

Analyse régionale de la saison des pluies de Madagascar

Jean Marc RABEHARISOA*, Adolphe RATIARISON
et Ranaivo Jean Victor ANDRIAMARONDRANTO

Université d'Antananarivo, Domaine Sciences et Technologies, Mention Physique et applications, Laboratoire de Dynamique de l'Atmosphère, du Climat et des Océans (DyACO), BP 566 Antananarivo 101, Madagascar

* Correspondance, courriel : jmrabeharisoa@gmail.com

Résumé

L'objectif de ce travail est de diviser le Madagascar en quelques régions climatiques et d'analyser les saisons des pluies de ces régions. L'analyse en composantes principales et une rotation des composantes (de type varimax) sont utilisées sur les données pluviométriques journalières allant de 1 Janvier 1979 à 31 Décembre 2016. A 80,35 % de l'information initiale, 9 régions climatiques sont trouvées. A chaque région obtenue, l'analyse en composante principale est utilisée pour déterminer la date de début et de fin de la saison pluvieuse de la période allant de 1979 à 2016 soit 37 saisons. L'analyse des dates de début, dates de fin et durées de la saison des pluies fournit les résultats suivants : (i) la saison des pluies des trois régions climatiques tend à se produire plus tard, celle d'une seule région tend à se produire tôt ; (ii) la saison des pluies des deux régions climatiques tend à finir tôt et celle des deux autres tend à finir plus tard ; (iii) La saison des pluies des quatre régions climatiques tend à raccourcir et celle des trois autres tend à allonger. En moyenne, la saison des pluies de Madagascar a une tendance à raccourcir et tend à se produire tard. L'analyse fréquentielle fournit l'information sur les probabilités des dates de début et dates de fin de la saison pluvieuse de chaque région. Des dates indicatives de début et de fin de chaque région sont fournies.

Mots-clés : *Madagascar, début et fin des saisons des pluies, région, tendance.*

Abstract

Regional analysis of the rainy season of Madagascar

The objective of this work is to divide Madagascar into some climatic regions and to analyze the rainy seasons of these regions. The analysis in Principal component Analysis and rotation of the component (varimax) are used on the daily pluviometric data going from January 1st, 1979 till December 31st, 2016. In 80.35 % of the initial information, 9 climatic regions are found. In each obtained region, Principal Component Analysis is used to determine onset date, cessation date of the rainy season of the period from 1979 till 2016 that is 37 seasons. The analysis of onset dates, cessation dates and duration of rainy season supplies the following results : (i) the rainy season of three climatic regions tends to occur later, that of a single region tends to occur early; (ii) the rainy season of two climatic regions tends to finish early and that of two others tends to finish later; (iii) the rainy season of four climatic regions tends to shorten and that of three tends to lengthen. On the average, the rainy season of Madagascar has a trend towards a shortening and tends to occur late. The frequency analysis supplies information on the probability of the onset dates and cessation dates of the rainy season of every region. Indicatives onset dates and cessation dates of every region are supplied.

Keywords : *Madagascar, onset and cessation of rainy season, trend, region.*

1. Introduction

A nos jours, les chercheurs sont attirés par la variabilité de la période des pluies. En Afrique où Madagascar fait partie, quelques chercheurs ont fait l'analyse de la saison des pluies [1 - 2]. Les chercheurs utilisent, en général, deux approches différentes à savoir : (i) l'approche agronomique [3-7] qui est fondée sur la répartition des précipitations; (ii) l'approche aérologique [8 - 10] qui prend en compte la dynamique de l'atmosphère. La première approche propose, comme date démarrage de la saison des pluies, le premier jour d'une période humide de N jours recevant X mm de pluie, à condition, qu'une période de S jours secs ne soit pas observée après la date de démarrage de la saison des pluies. La deuxième approche se base sur les caractéristiques spatiales et temporelles des processus météorologiques, comme les systèmes convectifs et les perturbations. Comme il est difficile d'avoir les données atmosphériques, des chercheurs sont attirés par une méthode qui utilise les anomalies cumulées des précipitations pour décrire les saisons des pluies [11 - 14]. A Madagascar des études sur la saison des pluies ont été faites [15 - 21]. La plupart des ces études ont été faites sur une partie de Madagascar, sans préciser le nombre de région climatique qui la constitue. Ce travail a deux objectifs principaux : (i) trouver les différentes régions climatiques qui constituent le Madagascar; (ii) analyser la saison des pluies de ces régions.

2. Méthodologie

2-1. Données utilisées

Pour cette étude, nous utilisons les données pluviométriques quotidiennes couvrant Madagascar, pour une période de 38 ans allant de janvier 1979 à Décembre 2016. Ces données sont téléchargées directement sur le site web <http://www.ecmwf.int> [22] avec le pas de grilles 0.5 x 0.5. On a 222 Points de grilles à utiliser sur la surface de Madagascar.

2-2. Méthodes

On applique l'Analyse en composantes principales [23, 24] sur les précipitations quotidiennes de 1 ère Janvier 1979 à 31 Décembre 2016. Cela est dans le but d'extraire des axes principaux en respectant l'importance de l'inertie expliqué ou le pourcentage de l'information initiale enregistré dans ces facteurs. Pour cela, on utilise comme individus les précipitations journalières et comme variable les 222 points de grille. Après Avoir défini le nombre d'axe à retenir, on applique une méthode de rotation classique dite varimax. La rotation varimax permet de rendre la structure simple et plus facilement interprétable. Cette méthode de calcul a été élaborée pour faire pivoter les facteurs afin de mieux classer les variables. L'objectif de cette méthode est d'obtenir une représentation claire des facteurs qui sont clairement marqués par de forte corrélation avec d'autre variable [25]. Après l'application de rotation varimax, les groupes de variables fortes corrélées à chaque facteur peuvent être enregistrées. Ces groupes forment les régions à étudier. Le nombre de région est égal au nombre d'axe extrait. A chaque groupe de variables identifiée qui forme une région, on va déterminer les dates de début, dates de fin et les durées de la saison pluvieuse, analyser leurs variations interannuelles depuis la saison des pluies 1979-80 à 2015-16. Nous allons adopter une démarche similaire à celle appliquée au Sénégal [11], en Afrique de l'Est [12] et au Proche-Orient [14], même si les climats sont différents. Cette méthode repose sur l'utilisation des anomalies cumulées des précipitations qui peut décrire l'évolution de la saison des pluies. Afin d'obtenir les dates de démarrage et de fin des saisons des pluies, on applique l'analyse en composantes principales (sans rotation) sur la matrice contenant les pluies quotidiennes de 01 Octobre à 31 Mai (saison des pluies). Pour cela, les points de grille sont pris comme variables. On calcule, saison des pluies par saison des pluies, les scores cumulés de la première composante. Les dates correspondantes aux

maximum et minimum des scores cumulés sont considérés comme dates du début et de fin de la saison pluvieuse. La durée de la saison des pluies est calculée comme l'écart entre la date de fin et la date de début de la saison. Dans le but de ressortir la distribution des dates de démarrage et dates de fin de la saison des pluies, on fait une étude fréquentielle aux niveaux de probabilité 20, 40, 50, 60 et 80 % correspondant aux dates de début et de fin qui sont dépassées deux années sur dix (Q4), quatre années sur dix (Q3), cinq années sur dix (médiane), six années sur dix (Q2) et huit années sur dix (Q1).

3. Résultats et discussion

3-1. Régionalisation

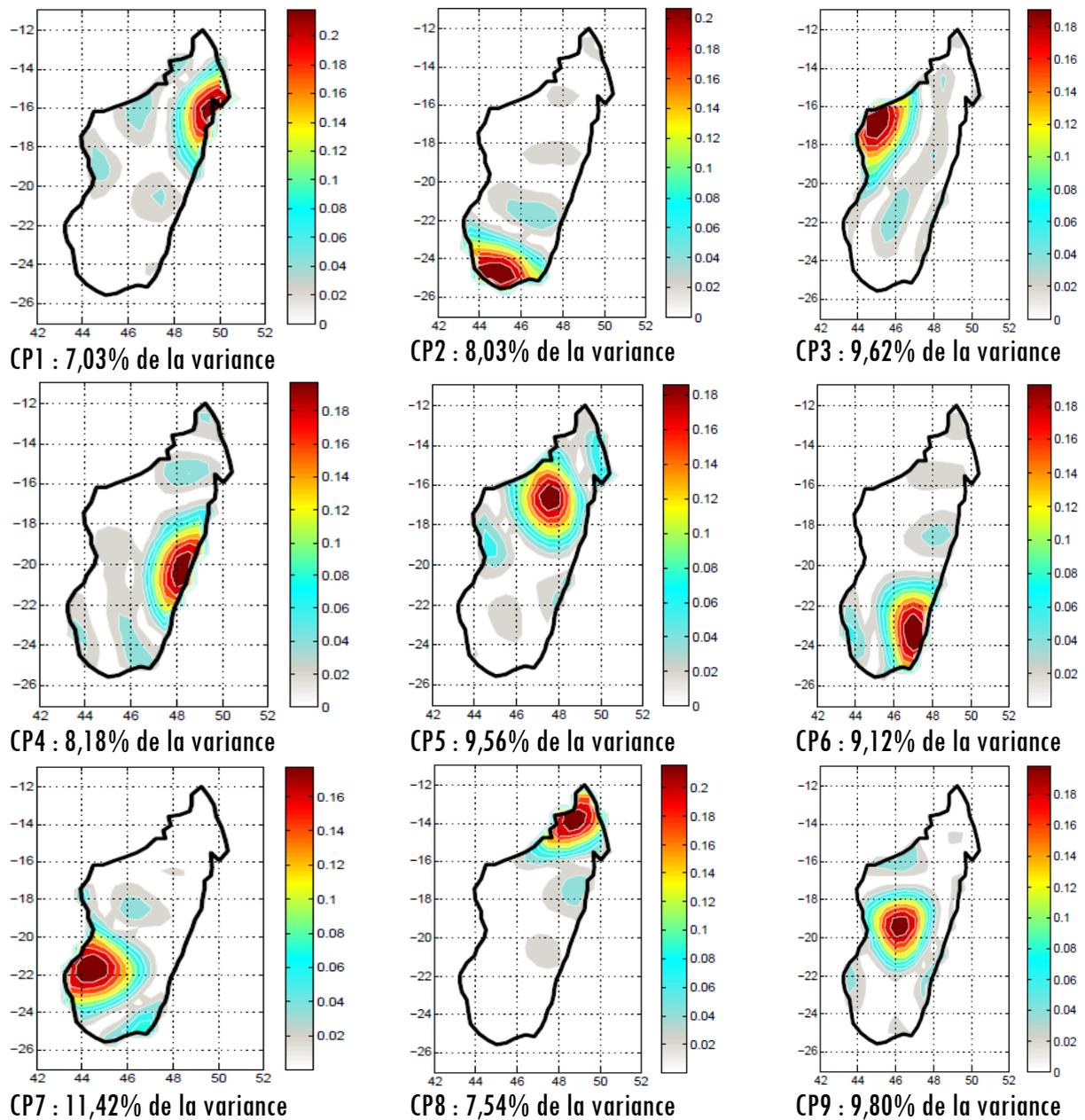


Figure 1 : Analyse en Composantes Principales avec Rotation (Varimax) des précipitations quotidiennes de Janvier 1979 à Décembre 2015

Appliquons sur les 222 points de grilles, durant la période allant de 1979 à 2016, une analyse en composantes principales. On retient neuf composantes qui représentent 80,35 % de la variance totale. Pour ces neuf composantes retenues, on applique une rotation VARIMAX, c'est-à-dire transformons les composantes par une rotation. Pour cela, on détermine à quelle composante est mieux corrélé chaque point de grille. Les points de grille mieux corrélés à un axe forment une région. On accepte que un point est mieux corrélé avec un axe si sa coefficient de corrélation avec celui-ci est supérieur ou égale à 0,11. A 80,35 % d'inertie, on peut diviser Madagascar en neuf régions. La **Figure 1** montre les coordonnées des variables (présentées en code couleur) sur les neuf axes principaux. Les variances expliquées, après rotation, sont mentionnés au-dessous de chaque élément de la figure. Cette figure montre les neuf régions climatiques trouvées. Ces neuf régions se distinguent par la quantité précipitée journalière [19]. La **Figure 2** montre les différentes régions climatiques sur une même figure, les couleurs n'ont pas d'autre signification qu'identification d'une région.

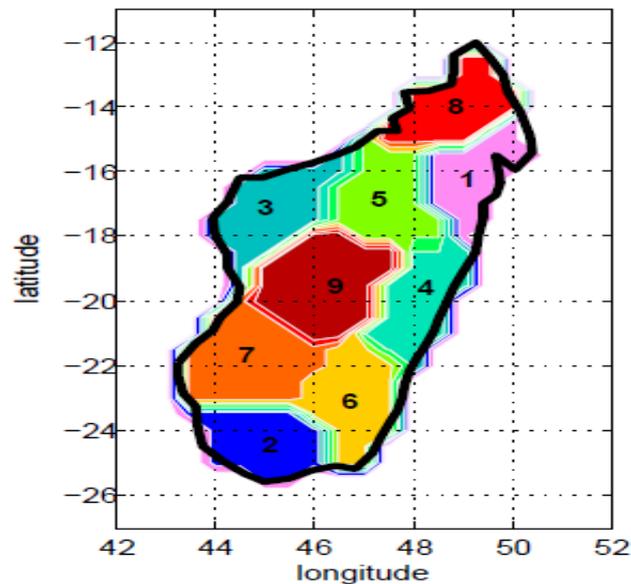


Figure 2 : Les différentes régions de Madagascar en précipitation

Ces neuf régions peuvent être classées en trois catégories selon la quantité précipitée journalière :

- Catégorie 1 : régions ayant des précipitations abondantes (régions 1, 3, 4, 6 et 8 : Est et Nord de Madagascar) ;
- Catégorie 2 : régions ayant des précipitations modérées (régions 5 et 9 : haute plateau) ;
- Catégorie 3 : régions ayant des faibles précipitations (régions 2 et 7 : Extrême sud et Sud-Ouest).

3-2. Etude des saisons des pluies

3-2-1. Variation interannuelle des descripteurs de la saison des pluies

Sur la **Figure 3** sont illustrés les trois descripteurs de la saison des pluies de la région 1. Les dates de fin de la saison des pluies durant la période d'étude sont comprises entre 25 Février et 08 Avril. En moyenne la date de fin est le 28 Mars. Les dates de début sont comprises entre 16 Novembre et 19 Janvier. Les dates de début montrent une tendance à la hausse (**Figure 3a**) ce qui signifie que la saison des pluies a tendance à se produire plus tard. Les durées de la saison des pluies dans cette région montrent une tendance à la baisse (**Figure 3b**), indiquant une tendance à raccourcir. C'est-à-dire que le nombre de jours d'attente a une tendance à la hausse. Ce résultat est en accord avec celle de [21] qui ont travaillé sur la partie Nord de Madagascar.

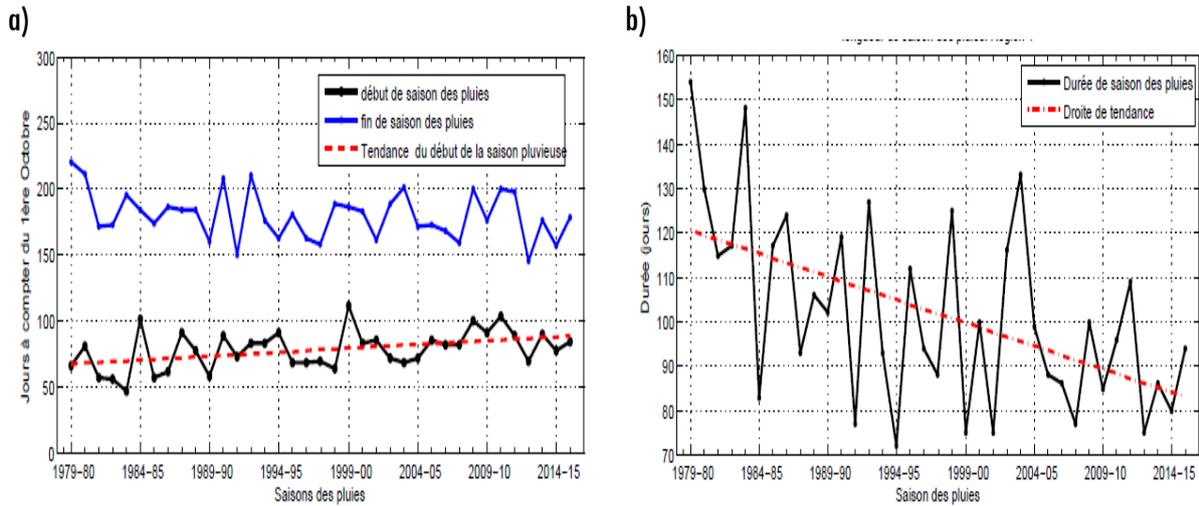


Figure 3 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 1

La **Figure 4** présente la variation des descripteurs de saison des pluies de la région climatique 2. Les dates de début de la saison des pluies se situent entre le 19 Octobre et le 12 Février, la date moyenne est autour de 04 Décembre. Les dates de fin de la saison se situent entre 11 Janvier et 20 Avril. Elles montrent une tendance à la hausse (**Figure 4a**), indiquant que la saison des pluies a tendance à se produire plus tard. La durée de la saison a une tendance croissante (**Figure 4b**). La variation de la durée de la saison est influencée par la variation de date de fin.

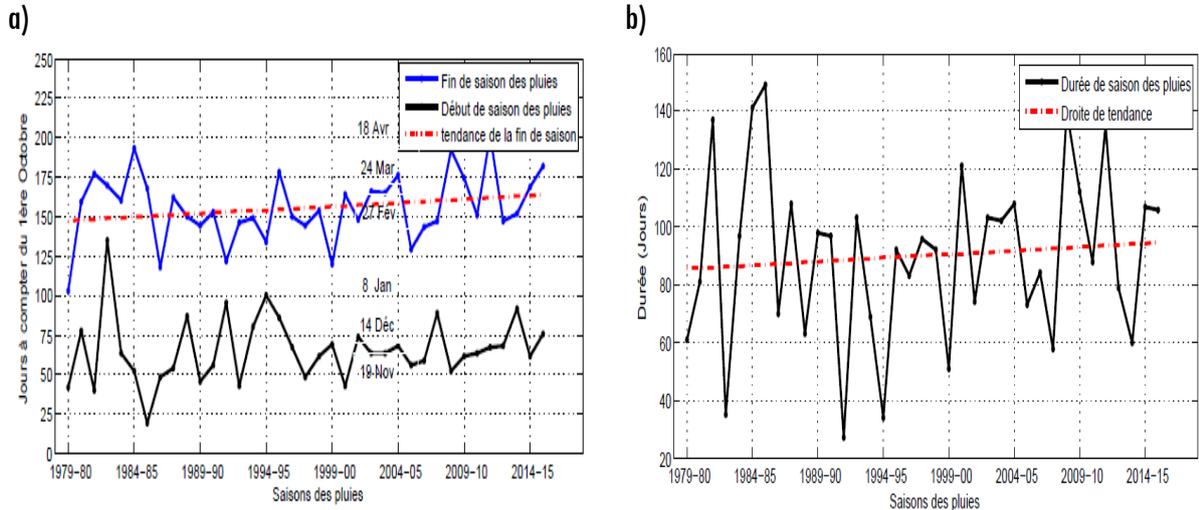


Figure 4 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 2

La **Figure 5** montre les dates de démarrage, dates de début et les durées de la saison des pluies de la région climatique 3. Les dates de début sont comprises entre le 3 Novembre et le 27 Décembre et la date moyenne se situe au tour de 29 Novembre. Ce résultat est en accord avec le résultat de [16]. Les dates de fin se situent entre 22 Février et 20 Avril. La date moyenne de fin de la saison est le 15 Mars. Ces trois descripteurs n'ont pas de tendance. La tendance des durées de la saison des pluies est en accord avec celle global de [21] car la région climatique 3 fait partie de la partie Nord de Madagascar.

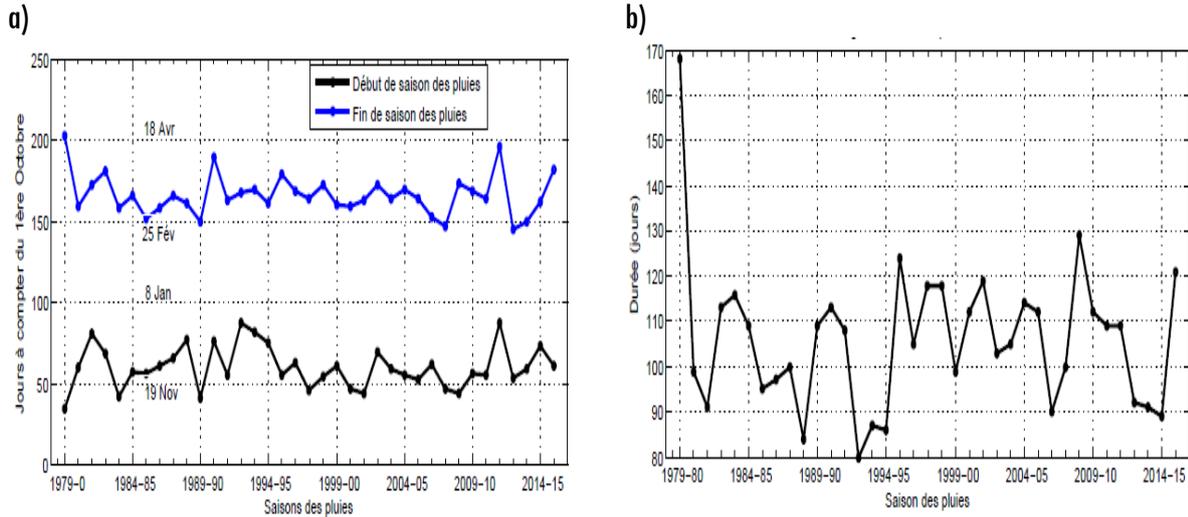


Figure 5 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 3

Sur la **Figure 6** sont présentés les dates de début, dates de fin et les durées de la saison des pluies de la région climatique 4. Les dates de début de la saison se situent entre le 1 Novembre et le 16 Février. La date moyenne de début se situe au tour de 8 Décembre. Les dates de fin montrent une tendance à la hausse (**Figure 6a**) qui signifie que la saison des pluies de cette région a tendance à finir plus tard. Les durées de la saison montrent une tendance croissante, indiquant un allongement de la saison et diminution de nombre de jour de non pluie. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par [15, 26].

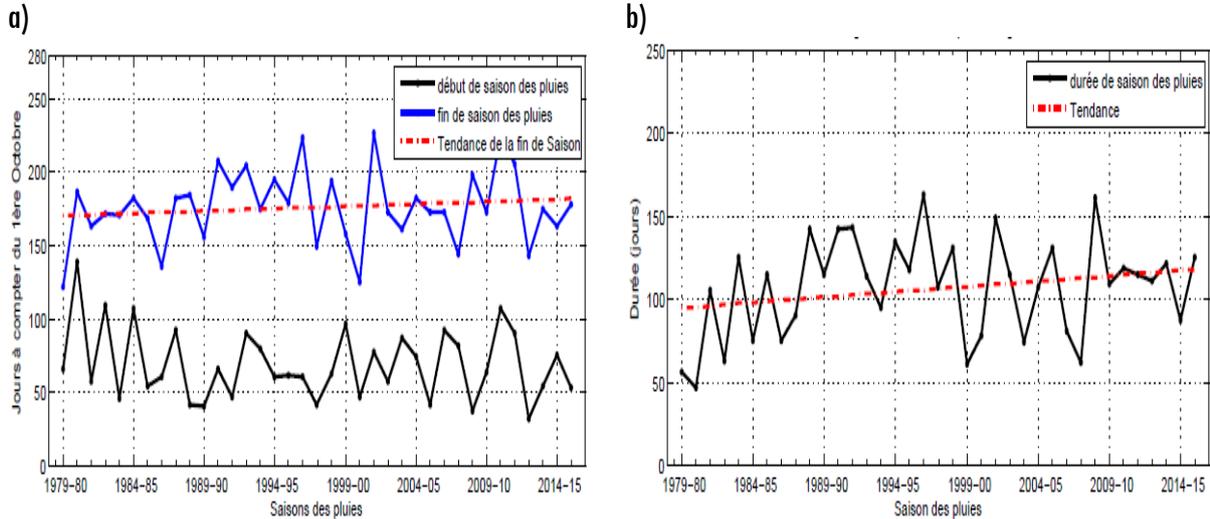


Figure 6 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 4

La **Figure 7** résume les tendances suivies par les trois descripteurs de la saison des pluies dans la région climatique 5. Les dates de début présentent une tendance à la hausse c'est-à-dire que le début des pluies a tendance à se produire plus tard. La série temporelle des dates de fin montre une tendance à la baisse (**Figure 7a**), indiquant que cette saison a tendance à finir plus tôt. La durée de la saison des pluies a tendance à la baisse (**Figure 7b**) donc raccourcissement de la saison des pluies. Donc augmentation de nombre de jours non pluie qui est en accord avec celle de [21]. Cette augmentation de nombre de jour de non pluie peut se traduire par la tendance à la baisse des pluies [18].

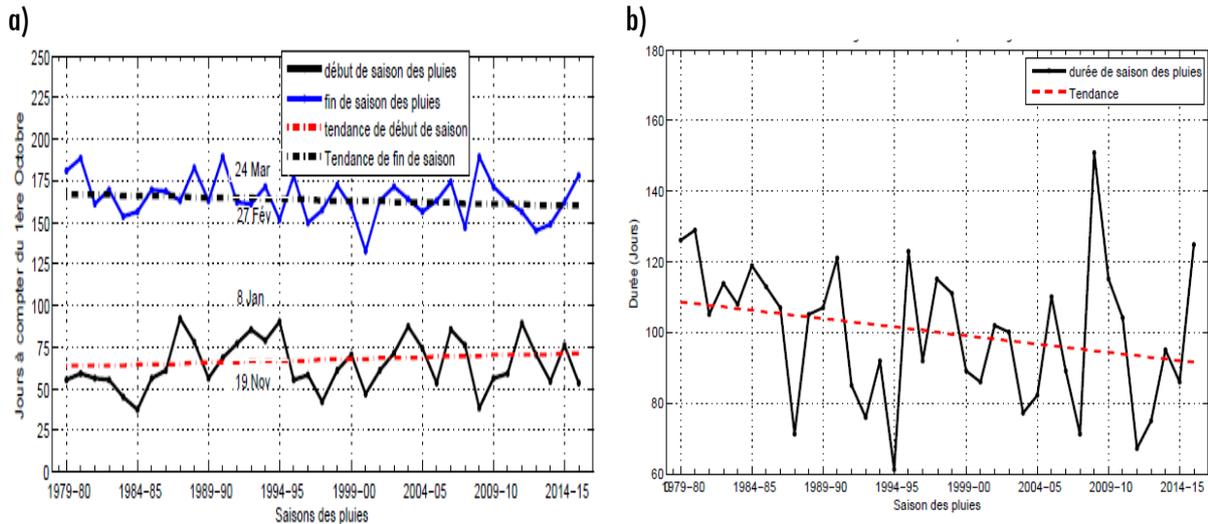


Figure 7 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 5

La **Figure 8** présente les dates de fin, dates de début et les durées de la saison des pluies de la région climatique 6. La série temporelle des dates de fin de la saison pluvieuse montre une légère tendance à la baisse (**Figure 8a**). La date plus précoce est le 3 Janvier et la date plus tardive est le 2 mai. Les dates de démarrage montrent une tendance à la hausse (**Figure 8a**). La saison des pluies de la région climatique 6 a tendance à se produire plus tard. La date moyenne de démarrage se situe autour de 5 Décembre. Les durées de la saison présentent une tendance à la hausse, indiquant une tendance au rallongement de la saison. Ce qui signifie une diminution de nombre de jours de non pluie.

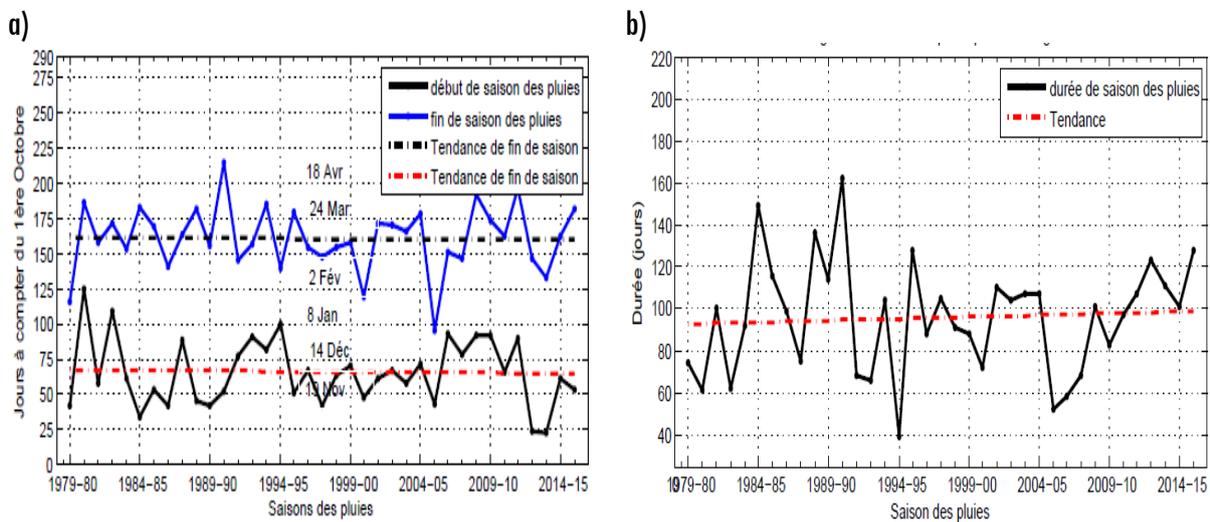


Figure 8 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 6

La **Figure 9** montre les dates de démarrage, dates de fin et les durées de la saison pluvieuse de la région climatique 7. Les dates de démarrage se situent entre 9 Novembre et 28 Décembre. La date moyenne de démarrage est autour de 2 Décembre. Les dates de fin de la saison pluvieuse se situent entre 26 Janvier et 10 Avril. La date moyenne de fin est autour de 9 Mars. Les trois descripteurs de saison des pluies ne présentent pas une tendance. Ces résultats sont dans l'ensemble en accord avec celles trouvés par [27] à Toliara.

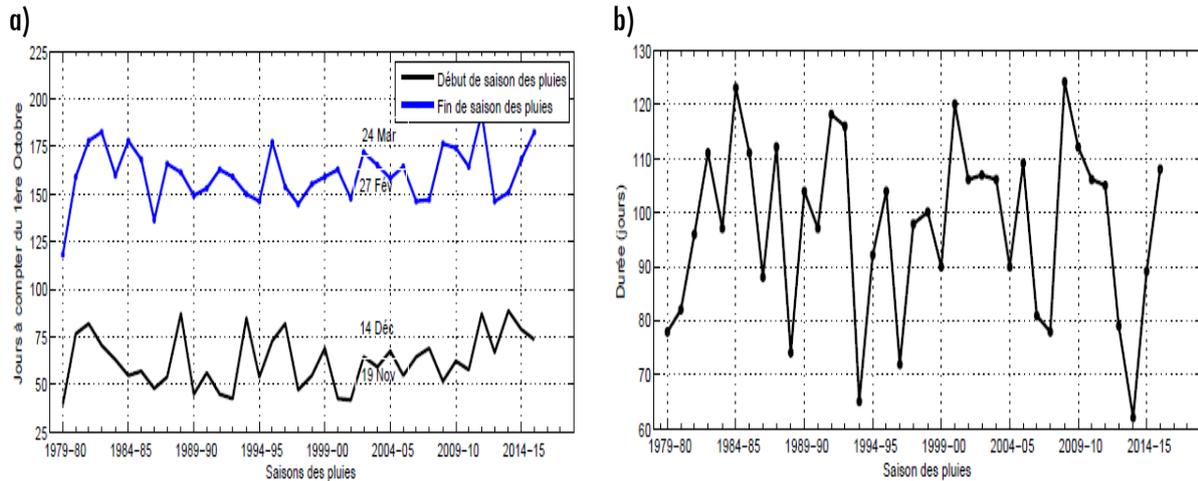


Figure 9 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 7

La **Figure 10** présente les dates de début, dates de fin et les durées de la saison des pluies de la région climatique 8. La série temporelle des dates de fin montre une tendance à la baisse (**Figure 10a**), indiquant que cette saison a tendance à finir tôt. Les dates de début se situent entre 16 Novembre et 9 Janvier. La date moyenne de démarrage se situe au tour de 13 décembre. Les durées de la saison des pluies montrent une tendance à la baisse (**Figure 10b**), indiquant une tendance au raccourcissement de la saison des pluies. Le raccourcissement de la saison des pluies est souvent se traduit par l'accroissement de nombre de jour de non pluie. Ce résultat est en accord avec celle de [21].

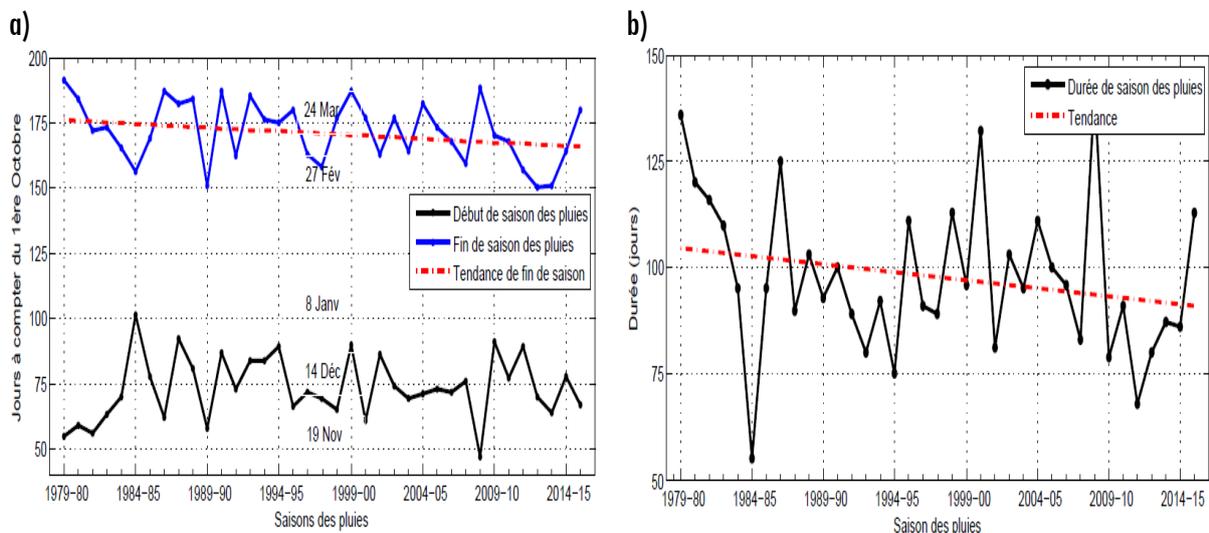


Figure 10 : a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 8

La **Figure 11** montre les dates de fin, dates de début et les durées de la saison des pluies da la région climatique 9. Les dates de fin ne présentent pas une tendance (**Figure 11a**). Elles se situent entre le 7 Février et 14 Avril et la date moyenne est autour de 11 Mars. Les dates de début de la saison des pluies présentent une tendance à la hausse qui indique que cette saison a tendance à se produire plus tard. La date moyenne de démarrage se situe autour de 27 novembre. Les durées de la saison des pluies présentent une tendance à la baisse, indiquant le raccourcissement de la saison des pluies. Le raccourcissement est traduit par l'accroissement de nombre de jour de non pluie de cette région.

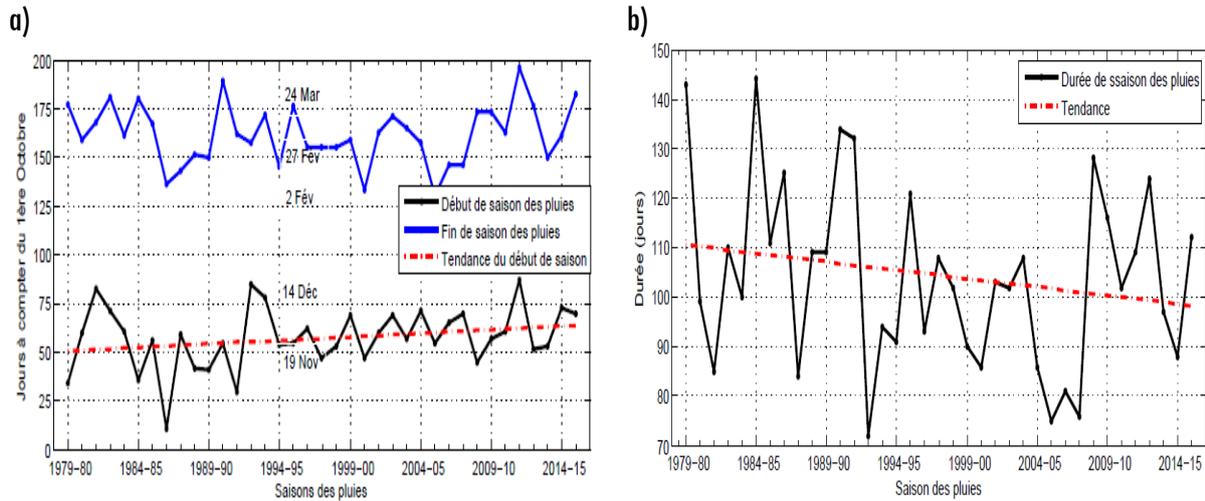


Figure 11: a) Début, Fin et b) Durée de la saison des pluies de la région 9

Les dates de début et dates de fin présentées sur les neuf figures ci-dessus (*Figure 3 à Figure 11*) sont résumées sur les deux *Tableaux* suivant (*Tableau 1 et 2*)

Tableau 1 : Dates de démarrage plus précoces, plus tardives et moyennes

	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Précoces	16Nov	19 Oct	03 Nov	01 Nov	06 Nov	22 Oct	09 Nov	16 Nov	11 Oct
Tardives	19 Jan	12 Fév	27 Déc	16 Fév	30 Jan	02 Fév	28 Déc	09 Jan	26 Déc
Moyenne	17 Déc	04 Déc	29 Nov	08 Déc	07 Déc	05 Déc	02 Déc	13 Déc	27 Nov

Tableau 2 : Dates de fin plus précoces, plus tardives et moyennes

	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Précoces	25 Fév	11 Jan	22 Fév	30 Jan	10 Fév	03 Jan	26 Jan	27 Fév	07 Fév
Tardives	08 Avr	20 Avr	20 Avr	12 Mai	07 Avr	02 Mai	10 Avr	09 Avr	14 Avr
Moyenne	28 Mar	05 Mar	15 Mar	22 Mar	13 Mar	10 Mar	09 Mar	20 Mar	11 Mar

Les tendances des descripteurs de la saison pluvieuse sont résumées dans les *Tableau 3* et *Tableau 4*.

Tableau 3 : Tendances des descripteurs de la saison pluvieuse

	Région1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5
Début	croissante	pas	Pas	pas	croissante
Fin	pas	croissante	Pas	croissante	décroissante
Durée	décroissante	croissante	Pas	croissante	décroissante

Tableau 4 : Tendances des descripteurs de la saison pluvieuse

	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Début	Décroissante	pas	Pas	pas
Fin	Décroissante	pas	décroissante	croissante
Durée	Croissante	pas	décroissante	croissante

3-2-2. Variation interannuelle des dates de fin, dates de début et durée de la saison des pluies moyennés sur les 9 régions

En moyennant sur les neuf régions, les dates de fin et dates de début sont montrées sur la **Figure 12**. La date de début a une tendance croissante de faible pente (0,12) qui n'est pas significative selon Mann-Kendall [28-29]. La durée (**Figure 12b**) a une tendance à raccourcir avec une pente (-0,15). La tendance au raccourcissement de la durée de la saison des pluies est liée au réchauffement climatique [30]

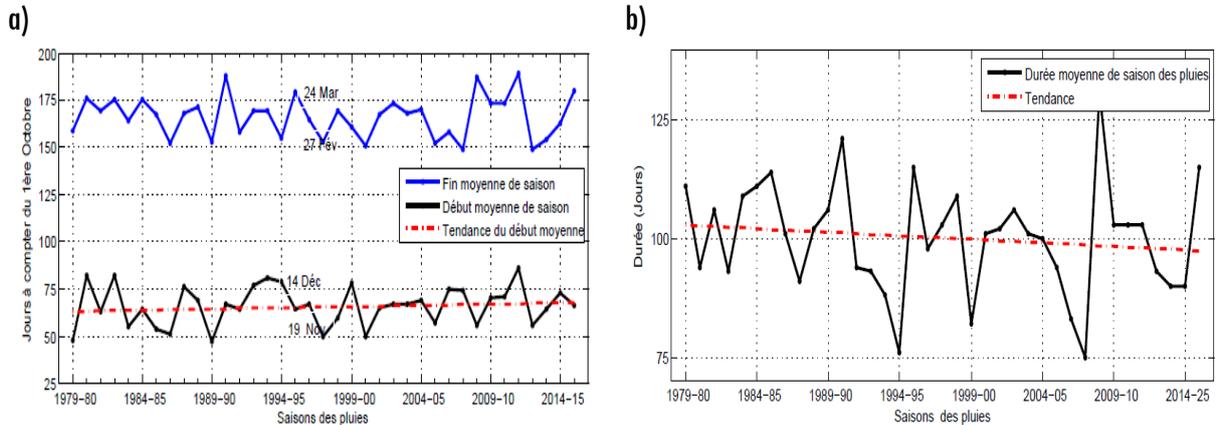


Figure 12 : a) Début moyenne, Fin moyenne et b) Durée moyenne de la saison des pluies

3-3. Analyse fréquentielle des dates de démarrage et fin de saison des pluies

Les **Tableau 5 et 6** présentent respectivement les dates de démarrage et les dates de fin de la saison des pluies des neuf régions climatique, aux niveaux de probabilités 20, 40, 50, 60 et 80 %.

Dans ces **Tableaux**,

- Q1 (premier quintile) désigne la date dépassée 8 années sur 10 ;
- Q2 (deuxième quintile) désigne la date dépassée 6 années sur 10 ;
- Médiane désigne la date dépassée 5 années sur 10 ;
- Q3 (troisième quintile) désigne la date dépassée 4 années sur 10 ;
- Q4 (quatrième quintile) désigne la date dépassée 2 années sur 10.

La date la plus probable pour le démarrage de la saison est Q4 et la moins probable c'est le Q1. Pour la fin, Q1 est plus probable et Q4 la date la moins probable.

Tableau 5 : Les dates de démarrage de la saison de pluie à Madagascar (9 régions) pour les niveaux de probabilités 20, 40, 50, 60 et 80 % (1979-80/2015-16)

	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Q1	05 Déc	17 Nov	16 Nov	16 Nov	24 Nov	12 Nov	17 Nov	02 Déc	16 Nov
Q2	11 Déc	01 Déc	24 Nov	30 Nov	28 Nov	27 Nov	25 Nov	09 Déc	24 Nov
Médiane	20 Déc	02 Déc	28 Nov	02 Déc	30 Nov	30 Nov	01 Déc	11 Déc	26 Nov
Q3	22 Déc	06 Déc	30 Nov	12 Déc	10 Déc	08 Déc	05 Déc	14 Déc	30 Nov
Q4	29 Déc	19 Déc	12 Déc	29 Déc	24 Déc	29 Déc	16 Déc	25 Déc	09 Déc
Moyenne	17 Déc	04 Déc	29 Nov	08 Déc	07 Déc	05 Déc	02 Déc	13 Déc	27 Nov
Date min	16 Nov	19 Oct	03 Nov	01 Nov	06 Nov	22 Oct	09 Nov	16 Nov	11 Oct
Date max	19 Jan	12 Fév	27 Déc	16 Fév	30 Jan	02 Fév	28 Déc	09 Jan	26 Déc

Tableau 6 : *Les dates de fin de la saison de pluie à Madagascar (9 régions) pour les niveaux de probabilités 20, 40, 50, 60 et 80 % (1979-80/2015-16)*

	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Q1	12 Mar	21 Fév	07 Mar	02 Mar	02 Mar	23 Fév	25 Fév	11 Mar	27 Fév
Q2	24 Mar	28 Fév	12 Mar	21 Mar	10 Mar	05 Mar	07 Mar	15 Mar	06 Mar
Médiane	26 Mars	07 Mar	13 Mar	22 Mar	12 Mar	11 Mar	09 Mar	19 Mar	10 Mar
Q3	31 Mar	11 Mar	15 Mar	26 Mar	13 Mar	17 Mar	13 Mar	24 Mar	13 Mar
Q4	13 Avr	23 Mar	21 Mar	08 Avr	23 Mar	30 Mar	23 Mar	31 Mar	25 Mar
Moyenne	28 Mar	05 Mar	15 Mar	22 Mar	13 Mar	10 Mar	09 Mar	20 Mar	11 Mar
Date min	25 Fév	11 Jan	22 Fév	30 Jan	10 Fév	03 Jan	26 Jan	27 Fév	07 Fév
Date max	08 Avr	20 Avr	20 Avr	12 Mai	07 Avr	02 Mai	10 Avr	09 Avr	14 Avr

Les dates de démarrage et de fin de la saison pluvieuse de chacune des régions, sont obtenues par méthode factorielle. Elles s'appuient sur la moyenne des précipitations de la région durant la saison pluvieuse, mais non pas sur des critères agronomiques locaux. En pratique, dans les régions à faible précipitation (région 2, région7) mieux vaut prendre Q4 comme date de début de la saison des pluies, médiane pour les régions moyennement arrosées (région 5, région 9) et Q1 pour les régions humides (régions 1,3, 4, 6, 8). Les dates de fin sont : Q1 pour les régions à faible précipitation (région 2, région7), Médiane pour les régions moyennement arrosées (région 5, région 9) et Q4 pour les régions humides (régions 1,3, 4, 6, 8). On peut prendre, comme dates indicatives de démarrage et de fin de la saison des pluies de ces différentes régions, les indiquées dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 : *Dates indicatives de début et de fin de la saison des pluies des 9 régions de Madagascar*

	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6	Région 7	Région 8	Région 9
Début	5 Déc	19 Déc	16 Nov	16 Nov	30 Nov	12 Nov	16 Déc	2 Déc	26 Nov
Fin	13 Avr	21 Fev	31 Mar	8 Avr	12 Mar	30 Mar	25 Fév	31 Mar	10 ar

4. Conclusion

A Madagascar, avec l'Analyse en composantes principales, on a identifié 9 régions climatiques : l'extrême Nord (Région 8), l'extrême Sud (Région 2), Sud Ouest (Région 7), Nord Ouest (Région 3), 2 régions de la partie centrale (Région 5 et 9) et 3 régions de la côte Est (Région 1, 4 et 6). Après l'analyse de la saison des pluies de chaque région climatique, des informations sur l'évolution de la saison des pluies sont fournis. Les dates de début, dates de fin et les durées de la saison des pluies sont déterminées. Les comportements des descripteurs de la saison des pluies sont définis :

- La saison des pluies des trois régions sur neuf (Région 1, Région 5 et Région 9) a tendance à se produire plus tard celle de la Région 6 tend à se produire tôt.
- La saison des pluies des deux régions (Région 5, Région 8) sur neuf tend à finir tôt, celle des deux autres tend à finir plus tard (Région 2, Région 4)
- La saison des pluies des 4 régions (Région 1, Région 5, Région 8 et Région 9) tend à raccourcir,
- La saison des pluies des 3 régions (Région 2, Région 4 et Région 6) a une tendance à allonger.

En moyenne, la saison des pluies a une tendance à raccourcir et tend à se produire tard.

L'analyse fréquentielle fournit l'information sur les probabilités des dates de début et de fin de la saison de chaque région. Les dates indicatives de début et de fin de chaque région sont fournies.

Références

- [1] - LEONARD K. AMEKUDZI, EDMUND I. YAMBA, KWASIPREKO, ERNEST O. ASARE, JEFFREY ARYEE, MICHAEL BAIDU AND SAMUEL N. A. CODJOE, "Variabilities in Rainfall Onset, Cessation and Length of Rainy Season for the Various Agro-Ecological Zones of Ghana", *Climate* 3 (2015) 416-434, doi:10.3390/cli3020416
- [2] - P. CAMBERLIN, V. MORON, R. OKOOLA, N. PHILIPPON et W. GITAU, "Components of rainy seasons' variability in Equatorial East Africa : onset, cessation, rainfall frequency and intensity", *Theoretical Applied Climatology*, 98 (2009) 237-249; doi: 10.1007/s00704-009-0113-1
- [3] - AMANI MICHEL KOUASSI, KOFFI FERNAND et al., "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* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 513, mis en ligne le 07 décembre 2010, consulté le 30 Octobre 2017. <http://cybergeo.revues.org/23388>; doi: 10.4000/cybergeo.23388
- [4] - J. B. OMOTOSHO, A. A. BALOGUN, et K. OGUNJOBI, "Predicting monthly and seasonal rainfall, onset and cessation of the rainy season in West Africa using only surface data", *International Journal of Climatology*, 20 (2000) 865-880
- [5] - S. SALACK, B. MULLER, A. T. GAYE, "Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I : integration of local to sub-regional trends and variability", *Theor Appl Climatol* 106(2011) 1-22; doi 10.1007/s00704-011-0414-z
- [6] - O. F. ATI, C. J. STIGTER et E. O. OLADIPO, "A comparison of methods to determine the onset of the growing season in Northern Nigeria", *International Journal of Climatology*, 22 (2002) 731-742; doi: 10.1002/joc.712
- [7] - J. BOYARD-MICHEAU, "Prévisibilité potentielle des variables climatiques à impact agricole en Afrique de l'Est et application au sorgho dans la région du MT KENIA", Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, France, (2013) 356 p.
- [8] - B. SULTAN et S. JANICOT, "Abrupt shift of the ITCZ over West Africa and intra-seasonal variability", *Geophysical Research Letter*, 27 (2000) 3353-3356
- [9] - M. BALME, S. GALLES et T. LEBEL, "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) 15-22
- [10] - B. FONTAINE, S. LOUVET et P. ROUCOU, "Definition and predictability of an OLR-based West African monsoon onset", *International Journal of Climatology*, 28 (2008) 1787-1798; doi: 10.1002/joc.1674
- [11] - P. CAMBERLIN et M. DIOP, "Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal", *Climate Research*, 23 (2003) 159-169
- [12] - P. CAMBERLIN et R. E. OKOOLA, "The onset and cessation of the "long rains" in eastern Africa and their interannual variability", *Theoretical and Applied Climatology*, 75 (2003) 43-54
- [13] - P. CAMBERLIN, "Contributions à la compréhension de la variabilité pluviométrique multi-échelle en Afrique". HDR, CRC - Université de Bourgogne, Dijon, France (2004) 101 p.
- [14] - M. TRABOULSI, "La saison pluvieuse au Proche-orient : Une tendance au raccourcissement", *Climatologie*, 9 (2012) 9-29
- [15] - RODOLPHE RAMIHARIJAFY, JEAN MARC RABEHARISOA et al., "Etudes et impacts de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers : cas du site hydroélectrique d'Andekaleka à Madagascar", *Afrique Science*, 13(2) (2017) 259-273, <http://afriquescience.info>

- [16] - RAZANATOMPOHARIMANGA NIRYHAVANA, “Prévision des périodes de pluies (début et fin) dans la partie centre-ouest de Madagascar”. Thèse de l’Université d’Antananarivo. Faculté des Sciences, Antananarivo (2016) 196p
- [17] - Jean HARY, A. RATIARISON, J. M. M. ANDRIAMAMPINANINA, J. M. RABEHARISOA et J. RAKOTOVELO, “Evaluation de la sécheresse dans la région ouest de Madagascar”, *Afrique Science*, 13(2) (2017) 11-23, <http://afriquescience.info>
- [18] - NIRYARINAVALONA RAKOTOVAO, ADOLPHE A. RATIARISON, ANDRIAMPARANYHERILALAINA JAONA, JEAN MARC RABEHARISOA et JEROME VELO, “Modélisation SARIMA de la pluviométrie de la côte Ouest de Madagascar”, *Afrique Science*, 12(6) (2016) 403 - 411, <http://afriquescience.info>
- [19] - JEAN MARC RABEHARISOA et ADOLPHE RATIARISON, “Analyse de la saison pluvieuse de Madagascar”, *Afrique Science*, 13(4) (2017) 415-427, <http://afriquescience.info>
- [20] - L. R. M IZANDJI OWAWA, A. A. SALIM et al., “Détermination et analyse des dates de début et de fin des saisons des pluies de 1979 à 2012 dans la partie Nord de Madagascar”, *Afrique Science*, 13(4)(2017) 190-206, <http://afriquescience.info>
- [21] - AHMED ALI SALIM, LANDRY R. M IZANDJI OWAWA et al., “Description de la variabilité climatique spatiotemporelle au Nord de Madagascar et au Comores”, *Afrique Science* 13(5)(2017) 388-409, <http://afriquescience.info>
- [22] - D. P. DEE, S. M. UPPALA et al., “The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system”, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137 (2011) 553-597
- [23] - C. DUBY, S. ROBIN, “ Analyse en composantes Principales”, Département O.M.I.P., Institut National Agronomique, Paris-Grignon, (2006)
- [24] - ALI KOUANI, S. EL JAMALI et M. TALBI, “Analyse en Composantes Principales : Une méthode factorielle pour traiter les données didactiques”, LIRADE-TIE, Faculté des Sciences Ben M’Sik, Université Hassane II, Mohammedia, Casablanca, Maroc, (2007)
- [25] - B. MICHAEL, RICHMANN, “Rotation of principal components”, *International Journal of Climatology*, 6 (1986) 293-335. DOI: 10.1002./joc3370060305
- [26] - RODOLPHE RAMIHARIJAFY, JEAN MARC RABEHARISOA, ADOLPHE RATIARISON et JEROME VELO, “Modélisation et études prévisionnelles de pluies : cas du site hydroélectrique d’Andekaleka à Madagascar”, *Afrique Science* 13(2)(2017)233-249, <http://afriquescience.info>
- [27] - JEAN EUGENE RANDRIANANTENAINA, “Analyse et modélisation de la sécheresse au sud de Madagascar : Approche par le processus ARIMA et l’analyse spectrale”, Thèse de l’Université de Toliara. Faculté des Sciences, Madagascar (2015) 198 p.
- [28] - H. B. MANN, “Nonparametric Tests against Trend”, *Econometrical*, 13 (1945) 245-259
- [29] - M. G. KENDALL, RANK, “Multivariate Nonparametric Tests for Trend in Water Quality”, *Water Resources Bulletin*, 24(3) (1975) 505-512
- [30] - CESAIRE P. GNANGLE, ROMAIN GLELE KAKAÏ, ACHILLE E. ASSOGRADJO, SAMUEL VODOUNNON, JACOB AFOUDA YABI et NESTOR SOKPON, “ Tendance climatique passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin”, *Climatologie*, 8(2011)