

Études et impacts de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers : cas du site hydroélectrique d'Andekaleka à Madagascar

Rodolphe RAMIHARIJAFY, Jean Marc RABEHARISOA, Adolphe RATIARISON* et Jérôme VELO

*Laboratoire de Dynamique de l'Atmosphère du Climat et des Océans (DyACO),
Université d'Antananarivo, Madagascar*

* Correspondance, courriel : aaratiarison@yahoo.fr

Résumé

Cette recherche a pour objectif d'étudier la variabilité de la saison pluviométrique et leurs impacts sur la hauteur annuelle des pluies. Pour ce faire, nous devons savoir les dates du début et de la fin de la saison de pluie, en utilisant une méthode graphique basée sur une courbe qu'on nomme « Courbe Caractéristique des Intensités de Pluie (CCIP) », c'est un polynôme du sixième degré. Les résultats nous ont permis de constater que, dans la zone d'Andekaleka, la durée de la saison de pluie varie de sept à neuf mois : du mois d'octobre ou novembre jusqu'au mois de mai ou juin. Et, la variation des pluies saisonnières est liée aux deux variables : la fréquence des précipitations et la quantité des événements pluvieux.

Mots-clés : *pluviométrie, variabilité, impact, courbe caractéristique des intensités de pluie, méthode graphique, hydroélectrique d'Andekaleka.*

Abstract

**Studies of climate variability and its influences on seasonal rainfall regimes :
case of the hydroelectric center of Andekaleka**

This topic was designed to study the variability of seasonal rainfall and its influences on the rainfall annual height. For to do that, it must know the dates of the first and the end of the seasonal rainfall, applying the graphics method based on the curve intituled "Characteristic Curve of the Rain Intensity (CCRI)", it is a function of the six degree polynomial. The results show that, in Andekaleka zone, the rain period was during of seven or nine months : in September or November till May or June. And, the rainfall variation is depended of the variability, as : the frequency of the rain and the rain events quantity.

Keywords : *rainfall, variability, influence, characteristic curve of the rain intensity, graphics method, hydroelectric center of Andekaleka.*

1. Introduction

Pour l'étude des variables pluviométriques, de nombreux travaux ont déjà été effectués dans l'objectif de déterminer la date du début et celle de la fin de la saison pluvieuse dans les régions tropicales. Entre autres, [1]

qui utilise la pentade, [2] applique une méthode axée sur le pourcentage de précipitations cumulées, [3] a proposé une méthode utilisant l'indice appelé « Anomalous Accumulation », etc. Mais, pour la présente étude, nous aurons les dates du début et de la fin de la saison de pluie, en appliquant une méthode graphique basée sur une courbe qu'on nomme « Courbe Caractéristique des Intensités de Pluie (CCIP) », c'est un polynôme du sixième degré. Cette recherche a pour objectif d'étudier la variabilité de la saison pluviométrique et leurs impacts sur la hauteur annuelle des pluies.

2. Méthodologie

La zone d'Andekaleka se trouve à Madagascar, et qui fait partie du District de Moramanga, province de Toamasina. Elle se trouve à la latitude $18^{\circ}46'$ Sud et à la longitude $48^{\circ}36'$ Est. La zone est traversée par une petite rivière appelée Ivohitra, et cette dernière donne la chute d'eau de la centrale hydroélectrique du site.

2-1. Données

Les données pluies sont de données locales, allant du 1er janvier 1996 jusqu'au 31 décembre 2013 (durant 18 ans), comprend 6575 valeurs journalières, et provenant d'une station de mesure sur le lieu [4]. L'unité de mesure pour la hauteur de pluie est le millimètre (mm) tandis que l'unité de temps est en jours. Les données sont complètes, homogènes et à jours.

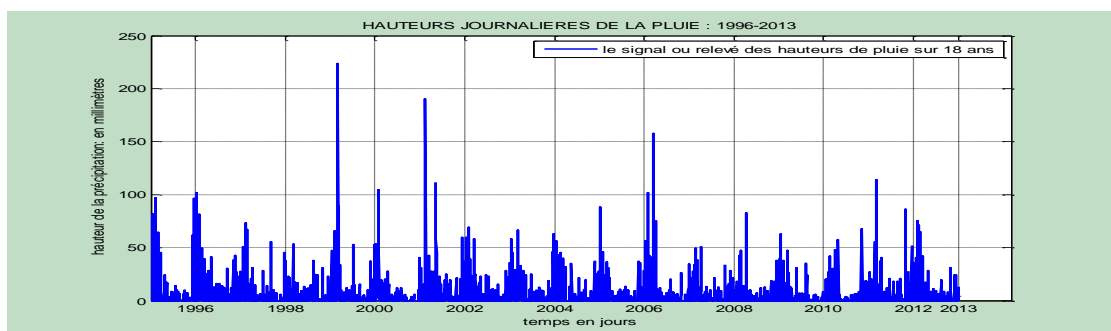


Figure 1 : Le signal : série temporelle constituée du relevé des valeurs journalières des Pluies sur 18 ans (de 1996 à 2013)

Pour la **Figure 1**, au cours de ces 6575 jours, il y avait 3709 jours sans pluie (ou 56,41 %) et 2866 jours avec pluie qui représente le 43,59 % de la période. Ces jours avec pluie sont composés de 946 évènements pluvieux.

La variation des hauteurs annuelles de pluies est présentée par la **Figure** ci-après :

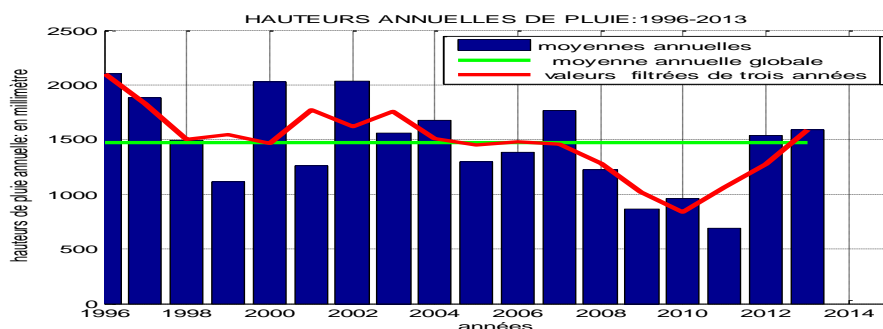


Figure 2 : Hauteurs annuelles de pluie : 1996 - 2013

Ces courbes de la **Figure 2** représentent les hauteurs annuelles de pluie (barre en bleu), la moyenne globale des valeurs annuelles de pluie (courbe en vert) ayant la valeur de 1470,8 mm et la moyenne filtrée de trois années (courbe en rouge).

La variation saisonnière est une variation intra-annuelle de la précipitation. Nous adoptons deux façons différentes pour présenter la variation saisonnière de pluie [5, 6], à savoir :

- *i)- Variation saisonnière singulière (d'une seule année) ;*
- *ii)- Variation saisonnière globale (en moyenne).*

La variation saisonnière singulière est la variation saisonnière au cours d'une seule année. Par exemple, la variation saisonnière de l'année 2003 est donnée par la **Figure** ci-après.

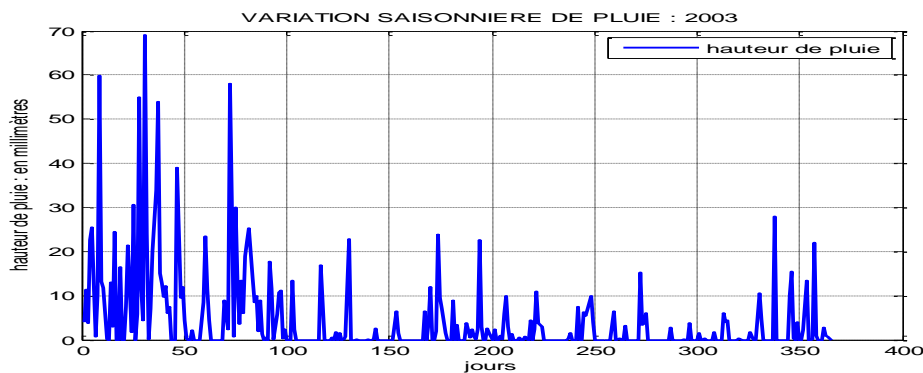


Figure 3 : *Variation saisonnière pour l'année 2003*

La variation saisonnière globale est la moyenne journalière des variations singulières depuis l'année 1996 jusqu'à l'année 2013 [7, 8], dont la **Figure** est donnée ci-dessous.

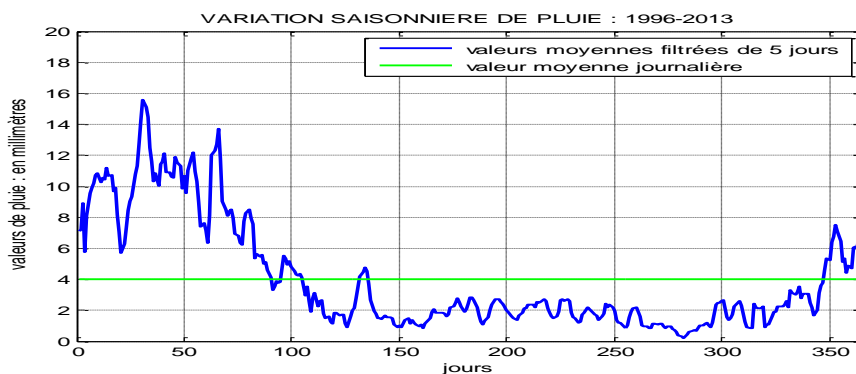


Figure 4 : *Variation saisonnière en moyenne journalière de 1996 à 2013*

Il faut noter que, sur cette courbe de la **Figure 4**, le premier jour correspond au 1^{er} janvier, tandis que le dernier (365^e jour) est la date du 31 décembre. On peut dire que, pour le cycle saisonnier du site d'Andekaleka, en analysant la distribution intra-saisonnière des précipitations sur la période 1996 - 2013, la saison des pluies s'installe sur la région à partir de septembre - octobre et se retire au mois de mai-juin avec un seul pic de précipitation qui se trouve au mois de février ou mars. Durant cette période, la valeur journalière de pluies (en moyenne globale durant les 18 années) est presque supérieure ou égale à 2 mm et ne dépasse que rarement la hauteur de 16 mm.

2-2. Méthodes

Nous allons présenter deux méthodes différentes pour l'étude de la date du début et celle de la fin de la saison, à savoir :

- i) *Méthode de la Courbe Caractéristique des Intensités de Pluie (CCIP) à l'aide du polynôme du sixième degré ;*
- ii) *Méthode de Liebmann : Anomalous Accumulation [3].*

La méthode de Liebmann sera utilisée pour valider la méthode CCIP. Pour l'étude des variables pluviométriques, nous avons proposé six variables pour l'analyse en composantes principales normées [9] qui a permis d'analyser les facteurs de variabilité temporelle des régimes climatiques saisonniers au site d'Andekaleka. Ces variables se rapportent aux précipitations (fréquence et hauteurs de précipitations). L'analyse en composantes principales normées a permis d'extraire deux composantes principales pour l'interprétation des données. Les séries chronologiques constituées à partir de ces six variables s'étendent sur la période 1996 - 2013. L'analyse en composantes principales normées basées sur ces différentes variables, a permis de mettre en évidence l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers.

2-2-1. Méthode de la courbe caractéristique des intensités de pluie (CCIP)

Pour notre cas, on fait la recherche de la date du début et celle de la fin de la saison de pluie à l'aide d'un simple calcul numérique des extremums d'un polynôme du sixième degré. Les dates seront indiquées par les valeurs des minima de la courbe (qu'on nomme Courbe Caractéristique des Intensités de Pluies ou CCIP) du polynôme. Puisque le rang du jour est un nombre entier, il faut arrondir la valeur trouvée par le calcul numérique par accès ou par défaut. Ainsi, l'erreur pour trouver la date du début et celle de la fin de la saison est de l'ordre de un jour. On va représenter la variation saisonnière de la **Figure 4** sous une autre manière. Il s'agit, *à priori*, de diviser en deux parties la courbe de variation et on intervertie leur emplacement pour avoir une nouvelle courbe ayant une allure un peu symétrique. Pour cette représentation, le premier jour correspond à la date du 1^{er} août, tandis que le dernier (365^e jour) se coïncide à la date du 31 juillet.

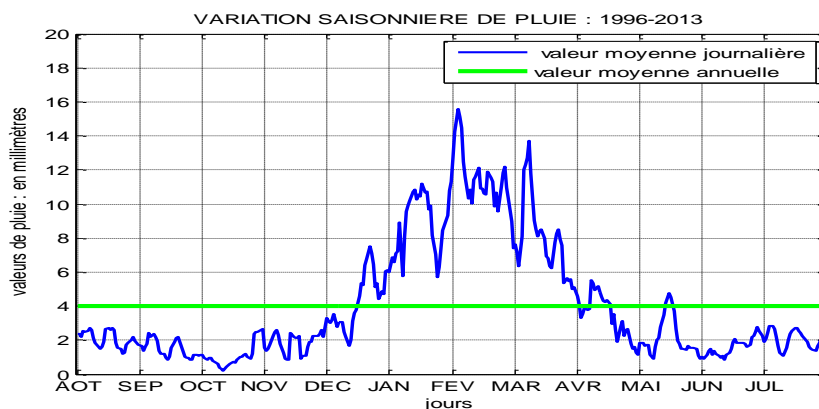


Figure 5 : Variation saisonnière de pluie et la valeur moyenne annuelle

Les valeurs moyennes journalières saisonnières de pluie varient de 0,5 mm (mois d'octobre) à 15,5 mm (début du mois de février). Nous avons constaté que cette courbe est quasi symétrique par rapport à un axe vertical. On peut envisager qu'elle pourrait être filtrée par d'une fonction paire. Vu la variation globale de cette courbe, on opte au polynôme de degré paire (degré 2, 4, 6, ou 8, etc.). Parmi ces différentes puissances, d'après la méthode de vraie ressemblance, notre choix se porte sur un polynôme du sixième degré.

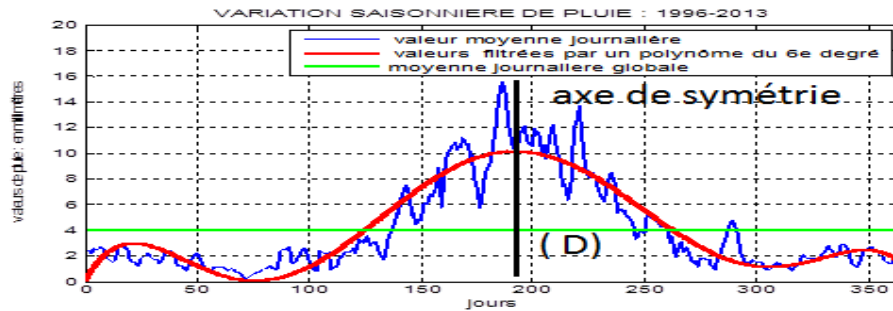


Figure 6 : Présentation type de la méthode de polynôme du sixième degré

La courbe (en rouge) représente la variation des valeurs moyennes filtrées par un polynôme du sixième degré. Elle a une forme de cloche, et notons-la « CCIP ». Cette courbe est presque symétrique par rapport à un axe vertical (droite D) passant par le maximum. Pour le cas ci-dessus, après filtrage par des polynômes du sixième degré, la courbe CCIP a pour équation de la forme :

$$P(x) = p1 \cdot x^6 + p2 \cdot x^5 + p3 \cdot x^4 + p4 \cdot x^3 + p5 \cdot x^2 + p6 \cdot x + p7 \tag{1}$$

avec,

$$\begin{aligned} p1 &= -1,628 \cdot 10^{-12}; & p2 &= 1,846 \cdot 10^{-9}; & p3 &= -7,745 \cdot 10^{-7}; \\ p4 &= 1,454 \cdot 10^{-4}; & p5 &= -1,168 \cdot 10^{-2}; & p6 &= 3,313 \cdot 10^{-1}; \\ p7 &= -4,189 \cdot 10^{-2}. \end{aligned} \tag{2}$$

Pour ce filtrage, la somme des carrés des erreurs est égale à 652,1211 (la variance). Pour cette CCIP, les deux minima se trouvant de part et d'autre de l'axe de symétrie représente respectivement la date du début (avant l'axe de symétrie) et la date de la fin (après l'axe de symétrie) de la saison de pluie. Mais, dans le cas où les minima ne se trouvant pas sur la partie positive de « l'axe des y » qui représente les valeurs de pluie (valeur positive), on prend comme minimum le point d'intersection de la CCIP avec « l'axe des x » qui représente les jours des événements.

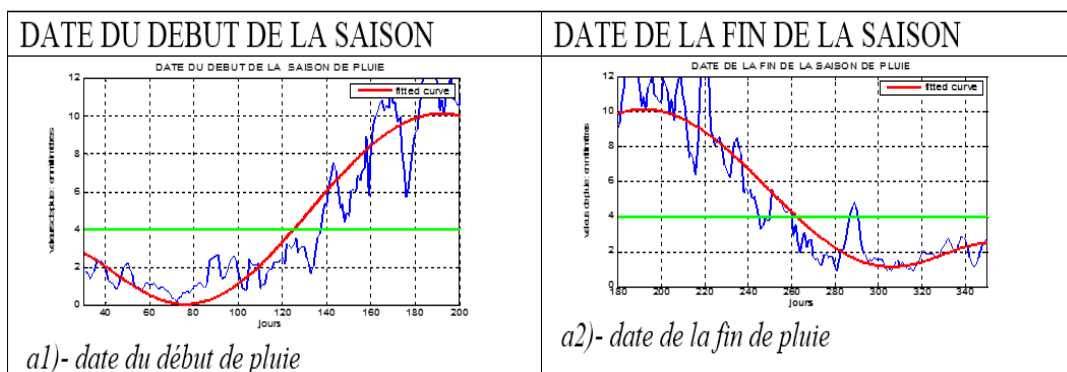


Figure 7 : Dates du début et de la fin de la saison pluviométrique

2-2-2. La méthode de Liebmann : Anomalous Accumulation

Liebmann (2006) propose une méthode basée sur la définition de « Anomalous Accumulation » qui consiste à calculer la différence entre l'accumulation de précipitation journalière et l'accumulation théorique moyenne pendant laquelle il précipiterait quotidiennement le taux journalier moyen, et où :

$$AA(t) = \sum_{n=1}^t R(n) - \bar{R} * t \quad (3)$$

AA(t) représente l'Anomalous Accumulation au jour t, \bar{R} étant la moyenne de précipitations journalières (calculé par Liebmann comme le ratio entre le cumul annuel de précipitations et le nombre de jours dans l'année) et R (n) les précipitations au jour n. Le début (*fin*) de la saison des pluies étant alors déterminé par la date de minimum (*maximum*) de la courbe d' « Anomalous Accumulation ».

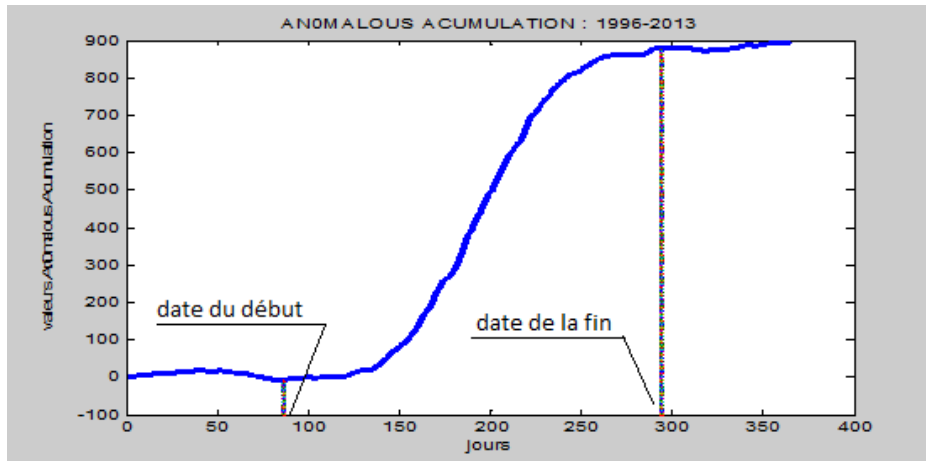


Figure 8 : Présentation type de la méthode de Liebmann : Anomalous Accumulation

2-2-3. Étude des impacts des variables pluviométriques

Pour étudier les *variables* pluviométriques, on divise les hauteurs de pluies en différentes classes selon les normes internationales de seuil définies par l'Organisation Météorologique Mondiale [10], à savoir :

- P1 : la hauteur de pluie est comprise entre 0,1 mm et 10 mm
 - P2 : la hauteur de pluie est comprise entre 10 et 30 mm
 - P3 : la hauteur de pluie est comprise entre 30 et 50 mm
 - P4 : la hauteur de pluie est supérieure à 50 mm
- (4)

La détermination de l'impact des paramètres sur le régime des précipitations est effectuée à partir de la méthode d'Analyse en composante Principale (ACP). L'analyse multivariée a été réalisée sur la période 1996 - 2013. Les variables utilisées sont la pluie moyenne mensuelle (P_{mens}), le nombre moyen mensuel total de jours de pluie (P) et les différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies, P_1 (1 à 10 mm), P_2 (10 à 30 mm), P_3 (30 à 50 mm) et P_4 (> 50 mm).

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats pour les dates du début et de la fin de la saison de pluie

D'après la méthode CCIP, les différentes dates du début et de la fin de la saison de pluie sont représentées sur le *Tableau* ci-dessous :

Tableau 1 : Dates du début et de la fin de la saison pluviométrique (CCIP)

ANNEE	DEBUT (rang)	DATE DU DEBUT	FIN (rang)	DATE DE LA FIN
1997	56	25 septembre	282	09 mai
1998	72	11 octobre	295	22 mai
1999	86	25 octobre	286	13 mai
2000	87	26 octobre	296	23 mai
2001	60	29 septembre	291	18 mai
2002	70	09 octobre	291	18 mai
2003	65	04 octobre	289	16 mai
2004	73	12 octobre	304	31 mai
2005	54	23 septembre	290	17 mai
2006	62	01 octobre	290	17 mai
2007	69	08 octobre	302	29 mai
2008	79	18 octobre	311	07 juin
2009	70	09 octobre	311	07 juin
2010	58	27 septembre	293	20 mai
2011	81	20 octobre	330	26 juin
2012	80	19 octobre	330	26 juin
2013	74	13 octobre	296	23 mai

La représentation graphique ci-dessous permet de visualiser les différentes variations au niveau des dates du début et celle de la fin de la saison de pluie, de 1997 à 2013.

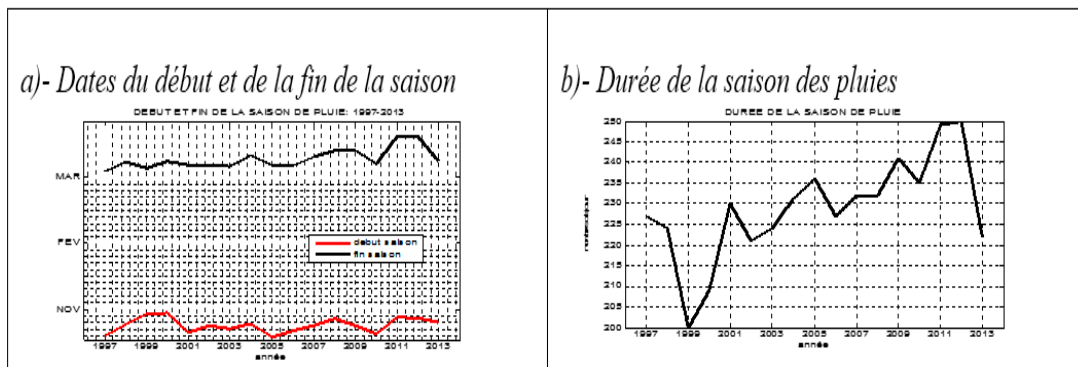


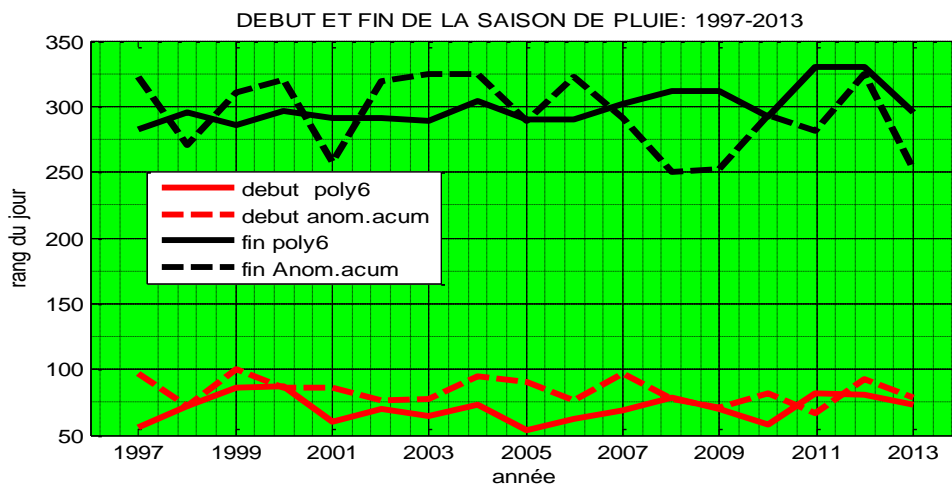
Figure 9 : a) Variations des dates du début et de la fin de la saison de pluie, b) Variations des durées de la saison de pluie

La courbe de la **Figure 9-b** nous permet de savoir que la durée de la saison varie de 200 à 250 jours. Parmi les différentes saisons, c'est celle de l'an 1999 qui est très marquée par sa courte durée (200 jours seulement). A partir de l'an 2000, les saisons ont tendance de s'allonger et pourraient atteindre une durée de 250 jours (saison 2012). De plus, la **Figure 9-a** (courbe en rouge) nous montre qu'il n'y a pas de grand changement en ce qui concerne le début de la saison, sauf pour les saisons 1997, 2005 et 2010, le début de la saison est trop avancé, tandis que les saisons 2000, 2008 et 2011 sont retardées, elles ne commencent qu'à partir de la fin du mois de novembre. En général, la saison de pluie débute du mois d'octobre ou novembre, et elle se termine au mois de mai ou juin. Donc, la saison de pluie, dans la zone d'Andekaleka, dure environ sept à neuf mois. En comparant les résultats de la CCIP avec la méthode de Liebmann

Tableau 2 : Comparaison des dates du début et de la fin de la saison de pluie par la méthode de polynôme du sixième degré et par la méthode Anomalous Accumulation

ANNEE	DEBUT DE LA SAISON		FIN DE LA SAISON		DUREE DE LA SAISON		DECALAGE
	POLY6	AN.AC	POLY6	AN.AC	POLY6	AN.AC	
1997	56	97	282	323	227	226	1
1998	72	72	295	271	224	199	25
1999	86	100	286	311	200	211	-11
2000	87	86	296	320	209	234	-25
2001	60	86	291	258	230	172	58
2002	70	76	291	319	221	243	-22
2003	65	77	289	325	224	248	-24
2004	73	95	304	325	231	230	1
2005	54	90	290	289	236	199	37
2006	62	76	290	322	227	246	-19
2007	69	97	302	291	232	194	38
2008	79	78	311	250	232	172	60
2009	70	71	311	252	241	181	60
2010	58	82	293	293	235	211	24
2011	81	67	330	281	249	214	35
2012	80	93	330	325	250	232	18
2013	74	79	296	252	222	173	49

Pour mieux apprécier les différentes valeurs consignées dans ce **Tableau 2**, on va les présenter à l'aide de la **Figure** ci-après

**Figure 10 :** Courbe de comparaison du début et de la fin de la saison par les deux méthodes (la méthode du polynôme du sixième degré et la méthode Anomalous Accumulation)

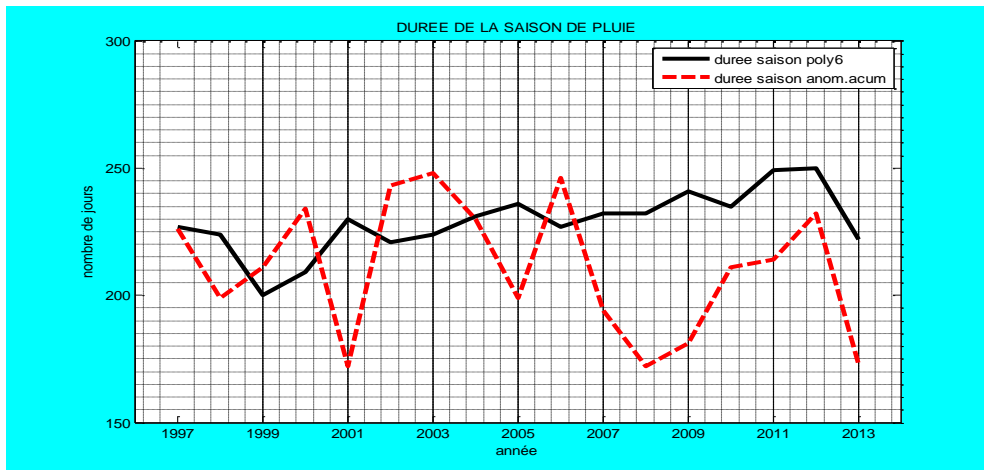


Figure 11 : Comparaison des résultats des deux méthodes sur la variabilité de la durée de la saison

Les **Figures 10 et 11** nous ont montré qu’il y a une tendance à la baisse de la durée de la saison de pluie pour la méthode Anomalous Accumulation par rapport à la méthode de Polynôme du sixième degré. On a remarqué également que la date de la fin de la saison de pluie est anticipée par la méthode Anomalous Accumulation, et ces phénomènes sont très marqués pour les années 2008 et 2009.

3-2. Résultats concernant les jours de pluie et les jours d’attente

Pour les études des dérivées du signal pluie et ses impacts, nous avons les résultats suivants : L’évolution du cumule des jours pluvieux et des jours d’attente est donnée par la **Figure** ci-dessous.

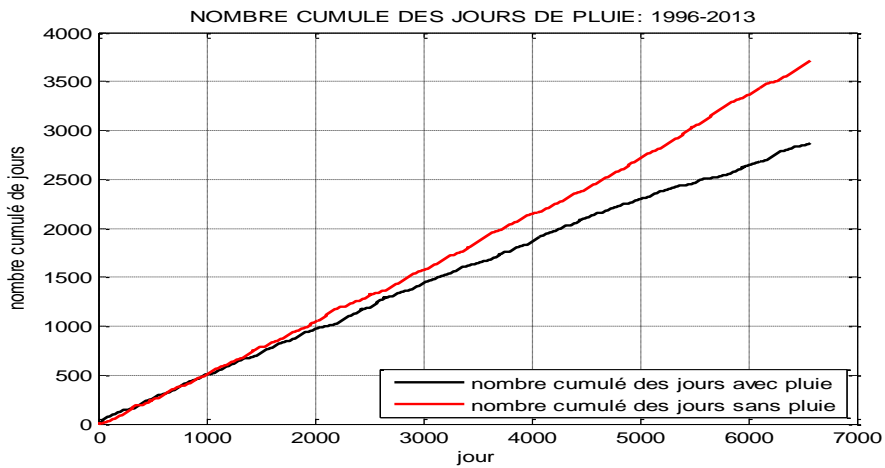


Figure 12 : Nombre de jours d’attente cumulé (en rouge) et nombre de jours pluvieux cumulé (en noire)

Les courbes de la **Figure 12** nous présentent que les nombres de jours sans pluie s’augmentent toujours de l’année en année, tandis que les nombres de jours avec pluie se diminuent.

La variation en pourcentage de nombre des jours avec et sans pluie est présentée par la **Figure** ci-dessous.

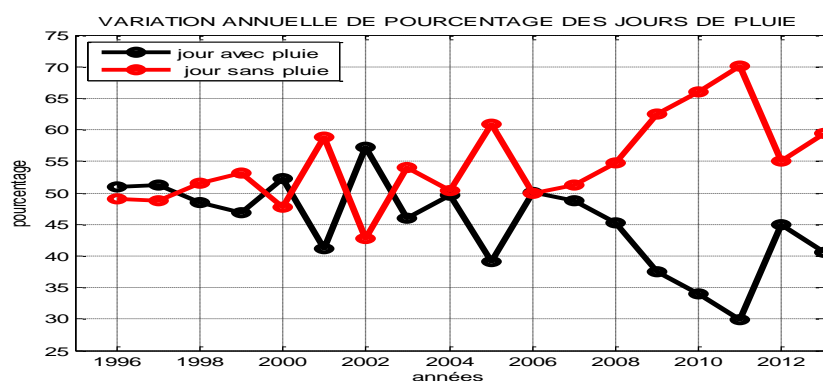


Figure 13 : Pourcentage des jours avec et sans pluie

D'après la **Figure 13**, comme nous avons déjà vu, l'année 2001 est très marquée par l'augmentation de nombres de jours sans pluie et diminution en nombre des événements pluvieux. De plus, à partir de l'année 2003, le pourcentage de nombre des événements de sécheresse est toujours supérieur à celui des événements pluvieux. Les écarts en pourcentage entre ces deux différents événements sont très flagrants à partir de l'année 2005, et le record pour cet écart est l'année 2011. En comparant les hauteurs annuelles de pluie et les nombres annuels des jours de pluie, nous avons les **Figures** suivantes :

Tableau 3 : Nombre de jours pluvieux et hauteurs annuelles de pluie

Année	Nombre de jours de pluie	Hauteurs annuelles de pluie (en mm)
1996	186	2103,8
1997	187	1885,0
1998	177	1494,1
1999	171	1117,5
2000	191	2025,1
2001	150	1262,5
2002	209	2035,5
2003	168	1558,5
2004	181	1674,4
2005	143	1301,1
2006	183	1384,0
2007	178	1762,8
2008	165	1222,6
2009	137	864,6
2010	124	963,5
2011	109	692,1
2012	164	1538,0
2013	148	1586,7

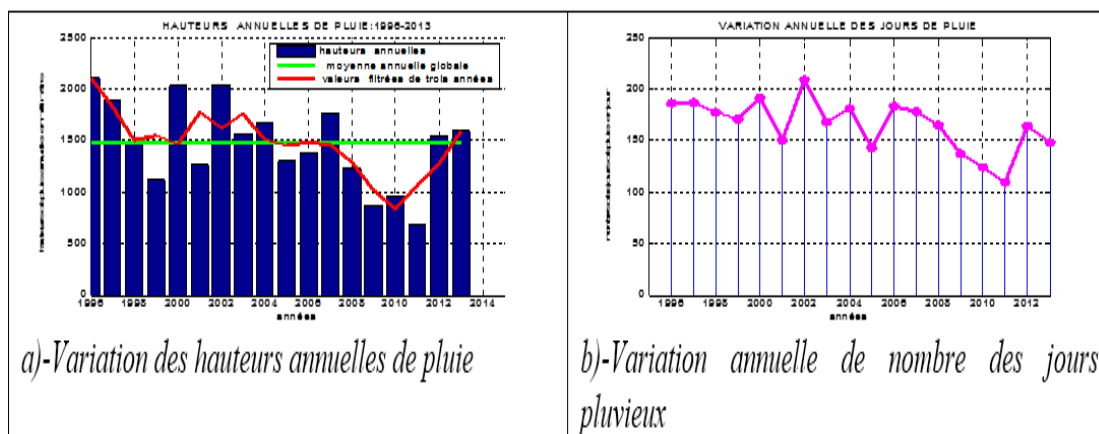


Figure 14 : a)- Variation des hauteurs annuelles de pluie ; b)- Variation annuelle des nombres de jours pluvieux

Ces deux courbes de la **Figure 14** nous présentent que la variation des nombres des évènements pluvieux est en phase avec la variation des valeurs annuelles de pluie. Cela signifie que la variation de la valeur de pluie est due essentiellement à la variation de nombres des évènements pluvieux. La corrélation entre les hauteurs annuelles de pluie et le nombre annuel des jours pluvieux donne un coefficient de 0,8545. Ce qui signifie qu'il y a de corrélation linéaire très marquée entre ces deux variables.

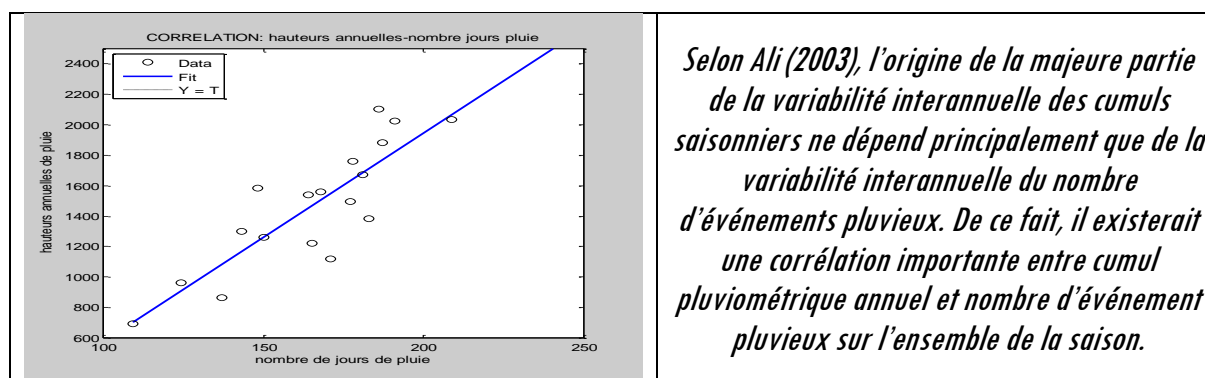


Figure 15 : Corrélation entre les hauteurs annuelles de pluie et le nombre annuel des jours pluvieux

Ainsi, nos résultats sont en accord avec la constatation générale susmentionnée. Une nouvelle question se pose : Si la diminution de nombre des évènements pluvieux est à l'origine de la baisse des valeurs annuelle de pluie, « quelle classe de pluie est-elle disparue ou diminuée ? »

3-3. Résultats sur les impacts de la variabilité climatique

Les différents pourcentages de chaque classe au niveau de nos données sont présentés dans le **Tableau** ci-après :

Tableau 4 : Pourcentages de chaque classe de pluie au niveau des données de pluie

Classe	P1	P2	P3	P4
nombre totale des évènements durant les 18 années	2200	579	115	77
pourcentage (%)	74,05	19,49	3,87	2,59

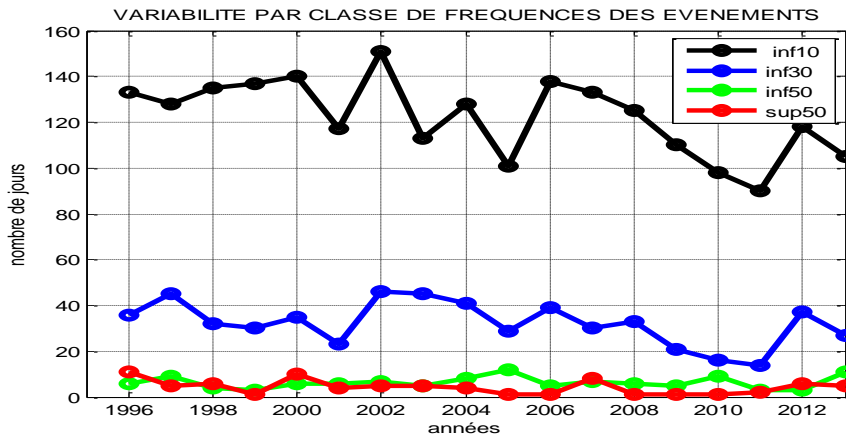
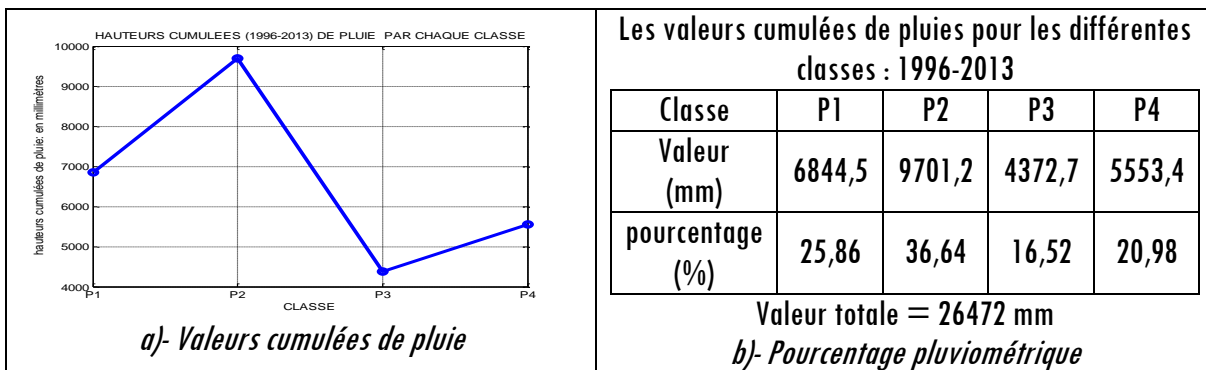


Figure 16 : Variabilité fréquentielle des classes de pluie

La classe P1 (la courbe en noire) se place au-dessus des toutes autres courbes et elle représente le 74,05 % des évènements pluvieux. La courbe en bleu présente la variabilité en fréquence de la classe P2. Elle prend la deuxième position en matière de nombre des évènements (19,49 %). Sa valeur en nombre d'évènements annuels varie de 45 jours (année 2002) au 15 jours (année 2011). La classe P3 (courbe en vert) vient en troisième position. Elle présente le 3,87 % des évènements pluvieux. En matière de la fréquence d'apparition annuelle, sa valeur maximale ne dépasse pas le nombre de 15 jours. Sa variabilité est presque en opposition de phase par rapport aux deux premières classes P1 et P2. La classe P4 (courbe en vert) se trouve à la dernière position. Elle ne présente que le 2,59 % des évènements pluvieux. En ce qui concerne de la fréquence d'apparition annuelle, sa valeur maximale ne dépasse pas le nombre de 12 jours. Sa variabilité est désordonnée, elle ne suit ni la variabilité pluviométrique, ni les variabilités des autres classes. Ainsi, en matière de la variabilité fréquentielle, les quatre classes peuvent être ordonnées de la manière suivante : $P1 > P2 > P3 > P4$.

Tableau 5 : Valeurs cumulées et Pourcentage de pluie de chaque classe



La classe P2, qui représente le 36,64 % des valeurs de pluie, est la classe de pluie qui domine. Ensuite, suivie par P1 (25,86 %) et P4 (20,98 %). La classe P3 (16,52 %) a le pourcentage le plus faible ($P2 > P1 > P4 > P3$). Ainsi, on peut conclure que le classement des différentes classes en matière fréquentielle et en valeur pluviométrique n'est pas le même.

Par ordre fréquentielle : $P1 > P2 > P3 > P4$. (5)

Par ordre Valeur pluviométrique : $P2 > P1 > P4 > P3$. (6)

La détermination de l'impact des paramètres sur le régime des précipitations [11, 12] est effectuée à partir de la méthode d'Analyse en composante Principale (ACP). L'analyse multivariée a été réalisée sur la période 1996 - 2013. Les variables utilisées sont la pluie moyenne mensuelle (P_{mens}), le nombre moyen mensuel total de jours de pluie (P) et les différentes classes définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur définies, P_1 (1 à 10 mm), P_2 (10 à 30 mm), P_3 (30 à 50 mm) et P_4 (> 50 mm).

Tableau 6 : Statistiques descriptives des variables analysées

Variables	Moyenne	Ecart-type
P mens	119,6422	101,9117
P	13,5231	3,8736
P1	10,0509	1,8203
P2	2,6065	2,1342
P3	0,5139	0,6956
P4	0,3519	0,4816

L'application de la méthode de l'analyse en composantes principales normées (ACPN) à six (06) variables qui sont P_{mens} , P , P_1 , P_2 , P_3 et P_4 a donné les résultats relatifs aux éléments qui constituent la base des interprétations. Les résultats matriciels présentés sont les matrices de corrélation et les matrices de valeurs propres.

Le **Tableau 7** présente les matrices de corrélation exprimant les différentes corrélations entre les variables analysées au site d'Andekaleka. La matrice de corrélation est symétrique, dont les valeurs sur la diagonale sont égales à 1.

Tableau 7 : Matrice de corrélations entre les variables analysées

	Haut_mens	P_mens	P1	P2	P3	P4
Haut_mens	1.0000					
P_mens	0.8398	1.0000				
P1	0.5787	0.9251	1.0000			
P2	0.4647	0.0128	- 0.3446	1.0000		
P3	0.1342	- 0.2706	- 0.5576	0.8333	1.0000	
P4	0.0953	- 0.2799	- 0.5408	0.7728	0.8822	1.0000

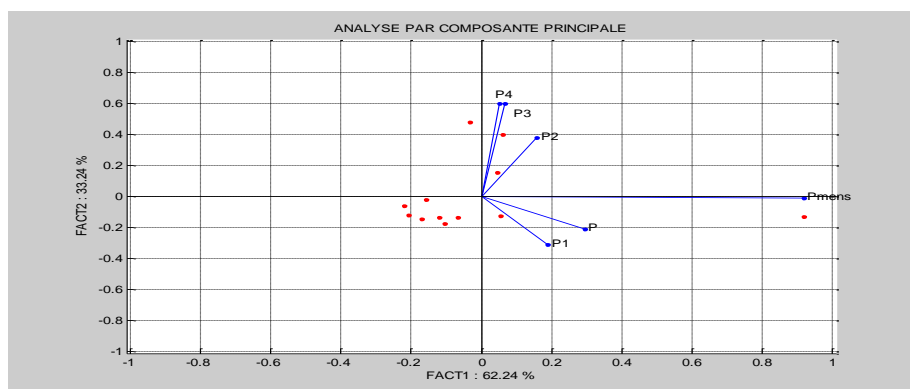
Nous avons constaté l'existence de corrélation entre les variables : P_1 et P_{mens} (coefficient de corrélation 0,9251 qui est très proche de la valeur 1), entre les hauteurs mensuelles et P_{mens} (coef = 0,8398), entre P_2 et P_3 (coef = 0,833), entre P_4 et P_2 (coef = 0,7728), et finalement entre P_4 et P_3 dont le coefficient de corrélation est de l'ordre de 0,8822. Pour les valeurs propres, nous avons le résultat :

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 6,6130 ; & \lambda_2 &= 3,5316 ; & \lambda_3 &= 0,2588 ; \\ \lambda_4 &= 0,1499 & \lambda_5 &= 0,0715 ; & \lambda_6 &= 0,0003 \end{aligned} \tag{7}$$

Il est bien de noter que, ce sont les valeurs propres supérieures à 1 qui ont de signification. Il n'y a que deux valeurs propres qui sont supérieures à 1, à savoir : $\lambda_1 = 6,6130$ et $\lambda_2 = 3,5316$. Ainsi, on ne considère que deux axes principaux (notons F_1 et F_2) pour notre étude de l'ACP.

Tableau 8 : Valeurs propres sur les deux (2) premières composantes principales

	F1	F2
Valeurs propres	6,61	3,53
% Total valeur propre	62,24	33,24
Valeur propre cumulée	6,61	10,14
% Variance exprimée cumulée	62,24	95,48

**Figure 17 : Espace des variables de plan factoriel F1-F2**

L'analyse dans l'espace des variables a été réalisée dans le plan factoriel F1-F2 de la **Figure 17**, et qui rend compte de manière satisfaisante de la structure des données. Tous les facteurs se trouvent dans la partie positive de la première composante F1 qui est déterminée par la hauteur moyenne mensuelle Pmens. La deuxième composante F2 est marquée par les classes de pluie P3 et P4. Le nombre des jours avec pluie (P) est en bonne corrélation avec la première composante (Pmens). P1 et P2 apportent presque le même effet pour l'inertie en F1, mais des effets antagonistes pour la deuxième composante F2. Ainsi, l'inertie apportée par P et P1 sont en opposition à celle apportée par P3 et P4.

4. Conclusion

Cette recherche nous a permis de savoir que, dans la zone d'Andekaleka, la saison de pluie dure environ de sept à neuf mois. Elle débute du mois d'octobre ou novembre, et se termine au mois de mai ou juin. De plus, les résultats obtenus, avec les deux méthodes : Courbe Caractéristique des Intensités de Pluie (CCIP) et Anomalous Accumulation, sont similaires, mais avec une petite nuance car la méthode Anomalous Accumulation anticipe la date de la fin de la saison. Et enfin, pour l'impact de la variabilité climatique, l'analyse en composantes principales normées basées sur des variables se rapportant aux précipitations (fréquence et hauteurs de précipitations) a permis de savoir que la variation des pluies saisonnières est liée aux deux variables : la fréquence des précipitations et la quantité des événements pluvieux.

Références

- [1] - J. A. MARENGO et B. LIEBMANN, Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazonia. *Journal of climate*, 14 (2001) 4308 - 4318
- [2] - T. O. ODEKUNLE, Determining rainy season onset and retreat over Nigeria from precipitation amount and number of rainy days. *Theoretical and applied climatology*, 83 (2006)193 - 201

- [3] - B. LIEBMANN, A definition for onset and end of the rainy season, (2006), Site internet : www.eol.ucar.edu/cppa/meetings/200608/posters/brant.pdf, Accédé le 12/02/2007
- [4] - Ministère de la Météorologie de Madagascar : Foibe Taon-tsaritany Malagasy (FTM), (2011)
- [5] - J. DE REFFYE, Etude phénoménologique des précipitations pluvieuses. Modélisation mathématique des intensités de pluie en un point du sol. *Revue de Statistique Appliquée*. Tome 30, N°3 (1982) 39 - 63
- [6] - L. FERRY, Y. L'HOTE, A. WESSELINK, "Les précipitations dans le Sud-Ouest de Madagascar », IAHS Publication, Vol. 252 (1998) 89 - 96
- [7] - J. E. PATUREL, E. SERVAT, M. O. DELATTRE, « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 43, N°3 (1998) 937 - 945
- [8] - AMANI MICHEL KOUASSI, KOFFI FERNAND KOUAMÉ, Analysis of climate variability and of its influences on seasonal rainfall regimes in West Africa : case of the N'zi (Bandama) watershed in Ivory Coast, (2010)
- [9] - B. TOUAÏBIA, S. INEGLIZ, A. A. OULD, « Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord », *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol. 19, N°3 (2006) 213 - 219
- [10] - O. M. M., « Guide des pratiques climatologiques », Vol. 100 (1990)
- [11] - B. T. A. GOULA, I. SAVANE, B. KONAN, V. FADIKA, G. B. KOUADIO, « Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide) », *Vertigo*, Vol. 1 (2006) 1 - 12
- [12] - A. M. KOUASSI, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie- débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, (2007)