

# *Analyse Des Influences QBO Et ENSO Sur La Sécheresse Dans La Partie Sud-Ouest De Madagascar*

HANTA Tina Olga<sup>1</sup>, HARY Jean<sup>2</sup>, JAKELY Vertu<sup>3</sup>, JOHANESA Fernand<sup>4</sup>, MAXWELL Djaffard<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doctorant, Ecole Doctorale Ingénierie et Modélisation du Vivant, Université de Mahajanga, Madagascar

E-mail : htinaolga@gmail.com

<sup>2</sup>Maître de Conférences, Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga- Faculté des Sciences, Technologies et Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar

E-mail : jjeanhary@yahoo.fr

<sup>3</sup> Doctorant, Ecole Doctorale Ingénierie et Modélisation du Vivant, Université de Mahajanga, Madagascar

E-mail : verttu.87jakely@gmail.com

<sup>4</sup>Doctorant, Ecole Doctorale Ingénierie et Modélisation du Vivant, Université de Mahajanga, Madagascar

E-mail : johanesofernand@yahoo.fr

<sup>5</sup>Professeur, Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga – Faculté des Sciences, Technologie et Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar

Corresponding author : MAXWELL Djaffard ; djafmax@yahoo.fr



**Résumé** – L'objectif de cette étude est de trouver les influences des phénomènes de QBO et d'ENSO sur la sécheresse dans la partie Sud-Ouest de Madagascar pendant la période de 1979 à 2021. Nous avons analysé les données pluviométriques journalières de 1979 à 2021 de notre zone d'étude, provenant du site ECMF avec une résolution de 0.25° x 0.25°. En utilisant les méthodes statistiques pour représenter les moyennes climatologiques mensuelles et annuels, l'indice standardisé des précipitations a analysé la sécheresse, avec des valeurs significatives, les catégories de l'humidité et de la sécheresse. Nous avons constaté que notre zone d'étude est touchée par la sécheresse proche de la normale avec 41,86% et que des épisodes de sécheresse extrême et modérée sont rares. Les phénomènes QBO et ENSO font partie aussi de notre étude. Les analyses nous a montré que la corrélation entre les précipitations et les indices QBO et ENSO est faible, avec des variations saisonnières et spatiales notables en fonction des phases de ces indices. En générale, la partie Sud-Ouest de Madagascar est plus susceptible de connaître des conditions d'humidité lors des épisodes de La Niña. Quant aux phases de QBO, elles n'ont pas d'influence directe marquée sur les précipitations.

**Mots-clés** – QBO, ENSO, précipitation.

## I. INTRODUCTION

La sécheresse est un phénomène climatique complexe aux impacts divers, particulièrement dans les régions sensibles comme le Sud-Ouest de Madagascar. L'analyse des influences des phénomènes climatiques globaux, tels que l'Oscillation quasi-biennale (QBO) et l'El Niño-Oscillation Australe (ENSO), est cruciale pour comprendre les variations pluviométriques et les sécheresses dans cette région. La QBO, une oscillation des vents dans la stratosphère, et l'ENSO, un cycle de variabilité océanique et atmosphérique, peuvent moduler les régimes de précipitations. Cette étude explore comment ces phénomènes influencent les conditions de sécheresse et d'humidité dans le Sud-Ouest de Madagascar, en examinant leurs interactions et leurs effets sur la pluviométrie locale.

## II.METHODOLOGIE

### 2.1. DONNES

Dans cette étude, nous avons utilisé les données pluviométriques journalières pendant la période de 1979 à 2021 dans la partie Sud-Ouest de Madagascar. Elles proviennent de la site web <http://www.ecmwf.int> avec le pas de grilles de 0.25 x 0.25. Nous avons donc eu 65 points de grilles dans la partie Sud-Ouest de Madagascar.

La zone d'étude est délimitée par les latitudes 19°S et 25°S et les longitudes 37°E et 43°E (fig1)



Figure1 : représentation de la zone d'étude

### 2.2. MOYENNE

En générale, nous appliquons les méthodes des statistique descriptives pour analyser les paramètres climatiques. Elle sera représentée par des graphiques des moyennes climatologiques que se soit journalier ou mensuel ou même annuel.

#### Coefficient de corrélation linéaire [1][2]

Si  $X$  et  $Y$  sont deux variables aléatoires réelles admettant toutes les deux une variance non nulle ; le coefficient de corrélation linéaire est le rapport :

$$Cor(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\delta_x \delta_y}$$

Où  $Cov(X, Y) = E[(X - E[X])(Y - E[Y])] = E[XY] - E[X]E[Y]$  est la covariance des variables  $X$  et  $Y$ .

D'après l'inégalité de Cauchy-Schwarz,  $|\text{cov}(X, Y)| \leq \delta_x \delta_y$

Le coefficient de corrélation prend ses valeurs dans l'intervalle  $[-1 ; +1]$

- Si les deux variables sont indépendantes, le coefficient de corrélation linéaire est nul, mais la réciproque est fausse.
- Si le coefficient de corrélation linéaire vaut 1 ou  $-1$ , les deux variables sont presque sûrement en relation affine

### 2.3. Standardized Precipitation Index (SPI) [3][4] :

La sécheresse est une notion relative (Bergaoui et Alouini, 2001 ; Reyes-Gómez et al., 2006 ; Xingcai et al., 2009). Elle se distingue par sa définition variant selon son impact et ses approches d'estimation mais aussi par ses manifestations diverses. Parmi les nombreux indices d'appréciation de la sécheresse pluviométrique, l'Indice Standardisé des Précipitations SPI (Standardized

Precipitation Index) (McKee et al. 1993) est le plus utilisé (Wu et al., 2006 ; Khan et al., 2008 ; Naresh Kumar et al., 2009). Le SPI prend en compte la variabilité de la pluie pour des périodes définies, de préférence les plus longues possibles. Il est calculé grâce à l'ajustement des séries pluviométriques recueillies à une courbe de probabilité (McKee et al. 1993). Pour une série distribuée suivant une loi normale, le SPI est équivalent à l'Indice Centré Réduit (ICR). Celui-ci est défini comme le rapport de l'écart à la moyenne interannuelle sur l'écart type de la série considérée.

**Tableau I : Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI**

<i>Valeurs du SPI</i>	<i>Catégories de sécheresse et d'humidité</i>
$\geq 2$	<i>Humidité extrême</i>
$[1,5 - 2[$	<i>Humidité forte</i>
$[1,0 - 1,5[$	<i>Humidité modérée</i>
$[0 - 1,0[$	<i>Humidité légère</i>
$0$	<i>Normal</i>
$[-1,0 - 0[$	<i>Sécheresse légère</i>
$[-1,5 - -1,0[$	<i>Sécheresse modérée</i>
$[-2,0 - -1,5[$	<i>Sécheresse forte</i>
$\leq -2,0$	<i>Sécheresse extrême</i>

Le SPI est exprimé mathématiquement comme suit ((McKee et al., 1993) :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{S}$$

Avec  $P_i$  : la pluie du mois ou de l'année  $i$  ;

$P_m$  : la pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée ;

$S$  : l'écart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

### III. RESULTATS OBTENUES

#### 3.1 Analyse des types de la sécheresse dans la partie Sud-Ouest de Madagascar

Pour évaluer la situation de la sécheresse dans la région du Sud-Ouest de Madagascar, nous utilisons l'indice standardisé de précipitation (SPI), car il est le plus adapté pour cette analyse. Afin d'étudier cette situation en détail, il est nécessaire d'analyser la variation de l'indice SPI dans le temps. Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des périodes humides, tandis que les valeurs négatives signalent des périodes sèches.

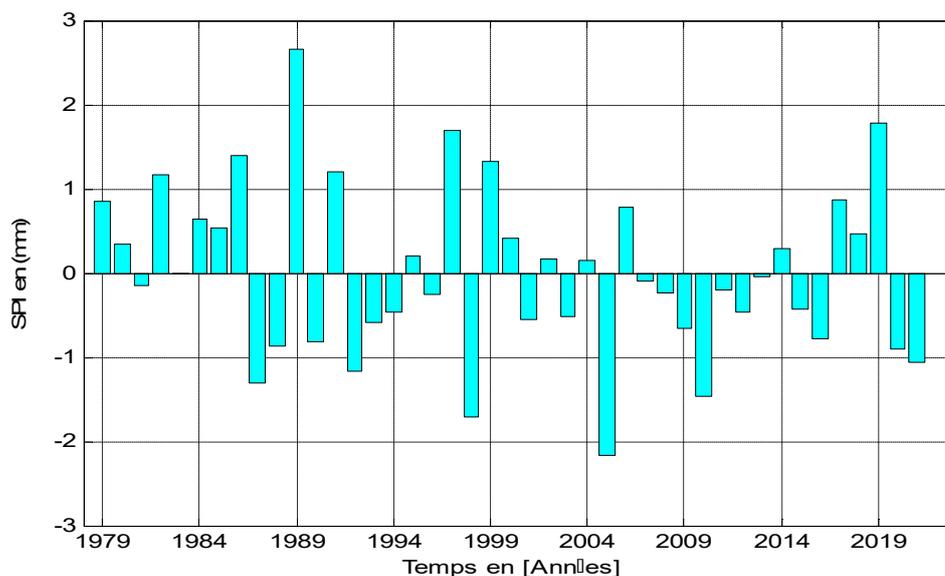


Figure 2 : Indice standardisé de la sécheresse (SPI) de 1979 à 2021 dans la région Sud de Madagascar

Le Tableau II nous informe que, durant 43 ans de la période de notre étude, quatre types de sécheresse ont été observés. Ce sont la sécheresse extrême, la sécheresse forte, la sécheresse modérée et la sécheresse proche de la sécheresse normale.

Les données utilisées ici sont des données annuelles. Nous constatons que la saison de sécheresse proche de la normale qui dominait la région Sud-Ouest de Madagascar est de 41.86% durant le période de notre étude et que la sécheresse modérée est de 9.30% seulement. En 1989, cette zone a été touchée par l'humidité extrême, dont la valeur de l'Indice Standardisé de Précipitations atteint la valeur de 2,151. En générale, cette zone est caractérisée par la saison proche de la normale.

Tableau II : Probabilité d'apparition de la sécheresse à l'échelle du temps

CATEGORIE	Pourcentage de temps (en années)
Humidité extrême	2.33%
Humidité forte	4.65%
Humidité modérée	9.30%
Humidité proche de la normale	27.91%
Sécheresse extrême	2.33%
Sécheresse forte	2.33%
Sécheresse modérée	9.30%
Sécheresse proche de la normale	41.86%

### 3.2. Description de QBO et ENSO

❖ L'oscillation quasi-biennale (QBO) est une oscillation du vent dans la basse stratosphère (16-50 km) [1]. Ce vent est dirigé parallèlement à l'équateur, il décroît rapidement lorsque la distance à l'équateur augmente, et sa vitesse vaut environ 20 m. s<sup>-1</sup>. La

période moyenne vaut environ 28 mois, et elle n'est pas liée de manière directe au cycle annuel. Deux ingrédients sont nécessaires pour expliquer cette oscillation : la génération d'un écoulement moyen par les ondes internes de gravité qui se propagent dans la stratosphère, et la rétroaction de cet écoulement moyen sur les ondes.

❖ El Niño-oscillation australe (ENSO) est un phénomène climatique naturel à grande échelle qui se caractérise par des fluctuations de la température de l'océan dans le centre et l'Est du Pacifique équatorial, ainsi que par des changements dans l'atmosphère sus-jacente. El Niño et La Niña en sont les composantes océaniques, d'où le terme « El Niño-oscillation australe » (ENSO). L'ENSO se produit selon des cycles irréguliers de 2 à 7 ans et présente 3 phases : la phase El Niño, la phase La Niña et la phase Neutre. Un épisode El Niño est caractérisé par une période de réchauffement des eaux de surface ; il dure généralement entre 12 et 18 mois. À l'inverse, pendant un épisode La Niña, les eaux de surface sont plus froides que la moyenne dans le centre et l'Est de l'Océan Pacifique, et les vents dominants de surface vont d'Est en Ouest et s'intensifient. Chaque phénomène El Niño ou La Niña a des effets variables en fonction de son intensité, de sa durée, de la période de l'année où il se développe et de son interaction avec d'autres modes de variabilité du climat.

### 3.3. Analyse spectrale de l'indice QBO et ENSO par FFT

La Figure 3 montre le spectre de la Transformée de Fourier Rapide (FFT) de l'indice QBO. L'occurrence moyenne de ce phénomène est d'environ 2,20 mois, soit environ 2 mois et 6 jours. Le spectre révèle des fréquences principales de 7,65 mois, 21,23 mois et 27,47 mois. En résumé, l'analyse de la FFT nous permet de détecter des événements de faible intensité.

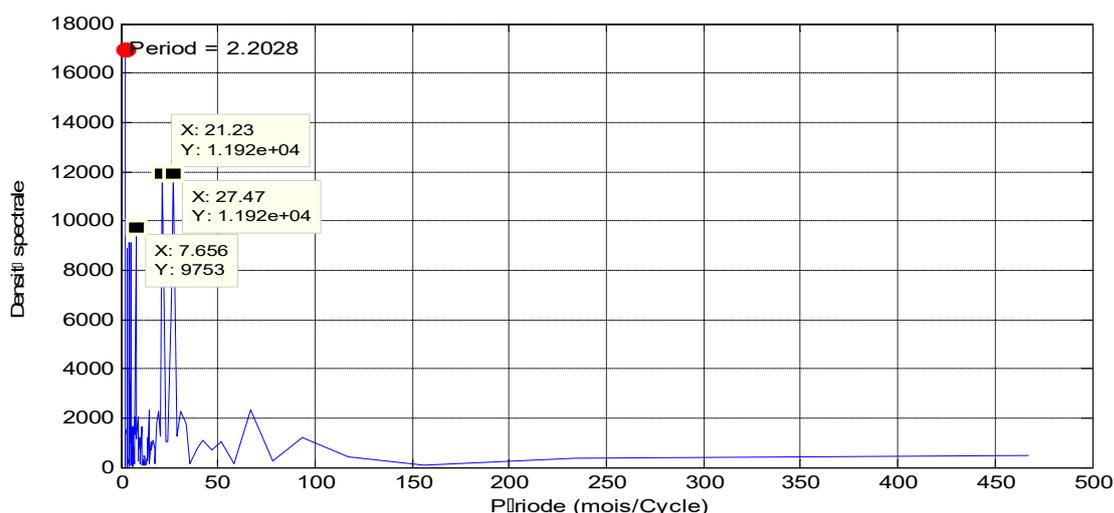


Figure 3 : représentation de la spectrale de l'indice QBO par FFT

Cette figure 4, représente la courbe de FFT d'indice La Nina mensuelle de 1979 à 2021, il s'agit des données moyennes de la zone. Nous remarquons quatre pics dont 42<sup>ème</sup>, 21<sup>ème</sup>, 9<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup>. Ces pics correspondent à une répétition de phénomène périodique.

On trouve beaucoup des signaux transitoires sur l'indice El Nino, qu'on a essayé d'identifier, les résultats sont des fois étonnantes : on trouve une localisation ambiguë en période des divers épisodes. Pour cet indice, on trouve des cycles pour une période de 20,75, 11,78 et 5,29 mois (Figure5).

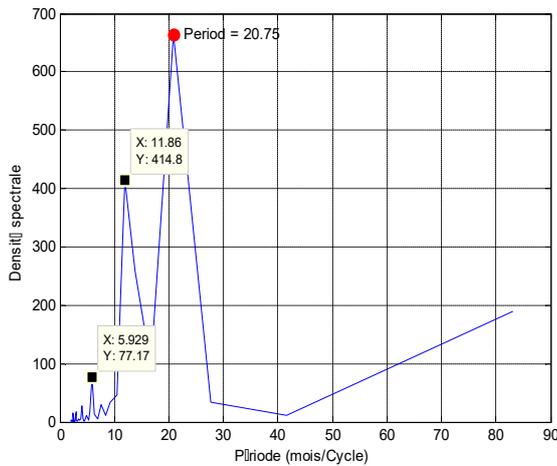


Figure4 : FFT de El-Nino

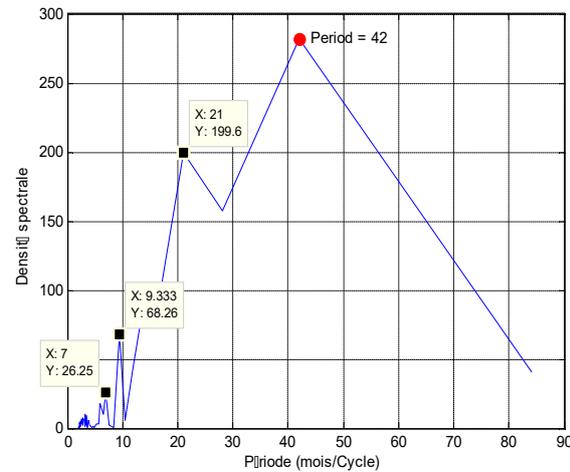


Figure 5 : FFT de La Nina

### 3.4. Intercorrélation entre l'indice QBO et de la précipitation dans notre zone d'étude

La Figure 6 représente l'intercorrélation entre les précipitations et l'indice QBO, avec un coefficient d'intercorrélation de 0,4217, inférieur à 0,5, indiquant un déphasage de 8 ans. Et le phénomène ENSO est très faible, avec un coefficient d'intercorrélation de 0,2114, inférieur à 0,5

(Fig7). De plus, un déphasage de 16 ans est observé. Les signes positifs du nombre d'années indiquent un décalage temporel entre les deux variables. Cela signifie que les précipitations n'affectent pas directement l'indice QBO ni l'indice ENSO. Toutefois, nous pouvons poursuivre notre étude en utilisant l'analyse de la FFT (Transformée de Fourier Rapide) pour cet indice.

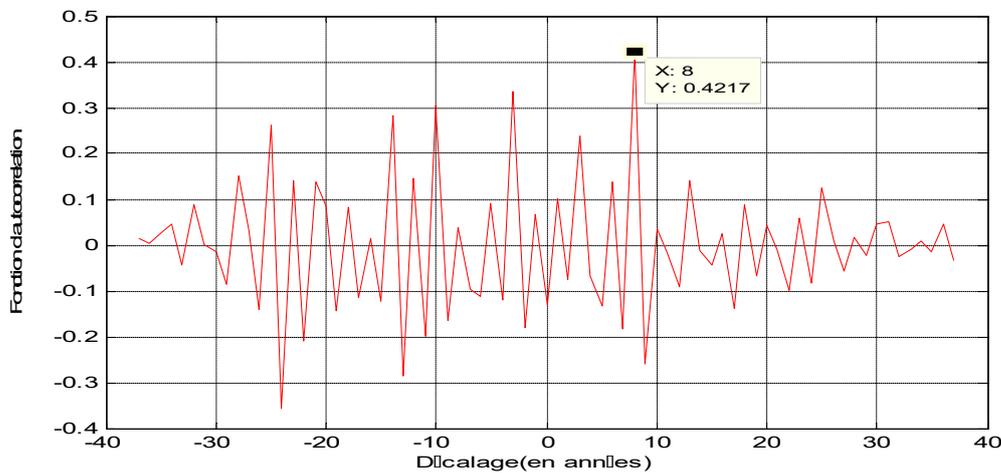


Figure 6 : intercorrélation entre précipitation et QBO dans notre zone d'étude de 1979-2021

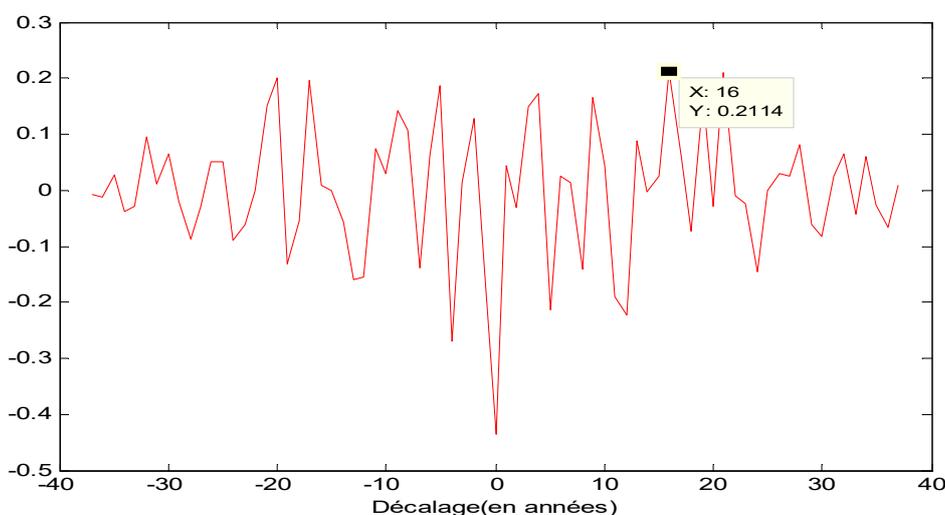


Figure 7 : La fonction d'intercorrélacion entre la précipitation et l'indice ENSO sur la période 1979-2021.

#### E. Influence de l'indice QBO sur les précipitations dans la partie Sud-Ouest de Madagascar

- Analyse de la variation des précipitations durant la saison des pluies en lien avec l'indice QBO.

La Figure 8 représente la variation mensuelle des précipitations pendant les trois phases de QBO dans notre zone d'étude.

- Phase QBO- (courbe rouge) : Nous constatons que la précipitation augmente en janvier, puis diminue rapidement de février à juin. Elle remonte de juillet à août, redescend jusqu'en octobre, avant de remonter à nouveau. L'augmentation des précipitations de juin à octobre indique la présence de pluies durant la saison d'hiver austral.
- Phase QBO+ (courbe bleue) : Cette courbe montre une augmentation des précipitations en janvier, suivie d'une diminution en février et mars. Les précipitations augmentent ensuite jusqu'en août, diminuent en septembre, puis remontent avant de redescendre en décembre. La remontée des précipitations d'avril à septembre suggère également des pluies durant la période d'hiver austral.
- Phase QBO à la fois positive et négative (courbe verte) : Nous observons que les précipitations augmentent en mai, diminuent en juin, remontent en septembre, puis diminuent jusqu'en décembre. Cette courbe est généralement inférieure aux deux autres courbes durant l'année, sauf en septembre et octobre. Cela indique que, pendant cette phase, la sécheresse est plus marquée durant la période de pluie et, dans une certaine mesure, pendant la saison d'hiver.

La Figure 9 illustre les variations des précipitations pendant les phases d'El Niño et de La Niña dans notre zone d'étude. La courbe colorée en bleu représente les moyennes climatologiques mensuelles des précipitations pendant la phase de La Niña. Nous observons que les précipitations augmentent en janvier, atteignent un pic, puis décroissent rapidement jusqu'en février, avant de rester relativement faibles jusqu'en août. Elles remontent ensuite pour atteindre des maximums en novembre et diminuent en décembre. La courbe en rouge illustre les précipitations pendant la phase d'El Niño. Pendant cette période, les précipitations augmentent généralement en mai, continuent d'augmenter et atteignent un maximum en juin avant de diminuer. Il existe une corrélation entre les indices d'El Niño et de La Niña, notamment autour des mois d'avril-mai et d'août. En effet, pendant la phase d'El Niño, on observe généralement des précipitations plus importantes pendant l'été par rapport à la phase de La Niña

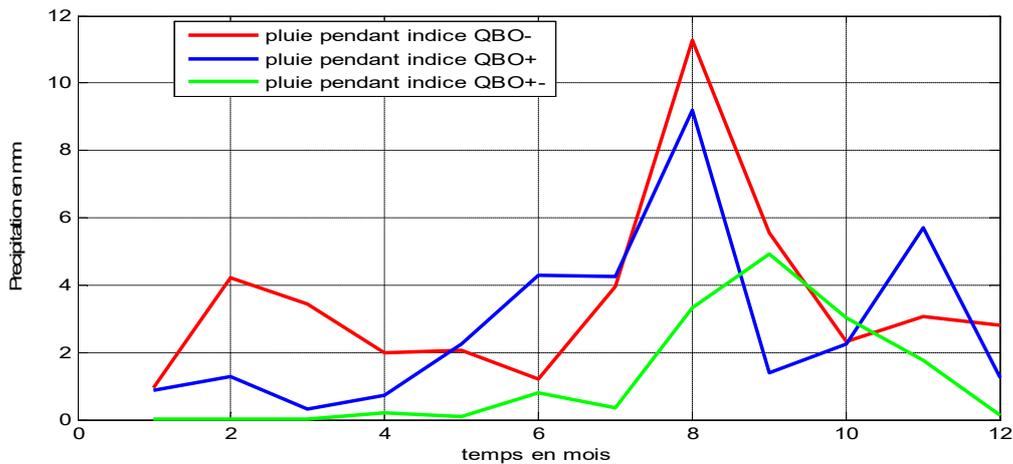


Figure 8 : variation de la moyenne mensuelle de la précipitation pendant trois phases

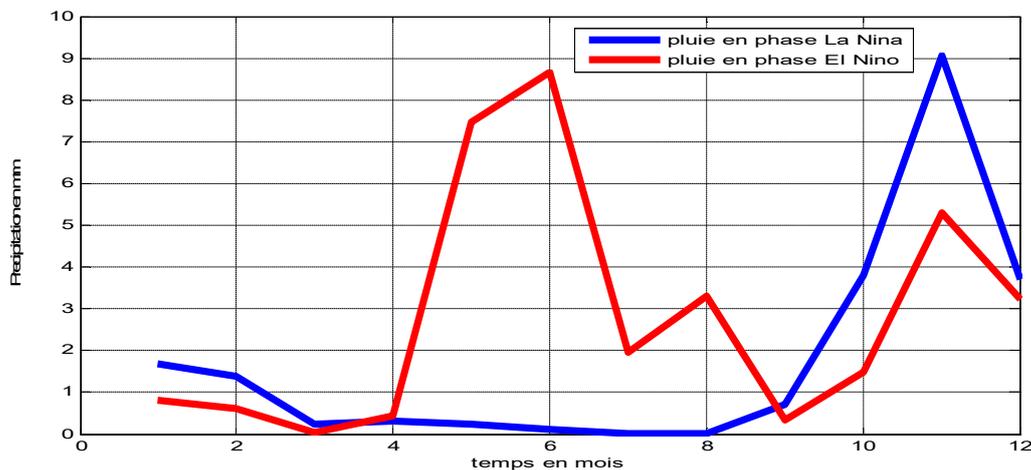


Figure 9 : influence de l'indice ENSO sur les précipitations dans la partie Sud-Ouest de Madagascar

➤ Présentation spatiale de la variation de précipitation pendant les trois phases

❖ Pour QBO

La représentation spatiale des précipitations pendant l'indice QBO+, QBO-,  $QBO \pm$  est illustrée dans la Figure 10. Les zones en rouge indiquent des quantités maximales de pluie, tandis que les zones en bleu correspondent à des quantités faibles de pluie. Cette figure montre la répartition des taux de variation des précipitations dans la région Sud-Ouest de Madagascar.

Nous observons les éléments suivants :

Pour QBO+ :

Nous observons les éléments suivants :

- Pendant la période d'été : Les précipitations varient de 0,2 mm à 3 mm
- Pendant la période d'hiver : Les précipitations varient de 0,01 mm à 0,45 mm

- En mai : Les précipitations varient de 0,4 mm à 0,24 mm
- En novembre : Les précipitations varient de 0,4 mm à 1,3 mm

Pour QBO- :

- Durant la période d'été : Les précipitations varient de 0,5 mm à 5 mm.
- Durant la période d'hiver : Les précipitations varient de 0,05 mm à 0,45 mm.
- En mai : Les précipitations varient de 0,05 mm à 0,45 mm.
- En novembre : Les précipitations varient de 0,1 mm à 0,9 mm.

Pour  $QBO \pm$  :

- Durant la période d'été : Les précipitations varient de 0,5 mm à 5 mm.
- Durant la période d'hiver : Les précipitations varient de 0,05 mm à 0,45 mm.
- En mai : Les précipitations varient de 0,05 mm à 0,45 mm.
- En novembre : Les précipitations varient de 0,1 mm à 0,9 mm.

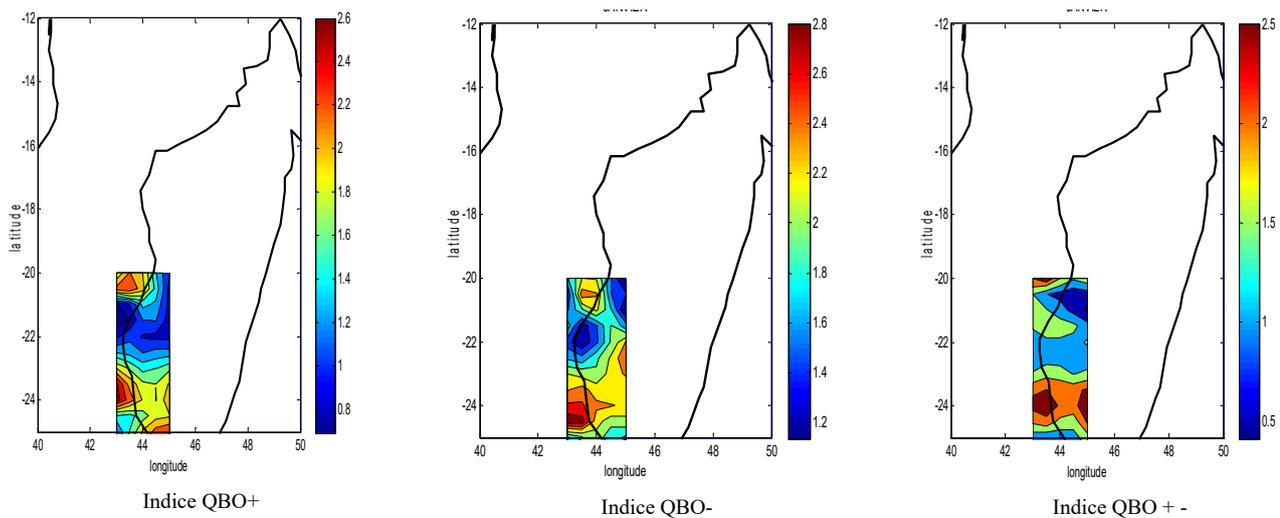


Figure10 : représentation spéciale de l'influence de précipitation pendant l'épisode de l'indice QBO+, QBO-,  $QBO \pm$

#### ❖ Pour ENSO

La Figure 11 montre la répartition spatiale des précipitations pendant l'indice La Niña et El-Nino.

Nous constatons que :

Pour La Nina :

- Durant la période de pluie : la valeur minimale est de 0,5 mm et la valeur maximale est de 3 mm.
- En hiver : les précipitations varient de 0,01 mm à 0,5 mm.

- En mai : elles varient de 0,05 mm à 0,5 mm.
- En novembre : elles vont de 0,5 mm à 2,5 mm.

Pour El-Nino :

- Saison estivale : La saison d'été présente des précipitations variant de 0,05 mm à 4,5 mm, témoignant d'une grande variabilité climatique.
- Saison hivernale : En hiver, les précipitations sont généralement faibles, allant de 0,005 mm à 3 mm, ce qui peut impacter les ressources en eau.
- Mois de mai : En mai, les précipitations se situent entre 0,05 mm et 0,25 mm, marquant souvent une transition vers des conditions plus humides.
- Mois de novembre : En novembre, les pluies varient de 0,05 mm à 0,4 mm, signalant une approche progressive de l'hiver et un changement dans les schémas climatiques

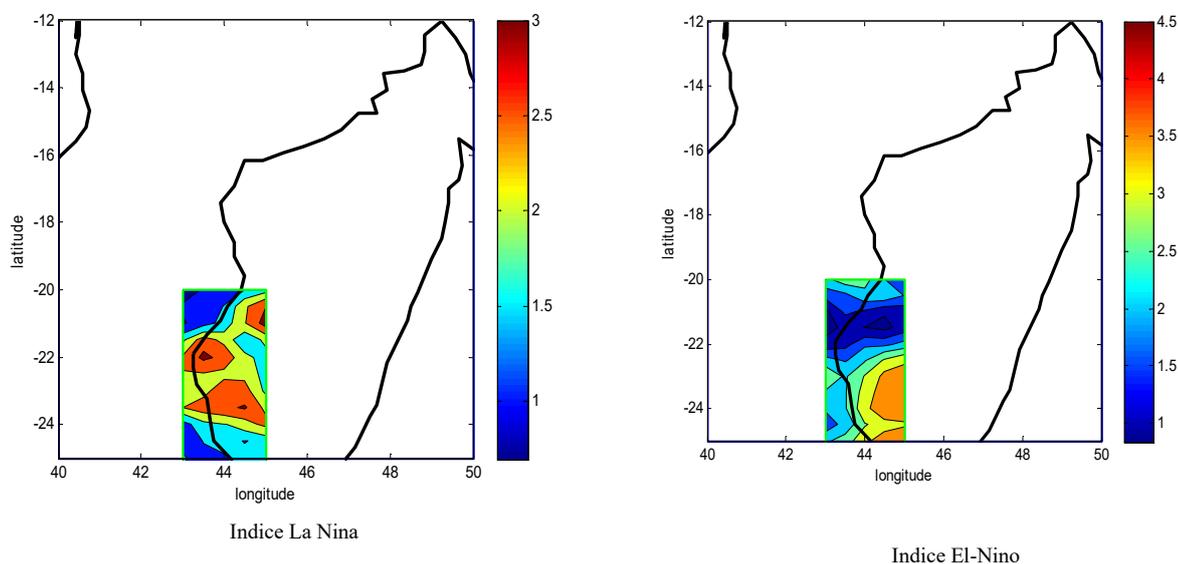


Figure 11 : représentation spéciale de l'influence de précipitation pendant l'épisode de l'indice La Nina et l'indice El-Nino

### 3.5. Comparaisons de l'indice QBO et de l'indice ENSO avec SPI

Le tableau III montre que, lors du passage des phénomènes dans la région Sud-Ouest de Madagascar, 60% des sécheresses observées étaient proches de la normale, tandis que 40% des conditions étaient caractérisées par une humidité proche de la normale dans cette zone d'étude.

Concernant le phénomène QBO, qu'il soit positif ou négatif, nous observons que, pendant les années où ce phénomène s'est manifesté, la région était affectée par la sécheresse à hauteur de 57,14%, avec 42,86% d'humidité. Cependant, en 1989, malgré la présence des indices La Niña et QBO à la fois positifs et négatifs, nous avons enregistré une humidité extrême due au cyclone Jessica. En 1997, l'humidité était forte en raison du **Fani-Eloise-Leila**. Le tableau montre que, lors du passage des phénomènes dans la région Sud-Ouest de Madagascar, 60% des sécheresses observées étaient proches de la normale, tandis que 40% des conditions étaient caractérisées par une humidité proche de la normale dans cette zone d'étude.

Concernant le phénomène QBO, qu'il soit positif ou négatif, nous observons que, pendant les années où ce phénomène s'est manifesté, la région était affectée par la sécheresse à hauteur de 57,14%, avec 42,86% d'humidité. Cependant, en 1989, malgré la présence des indices La Niña et QBO à la fois positifs et négatifs, nous avons enregistré une humidité extrême due au cyclone Jessica. En 1997, l'humidité était forte en raison de cyclone **Fani-Eloise-Leila**. Il semble que lorsque l'indice ENSO n'est pas présent, le phénomène QBO, qu'il soit positif ou négatif, prédomine, entraînant souvent des sécheresses dans la région.

En particulier, lorsque le QBO est positif, nous avons observé 71,43% de sécheresse et 28,57% d'humidité. Par exemple, en 1995, avec seulement un indice QBO positif, l'humidité était proche de la normale. Pour le QBO négatif, le taux de sécheresse est de 66,66%, tandis que l'humidité est de 33,33 %. En 2012, malgré le passage du cyclone Doly, nous avons enregistré une sécheresse proche de la normale, alors que seul l'indice QBO négatif était présent dans la région.

En ce qui concerne l'indice El Niño, nous avons observé que, lors des événements d'El Niño en 1982, 1997, et 2002, la région a été touchée respectivement par une humidité modérée, une humidité forte, et une humidité proche de la normale. Ces conditions ont été influencées par les cyclones Hugo, Isabella, Kiki, Jessica, et Marcelle. En l'absence de ces cyclones, la région aurait été sujette à une sécheresse modérée.

En général, la région Sud-Ouest de Madagascar est davantage soumise à l'humidité lors du passage des cyclones, surtout pendant les phases de l'indice La Niña, quel que soit le type de phénomène QBO. Sur les 40 ans d'étude, nous constatons que cette région traverse généralement des périodes de sécheresse proche de la normale pendant les phases du QBO, qu'il soit positif ou négatif, à l'exception des événements de La Niña. Cela nous permet d'affirmer que l'indice La Niña est un facteur significatif de sécheresse dans la région Sud-Ouest de Madagascar. Il semble que lorsque l'indice ENSO n'est pas présent, le phénomène QBO, qu'il soit positif ou négatif, prédomine, entraînant souvent des sécheresses dans la région.

En particulier, lorsque le QBO est positif, nous avons observé 71,43% de sécheresse et 28,57% d'humidité. Par exemple, en 1995, avec seulement un indice QBO positif, l'humidité était proche de la normale. Pour le QBO négatif, le taux de sécheresse est de 66,66%, tandis que l'humidité est de 33,33%. En 2012, malgré le passage du cyclone Doly, nous avons enregistré une sécheresse proche de la normale, alors que seul l'indice QBO négatif était présent dans la région.

En ce qui concerne l'indice El Niño, nous avons observé que, lors des événements d'El Niño en 1982, 1997, et 2002, la région a été touchée respectivement par une humidité modérée, une humidité forte, et une humidité proche de la normale. Ces conditions ont été influencées par les cyclones **Beryl, Fani-Eloise-Leila et Anggay-Hala-Iggy-Jangmi**. En l'absence de ces cyclones, la région aurait été sujette à une sécheresse modérée en 1987.

En général, la région Sud-Ouest de Madagascar est davantage soumise à l'humidité lors du passage de cyclones, surtout pendant les phases de l'indice La Niña, quel que soit le type de phénomène QBO. Sur les 40 ans d'étude, nous constatons que cette région traverse généralement des périodes de sécheresse proche de la normale pendant les phases du QBO, qu'il soit positif ou négatif, à l'exception des événements de La Niña. Cela nous permet d'affirmer que l'indice La Niña est un facteur significatif de sécheresse dans la région Sud-Ouest de Madagascar.

**Tableau III : comparaison entre SPI et l'indice QBO et l'indice ENSO**

ANNEE	ENSO	QBO	SPI	CATEGORIE
1979	NEUTRE	$QBO \pm$	0.8449	Humidité proche de la normale
1980	NEUTRE	$QBO \pm$	0.3445	Humidité proche de la normale
1981	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.1465	Sécheresse proche de la normale
1982	EL NINO	$QBO \pm$	1.1665	Humidité modérée
1983	NEUTRE	$QBO +$	-0.0118	Sécheresse proche de la normale

1984	NEUTRE	$QBO -$	0.6436	Humidité proche de la normale
1985	LA NINA	$QBO \pm$	0.5342	Humidité proche de la normale
1986	NEUTRE	$QBO +$	1.3916	Humidité modérée
1987	EL NINO	$QBO \pm$	-1.3090	Sécheresse modérée
1988	LA NINA	$QBO +$	-0.8645	Sécheresse proche de la normale
1989	LA NINA	$QBO \pm$	2.6584	Humidité extrême
1990	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.8073	Sécheresse proche de la normale
1991	EL NINO	$QBO \pm$	1.1962	Humidité modérée
1992	EL NINO	$QBO +$	-1.1729	Sécheresse modérée
1993	NEUTRE	$QBO +$	-0.5844	Sécheresse proche de la normale
1994	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.4712	Sécheresse proche de la normale
1995	NEUTRE	$QBO +$	0.2067	Humidité proche de la normale
1996	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.2523	Sécheresse proche de la normale
<b>1997</b>	<b>EL NINO</b>	<b><math>QBO \pm</math></b>	<b>1.6866</b>	<b>Humidité forte</b>
1998	NEUTRE	$QBO \pm$	-1.7050	Sécheresse forte
1999	LA NINA	$QBO \pm$	1.3241	Humidité modérée
2000	LA NINA	$QBO \pm$	0.4196	Humidité proche de la normale
2001	NEUTRE	$QBO -$	-0.5592	Sécheresse proche de la normale
2002	EL NINO	$QBO \pm$	0.1653	Humidité proche de la normale
2003	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.5125	Sécheresse proche de la normale
2004	LA NINA	$QBO \pm$	0.1557	Humidité proche de la normale
2005	NEUTRE	$QBO \pm$	-2.1636	Sécheresse extrême
2006	NEUTRE	$QBO \pm$	0.7824	Humidité proche de la normale
2007	LA NINA	$QBO \pm$	-0.0938	Sécheresse proche de la normale
2008	LA NINA	$QBO \pm$	-0.2283	Sécheresse proche de la normale
2009	NEUTRE	$QBO +$	-0.6615	Sécheresse proche de la normale
2010	NEUTRE	$QBO \pm$	-1.4666	Sécheresse modérée
2011	LA NINA	$QBO +$	-0.2102	Sécheresse proche de la normale

2012	NEUTRE	$QBO -$	-0.4591	Sécheresse proche de la normale
2013	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.0503	Sécheresse proche de la normale
2014	NEUTRE	$QBO \pm$	0.2817	Humidité proche de la normale
2015	EL NINO	$QBO \pm$	-0.4303	Sécheresse proche de la normale
2016	NEUTRE	$QBO \pm$	-0.7856	Sécheresse proche de la normale
2017	NEUTRE	$QBO +$	0.8616	Humidité proche de la normale
2018	NEUTRE	$QBO +$	0.4673	Humidité proche de la normale
2019	NEUTRE	$QBO +$	1.7852	Humidité forte
2020	NEUTRE	$QBO -$	-0.9119	Sécheresse proche de la normale
2021	NEUTRE	$QBO +$	-1.0585	Sécheresse modérée

#### IV. CONCLUSION

La mise en place des méthodes adéquates aux problèmes de détection et de l'origine de la sécheresse est primordiale dans notre étude. Nous avons constaté que la partie Sud-Ouest de Madagascar fait partie de la région victime de cette sécheresse. L'analyse des types de sécheresse dans le Sud-Ouest de Madagascar révèle une prédominance de sécheresses proches de la normale, représentant 41,86 % des observations. Les événements QBO et ENSO influencent significativement les précipitations, avec des sécheresses accrues lors des phases positives du QBO et des épisodes El Niño. En revanche, La Niña semble atténuer la sécheresse, apportant plus d'humidité lors de ses phases. Ceci nous permet d'affirmer que les indices QBO positive et El Niño sont l'une des origines de la sécheresse dans la partie Sud-Ouest de Madagascar.

#### REFERENCES

- [1] Ronald Aylmer Fisher, « The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance », Philosophical Transactions of the Royal Society of Edinburgh, vol. 52, 1918, p. 399–433, le 08/04/2024
- [2] OPENSHAW, Stan et Peter TAYLOR (1979b). « A million or so correlation coefficients ». Statistical methods in the spatial sciences, p. 127–144, le 08/04/2024
- [3] M., Waleed, A. R. M., Aimrun, W. & Ezrin, M. H. (2009) The Effect of Development and Land Use Change on Rainfall-Runoff and Runoff-Sediment Relationships Under Humid Tropical Condition: Case Study of Bernam Watershed Malaysia, European Journal of Scientific Research, 31(1), 88-105.
- [4] Abramowitz, M. & Stegun, I.A. (1965) Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications(eds) : New York.