

Discussion et résumé des résultats finaux

Dans cette dernière section, nous allons résumer les résultats finaux de notre étude.

La TSM dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et celle au sud de Taolagnaro suivent un cycle saisonnier. Elle atteint un minimum au cours du mois d'août et un maximum en février. L'année 1994 a été caractérisée par un fort abaissement de la TSM dans les ZU. En effet, le SIOD présente un impact significatif sur les ZU. Il tend son influence à partir de sa phase de développement jusqu'aux phases de maturité. La TSM dans les ZU et le dipôle (SIOD) sont corrélés positivement, ils varient dans le même sens. Par contre, il a été constaté que ENSO et la TSM dans les zones de remontées d'eau froide sont corrélés négativement en novembre.

La TSM dans la zone du courant côtier suit aussi un cycle saisonnier. Des masses d'eau chaude envahissent la côte sud-ouest de Madagascar en février. Cette zone fait face à une forte anomalie négative en 1994. L'indice de SIOD et la TSM dans la zone du courant côtier sont corrélés positivement, c'est-à-dire qu'ils évoluent dans le même sens. La liaison entre les deux paramètres est plus forte en décembre et en janvier. Une corrélation positive et significative entre indices d'ENSO et la TSM zone du courant côtier a été repérée pendant le mois de mai.

Voici les constats des analyses de corrélation entre la TSM et les IPS suivant chaque district :

- **Pour le district de Bekily :** des liaisons positives et significatives ont été constatées entre la TSM au cours de l'Asotry et la précipitation de l'Asara. La zone du courant côtier admet un résultat significatif pour le cas de l'IPS-3 ($0,3 < r < 0,6$) ; pour le cas de l'IPS-4, ce sont la zone du courant côtier et la ZU au sud du district de Beloha qui montrent des fins significatives ($0,3 < r < 0,62$). Ces chiffres statistiques révèlent que l'augmentation de la TSM dans ces zones que ce soit pour le cas de l'IPS-3 ou IPS-4 au cours de l'Asotry peut être associée à des hausses de la précipitation au cours de l'Asara et inversement.
- **Pour le district de Beloha :** on aperçoit l'établissement d'une relation dans le même sens entre IPS-3 et TSM à partir de l'Asotry. Cette liaison positive augmente en termes d'intensité et d'extension spatiale vers la fin de l'Asotry et au début de la saison dite Faosa. La zone d'upwelling au sud de Beloha et la TSM bordant les côtes de Taolagnaro à Tsihombe admettent une corrélation positive significative variant de $0,3 < r < 0,45$ avec IPS-3. Ceci laisse à penser que la baisse de la TSM à partir du mois de mai-juin-juillet et en juin-juillet-août sur la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et sur les côtes longeant de Taolagnaro à Tsihombe annoncent une baisse de la précipitation de l'Asara, et la situation peut se manifester dans le cas contraire.
En revanche, pour le cas de l'IPS-4, les régions admettant des corrélations significatives sont un peu éparpillées et ne forment pas de cellules visibles. Néanmoins, des corrélations positives non significatives existent durant l'Asotry et le Faosa dans zone du courant côtière et dans les cellules d'upwelling.

- **Pour le district d'Ambovombe :** La TSM en Asotry sur la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et celle dans la zone du courant côtier sont corrélées positivement avec le IPS-3. On détermine $0,3 < r < 0,55$. Le début de l'établissement d'une liaison positive commence à partir de mars-avril-mai et atteint son pic en avril-mai-juin. Selon ce résultat statistique, une augmentation par rapport à la normale de la TSM au cours de l'Asotry dans la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et celle dans la zone du courant côtier peut indiquer une hausse de la valeur de la précipitation relevée au cours de l'Asara, une situation inverse peut se produire en cas de baisse de la TSM sur ces zones clés.

Pourtant, à part la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et dans la zone du courant côtier, l'autre zone de remontée d'eau froide au sud de Taolagnaro admet aussi une liaison positive et significative avec le IPS-4. On prélève généralement $0,3 < r < 0,63$. Donc si une augmentation de la TSM se passe au cours de l'Asotry dans les zones suivantes : dans la zone du courant côtier, dans la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et Taolagnaro, on peut s'attendre à une augmentation par rapport à la normale de la précipitation de l'Asara et une configuration opposée se manifeste si la TSM dans ces zones subit une baisse.

- **Pour le district de Tsihombe :** des corrélations positives et significatives se voient dans les régions suivantes en juin-juillet-août : entre (24°S à $26,5^{\circ}\text{S}$ et 42°E à 44°E) et au sud de Tsihombe. On prélève $0,3 < r < 0,65$. Les liaisons positives durent au cours du Faosa et elles se réduisent en distribution spatiale. Cela signifie que la hausse de la TSM entre (24°S à $26,5^{\circ}\text{S}$ et 42°E à 44°E) et celle au sud de Tsihombe durant l'Asotry et le Faosa peuvent être associées à la hausse de la précipitation observée en Asara.

Par contre, la hausse de la précipitation de l'Asara peut être liée à la persistance d'une anomalie positive de la TSM dans la zone d'upwelling au sud de Taolagnaro et (24°S à $26,5^{\circ}\text{S}$ et 42°E à 44°E) durant l'Asotry et le Faosa et inversement.

Voici les résultats de l'analyse composite basée sur les périodes excédentaires et déficitaires pour chaque district :

- **Pour le district de Bekily :** Si on remarque la présence d'anomalies positives de la TSM dans la zone du courant côtière et dans la zone d'upwelling au sud du district de Beloha durant l'Asotry, on peut s'attendre à des précipitations supérieures par rapport à la normale au cours du mois de l'Asara à venir.

Or, si on relève des anomalies négatives de la TSM entre (22°S à 24°S ; 42°E à 43°E) en mars-avril-mai, et des anomalies négatives de la TSM entre (22°S à 24°S ; 42°E à 43°E), entre (26°S à $27,5^{\circ}\text{S}$; 43°E à 47°E), dans la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et de Taolagnaro durant l'Asotry, on pourra envisager la baisse de la précipitation de l'Asara (décembre à mars) sur le district de Bekily.

- **Pour le district de Beloha :** La présence, le développement et la persistance des anomalies négatives de la TSM dans la zone du courant côtier, dans les zones d'upwelling au sud de Beloha et de Taolagnaro et la bande comprise entre 26°S à 27,5°S à partir de l'Asotry jusqu'en Faosa sont des signes indiquant que la précipitation au cours de l'Asara sur le district de Beloha va diminuer par rapport à la normale en Asara.
En revanche la hausse la TSM sur la zone du courant côtier et celle de la zone d'upwelling au sud du district de Beloha vers la fin de l'Asotry et pendant le Faosa peuvent provoquer une augmentation de la précipitation par rapport à la normale durant l'Asara.
- **Pour le district d'Ambovombe :** Une baisse de la TSM observée au cours de l'Asotry dans la zone comprise entre (26°S à 27,5°S ; 42°E à 47°E) peut annoncer un déficit de précipitation relevé au cours de l'Asara. Tandis que des anomalies positives de la TSM observées au cours de l'Asotry dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et dans la zone du courant côtier peuvent indiquer un excès de précipitations relevé durant l'Asara.
- **Pour le district de Tsihombe :** Si des anomalies positives de la TSM apparaissent à partir de l'Asotry et qu'elles persistent au cours du Faosa sur la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et sur la zone du courant côtier (surtout sur les côtes longeant Morombe à Beloha), une augmentation de la précipitation de l'Asara est imaginable.
Par contre, si à partir de l'Asotry des anomalies négatives de la TSM sont présentes dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et sur les côtes du district de Tsihombe à Taolagnaro, dans zone du courant côtier, dans la latitude comprise entre (26°S, -27°S) et que ces anomalies négatives persistent durant le Faosa, la précipitation de l'Asara (décembre-janvier-février-mars) peut être affectée d'une baisse par rapport à la normale.

En effet, l'analyse de corrélation et l'analyse composite sont deux approches statistiques différentes. La première indique l'existence de liaisons entre deux variables considérées. La deuxième approche montre l'état moyen d'un paramètre lors d'un évènement quelconque. Pour notre cas, il s'agit de déterminer l'état moyen de la TSM pendant les périodes excédentaires et déficitaires.

On ne peut pas rejeter les résultats obtenus par les deux approches. On peut en tirer par contre la complémentarité des techniques adoptées. Bref, que ce soit pour le test de corrélation ou résultats du test de comparaison de moyenne, il s'agit des régions où les résultats sont statistiquement significatifs, mais physiquement, ces régions peuvent s'étendre au-delà de ce qu'on a obtenu.

D'autres cas aussi ont été analysés dans cet ouvrage. Il a été constaté qu'à part le phénomène El Niño qui provoque des sécheresses, la diminution par rapport à la normale de la TSM dans les cellules d'upwelling au sud de Beloha et de Taolagnaro, celle au sud du district de Tsihombe et celle dans la zone du courant côtier au cours de l'Asotry tendent leur influence sur la variabilité

des précipitations du district d'Ambovombe. C'est-à-dire que la baisse de la TSM dans ces zones durant l'Asotry mène à des déficits de précipitation causant la sécheresse induisant à son tour à la famine. Ce gros point a été constaté lors des analyses composites basées sur les événements de Kere s'abattant sur le district d'Ambovombe Androy.

L'année 1994 est marquée par une forte baisse de la TSM dans la partie sud et sud-ouest de Madagascar. Cet événement a persisté durant l'Asotry et au cours du Faosa. On a remarqué une baisse de $-1,86^{\circ}\text{C}$ à $-0,25^{\circ}\text{C}$ de la TSM par rapport à la normale. Une analyse minutieuse des courbes de variation de l'indice pluviométrique standardisé (IPS-3 et IPS-4) de chaque district a révélé que des baisses de la précipitation par rapport à la normale sont survenues. On décèle IPS-3 $=-1,14$ et IPS-4 $=-1,98$ pour le district de Bekily, IPS-3 $=-0,94$ et IPS-4 $=-1,12$ pour le district de Beloha, IPS-3 $=-0,65$ et IPS-4 $=-0,72$ pour Ambovombe et IPS-3 $=-0,8$ et IPS-4 $=-1,3$ pour Tsihombe.

Conclusions

Cette étude se propose d'analyser le problème sur les facteurs contribuant à la variabilité des précipitations dans la région Androy. Nous cherchons à savoir s'il existe une certaine correspondance entre la zone d'upwelling au sud de Madagascar, du courant côtier au sud-ouest de Madagascar avec la distribution spatio-temporelle des précipitations des districts de la région Androy.

Dans un premier temps, nous avons mis en exergue les potentialités de la région Androy en détaillant les caractères physiques, administratifs et économiques de la région. Pour atteindre l'objectif principal de cette présente étude, nous avons utilisé des données pluviométriques de chaque district de la région et des données satellitaires sur la température de la surface de la mer couvrant la période de 1985-2015. Le logiciel R a été utilisé dans les manipulations des jeux de données et dans de nombreuses opérations statistiques. Pour faciliter la visualisation des résultats de traitements statistiques, toutes les opérations concernant la spatialisation et la cartographie sont réalisées sur ArcGis 10.3.1.

La méthodologie utilisée consistait d'abord à synthétiser les données de précipitations tout en calculant les indices de précipitations standardisés (décembre à février pour IPS-3 et décembre à mars IPS-4), et les données de la TSM (centrage et réduction). Ensuite, on procède à des analyses de corrélation au pas de temps temporel et de tester les coefficients de corrélations obtenus. Après, des analyses composites basées sur les périodes excédentaires et déficitaires, basées sur les survenus de Kere ont été effectuées. Et pour évaluer les éventuelles réponses de la précipitation face à des anomalies de la TSM, l'année 1994 a été retenue.

Il a été trouvé que :

- ✓ **Pour le district de Bekily** : la hausse de précipitation de l'Asara peut être modulée par le réchauffement anormal de la TSM dans la zone du courant côtier, dans la zone d'upwelling au sud de Beloha au cours de l'Asotry. Par contre, la baisse de la TSM dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et de Taolagnaro ainsi que celle dans la latitude comprise entre (26°S à 27,5°S ; 43°E à 47°E) pendant l'Asotry tendent à faire baisser la précipitation de l'Asara.
- ✓ **Pour le district de Beloha** : la baisse de la précipitation de l'Asara peut être liée aux développements et aux persistances d'anomalies négatives de la TSM dans la zone du courant côtier (SMACC), dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et de Taolagnaro ainsi que dans la latitude comprise entre (26°S à 27,5°S) à partir de l'Asotry et durant le Faosa. Et l'augmentation par rapport à la normale de la précipitation de l'Asara dans ce district peut être générée par le réchauffement anormal de la TSM dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et de la zone du courant côtier vers la fin de l'Asotry et au cours du Faosa.

- ✓ **Pour le district d'Ambovombe** : Le manque de précipitation au cours de l'Asara peut être causé par une baisse de la TSM entre (26°S à 27,5°S ; 42°E à 47°E) durant l'Asotry. Et l'excès des précipitations de l'Asara peut être lié aux réchauffements anormaux de la TSM dans la zone d'upwelling au sud de Beloha et dans la zone du courant côtier cours de l'Asotry.
- ✓ **Pour le district de Tsihombe** : le déficit de précipitation au cours de l'Asara peut être expliqué par la diminution par rapport à la normale et la persistance des anomalies négatives de la TSM dans la zone d'upwelling au sud de Beloha, sur les côtes du district de Tsihombe à Taolagnaro, dans zone du courant côtier, dans la latitude comprise entre (26°S, 27°S) à partir de l'Asotry et au cours du Faosa. Par contre, le réchauffement anormal de la TSM vers la fin de l'Asotry et au cours du Faosa dans sur la zone d'upwelling au sud du district de Beloha et sur la zone du courant côtier peut être à l'origine des excès de précipitation dans ce district.
- ✓ Il a été constaté qu'à part le phénomène El Niño qui provoque des sécheresses, la baisse de la TSM dans les cellules d'upwelling au sud de Beloha et de Taolagnaro, celle au sud du district de Tsihombe et celle dans la zone du courant côtier au sud-ouest de Madagascar par rapport à la normale durant l'Asotry conduisent à des déficits de précipitation causant des sécheresses induisant à son tour à des séries de famines.
- ✓ Face à des anomalies négatives de la TSM dans toute la partie sud et sud-ouest de Madagascar (y compris les zones d'upwelling et la zone du courant côtier au sud-ouest de Madagascar) en 1994, les précipitations de l'Asara de chaque district sont toutes en baisse par rapport à la normale.

Ces résultats mettent en évidence un lien entre l'état thermique de la température de la surface de la mer dans les zones d'upwelling et dans la zone du courant côtier avec les précipitations dans les districts de la région Androy, sans doute à cause de l'influence de la mer sur la température et à la capacité hygrométrique de l'atmosphère. Elles montrent aussi qu'on peut analyser la distribution spatiale des précipitations de la région à l'échelle régionale.

Face aux problèmes liés aux événements extrêmes dans la région Androy : famines, maladie, sécheresse et inondation, la détection des zones potentielles influant chaque district ne suffisent pas. L'élaboration d'un modèle de prévision saisonnière sur chaque district est alors recommandée. En effet, en s'appuyant sur l'état de connaissances des zones clés influant chaque district, l'élaboration d'un modèle statistique de prévision saisonnière devrait être possible. Les résultats des prévisions servent d'aide aux décideurs locaux pour préparer les districts exposés à des menaces de déficit ou de manque de précipitation.

L'insuffisance en eau de pluie affecte généralement les activités agricoles. Une longueur d'avance dans la présentation des informations concernant les saisons permettra d'opter à des cultures résistant à une grande variabilité pluviométrique : par exemple, les agriculteurs peuvent déjà penser au genre de culture résistant face à des manques d'eau si c'est le cas.

Les résultats obtenus de notre étude ne sont que des résultats préliminaires. Vu la complexité dans la formation des précipitations, bon nombre de relation apparente est généralement trop complexe pour pouvoir être reliées à une cause unique. Sur ce, des améliorations des résultats obtenus peuvent être exécutées en utilisant d'autres paramètres comme le vent, le taux de chlorophylle-a (indicateur de l'intensité du phénomène d'upwelling) et l'humidité. Il serait aussi intéressant d'étendre la zone d'étude sur toutes les régions de Madagascar tout en considérant les phénomènes océaniques : phénomène d'upwelling côtier au sud de Madagascar, le courant côtier au sud-ouest (SMACC) et le courant à l'est de Madagascar (EMC).

Références bibliographiques

- [1] Centre de Recherches, d'Etudes et d'Appui à l'Analyse économique à Madagascar (CREAM), « Monographie région Androy », Edition août 2014, 188 p.
- [2] Office National de l'environnement (ONE), « Prescriptions Environnementales », Région Androy, 2009.
- [3] Office National de l'environnement (ONE), « Tableau de Bord environnemental de la région Androy ».
- [4] Pierre Chaperon, Joël Danloux, Luc Ferry, « Fleuves et rivière de Madagascar », Edition ORSTOM, 1993, 883 p.
- [5] Donques G., « Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar », Nouvelle Imprimerie des Arts Graphiques, 1975.
- [6] Laetitia MORLAT, « La gestion des impluviums en Androy (Madagascar) - Un levier pour le changement social », Etude et travaux en ligne N°24, Editions du Gret, décembre 2009, 95 p.
- [7] René BATTISTINI, « L'extrême Sud de Madagascar, étude géomorphologique », Département de Géographie, Université de Madagascar, 1965.
- [8] Tatiana Andry Arivelo, « Malagasy climate variability, characteristics, modes, mechanisms, modeling, teleconnection and prediction », Thèses Doctorat en Physique, Université d'Addis Ababa Ethiopie, Decembre 2009, 162 p.
- [9] RANDRIANASOLO Léon, « Climatologie I », Cours en 2^e année, Mention Météorologie, année universitaire 2013-2014.
- [10] Goslin et al., « Submarine topography and shallow structure of the Madagascar Ridge, western Indian Ocean », Geological society of America Bulletin, Part I, Vol.91, 741-753.
- [11] Rabetsivahiny V., « Conception d'une base de données relative au projet de délimitation du plateau continental de Madagascar », Mémoire de Maîtrise de l'Université d'Antananarivo, 2007, 75 p.
- [12] MAHATANTE Tsimanaoraty Paubert, « Ressources halieutiques et variabilités climatiques dans l'extrême sud de Madagascar », Thèse pour l'obtention du grade de Docteur des Universités, Spécialité : Océanographie Appliquée (gestion de ressources aquatiques, aquaculture et environnement), juin 2016, 270 p.

- [13]** RANAIVOSON Andriamihaja André, « Contribution à l'analyse des extrêmes météomarines dans les zones côtières et marines de Madagascar », Mémoire Ingéniorat, Mention Météorologie, 31 août 2016, 97 p.
- [14]** Friedrich A. Schott, Shang-Ping Xie, Julian P. McCreary Jr, « Indian ocean circulation and climate variability », *Reviews of Geophysics*, 47, RG1002/2009.
- [15]** Gerold Siedler, Mathieu Rouault, Arne Biastoch, Bjorn Backeberg, Chris J. C.Reason, Johann R. E. Lutjeharms, « Modes of the southern extension of the East Madagascar Current », *Journal of geophysical research*, Vol. 114, C01005, 2009.
- [16]** Juliano D. Ramanantsoa, P. Penven, M. Krug, J. Gula, M. Rouault, « Uncovering a New Current : The Southwest Madagascar Coastal Current », *Geophysical Research Letters*, 10.1002/2017GL075900, 2018.
- [17]** C.Tession, « Le phénomène d'upwelling le long des côtes du Sénégal, caractéristiques physiques et modélisation », 74 p.
- [18]** Enriquez A.G., Friehe C.A., « Effects of wind stress and wind stress curl variability on coastal upwelling », *Journal of physical Oceanographie* Vol.25, No.7, 1995, 1651-1671.
- [19]** Roshin P. Raj, Benny N. Peter, Dhanya Pushpadas, « Oceanic and atmospheric influences on the variability of phytoplankton bloom in the Southwestern Indian Ocean », *Journal of Marine Systems* 82, 2010, 217–229.
- [20]** Juliano D. Ramanantsoaa, M. Kruga, P. Penvend, M. Rouaulta,c, J. Gulad, « Coastal upwelling south of Madagascar: Temporal and spatial variability », *Journal of Marine Systems* 178, 2018, 29–37.
- [21]** J.R.E. Lutjeharms, E. Machu, « An upwelling cell inshore of the East Madagascar Current », *Deep-Sea Research I* 47, 2000, 2405-2411.
- [22]** Steven F. DiMarco, Piers Chapman, Worth D. Nowlin, « Satellite observations of upwelling on the continental shelf south of Madagascar », *Geophysical research letter*, Vol.27, NO.24, 2000, 3965-3968.
- [23]** E. Machu, J. R. E. Lutjeharms, A. M. Webb, H. M. Van Aken, « First hydrographic evidence of the southeast Madagascar upwelling cell », *Geophysical research letter*, Vol. 29, NO. 21, 2002.
- [24]** Chung-Ru Ho, Quanan Zhengb, Nan-Jung Kuo, « SeaWiFs observations of upwelling south of Madagascar : long-term variability and interaction with East Madagascar Current », *Deep-Sea Research II* 51, 2004, 59–67.
- [25]** Aksel Voldund, « The Dynamics of the East Madagascar Current System and Its Influence on the Biological Production Associated to the Shelf-An Observational Study », Master's Thesis in Physical Oceanography, June the 1st, 2011, 99 p.

- [26]** Marcellin Roandrianasolo Tsihoboto, Bemiasa John, Fanazava Rijaso, « Analysis of environmental parameters effects on the spatial and temporal dynamics of tropical tuna in the EEZ of Madagascar: coupling remote sensing and catch data », Mediterranean Series de estudios biológicos, Université d'Alicante Edition II, 2015, 252 p .
- [27]** Mahatante Tsimanoraty Paubert, Fanazava Rijaso, Mara Edouard Remanevy, « Ressources halieutiques potentielles et propositions d'adaptation aux variabilités climatiques dans l'extrême Sud de Madagascar », Mediterranean Series de estudios biológicos, Université d'Alicante Edition II, 2015, 252 p.
- [28]** Mme Ramasy Aimé, « Cour statistique », 2^e année Météorologie ESPA, Année universitaire 2013-2014.
- [29]** Organisation météorologique Mondiale (OMM), « Guide d'utilisation de l'indice de précipitation normalisé », OMM-N°1090, 2012, 25 p.
- [30]** Mme Ramasy Aimé, « Cour statistique », 4^e année Météorologie ESPA, Année universitaire 2015-2016.
- [31]** Hans von Storch, Francis W. Zwiers, « Statistical Analysis in Climate Research », CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1999.
- [32]** Behera SK, Yamagata Toshio, « Subtropical TSM dipole events in the southern Indian Ocean », Geophysical Research Letters Vol.28, NO.2, 2001, 327–330.
- [33]** C. J. C. Reason, « Subtropical Indian Ocean SST dipole events and southern African rainfall », Geophysical Research Letter, Vol.28, NO.11, 2001, 2225-2227.
- [34]** Ash K. D. et Matyas C. J., « The influences of ENSO and the subtropical Indian Ocean Dipole on tropical cyclone trajectories in the southwestern Indian Ocean ». International Journal of Climatology 32, 2012, 41–56.
- [35]** Florent Beucher, « Météorologie tropicale : des alizés au cyclone », Tomes 1 et 2, Cours et manuels n°19, METEO France, 865 p.

Webographies

[36] <http://www.fort-dauphin.org/fort-dauphin/zoom-sur-l-androy>, consulté le 7 décembre 2017.

[37] <http://www.iacaranda.fr/guide-madagascar/culture/ethnies/antandroy>, consulté le 7 décembre 2017.

[38] http://map.meteomadagascar.mg/maproom/Climatology/Climate_Analysis/monthly.html, consulté le 9 février 2018.

[39] <http://www.jamstec.go.jp/res/ress/behera/iosdindex.html>, consulté le 9 février 2018.

[40] <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni.data>, consulté le 9 février 2018.

[41] <https://cran.r-project.org/>, consulté le 15 février 2018.

[42] https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_Hovmoller, consulté le 15 février 2018.

Table des Matières

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABREVIATIONS	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : Cadre physique de la région Androy	4
I.1 . Localisation géographique [1]	4
I.2 . Relief [1]	5
I.3 . Pédologie (ou Etude des sols)	5
I.4 . Formation végétale [2] [3] [37]	6
I.5 . Hydrologie [1] [4].	8
I.5.1. Fleuve	8
I.5.2. Lacs	8
I.6 . Saison dans la région Androy	9
I.7 . Climatologie	10
I.7.1. Cas du district de Bekily	10
a) Température.....	10
b) Précipitation	10
I.7.2. Cas du district de Beloha	11
a) Température.....	11
b) Précipitation	12
I.7.3. Cas du district d’Ambovombe	12
a) Température.....	12
b) Précipitation	13
I.7.4. Cas du district de Tsihombe	14
a) Température.....	14
b) Précipitation	15
I.8 . Vent [6] [7] [8] [9]	15
I.9 . Les composantes marines	17

I.9 .1. Le plateau continental [10] [11] [12]	17
I.9 .2. Niveau de la mer	18
I.9 .3. Courant marin	18
I.10 . Upwelling au sud de Madagascar	19
I.10.1. Définition	19
I.10.2. Limites géographiques des zones d'upwelling – Localisation cellules d'upwelling	20
I.10.3. Etats des connaissances sur la zone d'upwelling au sud de Madagascar.....	20
CHAPITRE 2 : Cadre administratif et économique de la région Androy	23
II.1. Cadre administratif de la région Androy.....	23
II.2. La population	23
II.2.1 Origine [36] [37]	23
II.2.2 Us et coutume [36] [37]	24
II.2.3 Effectif total et densité de la Population [1]	24
II.3. Activités économiques de la zone d'étude	24
II.3.1 Secteur agricole	24
II.3.2 Secteur élevage	25
II.3.4 Secteur touristique.....	27
CHAPITRE 3 : Données utilisées - Matériels traitement de données	29
III.1 Données de précipitations [38].....	29
III.2 Données TSM de AVHRR Pathfinder	29
III.3 Les indices climatiques.....	29
III.3.1 SIOD [39]	29
III.3.2 Oceanic Nino Index (ONI) [40]	29
III.4 Analyse de données	30
III.5 Outils de visualisations.....	30
CHAPITRE 4 : METHODOLOGIES	31
IV.1 Statistiques descriptives [28]	31
IV.2 Diagramme de Hovmöller [42]	31
IV.3 Anomalies	32
IV.4 Indice de Précipitation Standardisée (IPS) [29]	32
IV.5 Relation du TSM avec ENSO et SIOD	33
IV.6 Relation entre TSM et précipitation	34
IV.6.1 Corrélation entre TSM avec IPS-3 et IPS-4.....	34
IV.6.2 Analyse composite [31].....	36

Chapitre 5 : Climatologie et variabilité interannuelle de la température de la surface de la mer (TSM) de la zone d'étude.....	39
V.1. Climatologie et variabilité saisonnière de la TSM de 1985 -2015	39
V.2. Zone d'upwelling (ZU)	43
V.2.1. Climatologie et variabilité mensuelle	43
V.2.2. Variabilités interannuelles de la TSM dans la ZU	43
V.3. Zone du courant côtier (SMACC)	44
V.3.1. Climatologie et variabilité mensuelle de la TSM dans la zone du courant côtier au sud-ouest de Madagascar	44
V.3.2. Variabilités interannuelles de la TSM dans la zone SMACC	45
V.4. Relation entre SIOD et la TSM dans la ZU et le SMACC	46
V.5. Relation entre ENSO et TSM de la zone d'upwelling et dans la zone du courant côtier	52

Chapitre 6 : Analyse de l'influence de la température de la surface de la mer (TSM) sur la variabilité interannuelle des précipitations sur les districts de la région Androy.....	56
VI.1. Résultats analyse de corrélation de la TSM avec IPS-3 et IPS-4	56
VI.1.1. 1 ^{er} cas : District de Bekily	56
b) Relation entre TSM et IPS-4 (Figure 32 et Figure 33).....	61
VI.1.2. 2 ^e cas : District de Beloha.....	64
a) Relation entre TSM et IPS-3 (Figure 34 et Figure 35).....	64
b) Relation entre TSM et IPS-4 (Figure 36 et Figure 37).....	67
VI.1.3. 3 ^e cas : District de Ambovombe	70
a) Relation entre TSM et IPS-3 (Figure 38 et Figure 39).....	70
b) Relation entre IPS-4 et TSM (Figure 40 et Figure 41).....	73
VI.1.4. 4 ^e cas : District de Tsihombe.....	77
a) Relation entre TSM et IPS-3 (Figure 42 et Figure 43).....	77
b) Relation entre TSM et IPS-4 (Figure 44 et Figure 45).....	81
VI.2. Résultats analyse composite appliquée sur la TSM.....	85
VI.2.1. Élaboration des composites	85
a) IPS du district de Bekily	85
b) IPS du district de Beloha.....	86
c) IPS du district d'Ambovombe.....	86
d) IPS du district de Tsihombe	87
VI.2.2. District Bekily	89
a) 1 ^{er} cas : IPS-3	89

b) 2 ^e cas : IPS-4	93
VI.2.3. District Beloha	95
a) 1 ^{er} cas : IPS-3	95
b) 2 ^e cas : IPS-4	97
VI.2.4. District d'Ambovombe	104
a) 1 ^{ers} cas : IPS-3	104
b) 2 ^e cas : IPS-4	106
VI.2.5. District de Tsihombe	108
a) 1 ^{ère} cas : IPS-3	108
b) 2 ^e cas : IPS-4	110
VI.3. Analyse de cas.....	116
VI.3.1. Cas basés sur les évènements de Kere :	116
VI.3.2. Cas basés sur le période de 1994 :.....	118
a) Description des champs d'anomalies de la TSM en 1994 sur chaque saison :.....	118
b) Analyse de la variation de l'IPS-3 et IPS-4 de chaque district pour le cas d'anomalie du champ de la TSM en 1994	123
VI.4. Discussion et résumé des résultats finaux	126
Conclusions.....	130
Références bibliographiques.....	133
Webographies	136
Table des Matières	A

TITRE : « ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA ZONE D'UPWELLING AU SUD DE MADAGASCAR ET DU COURANT CÔTIER DU SUD-OUEST DE MADAGASCAR SUR LA VARIABILITE INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS DES DISTRICTS DE LA REGION ANDROY »

Auteur : NOMENJANAHARY Tojo Lalaina

Tél : +261 33 78 554 83

E-mail : tojolalaina7@gmail.com

Nombre de pages : 136

Nombre de figures : 65

Nombre de tableaux : 07



RESUME

La répartition en eau de pluie sur Madagascar est très diversifiée, elle est très abondante à l'Est et se fait de plus en plus rare dans le sud. La région Androy souffre d'un manque de précipitation induisant par la suite des séries de famines. Cette étude analyse l'influence de la zone d'upwelling au sud de Madagascar et du courant côtier du sud-ouest de Madagascar sur la variabilité interannuelle des précipitations de la région Androy. Les données de la température de la surface de la mer (TSM) et de la pluviométrie durant l'Asara sur chaque district sur une période de 1985-2015 ont été respectivement synthétisées et utilisées. La méthodologie consiste à calculer les coefficients de corrélation de Spearman entre TSM et Indice pluviométrique standardisés avec des décalages temporels allant de 1 à 9 mois sur chaque district et de former des analyses composites basées sur les événements excédentaires et déficitaires. Les résultats obtenus indiquent que les anomalies de la TSM observés dans les zones d'upwelling, dans la zone du courant côtier et dans la zone comprise entre (26°S à 27°S) au cours de l'Asotry ont des effets majeurs sur les précipitations de l'Asara pour les districts de Bekily et d'Ambovombe. La persistance de ces anomalies sur ces mêmes zones à partir de l'Asotry et au cours du Faosa a aussi des effets sur les précipitations de l'Asara des districts de Beloha et de Tsihombe. Aussi, les séries de famines survenues dans le district d'Ambovombe sont associées à la baisse de la TSM par rapport à la normale dans ces zones clés.

Mots clés : *Upwelling, courant côtier, région Androy, précipitation*

ABSTRACT

The spatial distribution of rainfall over Madagascar is diverse. Rain is abundant in the East and decrease significantly towards the south. The region of Androy is victim of rainfall deficiency which causes a series famines in the area. This study analyses the influence of the upwelling zone in south of Madagascar and the Southwest Madagascar Coastal Current (SMACC) on the interannual variability of rainfall over the region of Androy. The Sea Surface Temperature (SST) and rainfall data over the period of 1985-2015 from four stations (Bekily, Beloha, Tsihombe, Ambovombe) were used for December-January-February-March (DJFM). The method consists of calculating the Spearman coefficients of correlation between SST and Standardised Precipitation Index with temporal shifts lags ranging from 1 to 9 months from each station. Based on the extreme events (deficit and excess of rain), composites anomalies were analysed. The results showed that SST anomalies observed along the upwelling zone, the costal current zone, and the zone between 26°S and 27°S during April-May-June-July (AMJJ) have a major effects on DJFM precipitation for Bekily and Ambovombe. The SST anomaly persists during April-May-June-July (AMJJ) and August-September-October (ASO) and it affects the variability of rainfall over Beloha and Tsihombe in DJFM. An occurrence of a successive famine is associated with the negative anomaly of SST in the south of Madagascar.

Keywords : *upwelling, costal current, Androy, rainfall*

DIRECTEUR DE MEMOIRE :

Mlle **RAHOLIJAQ Nirivololona**, Docteur Ingénieur de la Météorologie