

INTERCORRELATION ENTRE LA PLUIE ET LA SALINITE A LA SURFACE DE L'OCEAN

Auteurs : SOANAOLY Juliette, TOTOZAFINY Théodore, IVONINTSOA VAVIFARA ZILERA I., TAMO Andy, RAZAFINDRAZAKA Tsilavo M. et RATIARISON Adolphe A.

Auteur correspondant :

SOANAOLY Juliette, email : soa.juliette94@gmail.com

Résumé :

Certains des impacts du changement climatique actuel seront dus aux modifications du cycle de l'eau. La salinité à la surface de l'océan (SSS) pouvait être un traceur intégré dans le temps des changements du bilan d'eau douce sur l'océan. A cet effet, notre objectif est d'étudier l'intercorrélation de cette ladite variable par rapport à la pluie. La zone d'étude, est délimitée par les longitudes Est 48°E à 54°E et les latitudes Sud 22°S à 28°S. L'étude effectuée est basée sur les données de précipitations collectées auprès de l'ECMWF et celles de la salinité exploitée issues du site NOAA sur la période de 1980 à 2017. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) nous ont conduit à subdiviser notre site d'étude en trois sous zone bien distinctes. La forte corrélation pour chaque sous zones obtenue par l'étude de l'intercorrélation confirme qu'il existe une forte dépendance linéaire entre les deux paramètres utilisés.

Mots clés : intercorrélation, ACP, pluie, salinité.

ABSTRACT

Some of the impacts of the current climate change will be due to changes in the water cycle. Sea surface salinity (SSS) could be a time-integrated tracer of changes in the freshwater balance on the ocean. For this purpose, our objective is to study the intercorrelation of this variable with respect to the rain. The study area is delimited by longitudes east 48 ° E to 54 ° E and latitudes south 22 ° S to 28 ° S. The study is based on precipitation data collected from the ECMWF and salinity data from the NOAA site over the period 1980-2017. The Principal Component Analysis (PCA) and the Hierarchical Ascending Classification (HAC) led us to subdivide our study site into three distinct sub-zones. The strong correlation for each sub-zone obtained by the intercorrelation study confirms that there is a strong linear dependence between the two parameters used.

Key words: intercorrelation, PCA, rain, salinity.

I.INTRODUCTION

Les changements climatiques sont toujours en train d'évoluer et ils vont accroître des conséquences graves, généralisées et irréversibles. Les écosystèmes suivent les diverses modifications du climat. Ces changements climatiques sont fortement liés aux modifications du cycle de l'eau. Les modèles climatiques restent très imprécis sur les modifications des flux d'eau douce au-dessus des océans alors que la plupart des précipitations (78%) et de l'évaporation (86%) y ont lieu. La salinité à la surface de l'océan (SSS) pouvait être un traceur intégré dans le temps des changements du bilan d'eau douce sur l'océan, sous réserve de bien savoir la circulation océanique [1]. Notre objectif vise à étudier l'intercorrélation de la salinité et de la pluie.

II.METHODOLOGIES

II.1. Données :

Les données de précipitation utilisées sont des données de réanalyses journalières provenant du site de l'ECMWF (European Centre for Medium-Range WeatherForecasts), disponibles en ligne à l'échelle synoptique « <http://www.ecmwf.int> » avec une grille de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, couvrant la période 13580 jours ou bien 38 années d'observation (du 1er janvier 1980 au 31 décembre 2017).

Les données mensuelles de salinité sont issues du site NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) allant de janvier 1980 à décembre 2017. Ces données sont exprimées en PSU ou Practical Salinity Unit (équivalente au g/kg) disponible sur <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data>.

godas.html> avec une résolution spatiale de $1^\circ \times 0.33^\circ$.

II.2. Zone d'étude :

La figure 1 à gauche représente la moyenne climatologique journalière de la pluviométrie allant du 1^{er} janvier 1980 au 31 décembre 2017. D'après cette figure, nous constatons que le maximum de pluviométrie se trouve dans la partie Sud-Est de Madagascar. C'est ainsi que la zone d'étude que nous prenons est délimitée entre 48°E à 54°E de longitude Est et 22°S à 28°S de latitude Sud (Fig.1 à droite). Ainsi, nous travaillons sur 169 points (individus) avec un pas de 0.5 comme illustrée sur cette dernière figure.

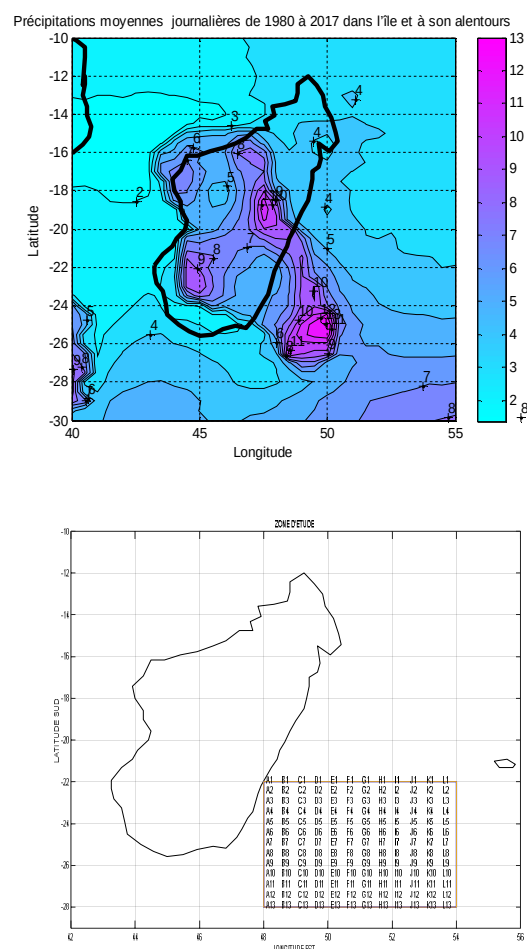


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II.3. Analyse en Composantes Principales (ACP) [2] :

L'objectif de cette méthode est de classer les groupes d'individus qui se ressemblent ou qui se différencient des autres. Nous étudions les corrélations entre les différentes variables.

L'ACP travaille sur un tableau rectangulaire de données comportant p variables quantitatives observées sur n individus. Nos données brutes se présentent sous la forme de la figure 2 suivant.

Soient les ensembles I et J :

$$X = \{x_{ij} / i \in I, j \in J\}$$

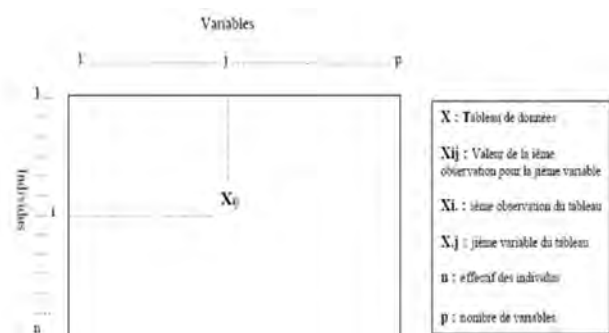


Figure 2 : Tableau de données X

II.4. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) [3] :

La CAH sur Composantes Principales c'est une méthode permettant de regrouper les individus les plus semblables possibles.

II.5. Méthode de l'intercorrélation [4] :

L'étude de l'intercorrélation vise à extraire le taux de similarité entre deux signaux temporels unidimensionnels. Le décalage correspondant au maximum représente le déphasage entre ces deux signaux.

La définition mathématique du coefficient d'intercorrélation est exprimée par l'équation (1) ci-dessous :

$$\text{cor}(X_t, Y_t) = \frac{\text{cov}(X_t, Y_t)}{\sigma(X_t)\sigma(Y_t)} \quad (1)$$

$$\text{Où} \quad \text{cov}(X_t, Y_t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(X_{ti} - \bar{X}_t)(Y_{ti} - \bar{Y}_t)]$$

III.RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats sur l'ACP :

III.1.1. Choix des axes à retenir :

L'inertie totale (100%) du nuage de point est répartie selon 12 valeurs. On ne garde que les facteurs dont l'inertie est supérieure à 8,33% (100/12). Donc pour notre analyse, on ne retient que les deux premiers facteurs (F1 = 52,47 % et F2= 41,20 %) car F3=6,33 % qui est à rejeter. De plus ces deux facteurs (F1 et F2) représentent 93,67 % de l'inertie totale. Le graphique en barres des valeurs propres de pluies est représenté par la figure 3 ci-dessous.

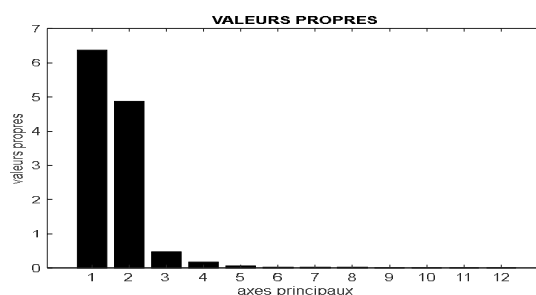


Figure 3 : Valeurs propres de pluies

III.1.2. Cercle de corrélation des variables :

La figure 4 suivante illustre le cercle de corrélation des variables. Ceci nous montre que l'axe F1 représente les mois de faible précipitation et F2 oppose les mois pluvieux avec les mois secs. En général, l'évènement pluvieux dans cette zone commence par le mois de novembre et il se

termine par le mois de mars. Les mois d'avril et octobre sont les mois d'intersaison.

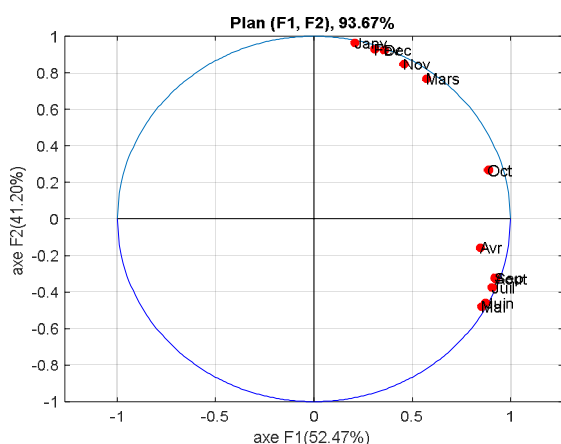


Figure 4 : Cercle de corrélation des variables

III.2. Résultats sur la CAH :

Après avoir classifié nos individus, nous pouvons subdiviser notre domaine d'étude en trois sous zones bien distinctes. La figure 5 à gauche regroupe les 169 points des individus dans l'espace factoriel F1 et F2 et celle qui est à droite illustre la régionalisation de notre zone d'étude.

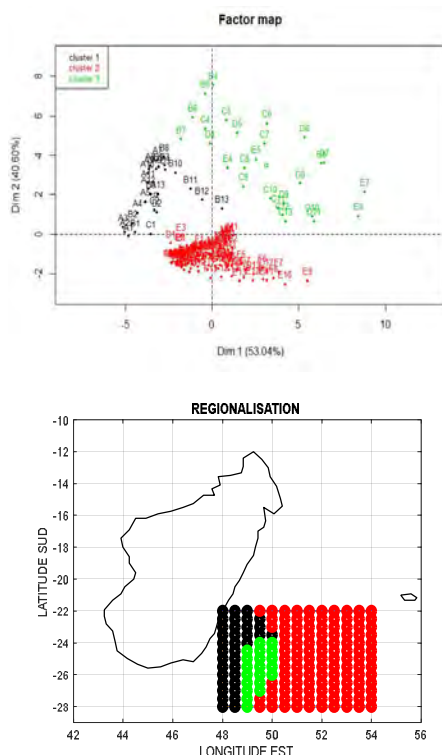


Figure 5 : Classification et régionalisation des individus

III.2.1. Variabilité des précipitations :

Nous allons étudier ces trois sous-zones une à une en calculant la moyenne des individus afin d'avoir une donnée par zone.

III.2.1.1. Cumul mensuel des pluies pour chaque sous zones :

En analysant les quatre graphiques de la figure 6 ci-dessous, la zone 1 (colorée en noir) a une forte précipitation pendant les mois de décembre jusqu'au mois de mars mais elle est très sèche pendant les autres mois. Quant à la zone 2 (colorée en rouge), elle reçoit des pluies presque dans tous les mois pourtant elle atteint sa valeur minimale au mois de septembre. Pour la zone 3 (colorée en vert), elle a cinq mois pluvieux qui sont les mois de décembre, janvier, février, mars et avril.

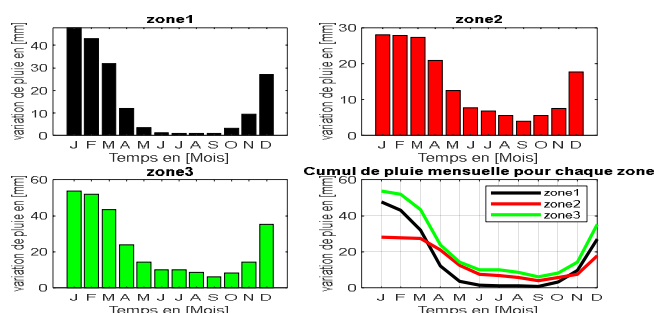


Figure 6 : Cumul mensuel des pluies (1980-2017)

III.2.1.2. Cumul annuel des pluies pour chaque sous zones :

Les quatre graphiques de la figure 7 ci-dessous représentent les cumuls annuels pour chaque sous-zones. Nous observons une tendance à la hausse pour la zone 1 et la zone 3, c'est-à-dire, il s'agit une augmentation des pluies durant notre période d'étude. Cependant, nous remarquons une tendance à la baisse dans la zone 2. Sur le

graphique de cumul annuel des trois zones, un pic significatif est observé à l'année 1991. Les cyclones de l'année 1991 infectent les 3 zones. En regardant le tableau des cyclones passant par le Sud-Ouest de l'Océan Indien (site Cyclonextreme) nous avons le tableau 1. Les années cycloniques durant la période d'étude sont visibles sur le graphe du cumul de pluies. Toujours sur ce graphe, nous remarquons que la zone 3 a une pluviométrie plus abondante que les 2 autres.

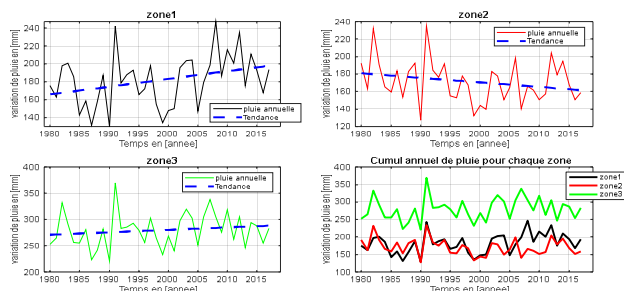


Figure 7 : Cumul annuel des pluies (1980-2017)

Tableau 1 : Nombre de cyclones annuels

Année	Nombre de cyclones
1986	5
1988	5
1989	7
1990	5
1991	5
1994	9
1995	6
1996	8

III.2.2. Variabilité de la salinité :

Nous avons pris les données de la salinité correspondent à chaque sous-zone. Dans notre cas, on n'étudie que la salinité de la mer en surface ou Sea Surface Salinity (SSS), c'est-à-dire celle qui est prélevée dans les cinq premiers mètres de profondeur.

III.2.2.1. Moyenne mensuelle de la SSS pour chaque sous zones :

Les graphes de la figure 8 ci-après illustrent les moyennes mensuelles de la salinité de 1m jusqu'à 5m de la surface de l'océan. Il n'y a pas tellement de différence de salinité par pas de 1m dans les 3 zones. En général, les courbes de variation de la salinité pour chaque zone sont similaires. La salinité est importante pendant la saison sèche. En effet, elle augmente fortement depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'octobre. Elle atteint sa valeur maximale au mois d'octobre. La valeur minimale est observée au mois de mars. Dans les trois zones la salinité varie de 33,97 PSU à 34,12 PSU.

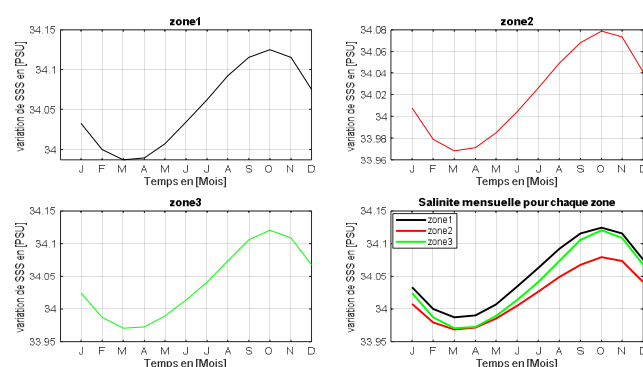


Figure 8 : Variation mensuelle de la SSS (1980-2017)

III.2.2.2. Moyenne annuelle de la SSS pour chaque sous zones :

Les graphes de la figure 9 représentent la salinité annuelle des 3 zones. Cette salinité annuelle varie entre 33,83 PSU et 34,23 PSU. Toujours dans les 3 zones, la salinité a une tendance à la baisse de 1980 à 2017.

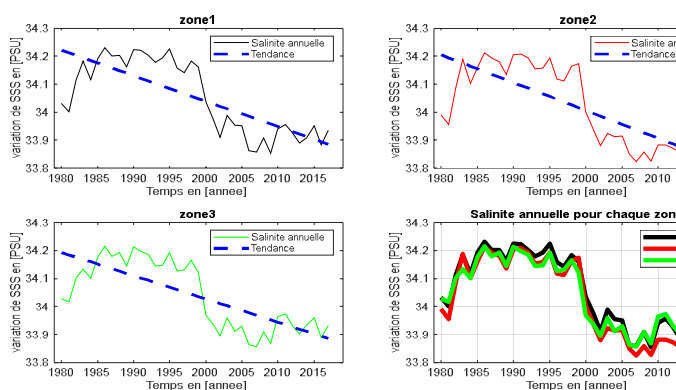


Figure 9 : Variation annuelle de la SSS (1980-2017)

III.3. Résultats sur la méthode de l'intercorrélation :

III.3.1. Intercorrélation entre la pluie et la SSS pour chaque sous zone :

III.3.1.1. Intercorrélation mensuelle et annuelle de pluie et de SSS de la zone 1 :

Les graphes de la figure 10 donnent respectivement les intercorrélations mensuelles (à gauche) et annuelles (à droite) de la pluviométrie et de la salinité.

La forte corrélation négative pour ces deux courbes $y=-0,8685$ (figure à gauche) et $y=-0,8979$ (figure à droite) confirme qu'il existe une dépendance linéaire entre les deux paramètres utilisés dans la zone 1. Les déphasages de ces deux signaux sont opposés. Le décalage correspondant au maximum $x=22$ mois (figure à gauche) et $x=2$ ans (figure à droite) représentent le déphasage entre les deux signaux. Ce qui nous permet de dire que les précipitations sont en avance de 22 mois soit environ deux ans par rapport à la salinité. Cela signifie que la pluviométrie de l'année actuelle influence l'état de la salinité après 2 ans.

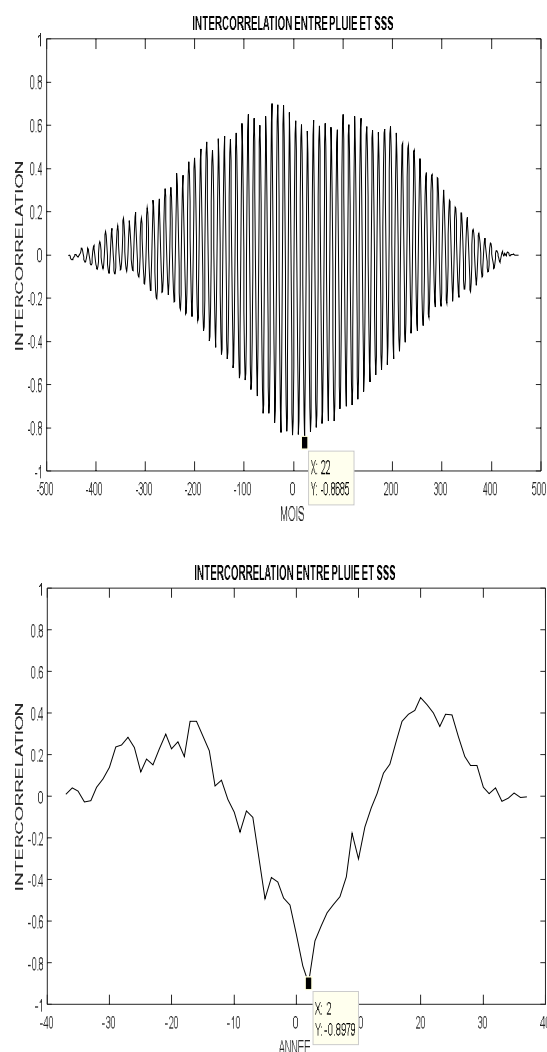


Figure 10 : Intercorrélation mensuelle et annuelle entre la pluie et la SSS de la zone1

III.3.1.2. Intercorrélation mensuelle et annuelle de pluie et de SSS de la zone 2 :

Nous observons un pic remarquable à l'abscisse $x=-44$; ce qui signifie un retard de pluie de 44 mois par rapport à la salinité en surface (Fig.11). Pour les données annuelles, la pluie est en retard de 6 ans ($x=-6$) par rapport à la salinité, ou bien la salinité est en avance de 6 ans par rapport à la pluie. Nous pouvons dire que la salinité de l'année actuelle peut influencer la précipitation après 6 ans.

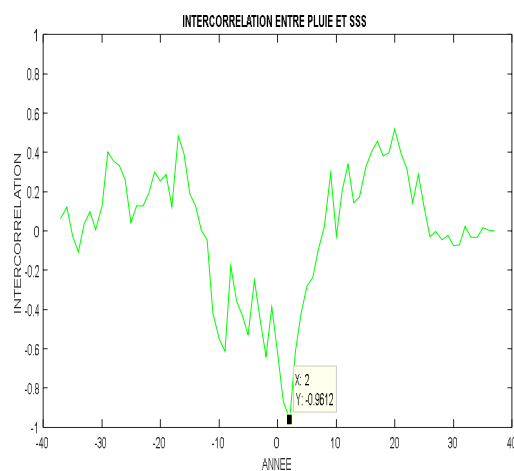
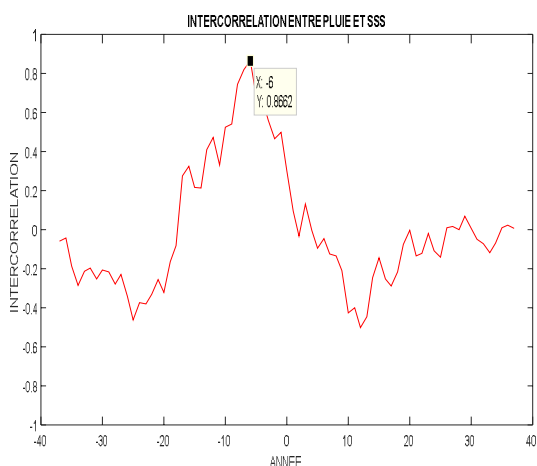
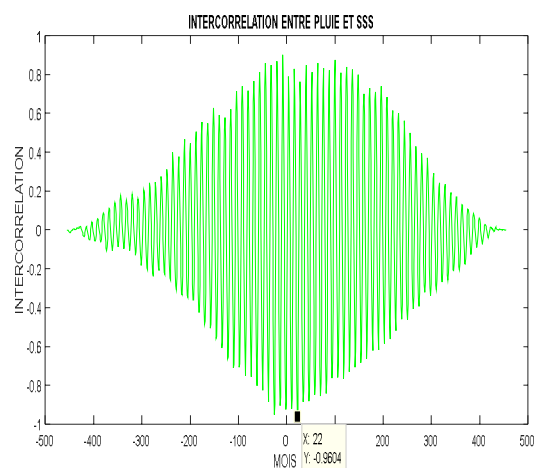
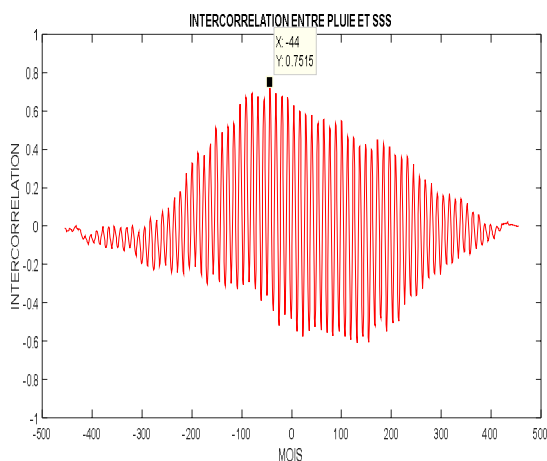


Figure 11 : Intercorrélation mensuelle et annuelle entre la pluie et la SSS de la zone 2

Figure 12 : Intercorrélation mensuelle et annuelle entre la pluie et la SSS de la zone 3

III.3.1.3. Intercorrélation mensuelle et annuelle de pluie et de SSS de la zone 3 :

Les décalages correspondant au maximum $x=22$ (pour les données mensuelles (graphique à gauche)) et $x=2$ (pour les données annuelles (graphique à droite)) sur ces courbes expliquent que les précipitations sont en avance de 22 mois ou environ 2 ans par rapport à la salinité en surface.

IV.CONCLUSION

Ce travail nous a apporté les informations sur la précipitation et la salinité à la surface de l'océan. L'analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) nous ont conduit à subdiviser notre site d'étude en trois sous zone bien distinctes. De ce fait, les zones loin de la côte (zone 2) reçoivent des précipitations presque dans tous les mois. Par contre, les zones proches de la côte (zone 1 et zone 3) ont une forte précipitation pendant la saison de l'été australe pourtant elles sont faibles pendant la saison hiver australe. Quant à la

salinité, elle est importante durant la saison sèche mais faible pendant la saison pluvieuse. La forte corrélation obtenue par l'étude de l'intercorrélation des données mensuelles et annuelles nous permet de conclure que les deux paramètres climatiques que nous avons étudiés sont très liés. D'une part, nous pouvons dire que la pluie peut modifier l'état de la salinité en surface (résultats obtenus par la zone 1 et la zone 3), la salinité se dessalure en présence de la précipitation. D'autre part, nous affirmons que l'état de la salinité peut influencer la pluviométrie après quelques années (résultats de la zone 2). Cela peut être considéré comme un prédicteur de la pluviométrie dans cette région.

REFERENCES

- [1]. Revault d'Allones, M., 1992. L'Océanographie Physique. Collection Que Sais-je. Presses Universitaires de France.
- [2]. DEBIAN, 2005 : Cours ADD mrs2, chap.2 : Analyse en Composantes Principales (ACP).
- [3]. BARNIER J., LARMARANGE J., 2013, Introduction à l'analyse d'enquête avec R.
- [4]. RAMIHARIJAFY Rodolphe, 2014, Intercorrélation entre la pluviométrie et le débit sauvage en amont de la centrale hydroélectrique du site d'Andekaleka à Madagascar