ananas au Sud-Bénin

### [ Rainfall variability and impact on the water balance of soils under pineapple cultivation in the southeast Benin ]

V. M. C. Houssou<sup>1</sup>, B. M. Hounsou<sup>1</sup>, C.S. Ulrich. Y. Allé<sup>1</sup>, S. C. Houssou<sup>2</sup>, and K. E. Agbossou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Benin

<sup>2</sup>Laboratoire Pierre Pagney, Climat, Eau, Ecosystème et Développement de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines  
(FLASH), Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Benin

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article examines the water deficit s which pineapple is subject in the production area in Benin. Specifically it characterizes the variability of rainfall and that of the water from 1951 to 2010 on the soils of the Plateau of Allada under pineapple cultivation. This feature is based on the reduced centered abnormalities. We detect ruptures by the test Pettitt. The formula of Hillel allowed the estimation of the water balance, and that of the Hazen the frequency overtake various levels of water deficits. The results show that globally since 1980, seasons start with 5 to 25 days late and get shorter from 20 to 35 days. In addition, atmospheric forcing has more affected the components of accumulated rainfall than the same combination. This result in a regression of the average annual total (4% at Niaouli and 8% at Ouidah) and the deficit of the water balance even though the average rainfall exceeds that of the water needs of pineapple. Nevertheless, the quality of the short rainy season is improving and the water deficits of this season have a downward trend unlike the big one. The year's most deficient months are December, January and February. Those of May June and July are the least onerous months. The months of March and April seem to be the best for the reject installation. However, cultures being multiannual, other points remain to be elucidated to ensure optimal water supply.

**KEYWORDS:** Rainfall, variability, pineapple, water deficit.

**RESUME:** Le présent article examine les déficits hydriques aux quels l'ananas est soumis dans sa zone de production au Bénin. De façon spécifique, il caractérise la variabilité de la pluviométrie et celle du déficit hydrique de 1951 à 2010 sur les sols du Plateau d'Allada sous culture d'ananas. Cette caractérisation est basée sur les anomalies centrées réduites. Les ruptures sont détectées par le test de Pettitt. La formule de Hillel a permis l'estimation du bilan hydrique et celle de Hazen, la fréquence au dépassement de divers seuils de déficits hydriques. Les résultats prouvent que globalement, depuis 1980, les saisons démarrent avec 5 à 25 jours de retard et se raccourcissent de 20 à 35 jours. En outre, les forçages atmosphériques ont plus affecté les composantes du cumul pluviométrique que le cumul lui-même. Il en résulte une régression de la moyenne du cumul annuel (4% à Niaouli et 8% à Ouidah) et un bilan hydrique moyen déficitaire bien que la moyenne pluviométrique excède celle des besoins hydriques de l'ananas. Néanmoins, la qualité de la petite saison pluvieuse s'améliore ainsi, les déficits hydriques de cette saison ont une tendance à la baisse contrairement à ceux de la grande saison. Les mois où le déficit hydrique est plus marqué sont décembre, janvier et février, alors que les mois de mai, juin et juillet enregistrent les plus faibles déficits hydriques sur l'année. Les mois de mars et avril semblent être les meilleurs pour l'installation des rejets.

Toutefois, la culture étant pluriannuelle, d'autres points restent à élucider, pour en assurer une alimentation hydrique optimale.

**MOTS-CLEFS:** pluviométrie, variabilité, ananas, déficit hydrique, Bénin.

## 1 INTRODUCTION

La variabilité du climat en Afrique de l'Ouest et centrale n'est plus à démontrer [1], [2], [3], [4], [5] et [6]. Ainsi, les périodes de sécheresse qui se sont succédées depuis les années 70 ont provoqué en Afrique de l'Ouest, des vagues de famines dues à la perte des récoltes et à la décimation du cheptel [7]. Ces impacts socioéconomiques du réchauffement climatique incitent à plus orienter les recherches vers un couplage entre le climat et l'agriculture, de manière à ce que les progrès en termes de compréhension et de prévision de la variabilité du système de mousson puissent être bénéfiques pour les sociétés [8]. Les études d'impact du climat sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest ont largement porté sur les cultures vivrières notamment le mil, le sorgho, le maïs, mais les impacts du climat sur les cultures de rente telles que l'ananas sont encore peu étudiés. Or, au plan mondial, l'ananas représente 23% du total des fruits tropicaux et occupe le deuxième rang après la mangue. L'Afrique n'en produit que les 17% [9]. Néanmoins, sur le marché international, la demande de l'ananas frais béninois est forte [10]. Il est produit à 90 % environ par le Plateau d'Allada. Cependant, sa production est encore pluviale au Bénin, donc soumise aux aléas climatiques. La présente étude vise à analyser l'influence des aléas pluviométriques sur l'alimentation hydrique de l'ananas au Bénin. De façon spécifique, il s'agit de caractériser la variabilité pluviométrique et son influence sur le bilan hydrique des sols sous culture d'ananas sur le Plateau d'Allada.

## 2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 MILIEU D'ETUDE

Le Plateau d'Allada est situé au Sud-Bénin (Figure 1) entre 6°25'-7°50' latitude Nord et 2°00'-2°30' longitude Est. Il a une superficie de 2140 km<sup>2</sup> [11]. Le climat y est du type subéquatorial à régime pluviométrique bimodal avec deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Généralement, la grande saison des pluies débute au mois d'avril et prend fin en juillet. Elle est suivie d'une récession pluviométrique centrée sur le mois d'août qui constitue la petite saison sèche. La petite saison pluvieuse s'étend de septembre à novembre et la grande saison sèche, de décembre à mars. La pluviométrie moyenne annuelle (1951-2010) est de 1200 mm. L'humidité relative varie de 85 à 90% et la température moyenne journalière oscille entre 23 et 32°C [12]. Les sols prédominants sont les sols rouges argileux et argilo-sableux [11]. La majeure partie du bassin sédimentaire côtier auquel appartient le Plateau d'Allada, est recouverte de sols ferrallitiques généralement appelés « terre de barre ». Ils se sont développés sur des matériaux sédimentaires argilo-sableux du Continental Terminal [13] et [14]. Leurs teneurs en argile varient de 5 à 15% en surface et 50 à 55% au-delà de 60 cm de profondeur [15]. Quant à la perméabilité, elle varie de 5 à 8 cm/h au niveau des horizons superficiels et de 3 à 6 cm/h en profondeur. La réserve utile est de 40 à 50 mm à 30 cm de profondeur et 60 à 70 mm à 60 cm de profondeur [16].

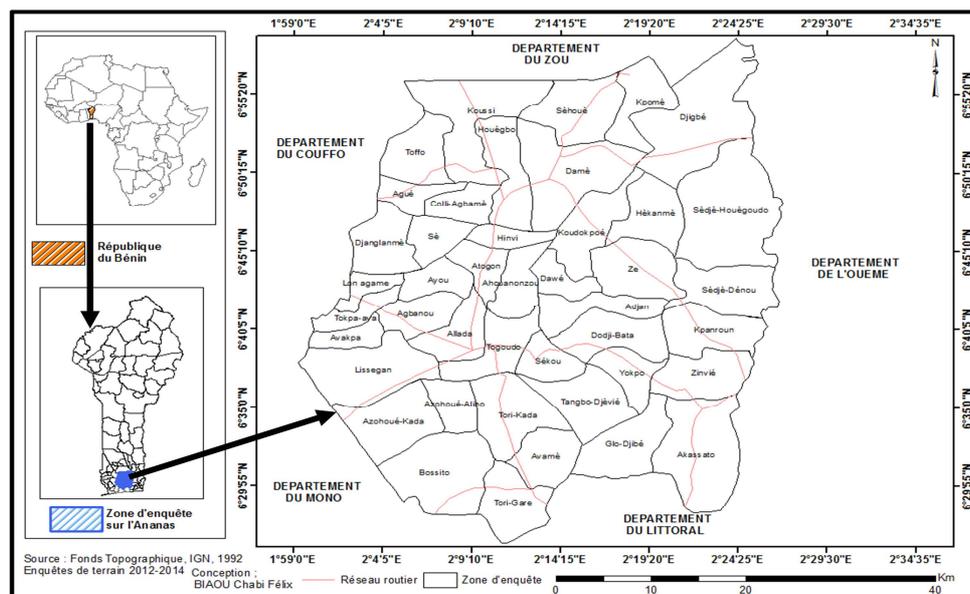


Fig 1 : Situation géographique du Plateau d'Allada

## 2.2 DONNÉES UTILISÉES

L'étude se base sur la pluviométrie, l'évapotranspiration maximale (ETM) de l'ananas et la réserve utile des sols du milieu d'étude pour calculer le bilan hydrique. Les données pluviométriques journalières de 1951 à 2010 proviennent des stations pluviométriques de Niaouli (105 m d'altitude, 6°42N de latitude et 2° 07E de longitude) et de Ouidah (10 m d'altitude, 6°22N de latitude et 2°06 E de longitude). Elles sont installées et gérées par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Ces stations ont été retenues parce qu'elles sont les seules à disposer, dans la zone d'étude, des séries pluviométriques complètes entre 1951 et 2010. Les données d'évapotranspiration potentielle (ETP) utilisées proviennent de la station synoptique de Cotonou Aéroport (4 m d'altitude 6°21N de latitude, 2°23E de longitude), située à moins de 30 km du Plateau d'Allada. Ces données ne couvrent que la période de 1965 à 2010 car leur mesure n'a débuté qu'en 1961 mais avec un taux important de lacunes avant 1965.

## 2.3 APPROCHES METHODOLOGIQUES

### 2.3.1 ANALYSE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE

L'analyse est faite aux pas de temps annuel et saisonnier, d'où la nécessité d'identifier le début et la fin de chaque saison des pluies par station. La variabilité pluviométrique est caractérisée à partir de l'indice pluviométrique standardisé (IPS). L'analyse descriptive (moyenne, écart type, coefficient de variation, coefficient de corrélation) des séries chronologiques a permis la comparaison des cumuls annuels et saisonniers.

#### 2.3.1.1 DATES DE DEBUT ET DE FIN DES SAISONS DES PLUIES

La littérature présente diverses méthodes de détermination des dates de début et de fin des saisons pluvieuses en zone soudano-sahélienne : [17], [18], [19] etc. Néanmoins, cette étude se base sur celle d'Epicum [20] qui paraît plus appropriée à notre secteur d'étude situé en zone guinéenne. De plus, elle a été implémentée aussi bien en région sahélienne [21] que guinéenne [22]. La méthode stipule que, selon des critères climatiques, la saison des pluies commence au moment où la probabilité d'avoir un jour de pluie (pluie  $\geq 1$  mm) au cours d'une période donnée de cinq jours consécutifs (pentade) est supérieure à celle d'avoir un jour sec au cours d'un épisode de sept jours. La fin de la saison des pluies correspond au jour où la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de sept jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une période donnée de cinq jours.

**2.3.1.2 VARIABILITE INTERANNUELLE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE**

L'analyse de la variabilité interannuelle du régime pluviométrique par station, est basée sur l'IPS du cumul annuel. L'indice pluviométrique standardisé (IPS) est une moyenne des cumuls pluviométriques centrés et réduits.  $IPS = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$  où  $P_i$  est la pluie de l'année  $i$ ,  $\bar{P}$  est la pluie moyenne interannuelle, et  $\sigma$  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). Aussi, distingue-t-on différents niveaux de sécheresse ou d'humidité suivant les valeurs de l'IPS. La grille considérée dans ce travail (Tableau 1.c) résulte de la combinaison des grilles de McKEE et al., [23] (Tableau 1.a) et de Ali et al., [24] (Tableau 1.b). La grille d'Ali et al., prévoit des années normales. Par ailleurs, les valeurs d'indices peuvent correspondre aux limites des intervalles définis. Par contre, la grille de McKee et al., ne remplit aucune des deux conditions. Les valeurs limites ainsi laissées compliquent la prise de décision. Toutefois, cette grille, contrairement à l'autre, définit clairement les années extrêmes et en facilite ainsi l'étude prévisionnelle. Les deux grilles sont donc complémentaires, d'où l'idée de leur combinaison dans le présent article. A chaque année repérée dans le tableau, correspond un cumul pluviométrique annuel. Ceux des années extrêmes permettent l'identification des hauteurs critiques de pluviométrie ou de sécheresse forte voire, excessive.

**Tableaux 1. Classification des années en fonction de l'IPS**

**Tableau 1.a Classification selon McKee**

Classe IPS	Interprétation
$IPS > 2$	Humidité Extrême
$1 < IPS < 2$	Humidité Forte
$0 < IPS < 1$	Humidité modérée
$-1 < IPS < 0$	Sécheresse Modérée
$-2 < IPS < -1$	Sécheresse Forte
$IPS < -2$	Sécheresse Extrême

**Tableau 1.b Classification selon Ali**

Type d'années	IPS
Très pluvieuse	$> 1$
Pluvieuse	$[0,25 ; 1]$
Normale	$] -0,25 ; 0,25[$
Sèche	$[-1 ; -0,25]$
Très sèche	$< -1$

**Tableau 1.c. Classification combinée de McKee et Ali**

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

**2.3.1.3 EVOLUTION INTERANNUELLE DES CUMULS SAISONNIERS**

Le principe d'analyse de la variabilité du cumul pluviométrique saisonnier est le même que celui du cumul annuel, ci-dessus décrit. Cependant, on remplace les données annuelles par celles saisonnières. Ainsi, le même indice permet d'indiquer si la saison peut être qualifiée d'excédentaire ( $IPS > 0$ ) ou de déficitaire ( $IPS < 0$ ). Notons qu'en remplaçant aussi le cumul annuel par les autres descripteurs (nombre de jours pluvieux et cumul moyen des jours pluvieux), l'IPS en permet une analyse similaire.

**2.3.1.4 DETECTION DES RUPTURES**

Une rupture est un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique précise, à un instant donné [25]. L'identification des ruptures est faite par le test de Pettitt [26] appliqué, aux pas de temps annuel et saisonnier tant, au cumul pluviométrique, qu'au nombre de jours pluvieux et au cumul moyen des jours pluvieux, par station.

**2.3.1.5 COMPARAISON DES SOUS PERIODES**

La comparaison des saisons par sous-période est basée sur le cumul pluviométrique, le nombre de jours pluvieux, le cumul moyen des jours pluvieux et l'analyse fréquentielle des séquences sèches. Une séquence sèche est un ensemble de jours consécutifs sans précipitation appréciable (supérieure ou égale à 1mm) [27]. Les fréquences au non dépassement ( $F'(x)$ ) ont été obtenues en appliquant la formule de Hazen [28] :

$$F'(x) = 1 - F(x) \text{ et } F(x) = \frac{(i - 0,5)}{N} \text{ où } i \text{ est le rang de l'observation } (x) \text{ et } N \text{ représente l'effectif de la série.}$$

### 2.3.2 ANALYSE DU BILAN HYDRIQUE DES SOLS FERRALITIQUES DU PLATEAU D'ALLADA SOUS CULTURE D'ANANAS

Le bilan hydrique permet de suivre l'alimentation hydrique des plantes à travers l'évapotranspiration, fonction de l'état du stock d'eau dans le sol enraciné. Puisque Ouidah ne produit presque pas d'ananas, seule la station de Niaouli a été considérée à ce sujet.

#### 2.3.2.1 ESTIMATION DU BILAN HYDRIQUE DU SOL

Le bilan hydrique est calculé à partir de la formule de Hillel [29] et [30]. Tous les paramètres sont exprimés en mm. Le calcul est fait au pas de temps décadaire de 1965 à 2010. La formule utilisée se présente comme suit :

$$\Delta S = P + I + R_c - R - D_r - ETR \quad (1)$$

$\Delta S$ : variation du stock d'eau dans l'épaisseur totale de sol enraciné, P: pluviométrie, I : irrigation,  $R_c$  : remontée capillaire, R : ruissellement ,  $D_r$  : drainage profond et ETR : évapotranspiration réelle. Dans ce contexte précis, l'ETR a été remplacée par ETM (évapotranspiration maximale) et  $ETM = K_c ETP$  avec  $K_c$  : le coefficient cultural de l'ananas.  $K_c = 0,5$  pour tout le cycle [31]. La pente est très faible donc  $R = 0$ . La culture étant exclusivement pluviale,  $I = 0$ . On considère en outre que  $R_c = 0$ . Ainsi,

$$\Delta S = P - D_r - ETR \quad (2)$$

Soient  $S_i$  : stock d'eau initial,  $S_f$  : stock d'eau final, RFU : Réserve Facilement Utilisable par les plants, RU : Réserve Utile,  $H_{m_{PF2,5}}$  : humidité massique à la capacité de rétention,  $H_{m_{PF4,2}}$  : humidité massique au point de flétrissement permanent,  $d_a$  : densité apparente du sol ( $g/cm^3$ ) et  $z$  : profondeur d'enracinement (dm).

La profondeur d'enracinement considérée pour l'ananas est de 40 cm (mesure moyenne retenue in situ à partir de profils racinaires). Pour déterminer la densité apparente deux profils pédologiques ont été réalisés dans le milieu d'étude. Des échantillons de sol non remaniés en ont été prélevés dans des cylindres de 100 cc chacun. Ils ont été séchés à 105°C pendant 72 heures jusqu'à poids constant puis pesés. La densité apparente est calculée en divisant le poids sec à 105°C de l'échantillon par le volume du cylindre. Les humidités sont mesurées par la "méthode de Richards" ou méthode à la presse membrane. Cette dernière consiste à exercer sur des prises d'essai de sol de poids connu préalablement saturé en eau, une pression constante correspondant à un point de flétrissement (pF) déterminé pour chaque état caractéristique recherché.  $RU = (H_{m_{PF2,5}} - H_{m_{PF4,2}}) \times d_a \times z \quad (3)$  et  $RFU = RU \times 2/3$  (Tableau 2)

Les calculs étant faits au pas de temps décadaire, le  $S_f$  d'une décade « n » est le  $S_i$  de la décade « n+1 ». Toutefois,  $S_i$  est égal à 0 lorsque le  $S_f$  de la décade précédente est négative.  $S_f = S_i + \Delta S \quad (4)$ . Sachant que  $S_{fmax} = RU \quad (5)$ , si  $S_f$  est inférieur à RU, le drainage est nul. Quant au contraire  $S_f$  excède la valeur de RU, l'excédent subit un drainage ( $D_r$ ) vers les horizons non exploités par les racines. Ainsi,  $D_r = S_f - RU \quad (6)$ .

**Tableau 2 : Détermination de la réserve utile du sol de la zone d'étude**

$H_{m_{PF2,5}}$ (%)	$H_{m_{PF4,2}}$ (%)	$H_{m_{PF2,5}} - H_{m_{PF4,2}}$ (%)	$d_a$	$z$ (dm)	RU (mm)	RFU (mm)
16,42	8,7	7,72	1,42	1,1	12,06	
28,11	15,18	12,93	1,54	1,5	29,87	
9,76	5,27	4,49	1,55	1,4	9,74	
				4	<b>51,67</b>	34,45

#### 2.3.2.2 ESTIMATION DU DEFICIT HYDRIQUE DU SOL ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

Sur la base des équations (2) et (4), sachant que le besoin en eau de la culture à un instant « t » est exprimé par l'ETM (évapotranspiration maximale), il y aura déficit hydrique (DH) quand  $S_f$  sera inférieur à 0.

Ainsi,  $ETM = ETR + |DH|$  et  $|DH| = ETM - ETR \quad (7)$ .

#### 2.3.2.3 CARACTERISATION DU BILAN HYDRIQUE ET DU DEFICIT HYDRIQUE

Le bilan hydrique et le déficit hydrique ont été agrégés aux pas de temps mensuel, saisonnier puis annuel. La caractérisation est basée sur les statistiques descriptives (moyenne, écart type, coefficient de variation, maximum et minimum) et les anomalies centrées réduites. A l'instar de la pluviométrie, ces anomalies ont permis d'examiner la variabilité

interannuelle. Les résultats d'analyse du bilan hydrique sont présentés par sous-période. En ce qui concerne le déficit hydrique, les calculs des anomalies centrées réduites ont été faits à partir des valeurs absolues. Ainsi, sur les figures qui en découlent, la cote de chaque point montre l'écart en plus (pour les valeurs positives) ou en moins (pour les valeurs négatives) du déficit considéré par rapport à la moyenne sur la période d'étude. Les résultats sont donnés aux pas de temps annuel, saisonnier puis mensuel. La fréquence au dépassement de divers seuils (0, 20, 40 et 60 mm) des déficits hydriques est analysée grâce à la formule de Hazen [28]. Par analogie à Franquin (1969), la variation du déficit hydrique est examinée en relation avec la pluviométrie, l'ETP et l'ETM sachant que  $k_c \text{ ananas} = 0,5$  pour tout le cycle [31].

### 3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1 ANALYSE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE

##### 3.1.1 DATES DE DEBUT ET DE FIN DE SAISONS PLUVIEUSES

La méthode d'Ercicum [20] appliquée au cumul pluviométrique des deux stations étudiées donne les débuts et fins de saisons ci-après (Tableau 3). Il en résulte que la grande saison des pluies dure trois à trois mois et demie, alors que la petite ne dure qu'un mois et demie à deux mois.

**Tableau 3 : Dates moyennes de début et de fin des saisons des pluies sur la période 1951-2010**

Station	Grande Saison des Pluies		Petite Saison des Pluies	
	Date de début	Date de fin	Date de début	Date de fin
Niaouli	31/03	14/07	02/09	06/11
Ouidah	15/04	14/07	12/09	27/10

##### 3.1.2 VARIABILITE INTERANNUELLE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE

Les figures 2.a et 2.b présentent respectivement la variabilité interannuelle du régime pluviométrique de Niaouli et de Ouidah. Ces figures montrent une forte variabilité interannuelle des pluies quelle que soit la station considérée (Niaouli ou Ouidah). Elles confirment donc les fluctuations de hautes fréquences des régions guinéennes [32]. Par conséquent, le mode de variabilité ainsi mis en évidence contraste avec celui du signal sahélien, dominé par des fluctuations de basses fréquences. Par ailleurs, les années 50-60 aux stations de Niaouli et Ouidah, comme dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, sont globalement plus humides que les années 70-80 [1] et [6]. Les figures 2.a et 2.b révèlent aussi une suite quasiment ininterrompue d'années déficitaires de 1979 à 1985. Cette séquence d'années sèches corrobore d'une part les résultats de Le Lay et Galle [32] et d'autre part Lawin et *al.*, [33] au nord du Bénin. Enfin, à partir de 1989, on observe à nouveau une reprise de l'alternance des années déficitaires et excédentaires. Ceci rappelle une variabilité interannuelle semblable à celle observée au cours des années 50-60 comme l'indique le tableau 4.

Il ressort du tableau 4 que les années 1968 et 1999 ont été extrêmement humides, à Niaouli. De même à cette même station, les années 1954, 1955, 1980 et 2010 ont été très pluvieuses alors que 1983 a été plutôt une année extrêmement sèche. A Ouidah, les années 1962 et 1968 ont été extrêmement humides. Les années 1959, 1963, 1982 et 2004 y ont été très pluvieuses alors que 2005 a été une année extrêmement sèche. Ainsi, le seuil de pluviométrie annuelle très forte à excessive est de 1465,6 mm à Niaouli et 1542,4 mm à Ouidah. Par contre, celui de sécheresse très forte à excessive est de 896,3 mm à Niaouli et 560,3 mm à Ouidah. On peut dès lors en étudier les fréquences et temps de retour respectifs mais ces derniers relèvent d'un autre article.

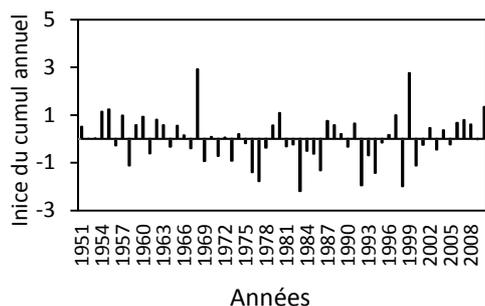


Fig 2.a : Indice du cumul annuel pluviométrique de Niaouli

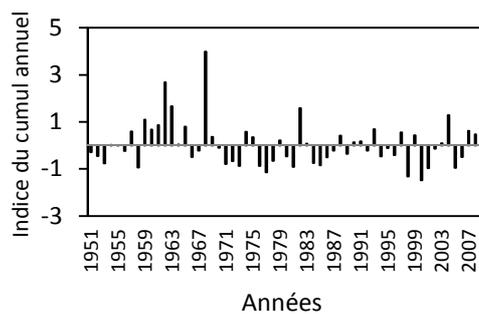


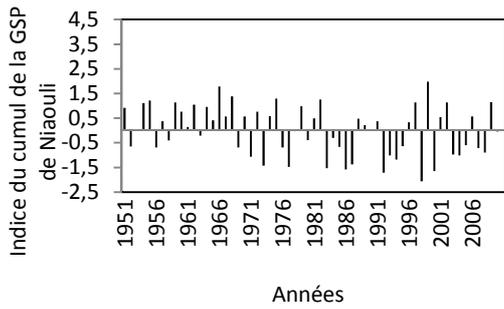
Fig 2.b. Indice du cumul annuel pluviométrique de Ouidah

Tableau 4 : Classification des années selon l'IPS

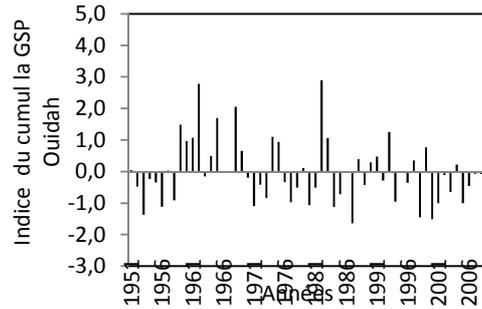
Niaouli	Ouidah	IPS du cumul annuel	Caractéristiques des années
1968, 1999	1962, 1968	>2	Humidité Extrême
1954, 1955, 1980, 2010	1959, 1963, 1982, 2004	] 1 ; 2]	Très pluvieuse
1951, 1957, 1959, 1960, 1962, 1963, 1965, 1979, 1987, 1988, 1991, 1997, 2002, 2004, 2006, 2007, 2008	1957, 1960, 1961, 1965, 1969, 1974, 1975, 1988, 1993, 1997, 1999, 2007, 2008, 2009	[0,25 ; 1]	Modérément pluvieuse
1952, 1953, 1966, 1970, 1972, 1974, 1975, 1982, 1989, 1995, 1996, 2005, 2009	1954, 1955, 1956, 1964, 1967, 1970, 1979, 1983, 1987, 1990, 1991, 1992, 1995, 2002, 2003	] -0,25 ; 0,25[	Normale
1956, 1961, 1964, 1967, 1969, 1971, 1973, 1978, 1981, 1984, 1985, 1990, 1993, 2001, 2003	1951, 1952, 1953, 1958, 1966, 1971, 1972, 1973, 1976, 1978, 1980, 1981, 1984, 1985, 1986, 1989, 1994, 1996, 2001, 2006	[-1 ; -0,25]	Modérément sèche
1958, 1976, 1977, 1986, 1992, 1994, 1998, 2000	1977, 1998, 2000	[-2 ; -1[	Très sèche
1983	2005	<-2	Sécheresse Extrême

### 3.1.3 ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES CUMULS SAISONNIERS

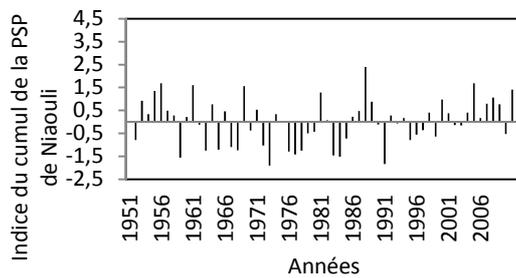
Les figures 3 et 4 rendent compte de la dynamique des cumuls saisonniers. Quelle que soit la station considérée, l'analyse de la dynamique des cumuls saisonniers révèle que la tendance de la grande saison des pluies (GSP) est à la baisse (Figures 3.a et 3.b) alors que celle de la petite saison des pluies (PSP) est à la hausse (Figures 4.a et 4.b.). Par ailleurs, de 1990 à 2010, on note 9 à 11 années humides en ce qui concerne la PSP contre 7 pour la GSP. Ainsi, le regain pluviométrique observé autour des années 1990 et 2000 à l'échelle annuelle semble moins marqué pour la GSP (Figures 3.a et 3.b) que pour la PSP (Figures 4.a et 4.b.). Toutefois, la variabilité saisonnière est importante pour les deux. Elle est comparable à la variabilité annuelle. Cependant, la variabilité interannuelle du cumul annuel est mieux expliquée par celle du cumul de la GSP que par celle de la PSP, comme le montrent les coefficients de corrélation entre les cumuls annuels et les cumuls saisonniers résumés dans le tableau 5.



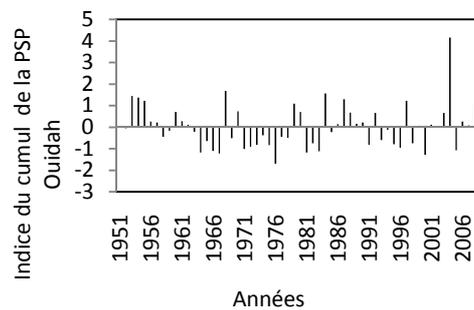
**Fig 3.a : Indice du cumul pluviométrique de la GSP Niaouli**



**Fig 3.b : Indice du cumul pluviométrique de la GSP Ouidah**



**Fig 4.a : Indice du cumul pluviométrique de la PSP Niaouli**



**Fig 4.b : Indice du cumul pluviométrique de la PSP Ouidah**

**Tableau 5 : Variation des cumuls annuels et saisonniers**

Cumul	NIAOULI 1951-2010			OUIDAH 1951-2010		
	Annuel	GSP	PSP	Annuel	GSP	PSP
$\bar{X}$	1185,40	583,38	330,39	1122,97	636,78	173,35
$\sigma$	257,96	157,06	118,00	380,19	232,11	97,35
Cv	22%	27%	36%	34%	36%	56%
$r^2$ cumul annuel et saisonnier		0,68	0,57		0,78	0,37

$\bar{X}$  : moyenne arithmétique ;  $\sigma$  : écart type ; Cv : coefficient de variation ;  $r^2$  : coefficients de corrélation

### 3.1.4 DETECTION DES RUPTURES

A l'échelle annuelle, le test de Pettitt [26] appliqué aux cumuls annuels, aux nombres de jours pluvieux et aux cumuls moyens des jours pluvieux, n'a révélé aucune rupture. A contrario, des ruptures ont été remarquées à l'échelle saisonnière, comme le montre le tableau 6. Il ressort de l'analyse du tableau 6 que contrairement aux descripteurs annuels, les descripteurs intra saisonniers signalent des ruptures. Cependant, le cumul saisonnier en présente peu (1 rupture) comparativement au nombre de jours pluvieux et au cumul moyen des jours pluvieux (3 ruptures, chacun). Il semble donc que les forçages atmosphériques aient davantage affecté les composantes du cumul pluviométrique (nombre de jours pluvieux et leur cumul moyen) que le cumul lui-même. Ces résultats concordent avec ceux de [34] sur la même zone d'étude.

En outre, les ruptures relatives au NJP sont situées avant 1980 alors que celles relatives au CMJP sont situées après 1981. Le nombre de jours pluvieux NJP semble donc avoir été affecté par les modifications pluviométriques avant le cumul moyen des jours pluvieux. Par ailleurs, les ruptures relatives au NJP correspondent à une baisse alors que celles relatives au CMJP correspondent à une augmentation. Il apparaît que ces deux variables ne sont pas affectées de la même manière par les

forçages atmosphériques. De façon générale, de 1951 à 2010, la variabilité pluviométrique a été marquée par des ruptures localisées autour de 1980. Ce résultat ne confirme pas celui de [35] qui situe la rupture de Niaouli à 1968, ni celui de [36] portant sur 33 stations pluviométriques d'Afrique de l'Ouest sahélienne et qui situe la plupart des ruptures entre 1968 et 1969. Par contre, il confirme d'autres résultats tels que ceux de [37] et [1]. En effet, les régions en bordure du Golfe de Guinée n'ont été affectées par la rupture climatique qu'au cours des années 1980 contrairement au Sahel où cette rupture est bien marquée au début des années 70 [1]. On peut ainsi distinguer sur le Plateau d'Allada, deux sous périodes : 1951-1980 (P1) et 1981-2010 (P2).

**Table 6 : Résultats des recherches de rupture**

Stations	Niaouli			Ouidah		
	Annuels	Saisonniers		Annuels	Saisonniers	
		GSP	PSP		GSP	PSP
1. Cumul	-	1982	-	-	-	-
2. Nombre de jours pluvieux (NJP)	-	1979	-	-	1975	1972
3. Cumul moyen des jours pluvieux (CMJP)	-	-	1984	-	1981	1981

### 3.1.5 COMPARAISON DES SOUS-PERIODES P1 ET P2

L'analyse comparative des descripteurs saisonniers, par sous-période et par station met en évidence des variations spécifiques récapitulées dans les tableaux 7.a. et 7.b.

Il ressort de l'analyse du tableau 7.a que par rapport à la sous-période 1951-1980 (P1), la GSP accuse après 1980, un retard de démarrage de 35 jours à Niaouli et finit avec 5 jours de retard, soit un raccourcissement de 30 jours. A Ouidah, aussi on note un retard de démarrage de 25 jours mais un arrêt précoce de 10 jours, soit un raccourcissement de 35 jours. Quant à la PSP, elle démarre 15 jours plus tôt et finit 5 jours plus tôt à Niaouli. Ce faisant, elle s'allonge de 10 jours. A contrario, Ouidah affiche un retard de 15 jours de démarrage et une précocité de 5 jours à la fin, donc un raccourcissement de 20 jours. Ainsi, la durée de la GSP s'est raccourcie de 24% à Niaouli et 30% à Ouidah. Quant à la PSP, elle s'est allongée de 18% à Niaouli alors qu'elle a connu un raccourcissement de 39% à Ouidah. En ce qui concerne le cumul annuel, il a diminué de 4% et 8% respectivement à Niaouli et à Ouidah. De même, le cumul saisonnier moyen de la GSP a diminué de 14% à Niaouli et de 8% à Ouidah, alors qu'il est plutôt en hausse pour la PSP. Quant au nombre de jours pluvieux moyen, il a globalement diminué contrairement au cumul moyen des jours pluvieux. Ainsi, les hauteurs de pluies auraient augmenté au détriment du nombre de jours pluvieux. Enfin, contrairement à la GSP, la qualité de la PSP et sa contribution au cumul annuel pluviométrique s'améliorent. Des conséquences en découlent sur la durée des séquences sèches (Tableau 7.b).

Le tableau 7.b. fait ressortir pour la GSP des deux stations, une diminution de la fréquence des séquences sèches de 1 à 3 jours et une augmentation de celle des séquences sèches de durée supérieure à 3 jours. Quant à la PSP, la fréquence des séquences sèches de 1 à 3 jours n'a changé dans aucune des stations. A contrario, la fréquence des séquences sèches de durée supérieure à 3 jours a diminué à Niaouli et augmenté à Ouidah. Globalement, il s'ensuit un accroissement de la durée moyenne des séquences sèches : ce qui est en adéquation avec la diminution du nombre de jours pluvieux et les résultats de Allé et al. [34]. Néanmoins, 70% des séquences sèches n'excèdent pas 5 jours. Ceci est intéressant sur le plan agronomique nonobstant les risques de stress hydriques aux quels exposent les 19% de séquences sèches qui durent de 8 à 21 jours.

Ces résultats confirment ceux de Houssou et al. [38], quant aux manifestations des changements climatiques perçues par les producteurs d'ananas du plateau d'Allada. Cependant, ces derniers ne signalent guère le regain récent des hauteurs pluviométriques révélé par l'analyse des chroniques. Partant des deux sous-périodes, globalement, cette étude montre que les retards de démarrage, les arrêts précoces et la mauvaise répartition des pluies, induisent une forte variabilité temporelle de la pluviométrie dans la zone d'étude. Or, selon M'biandoun et al. [39], les risques climatiques redoutables en agronomie sont essentiellement i) une très grande variabilité spatiotemporelle de la pluviométrie ; ii) une agressivité des pluies et des problèmes d'érosion ; iii) une mauvaise répartition annuelle de la pluviométrie avec des « trous » pouvant intervenir en juin, juillet ou août et impliquant des stress hydriques ; iv) un risque d'arrêt précoce des pluies. Il s'avère alors indispensable d'examiner, sur le plateau d'Allada, le bilan hydrique des sols sous culture d'ananas. Ainsi, l'on pourrait identifier voire, prévoir les périodes à risques dans le calendrier agricole de l'ananas.

**Table 7.a : Caractérisation des saisons par sous période à Ouidah et à Niaouli**

N° d'ordre	Variables	Niaouli				Ouidah			
		GSP		PSP		GSP		PSP	
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
1.	Début	11 mars	15 avr	17 sept	02 sept	21 mars	15 avr	12 sept	27 sept
2.	Fin	14 juil	19 juil	11 nov	06 nov	14 juil	04 juil	1 <sup>er</sup> nov	27 oct
3.	Longueur	126	96	56	66	116	81	51	31
4.	Moyenne Cumul saisonnier (mm)	626,4	540,3	315,8	345,0	661,3	611,5	164,0	183,0
5.	Cumul moyen jours pluvieux	4,97	5,63	5,64	5,23	5,70	7,55	3,22	5,90
6.	Moyenne Cumul annuel (mm)	1207,5	1153,4	-	-	1177,7	1079,3	-	-
7.	Contribution cumul saisonnier à annuel	52%	47%	26%	30%	56%	57%	14%	17%

**Table 7.b. Comparaison des fréquences cumulées des longueurs de séquences sèches**

Variables		Niaouli				Ouidah			
		GSP		PSP		GSP		PSP	
		P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Fréquence cumulée des longueurs de séquences sèches	10%	1	1	1	1	1	1	1	1
	30%	1	2	1	1	1	1	2	2
	50%	2	3	2	2	2	2	3	3
	70%	3	4	3	3	3	4	4	5
	90%	6	7	6	5	6	7	8	9
	95%	8	10	9	7	8	9	11	13
	99%	15	16	15	18	12	17	16	21

### 3.2 ANALYSE DU BILAN HYDRIQUE DES SOLS FERRALITIQUES DU PLATEAU D'ALLADA SOUS CULTURE D'ANANAS

#### 3.2.1 CARACTERISATION DU BILAN HYDRIQUE

La synthèse du bilan hydrique décadaire des sols ferrallitiques sous culture d'ananas sur le Plateau d'Allada est présentée par sous-période, dans le tableau 8. Il en ressort qu'au cours de la P2 (1981-2010), le drainage a diminué, alors que l'ETM et l'ETR ont augmenté. Toutefois, le rapport ETR/ETM n'a pas changé et est demeuré égal à 73%. Le déficit hydrique du sol n'a augmenté que de 1%. Le bilan hydrique moyen est donc déficitaire sur les deux sous-périodes. Pourtant, la moyenne de la pluviométrie est supérieure à celle de l'ETM. En effet, la hauteur moyenne d'eau perdue par drainage et par évaporation est supérieure aux déficits moyens estimés. Ceci suppose qu'autrement gérée, l'eau pluviale couvrirait les besoins hydriques de l'ananas durant tout son cycle de développement. Ainsi, ces résultats confirment ceux de Sèdjamé [40] puisqu'ils stipulent que le manque d'eau observé sur le Plateau d'Allada ne dépend pas seulement des faibles hauteurs pluviométriques mais aussi de la mauvaise gestion de la ressource. Il convient alors de gérer les eaux pluviales aux fins de la réduction des déficits hydriques généralement observés sur le plateau d'allada.

**Table 8 : Evolution des paramètres décadaires du bilan hydrique par sous-période**

Variables	Variation des moyennes décadaires de Niaouli									
	Pluviométrie		ETM		ETR		Déficit		Drainage	
Sous période	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Moyenne	26,0	25,7	22,5	22,9	16,5	16,8	6,02	6,1	9,5	8,9
Ecart type	30,6	31,5	3,2	3,1	9,3	9,4	9,1	9,5	21,9	22,9
Cv	1,2	1,2	0,1	0,1	0,6	0,6	1,5	1,6	2,3	2,6
Maximum	156,0	256,2	37,4	37,5	37,4	37,5	29,8	31,0	137,5	236,7
Minimum	0,0	0,0	13,4	14,9	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0

### 3.2.2 CARACTERISATION DU DEFICIT HYDRIQUE

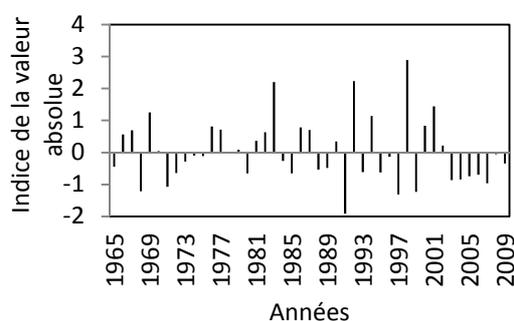
#### 3.2.2.1 ANALYSE DU DEFICIT HYDRIQUE ANNUEL

La figure 5 montre la variabilité interannuelle du déficit hydrique annuel et le tableau 9 en présente la caractérisation.

Il ressort de la figure 5 que le maximum du déficit hydrique est obtenu en 1998 et le minimum en 1991. Comparée à la figure 2, celle-ci révèle que la pluviométrie et le déficit hydrique sont inversement proportionnels : leur coefficient de corrélation (-0,816) le confirme. Cependant, il ressort du tableau 9 que les années du maximum et du minimum de déficit hydrique annuel ne coïncident pas avec celles des extrêmes pluviométriques annuels. Ainsi, sur la période 1965-2010 (Tableau 9) Niaouli a enregistré son maximum de hauteur pluviométrique annuelle en 1968 (1938,7 mm) et le déficit annuel minimal en 1991 avec une pluviométrie annuelle de 1353,5 mm. Quant à la hauteur pluviométrique minimale, elle remonte à l'année 1983 (620 mm) et le déficit maximal à 1998 avec une hauteur pluviométrique annuelle de 672,7mm. Il en résulte que les cumuls pluviométriques annuels seuls, n'expliquent pas assez le déficit hydrique annuel. En effet, le déficit annuel résulte du cumul des déficits décennaires et donc du taux de satisfaction décennaires des besoins hydriques de la culture. Il est donc fort probable que la répartition saisonnière des hauteurs pluviométriques et des drainages y afférents expliquent mieux que leur cumul, la répartition du déficit hydrique et en conséquence, son cumul.

**Table 9 Caractéristiques des déficits hydriques annuels**

Variables annuelles (période : 1965-2010)		Niaouli
Moyenne		218,2
Ecart type		63,4
Coefficient de variation		0,3
Maximum	Déficit hydrique annuel maximal	401,4
	Année du déficit maximal	1998
	Hauteur pluviométrique de l'année du déficit maximal (mm)	672,7
	Année pluviométrie annuelle minimale	1983
	Hauteur pluviométrie annuelle minimale	620
Minimum	Déficit hydrique annuel	97,2
	Année du déficit minimal	1991
	Hauteur pluviométrique de l'année du déficit minimal (mm)	1353,5
	Année de pluviométrie annuelle maximale	1968
	Hauteur pluviométrie annuelle maximale	1938,7



**Fig 5 : Indice de la valeur absolue des déficits hydriques annuels**

### 3.2.2.2 ANALYSE DU DEFICIT HYDRIQUE SAISONNIER

Les déficits hydriques de la GSP et de la PSP sont représentés dans les figures 6a et 6.b. Elles révèlent que la variabilité des déficits hydriques de la GSP est plus forte que celle de la PSP, surtout à partir de l'année 1997. Par ailleurs, contrairement à la PSP, les années du maximum et du minimum de déficit hydrique de la GSP coïncident avec celles du déficit hydrique annuel (Tableau 9). De plus, comparée à la figure 5, les figures 6.a et 6.b montrent que les fluctuations des déficits hydriques annuels se rapprochent plus de celles des déficits de la GSP que de la PSP. Ceux de la GSP ont une tendance à la hausse alors que ceux de la PSP ont une tendance à la baisse. Ceci confirme l'amélioration de la qualité de la PSP par rapport à la GSP et conforte les tendances obtenues en ce qui concerne les cumuls saisonniers (Figures 3 et 4). Néanmoins, il convient d'en faire l'analyse au pas mensuel pour mieux adapter le calendrier cultural aux réalités pluviométriques du Plateau d'Allada.

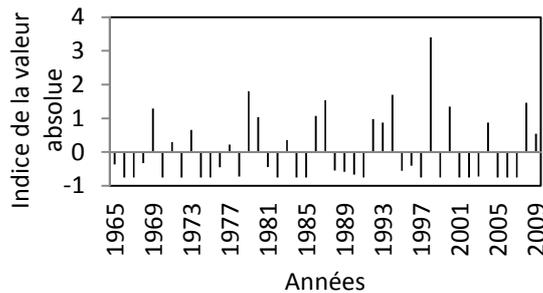


Fig 6 a : Indice des déficits hydriques de la GSP

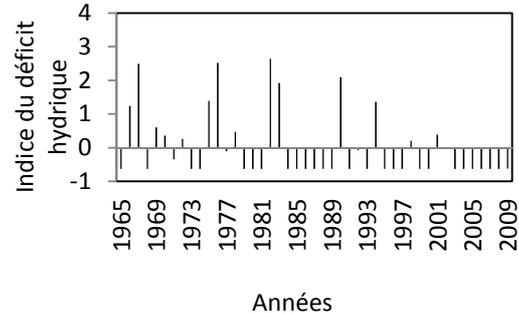


Fig 6 b : Indice des déficits hydriques de la PSP

### 3.2.2.3 CARACTERISATION DU DEFICIT HYDRIQUE MENSUEL

Les déficits hydriques mensuels varient de 0 à plus de 60 mm. Les probabilités au dépassement des seuils de 0, 20, 40 et 60 mm de déficit hydrique en fonction des mois (Figure 7) révèlent que le déficit hydrique (DH) est bimodal. Le mois de janvier présente la plus forte probabilité d'occurrence de déficits hydriques. Neuf années sur dix, son déficit est supérieur ou égal à 20 mm et six années sur dix, il est supérieur à 60 mm. Le déficit hydrique diminue progressivement de février à juin, où il devient pratiquement nul. Il remonte en août et décroît de septembre à novembre avant d'atteindre à nouveau son pic en janvier. Comme noté par Malezieux [41], les mois de décembre et février ont à peu près les mêmes probabilités d'occurrence. Ajoutés à celui de janvier, ces trois mois ont, neuf années sur dix, un déficit supérieur ou égal à 20 mm et huit années sur dix, un déficit à peu près égal à 40 mm. Ces mois sont les plus déficitaires de l'année alors que ceux de mai, juin et juillet, sont les moins déficitaires.

Compte tenu de ces probabilités d'occurrence des différents seuils de déficit hydrique, les mois de plantation les plus favorables au raccourcissement du cycle de l'ananas sont ceux d'avril, mai, juin, car ils permettent le 1<sup>er</sup> épandage d'engrais peu de temps après la plantation. Les mois de juillet, septembre et octobre aussi pourraient y contribuer mais les rejets seront soumis plus jeunes, aux stress hydriques de la grande saison sèche. A contrario, les mois les plus susceptibles d'allonger le cycle sont ceux de décembre, janvier, février voire, août et novembre. Le mois de mars se retrouve certes, dans une position un peu mitigée mais il est plus favorable au raccourcissement qu'à l'allongement du cycle. Que donne le recoupement de cette analyse avec celle de l'ETM et de la pluviométrie ?

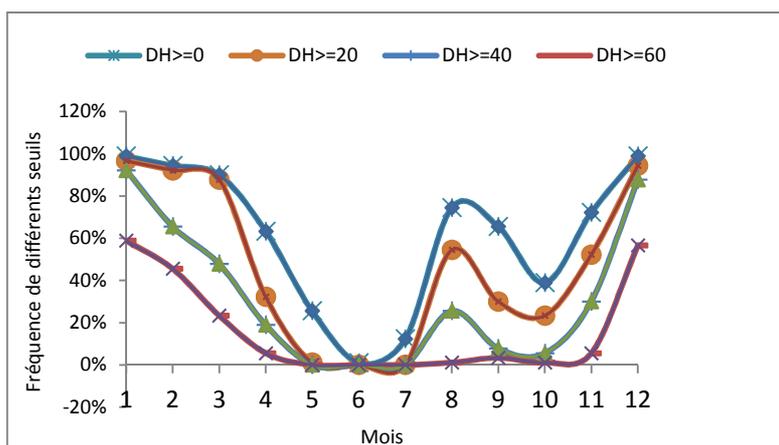


Fig 7. Fréquence des déficits hydriques à Niaouli

### 3.3 VARIATION DU DEFICIT HYDRIQUE AVEC LA PLUVIOMETRIE ET L'EVAPOTRANSPIRATION

L'évolution du déficit hydrique couplée à celles de la pluviométrie et de l'évapotranspiration est représentée sur la figure 8. Cette figure se rapproche de celle de Franquin [42], relative aux périodes clés de la saison agricole. Elle révèle que d'avril à juillet et de septembre à novembre, il y a peu de risques de stress hydrique. La grande saison sèche démarre juste après. Ceci amène à suggérer l'installation de la culture d'ananas entre mi-mars et début avril. Autrement, les rejets seraient soumis au stress hydrique dès leur plantation et ce, durant deux à trois mois. Or, les conséquences du stress hydrique sur le rendement sont plus ou moins importantes selon la phase du cycle à laquelle il se produit [39]. Enfin, cette figure confirme que le déficit hydrique est inversement proportionnel à la pluviométrie.

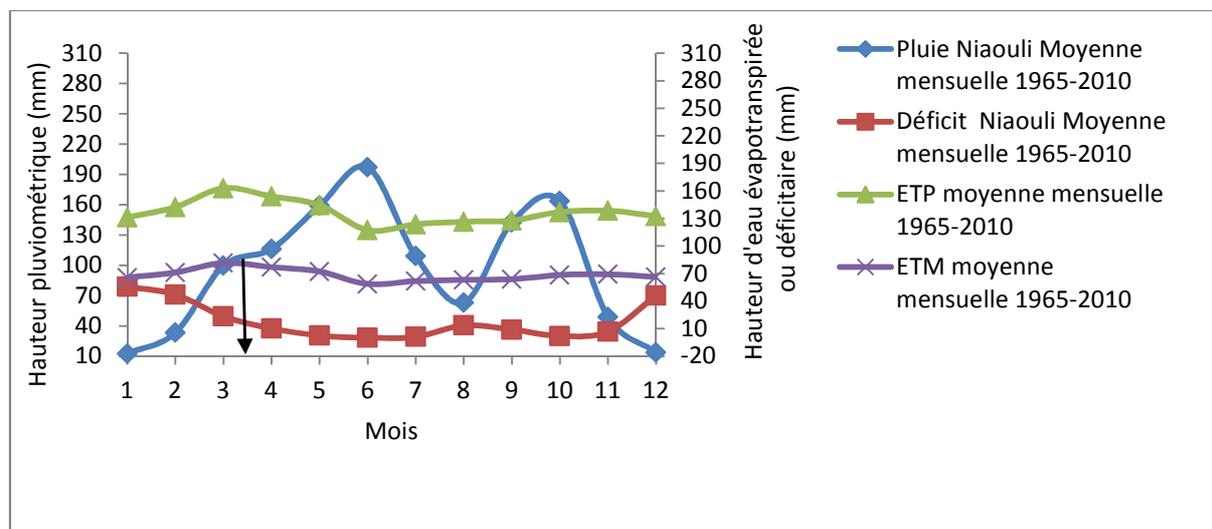


Fig 8 : Variation du déficit en fonction de la pluviométrie de l'ETP et de l'ETM à Niaouli

## 4 CONCLUSION

Dans la mesure des données exploitées, cette étude confirme que la pluviométrie du Plateau d'Allada n'échappe guère aux phénomènes de péjoration climatique, en cours depuis les années 80 pour les régions en bordure du Golfe de Guinée. Par ailleurs, elle prouve que les forçages atmosphériques ont plus affecté les composantes du cumul pluviométrique (nombre de jours pluvieux et leur cumul moyen), que le cumul même. En outre, ces composantes n'ont pas été affectés en même temps ni de la même manière. Ce travail démontre aussi l'augmentation des totaux pluviométriques de la petite saison pluvieuse pendant que la grande saison des pluies présente des tendances à la baisse. En effet, elle est, a priori, occultée par la régression de la moyenne du cumul annuel, le retard de démarrage des saisons et leur raccourcissement mis en évidence de façon générale. Quant au bilan hydrique moyen analysé par sous-période, il est déficitaire alors que la moyenne

pluviométrique excède celle des besoins hydriques de l'ananas durant tout son cycle. Il en résulte un déficit hydrique annuel bimodal que les cumuls pluviométriques saisonniers expliquent mieux que ceux annuels. Ainsi, les déficits de la grande saison pluvieuse ont une tendance à la hausse contrairement à ceux de la petite saison : ce qui confirme l'amélioration de la qualité de cette dernière. Du point de vue mensuel, les mois de janvier, décembre et février sont les plus déficitaires.

Au terme de cette étude, on retient qu'en absence d'une gestion proactive des eaux pluviales, la variabilité pluviométrique soumet l'ananas à des périodes de déficit hydrique pouvant atteindre 60mm. Partant de la répartition de ce déficit, les mois de mars et d'avril semblent être les meilleurs pour l'installation de la culture d'ananas. Cependant, même en supposant que l'eau soit le seul facteur limitant pour cette culture, il faut davantage pour en améliorer le rendement. En effet, la culture de l'ananas est pluriannuelle. Sur le Plateau d'Allada, elle est encore pluviale, avec un cycle de durée variant entre 13 et 18 mois. Néanmoins, cette culture est installée et récoltée tous les mois de l'année. Dès lors, au moins trois points restent à élucider, notamment : (i) quelles sont, par phase phénologique, les incidences du mois de plantation sur l'alimentation hydrique de l'ananas ? (ii) quelles sont par rapport à l'excès ou au déficit d'eau, les phases phénologiques les plus préjudiciables pour le rendement de l'ananas ? et (iii) quelles sont les conséquences du mois de plantation et de la durée du cycle sur le rendement de l'ananas ?

Dans une telle perspective, cette étude rappelle le caractère incontournable des données météorologiques locales et le préjudice causé par la faible répartition spatiale et/ou le manque d'efficacité des stations pluviométriques. En effet, n'eut été la qualité des séries chronologiques, on aurait pu travailler sur quatre à cinq stations pluviométriques du milieu d'étude. Néanmoins, les résultats obtenus sont en accord avec ceux d'autres chercheurs tant, nationaux qu'internationaux./.

#### **REMERCIEMENTS**

Ce travail est réalisé dans le cadre du Projet « ANANAS ». Il a bénéficié du soutien du Programme Fonds Compétitifs de Recherche de l'Université d'Abomey-Calavi (PFCR/UAC). En raison de cet appui, l'équipe de chercheurs adresse ses remerciements au Ministère en charge de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique et ce, à travers le PFCR/UAC.

**REFERENCES**

- [1] J-E. Paturel, E. Servat, M. O. Delattre, H. Lubes-Niel, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 43, no. 6, pp. 937-946, 1998.
- [2] E. Servat, J. E. Paturel, B. Kouame, M. Travaglio, M. Ouedrago, J. F. Boyer, H. Lubes-Niel, J. M. Fritsch, J. M. Masson, B. Marieu, "Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale", *IAHS Publication*, vol. 252, pp. 323-337, 1998.
- [3] E. Servat, J. E. Paturel, H. Lubes-Niel, B. Kouame, J. M. Masson, M. Travaglio, B. Marieu, "De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne", *Revue des Sciences de l'eau*, vol. 12, no. 2, pp. 363-387, 1999.
- [4] S. Ardoin, H. Lubes-Niel, E. Servat, A. Dezetter, J. F. Boyer, "Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990", *IAHS Publication*, vol. 278, pp. 223-228, 2003.
- [5] B. S. Ardoin, "Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne", Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 2004.
- [6] A. M. Kouassi, K. F. Kouame, B. T. A. Goula, T. Lasm, J. E. Paturel, J. Biemi, "Influence de la variabilité climatique et de l'influence de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire", *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol.2, pp. 207-229, 2008.
- [7] M. R. S. Dille, U. Chen, A. L. Deichmann, Lerner-Lam, M. Arnold, "Natural disaster hotspots : a global risk analysis", *Disaster Risk Management, series 5*, Washington DC, The World Bank, 2005.
- [8] B. A. Sultan, B. Alhassane, C. Barbier, M. Baron, A. Bella-Medjo Tsogo, M. Berg, J. Dingkuhn, M. Fortilus, A. Kouressy, R. Leblois, B. Marteau, P. Muller, P. Oettli, P. Quirion, S. Roudier, B. Traore, M. Vaksman, "La question de la vulnérabilité et de l'adaptation de l'agriculture sahélienne au climat au sein du programme AMMA", *La Météorologie, Spécial AMMA*, pp. 64-72, 2012.
- [9] FAO, "Situation actuelle et perspectives à moyen terme pour les fruits tropicaux", Rome, 13 p, 2006.
- [10] Tropagri, "Etude sur la filière Ananas au Bénin : Synthèse du diagnostic et Recommandations" vol. 1, Cotonou, 96 p, 1998.
- [11] M. Dissou, "La République populaire du Bénin : Milieux naturels, régions, économie agricole régionale. Première partie : le Bas-Bénin", *Imprimerie Adewale-Presses, Porto-Novo*, 174 p, 1986.
- [12] K. E. Agbossou, "Etude de la consommation en eau de la canne à sucre sur le complexe sucrier de Savè au Bénin : contribution à l'amélioration de l'utilisation de l'irrigation", Thèse de Doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Montpellier, 115 p, 1994.
- [13] R. Poss, "Transferts de l'eau et des minéraux dans les terres de barre du Togo : Conséquences agronomiques", Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, 335 p, 1991.
- [14] Volkoff et Willaime, 1976 in A. H. Azontonde, "Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin", *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, vol. 28, no. 2, 217-226, 1993.
- [15] A. H. Azontonde, "Propriétés physiques et hydrauliques des sols du Bénin", in *Soil Water Balance in the Sudano-sahelien zone 4* pp. 251-258, 1991.
- [16] M. Boukari, "Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois : Impact du développement urbain sur la qualité des ressources", Thèse de Doctorat d'Etat, UCAD, Dakar, 278 p, 1998.
- [17] M. V. K. Sivakumar, "Predicting rainy season potentiel from the onset of rains in southern sahelian and sudanian climatic zones of West Africa", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 42, pp. 295-305, 1988.
- [18] M. Balme, S. Galle, T. Lebel, "Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger", *Sécheresse*, vol. 16, no. 1, pp. 15-22, 2005.
- [19] R. Marteau, B. Sultan, V. Moron, A. Alhassane, C. Baron and S. B. Traoré, "The onset of the rainy season and farmers'sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger," *Agr. Forest Meteorol.*, vol. 151, pp. 1356-1369, 2011.
- [20] M. Erpicum, M. Binard, J.P. Peters, J. Alexandre, "Une méthode d'analyse des caractéristiques de la saison des pluies en région sahélienne (Exemples pris au Sénégal)", In : Erpicum (Eds.), *Actes des Journées de Climatologie*, Mont-Rigi, Belgique : Presses Universitaires de Liège, pp. 43-56, 1988.
- [21] P. Ozer, Y. C. Hountondji, M.O. Laminou, "Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger", *Geo-Eco-Trop.*, vol. 33, pp. 11-30, 2009.
- [22] A. M. Kouassi, K. F. Kouame, Y. B. Koffi, K. B.Dje, J. E. Paturel, S. Oulare, "Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama)

- en Côte d'Ivoire", *Cybergeo : European Journal of Geography (Environnement, Nature, Paysage)*, article 513, [en ligne] URL : <http://cybergeo.revues.org/>, 2010.
- [23] T.B. MCKEE, N. J. DOESKEN, J. KLEIST, "The relationship of drought frequency and duration to time scales", In T.B. MCKEE, N. J. DOESKEN, J. KLEIST, eds, *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, Calif, Boston, Mass, American Meteorological Society, vol. 179, no. 84, pp. 17-22, 1993.
- [24] A. ALI, T. LEBEL, A. AMANI, "Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel", *Sécheresse* vol. 19, pp 227-35, 2008 in I. F. Ouorou Barre, "Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (nord-ouest du Bénin)". Thèse de Doctorat Unique, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire Espace, Société et Développement, Université d'Abomey-Calavi, 230 p, 2014.
- [25] H. Lubes-Niel, J. M. Masson, E. Servat, J-E. Paturel, B. Kouame, "Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par l'application de tests statistiques, étude bibliographique", Programme ICCARE, ORSTOM, rapport no. 3, 21 p, 1994.
- [26] A. N. Pettitt, "A non-parametric approach to the change-point problem", *Appl. Statist.*, vol. 282, pp. 126-135, 1979.
- [27] V. Moron, A.W. Robertson, M. N. Ward, P. Camberlin, "Spatial coherence of tropical rainfall at the regional scale", *Journal of Climate* vol. 20, pp. 5244-5263, 2007.
- [28] Hazen in S.Tidiane, D. Mbaye, S. Pascal, "Etude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute Casamance (Sud Sénégal)" *Sécheresse* vol. 19, no. 1, pp 23-28, 2008.
- [29] D. Hillel, "Applications of soil physics", Academic Press, INC London, UK, pp. 197-215, 1980.
- [30] Lal, 1991, in H. M. Tesfai, "Soil and water management in spate systems in Eritrea", *Tropical Resource Management papers*, Wageningen University, 211 p, 2000.
- [31] J. Doorembos, A. H. Kassam, C. L. M. Bentverlsen, V. Branscheid, J.M.G.A. Plusje, M. Smith, G.O. Uittenbogaard, H.K. Van Der Val, "Réponse des rendements à l'eau", *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage* no. 33, 235 p, 1987.
- [32] M. Le Lay, S. Galle, "Variabilités interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques : la mousson ouest-africaine en climat soudanien", *Hydrol. Sci. J.*, vol. 50, no. 3, pp. 509-524, 2005.
- [33] A. E. Lawin, A. Afouda, T. Lebel, "Analyse de la variabilité du régime pluviométrique dans la région agricole d'Ina au Bénin", *European Journal of Scientific Research*, vol. 50, no. 3, pp. 425-439, 2011.
- [34] C. S. U. Y. Allé, P. V. Vissoh, H. Guibert, E. K. Agbossou et A. A. Afouda, "Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin", *VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, vol. 13, no. 3, 2013.
- [35] D. F. Chede, "Analyse de la variabilité des saisons pluvieuses dans le sud du Bénin et son impact sur l'alimentation hydrique du maïs", *Mémoire d'ingénieur*, Centre régional AGRHYMET, Niger, 61 p, 2007.
- [36] P. Hubert, J. P. Carbonnel, A. Chaouche, "Segmentation des séries hydrométriques : application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest", *i. Hydro.* vol. 110, pp. 349-367, 1989.
- [37] C. S. U. Y. Alle, P. V. Vissoh, H. Guibert, K. E. Agbossou, E. Goze, A. A. Afouda, "Changements climatiques, Perceptions et Adaptations des Producteurs sur le Plateau d'Allada au sud du Bénin", *European Journal of Scientific Research*, vol. 107, no. 4, pp. 530-545, 2013.
- [38] V. M. C. Houssou, F. C. Biauou, R. Glèlè Kakai, E. K. Agbosou, C. S. Houssou, "Perceptions des changements climatiques par les producteurs d'ananas au Bénin", *Université d'Abomey-Calavi, Bénin, Annales des sciences agronomiques*, vol. 12, no. 2, pp. 99-116, 2014.
- [39] M. M'biandoun, H. Guibert, J- P. Olina "Caractérisation du climat dans quatre terroirs de la zone soudano-sahélienne au Nord-Cameroun et conséquences pour l'agriculture", *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Prasac, N'Djamena, Tchad, Cirad-Irad, Garoua, Cameroun*, 9 p. 2003
- [40] R. Sèdjamé, "La gestion de l'eau sur le plateau d'Allada (Pays Aïzo du sud-Bénin) : Femmes et usages des ressources en eau", *Mémoire de maîtrise de Géographie. Université Nationale du Bénin*, 81 p. 1998.
- [41] E. Malezieux, "Répartition et évolution du déficit hydrique dans le sud-est de la Côte d'Ivoire : Application à la culture de l'ananas", *Fruits*-vol. 45, no. 5, pp. 457-468, 1990.
- [42] P. Franquin, "Analyse agro climatique des régions tropicales : Saison pluvieuse et saison humide, Applications", *Cahier Orstom, Série Biologique*, vol. 9, pp. 65-95, 1969.