

Variabilité spatio-temporelle de la pluie dans la région nord de Madagascar

Juvence RAVOHITRA^{1*}, Ruffin MANASINA², Adolphe RATIARISON², Emilienne RASOANANDRASANA¹, Martial Zozime RASOLONJATOVO¹ et Jean Gervais RAFAMANTANTSOA³

¹*Laboratoire d'Analyses et de Recherche en Environnement et Déchet LARED, Faculté des Sciences de l'Université de Mahajanga, Madagascar*

²*Laboratoire de la Dynamique de l'Atmosphère, du Climat et des Océans (DyACO), Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar*

³*Département Energétique, Centre National des Recherches Industrielle et Technologiques CNRIT d'Antananarivo, Madagascar*

* Correspondance, courriel : juvenceravohitra@gmail.com

Résumé

Madagascar est une île du Sud-Ouest de l'Océan Indien dont les régimes du temps sont principalement marqués par l'influence de perturbations tropicales (mousson, alizés, cyclones). La topographie de l'île vient contraster les structures spatiales de certains paramètres géophysiques en particulier la pluie. La prévisibilité pluviométrique et sa répartition restent encore insuffisamment prévues sur des échelles de temps de l'ordre de la saison. Dans cet article, grâce à une analyse spectrale systématique sur des données filtrées par la méthode d'entropie maximale MEM et à une analyse en composantes principales ACP et autres, on a pu distinguer quantitativement les quasi périodicités des fluctuations intrasaisonniers de pluviométrie, mesurer les amplitudes qui différencient chacune de ces fluctuations et étudier la répartition spatiale de la pluie dans la région nord de l'île. La MEM nous permet de retenir trois pseudo-périodes pour la variabilité de la pluie. L'ACP nous permet de classer les individus en quatre (04) groupes selon leurs types de pluviométrie.

Mots-clés : *pluviométrie, périodicité, MEM, ACP, nord Madagascar.*

Abstract

Spatial and temporal variability of rainfall in the northern region of Madagascar

Madagascar is an island of the Western South of the Indian Ocean whose modes of time are mainly marked by the influence of tropical disturbances (monsoon, trade winds, cyclones). The topography of the island comes to contrast the space structures of certain parameters geophysics in particular the rain. Pluviometric foreseeability and its distribution remain still insufficiently envisaged on scales of time of about a season. In this work, thanks to a systematic spectral analysis on data filtered by the method of maximum entropy MEM, thanks to an analysis in principal components ACP and different, one could quantitatively distinguish quasi the periodicities to give the signals of the fluctuations intrasaisonniers of pluviometry, to measure the amplitudes which differentiate each one of these fluctuations and to study the space distribution of the rain in the northern area of the island. The MEM enables us to retain three pseudo-periods for the variability of the rain. The ACP STATE enables us to classify the individuals in four (04) groups according to their types of pluviometry.

Keywords : *pluviometry, periodicity, MEM, ACP, northern Madagascar.*

1. Introduction

La pluie, par la vocation principalement agricole de l'île est un élément essentiel pour son activité à Madagascar. La majorité de sa population sont des ruraux. La maîtrise de sa variabilité est donc très importante du point de vue économique pour son développement [1]. Pourtant, la prévisibilité pluviométrique et sa répartition restent encore insuffisamment prévues sur des échelles de temps de l'ordre de la saison. [2] Le but de ce travail, c'est, grâce à une analyse spectrale systématique sur des données filtrées par la méthode d'entropie maximale MEM et à une analyse en composantes principales ACP et autres, de distinguer quantitativement les quasi périodicités pour donner les signaux des fluctuations intrasaisonniers de pluviométrie, de mesurer les amplitudes qui différentient chacune de ces fluctuations et d'étudier la répartition spatiale de la pluie dans la région nord de l'île [3, 4]. Les méthodes adoptées devraient conclure sur les périodes possibles de la pluviométrie, le nombre du jour des événements pluvieux, la répartition spatiale et les mois pluvieux et secs afin de permettre la prévision de la saison de pluie [5, 6].

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude et données

Notre domaine d'étude se limite à la latitude de $-17,5^{\circ}$ au $-11,5^{\circ}$ et à la longitude de 40° au 60° avec un pas de 1° chacun. Pour l'ACP, comme individu, on a choisi les données pluviométriques mensuelles des intersections de chaque latitude et de chaque longitude et comme variables les 12 mois de l'année. On a donc dix (10) latitudes et seize (16) longitude ; donc 160 points d'intersections représentant les individus. Ces données pluviométriques proviennent du Services Météorologiques d'Antananarivo. Tandis que pour l'application de MEM, ces données pluviométrique de région nord de Madagascar qui nous a été fourni, est très volumineux : elles correspondent à chaque point d'intersection (longitude, latitude, jour) de la zone d'étude et elles ont été recueillies de façon journalière de 1979 à 2004 ; donc 9497 jours. La **Figure 1** représente notre zone d'étude.

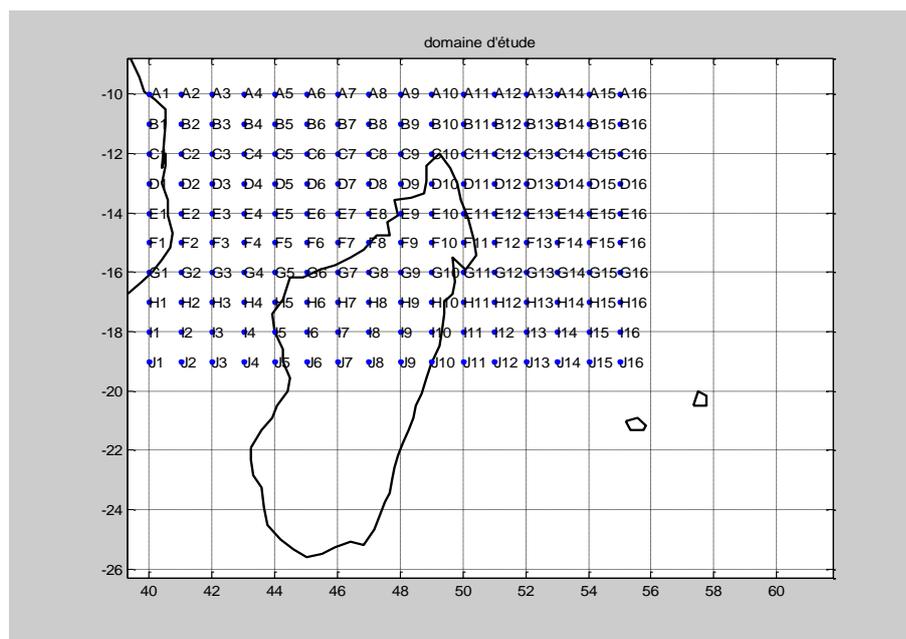


Figure 1 : Zone d'étude

2-2. Méthodes

2-2-1. Variation de la moyenne pluviométrique

Pour suivre l'évolution moyenne du régime pluviométrique au niveau de la zone d'étude on procède aux valeurs moyennes climatologiques de la pluie de l'année 1979 - 2004 [5].

2-2-2. Analyse par la méthode du maximum d'entropie (MEM) [4, 6]

L'analyse par la méthode du maximum d'entropie appelée par la suite MEM appliqué aux données pluviométriques permet de voir exactement la fréquence de la pluie durant les douze (12) mois de l'année. Elle permet également, grâce à la signature spectrale qu'on obtiendra, de filtrer les données ; autrement dit, de connaître exactement le nombre de jours ou la période dans une année où la pluie a été le plus abondant. Le filtrage consiste à conserver uniquement les hautes fréquences et à éliminer certaines fréquences présentes dans un signal.

2-2-3. Analyse en composante principale (ACP) [5 - 7]

L'ACP est une analyse factorielle discriminante ou analyse discriminante, une technique statistique qui vise à décrire, expliquer et prédire l'appartenance à des groupes prédéfinis (classes, modalités de la variable à prédire, etc.) d'un ensemble d'observations (individus, exemples, etc.) à partir d'une série de variables prédictives. Pour former les individus aux intersections de latitude et longitude, on a dû présenter ces données par mois et en moyenne pendant 26 ans en traitant les données initiales avec un algorithme de calcul de moyenne.

3. Résultats et discussion

3-1. Variation de la moyenne pluviométrique

La variation des moyennes mensuelles climatologiques de pluie dans la région Nord de Madagascar est représentée dans la **Figure 2**.

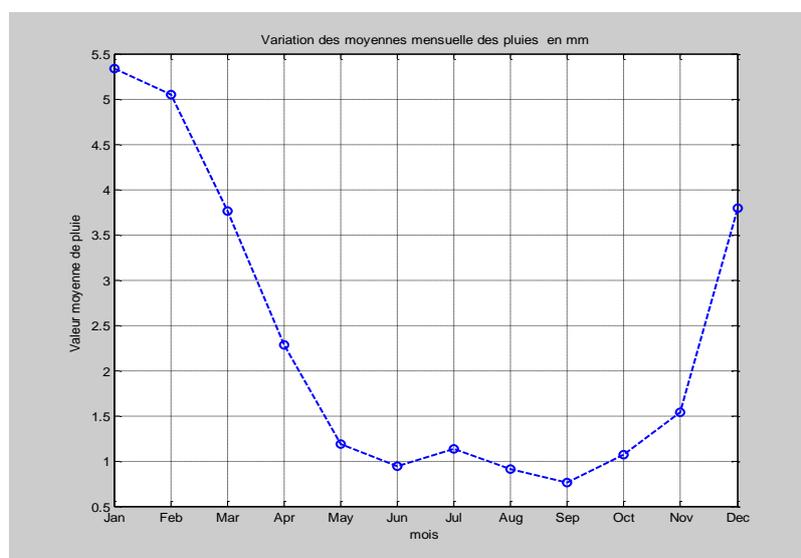


Figure 2 : Variations des moyennes mensuelles climatologiques de pluie en mm pendant 26 ans

Discussions :

- D'après cette **Figure 2**, on peut distinguer clairement qu'il y a une grande augmentation de quantité de pluie du mois de Novembre jusqu'au Février ;
- Du mois de Février au mois de Juin, il y a une diminution de quantité de pluie qui reste plus ou moins stable du mois de Juin jusqu'à la fin du mois d'Octobre ;
- On observe donc que la saison pluvieuse commence du mois de Novembre jusqu'au Février, la saison sec, du mois Mai jusqu'au mois d'Octobre.

3-2. Analyse par la méthode du maximum d'entropie (MEM) [9]

La **Figure 3** représente la signature spectrale dans une période durant laquelle on a observé que la pluie a été le plus fréquent de 1979 à 2004 et le seuil de signification nous permettant cette opération de filtrage [5, 6].

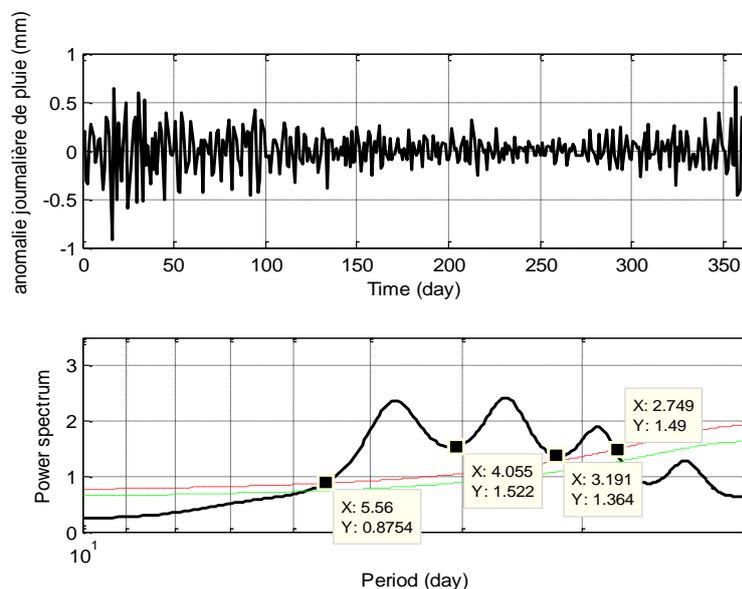


Figure 3 : Signature spectrale de la pluie quotidienne de 1979 à 2004

----- Spectre de puissance
 ----- Niveau de signification à 95 %

Au-dessus du seuil de signification à 95 %, on observe trois (03) pseudo-périodes :

- 2,759 jours < τ < 3,15 jours ;
- 3,15 jours < τ < 4,1 jours ;
- 4,1 jours < τ < 5,603 jours.

On observe trois (03) pics significatifs (**Figure 3**). Le filtre qu'on a utilisé est du type passe-bande c'est-à-dire on supprime les fréquences à l'extérieur de la bande de fréquence considérée. Après avoir filtré les données de la pluie respectivement entre ces 3 pseudo-périodes, on obtient les figures suivantes (**Figures 4, 5, 6**). Les **Figures** en haut expliquent cette disposition de filtrage et les **Figures** en bas les fluctuations périodiques obtenues.

- 2,76 jours < τ < 3,151 jours.

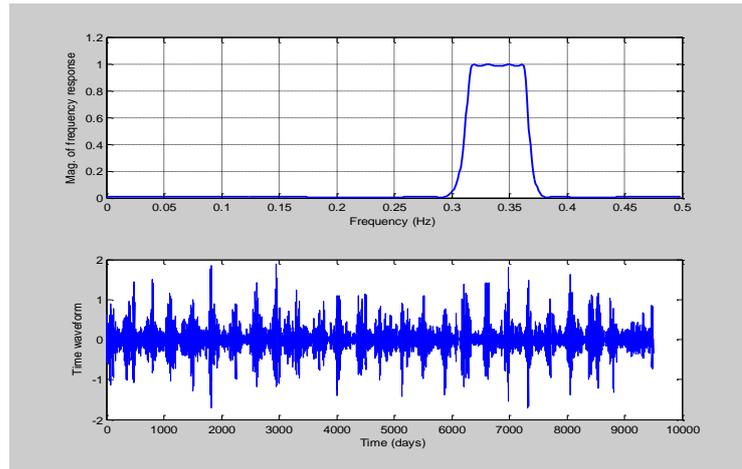


Figure 4 : *Anomalie de pluie quotidienne filtrée entre 2,76 et 3,15 jours dans une année de 1979 à 2004*

- 3,15 jours < τ < 4,1 jours

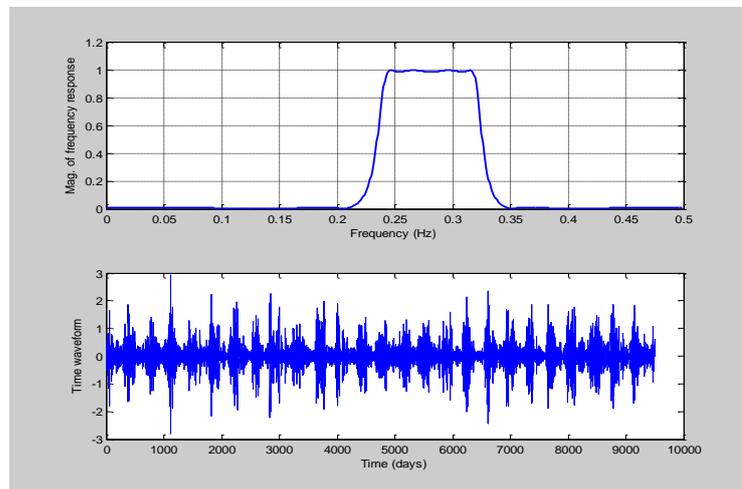


Figure 5 : *Anomalie de pluie quotidienne filtrée entre 3,15 et 4,1 jours dans une année de 1979 à 2004*

- 4,1 jours < τ < 5,60 jours

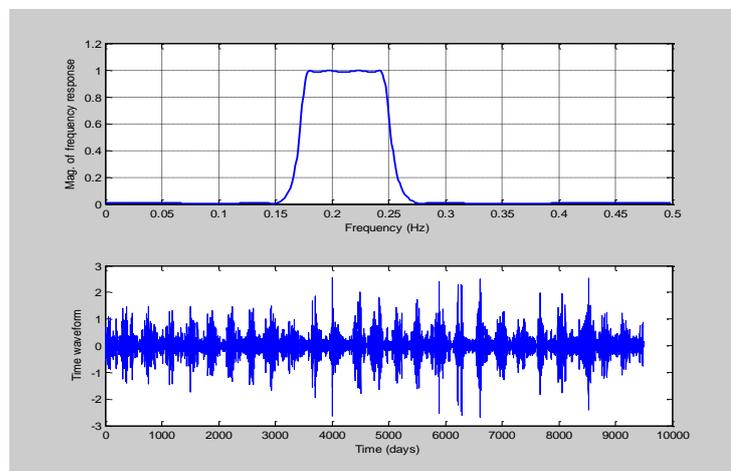


Figure 6 : *Anomalie de pluie quotidienne filtrée entre 4,1 et 5,60 jours dans une année de 1979 à 2004*

Discussions :

- Des pluies de durée de 2 à 3 jours, 3 à 4 jours, 4 à 6 jours dominant le plus dans la région Nord de Madagascar depuis 1979 à 2004 ;
- Les filtrages des données dans les périodes limitant ces trois (03) pics résultent des signaux périodiques ;
- Le premier filtrage résulte à une amplitude maximale au-dessous de 2 et minimale au-dessous de -2 ;
- Le second filtrage conduit à une amplitude maximale au-dessous de 3 et minimale au-dessus de -3 ;
- Le troisième filtrage conduit à une amplitude au-dessus de 3 et minimale au-dessous de -3 ;
- Les signaux périodiques obtenues après filtrage subit la même fluctuation chaque année.

3-3. Analyse en composantes principales (ACP) [8, 10]

Le **Tableau 1** présente la matrice de corrélation entre les variables pluies. De notre matrice de corrélation, on observe douze valeurs propres, donc douze (12) axes. Néanmoins, pour la facilité de lecture, selon le critère empirique de Kaiser, on ne choisit que les axes dont les valeurs propres sont supérieures à 1. Dans notre cas, ce sont F1 et F2.

Tableau 1 : Matrice de corrélation entre les variables pluies

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Jan	1,000	0,993	0,906	0,605	0,375	0,443	0,475	0,407	0,392	0,698	0,678	0,964
Fev	0,993	1,000	0,916	0,597	0,394	0,445	0,482	0,400	0,406	0,697	0,692	0,965
Mar	0,906	0,916	1,000	0,798	0,647	0,709	0,740	0,652	0,649	0,880	0,803	0,940
Avr	0,605	0,597	0,798	1,000	0,818	0,940	0,916	0,859	0,770	0,861	0,791	0,640
Mai	0,375	0,394	0,647	0,818	1,000	0,884	0,833	0,737	0,698	0,682	0,686	0,460
Jui	0,443	0,445	0,709	0,940	0,884	1,000	0,959	0,888	0,811	0,801	0,740	0,517
Juil	0,475	0,482	0,740	0,916	0,833	0,959	1,000	0,918	0,893	0,816	0,752	0,543
Aou	0,407	0,400	0,652	0,859	0,737	0,888	0,918	1,000	0,836	0,721	0,639	0,446
Sep	0,392	0,406	0,649	0,770	0,698	0,811	0,893	0,836	1,000	0,743	0,682	0,475
Oct	0,698	0,697	0,880	0,861	0,682	0,801	0,816	0,721	0,743	1,000	0,823	0,800
Nov	0,678	0,692	0,803	0,791	0,686	0,740	0,752	0,639	0,682	0,823	1,000	0,739
Dec	0,964	0,965	0,940	0,640	0,460	0,517	0,543	0,446	0,475	0,800	0,739	1,000

Discussion

- Les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars sont très corrélés entre eux avec des coefficients supérieurs ou égaux à 0,90 ;
- Avril, Mai, Juin, et Juillet ont également une forte corrélation entre eux avec des coefficients supérieurs ou égaux à 0,97 ;

- Août et juillet sont corrélés positivement avec un coefficient de 0,9561 ;
- Le mois de Mars et le mois de Décembre sont corrélés positivement avec un coefficient de 0,9507 ;
- Le mois de Décembre et le mois Août et le mois de Septembre sont corrélés avec un coefficient inférieur de 0,5.

• *Résultat sur les variables*

La **Figure 7** représente les variables sur le plan factoriel F1-F2

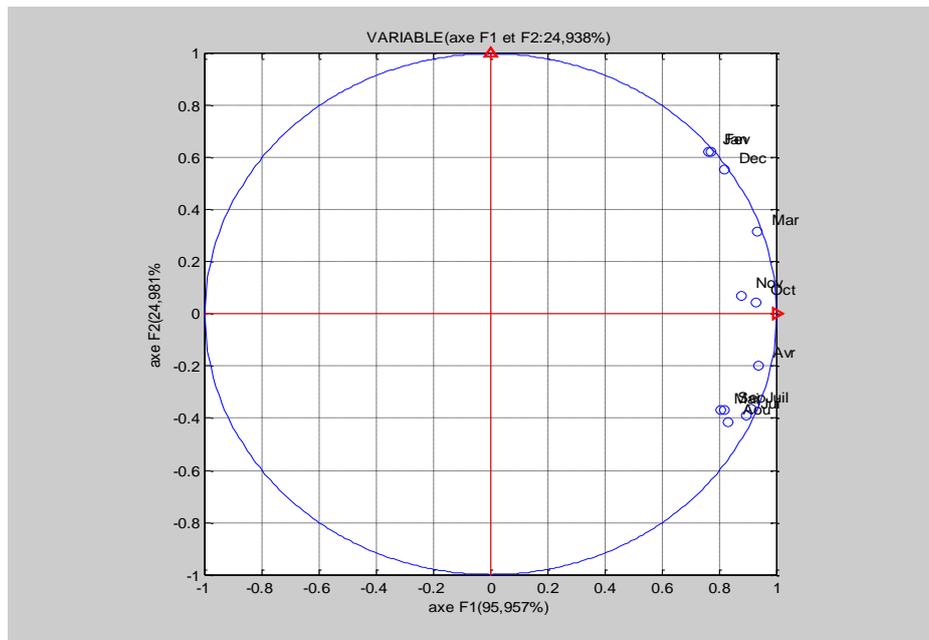


Figure 7 : Représentation des variables dans le plan factoriel F1 - F2

Discussions :

En observant cette **Figure**, la projection des nuages des points sur l'axe F1 nous permet de déduire que :

- Les 12 mois sont à peu près en bonne représentation sur l'axe F1 sauf le mois de Novembre, d'Octobre, de Mai, de Septembre et d'Aout. Les mois de Mars, Avril, Novembre et Octobre ont une contribution élevée par rapport aux autres mois. L'axe F1 peut donc être représenté par ces 4 mois. La première composante principale est considérée comme le degré de corrélation de quantité de pluie entre ces mois ;
- L'axe F2 oppose les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars, Novembre et Octobre aux mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre. La deuxième composante principale explicite donc la différence entre les mois pluvieux et les mois sec. [11]

• *Résultat sur les individus*

La **Figure 8** illustre la représentation des individus sur le plan factoriel F1-F2

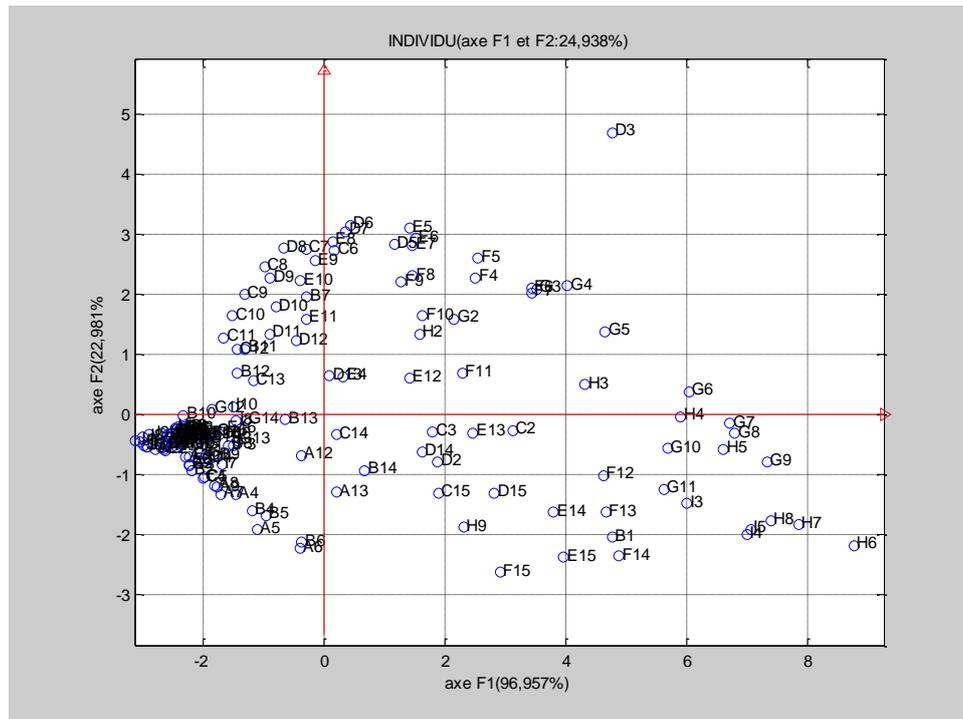


Figure 8 : Représentation des individus dans le plan factoriel F1 - F2

Discussions [5]

- Ces points se situent une partie dans la région nord de Madagascar et d'autre sur l'océan Indien et canal de Mozambique ;
- Les points B6, B4, A4, A6 ici sont des points particuliers : forte valeur négative élevée sur l'axe F2 et valeur négative sur l'axe F1. Ceci explique qu'en ces points, il n'y a pas de pluie ;
- Les points H5, H6, H7, H8, I5, I4, G9, G8, H4, G6, G10, G11, et I3 sont des points ayant une forte valeur élevée sur l'axe F1. On rencontre donc en ces points une grande quantité de pluie ;
- Les points J4, J5, J8, J9, J6, J7, et J3 ont une valeur négative élevée sur F1, ceci est interprété que la quantité de pluie est faible en ces points ;
- Les points D12, A12, C14, A13, B14, E11, B7, E10, E9, C7, C6, D6 et B7 qui se trouve au voisinage de l'origine sont des points moyens pluviométriques ;
- Quatre (04) groupes de différentes pluviométries sont observés :
 - Groupe I : J4, J5, J8, J9, J6, J7, et J3, la région où les points sont les plus secs ;
 - Groupe II : D12, A12, C14, A13, B14, E11, B7, E10, E9, C7, C6, D6, la région où on rencontre la pluviométrie moyenne ;
 - Groupe III : H5, H6, H7, H8, I5, I4, G9, G8, H4, G6, G10, G11, et I3 la région où la précipitation est presque durant toute l'année (Montagne d'Ambre) surtout dans les mois pluvieux et faible pendant les mois secs ;
 - Groupe IV : H8, H7, H6 qui reçoit une grande quantité de pluie en moyenne.

Les discussions concernant les individus citées ci-dessus sont également confirmées et représentées en histogramme par les **Figure 9, Figure 10, et Figure 11** aux quelles figurent les valeurs moyennes des pluies relatives à un point de notre domaine d'étude.

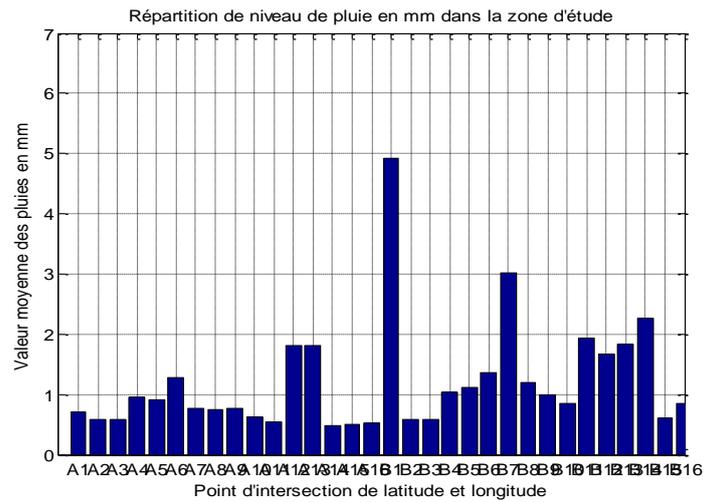


Figure 9 : Moyenne de quantité de pluie aux points Ai et Bi, i [1 16] de 1979 - 2004

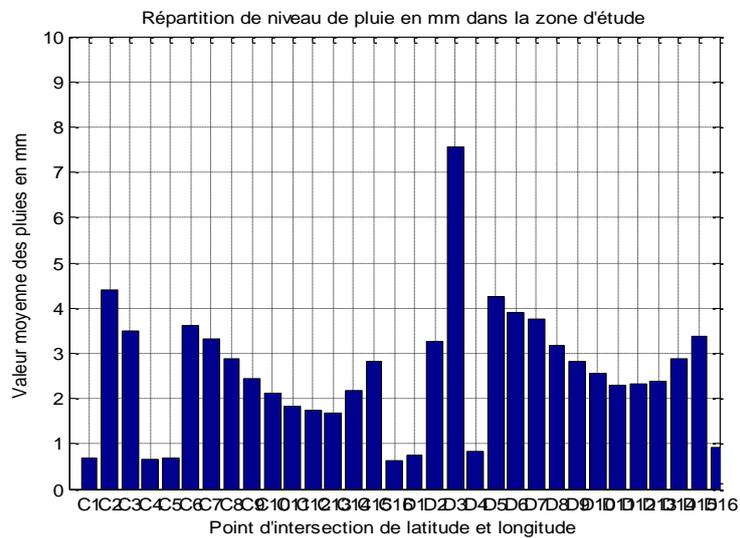


Figure 10 : Moyenne de quantité de pluie aux points Ci et Di, i [1 16] de 1979 - 2004

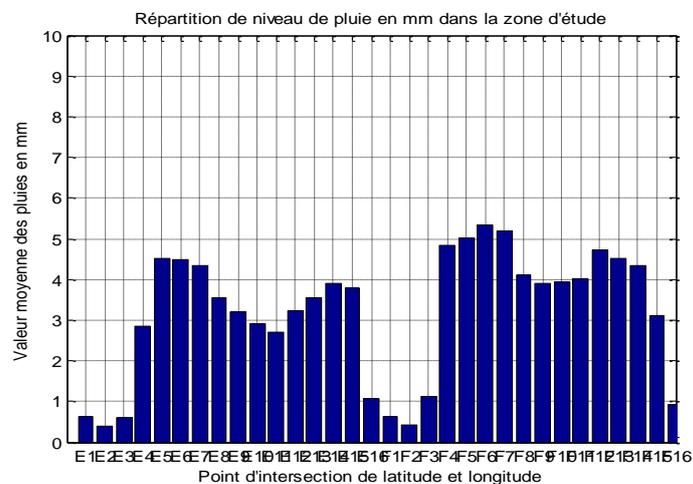


Figure 11 : Moyenne de quantité de pluie aux points Ei et Fi, i [1 16] de 1979 - 2004

4. Conclusion

Dans cet article, la Méthode du Maximum d'Entropie MEM a réussi à déterminer la périodicité de la pluviométrie de la région nord de Madagascar et à affiner la périodicité selon trois (03) pseudo-périodes :

- 2,759 jours $< \tau < 3,15$ jours ;
- 3,15 jours $< \tau < 4,1$ jours ;
- 4,1 jours $< \tau < 5,603$ jours.

Cette méthode nous montre les pics de signal déterminant le nombre de jour correspondant à un évènement massif de pluie. En ce qui concerne la répartition spatiale, l'Analyse en Composante Principale ACP, malgré le nombre important d'individus, nous amène à remarquer que la région étudiée est subdivisée en quatre groupes : groupe I : la région où les points sont les plus secs, groupe II : la région où on rencontre la pluviométrie moyenne, groupe III : la région où la précipitation est élevée dans les mois pluvieux et faible pendant les mois secs, groupe IV : la région qui reçoit une grande quantité de pluie en moyenne. Et aussi, l'ACP nous montre les mois pluvieux de Décembre, Janvier, Février, Mars, Novembre, et Octobre et permet d'observer également que la côte Est de la région et la chaîne de montagne d'Ambre sont caractérisées par la pluie durant toute l'année surtout durant la saison humide d'été (Décembre, Janvier, Février, Mars). Par conséquent, la MEM et l'ACP sont de bons outils pour la prévision spatio-temporelle de la saison de pluie.

Références

- [1] - M. BELLA-MEDJO, Analyse multi-échelles de la variabilité pluviométrique au Cameroun et ses conséquences sur les rendements du coton. Thèse de doctorat, Université Paris, France, (2008).
- [2] - M. GHIL and K. MO, Intraseasonal oscillations in the global atmosphere. Part II : Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci*, 48, (1991) 780 - 792.
- [3] - DJAFFARD MAXWELL et al., Cyclone climatology in the basin of the South West of the Indian Ocean. Article de conférence HEPMAD11, (2011).
- [4] - I. IVONINTSOA VAVIFARA ZILERA, Etude de la cyclogenèse dans le bassin sud de l'océan Indien par des anomalies des facteurs climatiques et de la pluviométrie accompagnant les cyclones. Thèse Université d'Antananarivo, (2016) 158 p.
- [5] - RAKOTOVAO NIRY ARINAVALONA et al., Pluviometry on the West coast of Madagascar in relation to the intraseasonal variation of the tropical convection over the Mozambique Channel. Article de conférence HEPMAD, 13 (2013).
- [6] - RAKOTOVAO NIRY ARINAVALONA, Influence de la variabilité intrasaisonnière de la convection dans le canal de Mozambique, des phénomènes enso et mjo sur la pluviométrie de la côte Ouest de Madagascar. Thèse Université d'Antananarivo, (2014) 241 p.
- [7] - I. IVONINTSOA VAVIFARA ZILERA et al., Behavior of the sea surface temperature and specific humidity before. Article de conférence HEPMAD, 13 (2013).
- [8] - I. CHAOUKI et al., Application de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles de Salam Gaz - Skhirat, (2015).
- [9] - B. PICINBONO, M. BARRET, Nouvelle présentation de la méthode du maximum d'entropie, Laboratoire des Signaux et Systèmes, ESE, Plateau de Moulon, 91192 GIF-SUR-YVETTE CEDEX (France), Technopole de Metz, 57078, METZ, CEDEX (France), (1990).
- [10] - C. DUBY, S. ROBIN, Analyse en Composantes Principales, Institut National Agronomique Paris - Grignon, (10 juillet 2006).
- [11] - BERNARD DUCHIRON, Variabilité interannuelle de la pluviométrie dans l'espace riverain de l'Océan Indien, (2002).