International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

Analyse Multivariée Par EOF Des Facteurs Climatiques Influençant La Sécheresse : Précipitations, SST, OLR Et Température Au Sud-Ouest De Madagascar.

[Multivariate EOF Analysis Of Climatic Factors Influencing Drought: Precipitation, SST, OLR, And Temperature In Southwestern Madagascar]

Aimé Rivesty ANDRIANARIMANANA[1], Honoré RAZAFIMANDIMBY[2], Chrysologue Jacques RATSIMAVO[3], Jean Eugène RANDRIANANTENAINA[4], Sahoby LALAOHARISOA[5], Adolphe Andriamanga RATIARISON[6]

[1,2,3,4,5,6] Laboratoire Dynamique de l'Atmosphère et des Océans (DyACO), Physique et Applications, Sciences et Technologies
[1,2,3,4] Université de Tuléar, Ecole Doctorale Géoscience, Physique, Chimie de l'Environnement et systèmes Hôtes-Pathogènes (GPCEHP)
[5,6] Université d'Antananarivo, Ecole Doctorale Physique et Applications (EDPA)
Auteur correspondant : Aimé Rivesty ANDRIANARIMANANA. E-mail: arivesty@gmail.com

(cc) BY

Résumé : L'analyse EOF des données climatiques (1979-2018) dans la partie Sud-Ouest de Madagascar révèle trois échelles de variabilité climatique majeures (saisonnière, interannuelle et multi-décennale) influençant les sécheresses. Les modes spatiaux montrent des structures caractéristiques, notamment un refroidissement océanique généralisé (EOF1-SST), un contraste de convection entre zones côtières et intérieures (EOF2-OLR), et une opposition spatiale des régimes pluviométriques. Les composantes temporelles mettent en évidence des cycles climatiques marqués à 1 an (saisonnier), 4-8 ans (variabilité interannuelle) et environ 20 ans (échelle multi-décennale). Les fortes corrélations entre les paramètres océaniques (SST) et atmosphériques (température, précipitations) soulignent l'importance des interactions océan-atmosphère dans la dynamique des sécheresses, ouvrant des perspectives pour le développement d'outils de surveillance climatique.

Mots-clés : EOF, sécheresse, SST, OLR, variabilité climatique.

Abstract : The EOF analysis of climate data (1979–2018) in the southwestern part of Madagascar reveals three major scales of climate variability (seasonal, interannual, and multi-decadal) influencing droughts. The spatial modes exhibit characteristic structures, including a generalized ocean cooling (EOF1-SST), a convection contrast between coastal and inland areas (EOF2-OLR), and a spatial opposition of rainfall regimes. The temporal components highlight distinct climate cycles at 1 year (seasonal), 4–8 years (interannual variability), and approximately 20 years (multi-decadal scale). Strong correlations between oceanic (SST) and atmospheric (temperature, precipitation) parameters emphasize the importance of ocean-atmosphere interactions in drought dynamics, paving the way for the development of climate monitoring tools.

Keywords : EOF, drought, SST, OLR, climate variability.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

Introduction

La sécheresse est un phénomène climatique extrême aux impacts environnementaux et socio-économiques majeurs [1]. Elle résulte d'un déficit prolongé de précipitations, souvent aggravé par des températures élevées, entraînant une diminution des ressources en eau et une dégradation des écosystèmes [2]. Sa variabilité est influencée par des facteurs climatiques complexes, notamment les précipitations, la température de surface de la mer (SST), le rayonnement sortant à ondes longues (OLR) et la température de l'air [3]. La SST module les précipitations via des phénomènes comme El Niño [4], tandis que l'OLR indique l'activité convective, avec des valeurs élevées signalant des conditions sèches [5]. La température de l'air, quant à elle, aggrave la sécheresse en augmentant l'évapotranspiration [6].

L'analyse multivariée par fonctions orthogonales empiriques (EOF) permet d'étudier ces interactions en décomposant les données en modes de variabilité dominants [7]. Cette étude utilise l'EOF pour explorer les liens entre précipitations, SST, OLR et température. Après une description des données et de la méthodologie, les modes de variabilité sont analysés et interprétés pour identifier leur contribution à la sécheresse. Les résultats sont ensuite discutés en vue d'améliorer les outils de prévision et de gestion des risques liés à la sécheresse.

1. Zone d'études

La figure 1 illustre la zone d'étude située dans la partie Sud-Ouest de Madagascar, partie encadrée en rouge. Cette région est marquée par une vulnérabilité accrue aux variations climatiques et aux sécheresses récurrentes. Ce territoire présente un climat semi-aride.

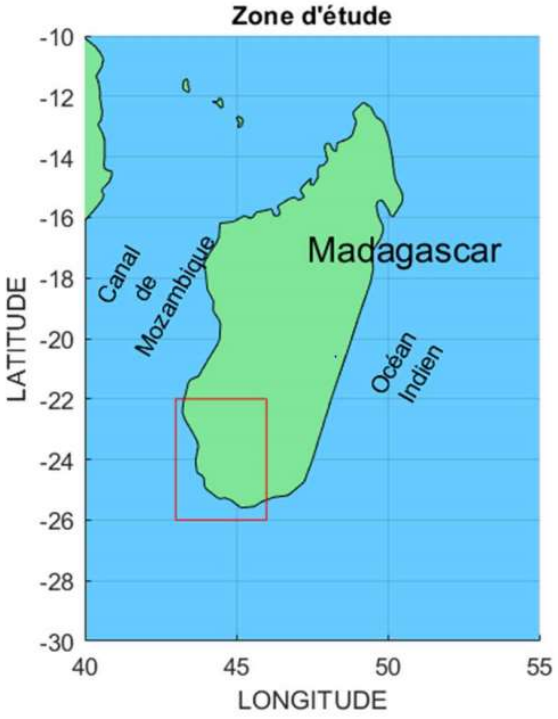


Figure 1 : Représentation de la zone d'étude

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

2. Description des données

Les données utilisées dans cette étude proviennent du ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Elles incluent les variables suivantes, toutes disponibles sous forme de grilles tridimensionnelles (longitude, latitude, temps) :

- Précipitations : Données journalières à une résolution spatiale de 0.5° x 0.5°, couvrant la période 1979–2018 (m).
- Température de surface de la mer (SST) : Données journalières à une résolution spatiale de 0.25° x 0.25°, couvrant la période 1979–2018(K).
- Rayonnement sortant à ondes longues (OLR) : Données journalières à une résolution spatiale de 1° x 1°, couvrant la période 1979–2018 (W/m²)**.**
- Température de l'air : Données journalières à une résolution spatiale de 0.5° x 0.5°, couvrant la période 1979–2018 (K).

3. Méthodologies

L'analyse multivariée par fonctions orthogonales empiriques (EOF) est une méthode statistique puissante utilisée pour identifier les modes de variabilité dominants dans un ensemble de données climatiques. Cette technique permet de décomposer un champ multivarié en modes orthogonaux, chacun représentant une structure spatiale et une série temporelle associée [7]. Dans cette étude, l'analyse EOF multivariée est appliquée pour explorer les interactions entre les précipitations, la température de surface de la mer (SST), le rayonnement sortant à ondes longues (OLR) et la température de l'air.

Pour cette étude, les données journalières ont été agrégées en données mensuelles afin de capturer la variabilité climatique à une échelle temporelle pertinente pour l'analyse EOF.

- **Étapes du calcul des modes EOF**

✓ **Matrice de covariance** :

- Soit **X** la matrice des données centrées (moyenne soustraite) de dimensions $n \times p$, où n est le nombre de pas de temps (mois) et p est le nombre de variables multiplié par le nombre de points spatiaux.
- La matrice de covariance **C** est calculée comme suit :

$$\mathbf{C} = \frac{1}{n}\mathbf{X}^{\cdot}\,\mathbf{X}$$

Cette matrice représente les relations linéaires entre les variables et les points spatiaux.

✓ **Décomposition en valeurs singulières (SVD)** :

- La SVD est appliquée à la matrice **X** pour la décomposer en trois matrices :

$$X = U\Sigma V^{\cdot}$$

où :

U est une matrice $n \times n$ contenant les **composantes principales (PCs)**, qui représentent les séries temporelles associées à chaque mode de variabilité.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

Σ est une matrice $n \times p$ contenant les **valeurs singulières** (racines carrées des valeurs propres), qui indiquent l'importance relative de chaque mode.

V est une matrice $p \times p$ contenant les **modes EOF** (vecteurs propres), qui décrivent les structures spatiales des modes de variabilité.

4. Résultats

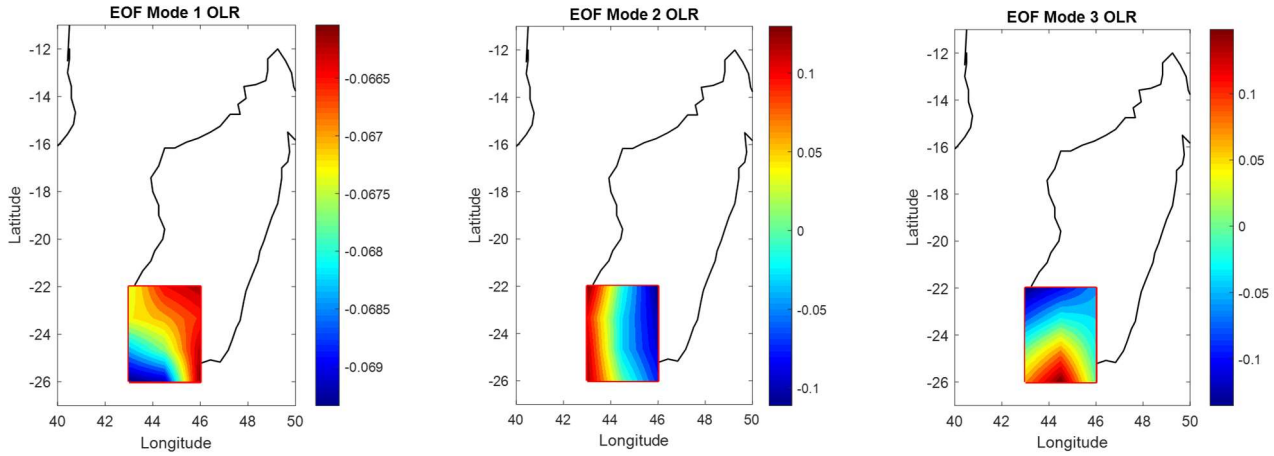
Cette section présente les principaux modes de variabilité spatiale et temporelle des variables climatiques étudiées, obtenus par l'analyse EOF. Les résultats mettent en évidence les structures dominantes et leur contribution à la variance totale, offrant une compréhension des patrons climatiques caractéristiques.

4.1 Composantes spatiales (EOF)

Une composante spatiale (EOF) décrit le patron géographique de la variabilité**.**

a) Les modes EOF d'OLR

L'analyse des modes EOF de l'OLR dans le Sud-Ouest de Madagascar révèle trois échelles de variabilité climatique (Figure 2) :
(1) Le mode EOF1 montre une convection intense dans les régions Atsimo-Andrefana, Androy (anomalies négatives, liées à ENSO et à l'humidité du Canal de Mozambique) et une stabilité à Anosy (valeurs proches de zéro), expliquant les fortes précipitations estivales ;
(2) Le mode EOF2 forme un dipôle entre les regions Anosy (conditions humides) et Atsimo Andrefana (conditions sèches), reflétant des circulations atmosphériques locales ;
(3) Le mode EOF3 oppose le Morombe (humide, sous influence convective) au districts d'Ampanihy et Betioky (sec et affecté par les vents Tsiokantimo). Ces modes illustrent la complexité des précipitations, influencées par des interactions entre forçages climatiques globaux et facteurs régionaux.
Le premier mode EOF (EOF1) explique **99,98 %** de la variance de l'OLR, indiquant qu'il capte presque toute la variabilité. Les modes EOF2 et EOF3 ne contribuent que faiblement, avec respectivement **0,01 %** et **0,005 %** de la variance. Cela signifie que l'essentiel des variations de l'OLR peut être interprété uniquement à partir de **EOF1**.



(1) **(2)** **(3)**

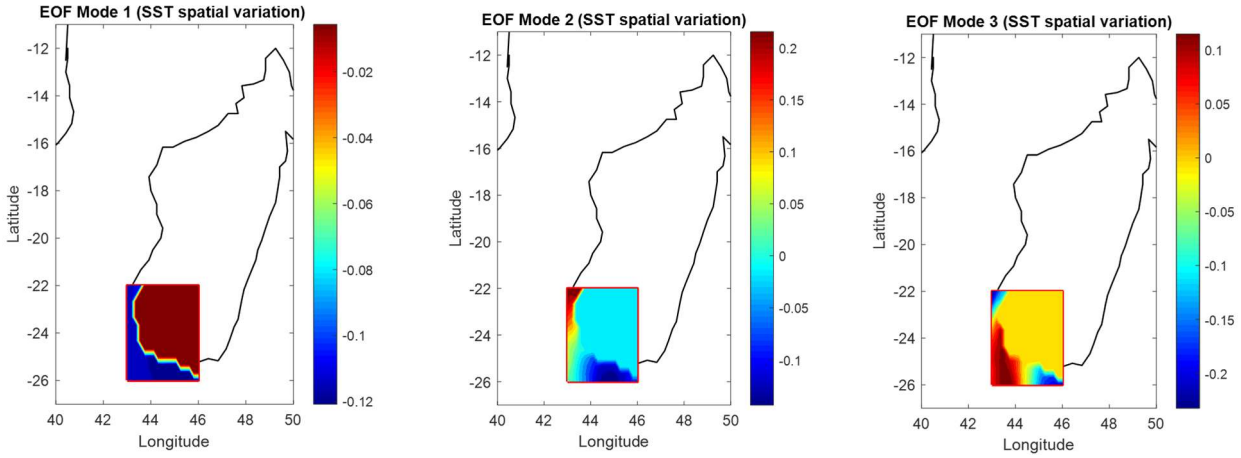
Figure 2 : Modes EOF d'ORL

b) Les modes EOF d'SST

L'analyse des modes EOF des SST révèle trois patrons de variabilité océanique au Sud-Ouest de Madagascar (Figure 3) :

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

(1) Le mode EOF1 montre un refroidissement généralisé (anomalies négatives) des eaux, réduisant l'humidité atmosphérique et la convection, ce qui diminue l'OLR et assèche le climat local.
(2) Le mode EOF2 présente un gradient thermique, avec des eaux plus chaudes près de Tuléar et Morombe (anomalies positives) et plus froides au large d'Amboasary et Ambovombe (anomalies négatives), influencé par les alizés, les courants marins et les modes climatiques globaux (IOD, ENSO).
(3) Le mode EOF3 oppose des eaux froides près de Morombe et Amboasary (anomalies négatives, potentiellement liées à des upwellings) à des eaux chaudes près d'Ampanihy et Betioky (anomalies positives, suggérant un réchauffement localisé), reflétant des interactions complexes entre processus océaniques et atmosphériques, modulées par des facteurs saisonniers ou climatiques comme l'ENSO. Ces modes soulignent l'hétérogénéité spatiale des SST et leur impact sur la dynamique atmosphérique régionale.
Le zéro sur la terre indique qu'il n'y a pas de SST, puisque les **températures de surface de la mer** sont uniquement mesurées sur les océans.
Le premier mode EOF (EOF1) explique **99,99 %** de la variance de la SST, montrant qu'il capte presque toute la variabilité. Les modes EOF2 et EOF3 contribuent très peu, avec respectivement **0,004 %** et **0,0017 %**. Cela indique que l'essentiel des variations de la SST peut être interprété uniquement à partir de **EOF1**.



(1) (2) (3)

Figure 3 : Mode EOF de SST

c) Les modes EOF de la précipitation

L'étude révèle trois structures spatiales distinctes (Figure 4) :
(1) Le mode EOF1 présente des anomalies négatives homogènes sur l'ensemble des districts d'Atsimo-Andrefana, Androy et Anosy, indiquant une diminution généralisée des précipitations ;
(2) Le mode EOF2 montre un dipôle nord-sud marqué entre les districts de Morombe (anomalies négatives, conditions plus sèches) au nord et d'Ambovombe (anomalies positives, conditions plus humides) au sud ;
(3) Le mode EOF3 établit une opposition ouest-est entre les zones côtières de region d'Atsimo Andrefana (anomalies négatives, plus sèches) à l'ouest et les régions intérieures d'Androy et Anosy (anomalies positives, plus humide) à l'Est.

Cette organisation tripartite met en évidence l'influence combinée des systèmes météorologiques, de la topographie locale et des circulations atmosphériques sur la distribution des pluies dans cette région. Le premier mode EOF (EOF1) explique **93,10 %** de la variance de l'OLR, indiquant qu'il représente la majorité de la variabilité. Les modes EOF2 et EOF3 contribuent respectivement à **3,29 %** et **1,62 %**, montrant qu'ils capturent une partie non négligeable des fluctuations. Cela suggère que, contrairement à la SST, une analyse des modes **EOF2 et EOF3** est nécessaire pour mieux comprendre la variabilité de la précipitation.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

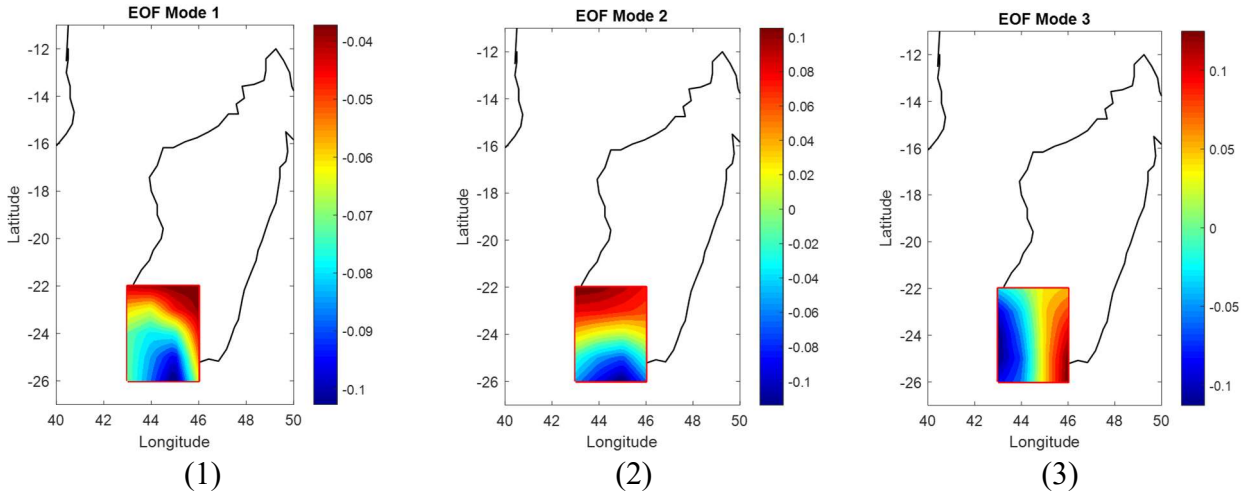


Figure 4 : Modes EOF de la précipitation

d) Les modes EOF de la température

L'analyse des modes EOF de température dans le sud-ouest de Madagascar révèle trois structures principales (Figure 5):

(1) EOF1 présente un refroidissement généralisé (anomalies négatives) sur l'ensemble des régions : Atsimo-Andrefana, Androy, Anosy ;

(2) EOF2 montre un gradient thermique nord-ouest/sud-est avec réchauffement à Morombe, Betroka et Ambovombe (anomalies positives) et refroidissement à Tuléar et Ampanihy (anomalies négatives) ;

(3) EOF3 établit un contraste Est-Ouest entre Tuléar (anomalies positives) et Ambovombe (anomalies négatives).

Ces configurations reflètent respectivement des forçages climatiques à grande échelle et des effets locaux (vents, relief), influençant significativement les précipitations de la région.

Le premier mode EOF (EOF1) explique **99,9995 %** de la variance de la température, capturant presque toute la variabilité. Les modes EOF2 et EOF3 ont des contributions négligeables, avec respectivement **0,0004 %** et **0,0000 %**. Cela indique que l'essentiel des variations de la température peut être interprété uniquement à partir de **EOF1**.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

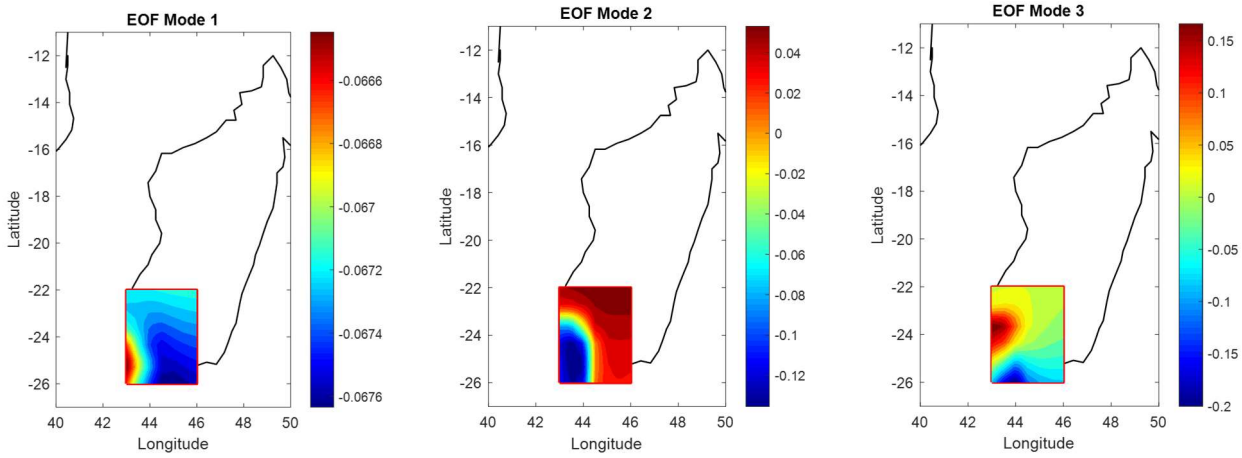


Figure 5 : Modes EOF de la température

4.2 Composantes temporelles : Évolution et corrélations

L'analyse des composantes principales (PC) associées aux modes EOF révèle des variations climatiques significatives dans le sud-ouest de Madagascar, avec des implications directes sur les sécheresses récurrentes.

✓ **Evolution**

La Figure 6 montre des valeurs négatives de PC1 pour la température, OLR, SST et précipitation, indiquant une opposition de phase avec le mode dominant de variabilité climatique. Cette configuration correspond aux caractéristiques de la phase froide de l'ENSO (La Niña), avec : (1) un refroidissement océanique (SST négative), (2) une diminution du rayonnement infrarouge (OLR négatif) liée à une couverture nuageuse accrue, et (3) une redistribution des précipitations. Ces résultats reflètent le couplage océan-atmosphère caractéristique de l'ENSO, confirmant que PC1 capture bien sa signature dans la région étudiée [4] [5] [8].

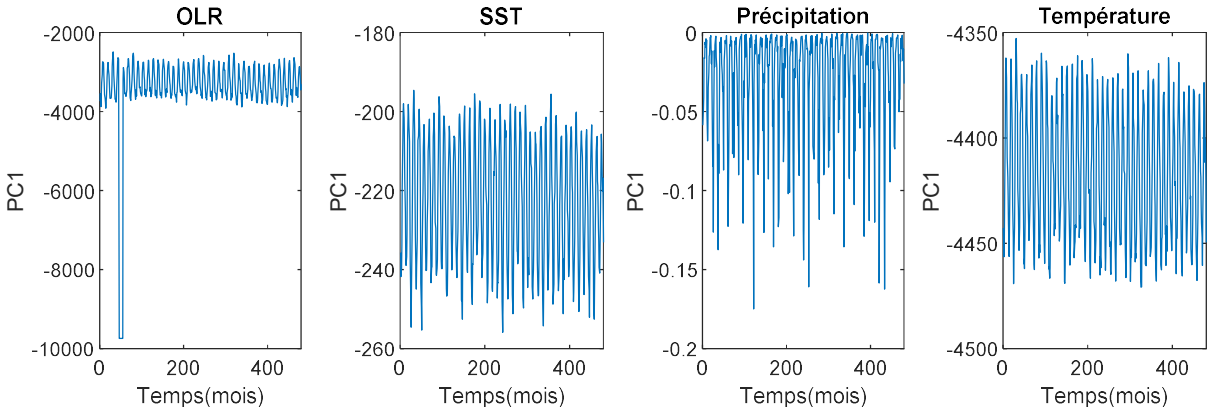


Figure 6 : Composantes principales (PC1)

✓ **Corrélations entre PC1 des différentes variables**

L'analyse des corrélations entre les PC1 des quatre variables climatiques (OLR, SST, température et précipitation) révèle des relations statistiquement significatives et physiquement cohérentes (Figure 7).

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

- **SST et Température** : Corrélation extrêmement élevée (**r = 0.938**), confirmant le couplage thermique étroit entre l'océan et l'atmosphère.
- **SST et Précipitation** : Corrélation significative (**r = 0.698**), reflétant l'impact du réchauffement océanique sur l'augmentation des précipitations.
- **Précipitation et Température** : Corrélation notable (**r = 0.667**), cohérente avec l'augmentation de l'humidité atmosphérique et de la convection.
- **OLR et Température :** Corrélation faible mais significative (r = 0.346), suggérant une influence limitée de la température sur le rayonnement sortant.
- **OLR et SST :** Corrélation faible **(r = 0.378),** indiquant que le rayonnement sortant est moins directement lié à la température de surface de la mer.
- **OLR et Précipitation :** Corrélation très faible (**r = 0.210**), ce qui pourrait refléter la complexité des processus de convection et de couverture nuageuse.

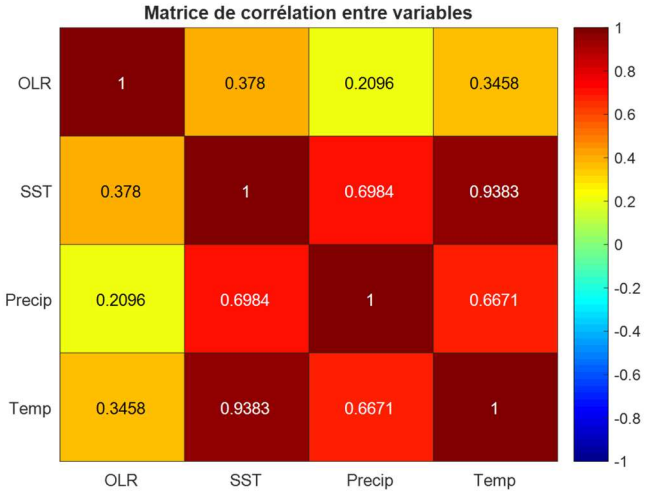


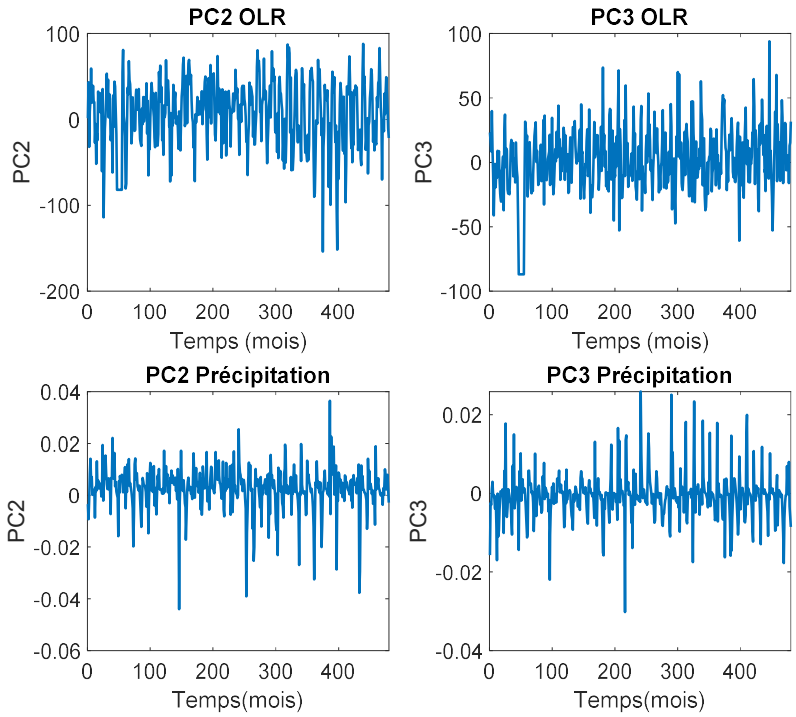
Figure 7 : Matrice de corrélation PC1 entre variables

Ces résultats confirment que **PC1 des variables SST et température** est hautement représentative de la variabilité climatique dominante, tandis que **PC1 de l'OLR et des précipitations** pourrait nécessiter l'analyse de modes supplémentaires (PC2, PC3) pour une compréhension complète des processus en jeu.

5. Analyse des PC2 et PC3 de la précipitation et de l'OLR

La figure 8 montre la PC2 et PC3 pour l'OLR et les précipitations, avec des valeurs positives et négatives. Une **valeur positive** indique que les variables dans la région spatiale associée au PC sont supérieures à la moyenne dans cette période temporelle. Une **valeur négative** indique que les variables associées au mode de variabilité sont inférieures à la moyenne pendant cette période.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168



Figures 8 : Composantes principales 2 et 3 de la précipitation et OLR

L'OLR (Outgoing Longwave Radiation) et les précipitations sont étroitement liés aux conditions atmosphériques. Des valeurs positives d'OLR indiquent une émission accrue de chaleur vers l'espace, généralement associée à une atmosphère plus stable et moins nuageuse, tandis que des valeurs négatives reflètent une réduction de l'émission de chaleur, souvent due à une couverture nuageuse importante ou à une convection intense, correspondant à des conditions pluvieuses ou instables. Concernant les précipitations, des valeurs positives signalent des conditions plus humides, comme pendant la saison des pluies ou lors d'anomalies pluviométriques excédentaires, tandis que des valeurs négatives indiquent un temps plus sec que la moyenne, pouvant traduire une sécheresse ou une faible activité convective.

6. Analyse spectrale des composantes principales (PC) par densité spectrale de puissance (DSP)

L'analyse spectrale des composantes principales (PC) obtenues à partir de l'analyse en valeurs propres des données de SST, OLR, température et précipitations permet d'identifier les cycles temporels dominants influençant la variabilité climatique dans le sud-ouest de Madagascar. Ce tableau présente les **fréquences en mois^{-1}** ainsi que les **périodes correspondantes en mois et années** pour chaque composante principale des variables climatiques analysées (Tableau 1).

Tableau 1 : Périodes correspondantes en mois et années des variables climatiques

Variable	Composante Principale (PC)	Fréquence (mois^{-1})	Période correspondante (mois)
SST	PC1	0,003906	256(~21,3 ans)
		0,08206	12,2(~1 ans)
	PC2	0,08594	11,6(~1 ans)

	PC3	0,08203	12,2(~1 ans)
OLR	PC1	0,003906	256(~21,3 ans)
	PC2	0,08203	12,2(~1 ans)
	PC3	0,08203	12,2(~1 ans)
Température	PC1	0,05	240(~20 ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,2	60(~5ans)
	PC2	0,05	240(~20 ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,2	60(~5ans)
	PC3	0,05	240(~20 ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,2	60(~5ans)
Précipitations	PC1	0,075	160 (~13,3 ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,25	48(~4 ans)
	PC2	0,075	160(~13,3ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,25	48(~4ans)
	PC3	0,075	160(~13,3ans)
		0,125	96(~8 ans)
		0,25	48(~ 4 ans)

La SST dans le Sud-Ouest de Madagascar est dominée par un cycle saisonnier fort et une variabilité multi-décennale, suggérant une interaction entre le climat régional et les grandes oscillations océaniques.

L'OLR est un bon indicateur de l'activité convective et des précipitations. La présence du cycle annuel est cohérente avec le régime des précipitations contrôlé par la saisonnalité. Le cycle de 21 ans suggère une modulation à plus long terme.

Les cycles de **12 mois** pour la SST et l'OLR confirment l'influence des saisons, tandis que les cycles multi-annuels reflètent des changements de grande échelle.

La présence de cycles à **20 ans** et **8 ans** de la température est associée à des modes de variabilité océan-atmosphère de moyenne à longue échelle. Le **cycle de 5 ans** est proche de la périodicité typique de l'El Niño/La Niña (ENSO), qui affecte fortement la température et les précipitations en Afrique australe.

La présence du cycle **13 ans** de la précipitation reflète une variabilité climatique de moyenne durée, influencée par des oscillations océaniques. Le cycle **8 ans** est lié à la variabilité interannuelle des précipitations, associée aux téléconnexions climatiques (ENSO, Dipôle de l'Océan Indien). Le cycle **4 ans** est plus court et correspond aux fluctuations ENSO.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2025 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 49 No. 2 March 2025, pp. 157-168

7. Analyse des cycles climatiques et leur impact sur la sécheresse dans le sud-ouest de Madagascar : Relation avec les composantes principales (PC)

L'analyse des composantes principales (PC1, PC2 et PC3) a permis d'identifier les cycles climatiques à l'échelle interannuelle et multi-décennale et de déterminer leur influence sur la variabilité des précipitations. Le tableau 2 résume les périodes associées à ces cycles, les impacts climatiques observés et les liens avec la sécheresse.

Tableau 2 : Cycle climatique à l'échelle interannuelle et multi-décennale et les liens avec la sècheresse

Cycle	Période associée	Impact climatique	Lien avec la sécheresse
PC1 négative	**~20-21 ans**	Variabilité à long terme, tendance sèche	Une diminution des précipitations environ tous les 20 ans peuvent entraîner des périodes prolongées de sécheresse
PC2 et PC3 (cycles interannuels)	**~4-8 ans** et **12 mois**	Alternance de sécheresse et humidité due à l'ENSO et aux cycles saisonniers	Moins de précipitations en saison sèche lorsque PC2 et PC3 sont négatifs, et plus de précipitations en saison humide lorsqu'ils sont positifs

Conclusion

Cette étude a permis, grâce à l'analyse EOF multivariée, d'identifier les principaux modes de variabilité climatique responsables des sécheresses dans le Sud-Ouest de Madagascar. Les résultats montrent que la température et la SST présentent une variabilité spatiale extrêmement homogène (99,9% de variance expliquée par le premier mode), tandis que les précipitations révèlent une structure spatiale plus complexe avec plusieurs modes significatifs (93,1%, 3,3% et 1,6% de variance expliquée). L'analyse temporelle met en évidence trois échelles de variabilité clés - saisonnière (1 an), interannuelle (4-8 ans) et multi-décennale (~20 ans) - qui interagissent pour moduler les épisodes de sécheresse. Les fortes corrélations observées entre les variables océaniques (SST) et atmosphériques (température, précipitations) soulignent le rôle fondamental des interactions océan-atmosphère dans la dynamique des sécheresses régionales. Ces résultats offrent des indicateurs quantitatifs précis pour améliorer les systèmes de prévision et renforcer la résilience face aux sécheresses dans cette région particulièrement vulnérable.

Références :

[1] Wilhite, D. A. (2000). Drought as a natural hazard: Concepts and definitions. In Drought: A Global Assessment (Vol. 1, pp. 3-18). Routledge.

[2] Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(1), 45-65.

[3] Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. Nature Climate Change, 4(1), 17-22.

[4] Ropelewski, C. F., & Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review, 115(8), 1606-1626.

[5] Liebmann, B., & Smith, C. A. (1996). Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. Bulletin of the American Meteorological Society, 77(6), 1275-1277.

[6] Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. Nature, 491(7424), 435-438.

[7] Björnsson, H., & Venegas, S. A. (1997). A manual for EOF and SVD analyses of climatic data. McGill University, CCGCR Report No. 97-1.

[8] Michael J. McPhaden, Xuebin Zhang, Harry H. Hendon, Matthew C. Wheeler(2006). Dynamique à grande échelle et forçage MJO de la variabilité. Geophysical Research Letters. Vol. 33, L16702.