



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**

MENTION METEOROLOGIE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

Grade : **MASTER**

Titre : **INGENIEUR**

Parcours : systèmes de prévision Météorologiques et hydrologiques

***CONTRIBUTION A L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE
DES SITUATIONS PLUVIOGENES DES ZONES
CLIMATIQUES EST ET NORD-OUEST DE
MADAGASCAR***

Présenté par : Monsieur **RAMANDIMBISOA Marius**

Date de soutenance : **27 Mars 2021**



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO**

MENTION METEOROLOGIE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

Grade : **MASTER**

Titre : **INGENIEUR**

Parcours : systèmes de prévision Météorologiques et hydrologiques

***CONTRIBUTION A L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE
DES SITUATIONS PLUVIOGENES DES ZONES
CLIMATIQUES EST ET NORD-OUEST DE
MADAGASCAR***

Présentée par : RAMANDIMBISOA Marius

Directeur de mémoire : Monsieur RABEFITIA Zoaharimalala

Membres du jury :

- ❖ Le président : Monsieur RAMANAKOTO Toky Nandrasana
- ❖ Les examinateurs :
 - Monsieur RAZAFINDRAKOTO Benjamin
 - Monsieur RAVELOMANANTSOA Sitraka
 - Madame RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzela

REMERCIEMENTS

Je ne pourrais commencer ce mémoire sans remercier Dieu de m'avoir donné la force, la santé, le courage pour la réalisation de ce travail. Sans sa profonde miséricorde, tout ce que je suis à présent est vain.

Je remercie chaleureusement à Monsieur **RAVELOMANANA Mamy**, président de l'université d'Antananarivo, et Monsieur **RAKOTOSAONA Rijalalaina**, directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, de m'avoir inscrit dans son établissement.

Mes remerciements vont également à Monsieur **RAMANAKOTO Toky Nandrasana**, Chef du Département de la Météorologie et maître de conférences, qui me fait l'honneur de présider le jury durant la présentation de ce mémoire.

Je tiens à remercier Monsieur **RABEFITIA Zoaharimalala**, Directeur de ce mémoire, ingénieur en chef de classe exceptionnelle de la météorologie à la DGM et Enseignant à l'ESPA, de toute la confiance qu'il m'a accordé tout au long de la rédaction de ce mémoire, de ses encouragements, de sa patience et surtout de toutes les connaissances professionnelles que j'ai acquies grâce à ses suggestions.

Monsieur et Madame les membres du Jury qui ont accepté de juger mon travail.

- Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Benjamin**, Ancien Chef de service de la Météorologie agricole à la Direction Générale de la Météorologie, Enseignant à l'ESPA, Ingénieur de la Météorologie.
- Monsieur **RAVELOMANANTSOA Sitraka**, Chef de service de la base de données et des archives hydrométéorologique à la DGM.
- Madame **RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzela**, Chef du service des adaptations aux techniques des pointes, directions des recherches et développement hydrométéorologique à la DGM.

Enfin , je remercie à toute ma famille qui m'a aidé moralement et matériellement pour ce mémoire. Leurs conseils et leurs critiques ont été très utiles. Je remercie également mes amis et toute mes collègues pour m'avoir, chacun à sa manière, encouragé et conseillé.

Merci à tous !

LISTE DES ABBREVIATIONS

A

ACP Analyse en Composante Principale

D

DGM Direction Générale de la Météorologie

DEM Digital Elevation Model

E

ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

M

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

N-N-E Nord-Nord-Est

O

OLR Outgoing Longwave Radiation

OMM Organisation Météorologique Mondiale

R

RR Précipitations

S

S-S-E Sud-Sud-Est

Z

ZCIT Zone de Convergence Intertropicale

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES ABREVIATIONS

SOMMAIRE

LISTES DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

Partie I : CONTEXTE DE L'ETUDE

CHAPITRE I : Le climat de Madagascar

CHAPITRE II : zone d'étude et situation pluviogènes

Partie II : DONNEES ET METHODOLOGIE

CHAPITRE I : Les Données et matériels

CHAPITRE II : Démarches et méthodologies

Partie III : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE I : Etude préliminaire

CHAPITRE II : Etude des cas

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIES

WEBOGRAPHIES

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Les principales régions climatiques de Madagascar.....	9
Figure 2:carte climatique du Nord-Ouest de Madagascar.....	10
Figure 3:carte climatique de la côte Est de Madagascar	11
Figure 4:mécanisme de l'effet de foehn.....	12
Figure 5:mécanisme de l'effet de foehn.....	13
Figure 6:Distribution océanique des positions saisonnières moyennes de la ZCIT	15
Figure 7:Les différentes zones affectées par la mousson selon les critères définis par Ramage(1971)	18
Figure 8:interface du logiciel RSTUDIO	25
Figure 9:carte du vent moyen en été 2009-2018.....	29
Figure 10:carte du vent moyen en hiver 2009-2018	30
Figure 11:graphe des précipitations entre 14°S-18°S et 45°E-48°E pendant l'été et hiver pendant 2009-2018. 30	
Figure 12:graphe des précipitations entre 16°S-20°S et 49°E-50°E pendant l'été et hiver pendant 2009-2018 31	
Figure 13:carte moyenne OLR en en été 2009-2018	33
Figure 14:écart-type OLR en été 2009-2018	34
Figure 15:Diagramme de Hovmöller de l'OLR en été, période : 2009 à 2018.	35
Figure 16:carte moyenne RR en été 2009-2018.....	36
Figure 17:écart -type RR en été 2009-2018.....	37
Figure 18:Diagramme de Hovmöller de précipitations en été, 2009-2018	38
Figure 19:carte de corrélation RR-OLR en été du 2009-2018	39
Figure 20:Moyenne de l'OLR pour les mois de a) novembre-décembre b) janvier-février c) mars-avril de la période 2009-2018	40
Figure 21:carte de vent moyen en janvier et Février 2009-2018.....	41
Figure 22: carte de précipitation en janvier 2009-2018.....	42
Figure 23:carte moyennes de l'OLR en janvier 2009-2018	43
Figure 24: variation des précipitations en fonction la longitude.....	44
Figure 25:carte moyenne d'OLR en hiver de 2009-2018.....	45
Figure 26: carte de l'écart-type d'OLR en hiver de 2009-2018.....	46
Figure 27:Diagramme de hovmöller d'OLR en hiver, période : 2009 à 2018.....	47
Figure 28:carte moyenne de RR en hiver 2009-2018	48
Figure 29:écart-type RR en hiver 2009-2018	49
Figure 30:Digramme de Hovmöller de la précipitation en hiver, 2009-2018	50
Figure 31:carte de corrélation RR-OLR en hiver du 2009-2018.....	51
Figure 32:carte de vent moyen en JUL-AOUT-SEP 2009-2018.....	52
Figure 33:carte isobare du 16/08/2012	52
Figure 34: carte de vent moyen du16/08/2012	53
Figure 35:carte de précipitation du 16/08/2012.....	53
Figure 36:carte isobare du 27/08/2015	54
Figure 37:carte du vent moyen du 27/08/2015	55
Figure 38: carte de la précipitation moyenne du 27/08/2015.....	55
Figure 39:carte isobare du 29/07/2017	56
Figure 40:carte du vent moyen du 29/07/2017	57
Figure 41:carte de précipitation du 29/07/2017	57
Figure 42:carte isobare du 24/07/2014	59
Figure 43: vent moyen du 24/07/2014	59
Figure 44:précipitation moyenne du 24/07/2014.....	60
Figure 45:carte isobare du 14/08/2017	61
Figure 46:carte moyen du vent 14/08/2017	61
Figure 47:carte de précipitation moyenne du 14/08/2017.....	62
Figure 48:carte isobare du 21/07/2018	63

Figure 49:carte moyen du vent 21/07/2018	63
Figure 50:carte de précipitation moyenne du 21/07/2018.....	64
Figure 51:carte isobare du 16/09/2016	65
Figure 52:carte moyen du vent 01/09/2019	65
Figure 53:carte de précipitation moyenne du 01/09/2016.....	66
Figure 54: comparaison OLR en été entre Toamasina et Mahatsanga	67
Figure 55: comparaison d'OLR en hiver entre Toamasina et Mahajanga	69
Figure 56:comparaison de RR en été entre Toamasina et Mahajanga.....	70
Figure 57:comparaison de RR en hiver entre Toamasina et Mahajanga	72
Figure 58: moyennes OLR EN Janvier 2009-2018.....	C
Figure 59:moyennes OLR EN Février 2009-2018.....	C
Figure 60:moyennes OLR en Mars 2009-2018.....	D
Figure 61:moyennes OLR en Avril 2009-2018	D
Figure 62:moyennes OLR en Mai 2009-2018.....	E
Figure 63: moyennes OLR en Juin 2009-2018	E
Figure 64:moyennes OLR en Juillet 2009-2018	F
Figure 65:moyennes OLR en Aout 2009-2018.....	F
Figure 66:moyennes OLR en Septembre 2009-2018.....	G
Figure 67:moyennes OLR en Octobre 2009-2018	G
Figure 68:moyennes OLR en Novembre 2009-2018.....	H
Figure 69:moyennes OLR en Décembre 2009-2018.....	H
Figure 70:moyennes RR en Janvier 2009-2018.....	I
Figure 71:moyennes RR en Février 2009-2018.....	I
Figure 72 : moyennes RR en Mars 2009-2018.....	J
Figure 73:moyennes RR en Avril 2009-2018.....	J
Figure 74:moyennes RR en Mai 2009-2018.....	K
Figure 75:moyennes RR en Juin2009-2018	K
Figure 76:moyennes RR en Juillet 2009-2018.....	L
Figure 77:moyennes RR en Aout 2009-2018	L
Figure 78:moyennes RR en Septembre2009-2018	M
Figure 79:moyennes RR en Octobre 2009-2018.....	M
Figure 80:moyennes RR en Novembre 2009-2018.....	N
Figure 81:moyennes RR en Décembre 2009-2018.....	N

TABLEAU

Tableau 1:classification des vents.....	22
---	----

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Répartition mensuelle de l'OLR sur la région de Madagascar.

Annexe 2 : Répartition mensuelle de précipitations sur la région de Madagascar.

INTRODUCTION

Madagascar se trouve dans le bassin Sud-Ouest de l'Océan Indien. Les précipitations font partie des éléments climatiques les plus déterminants. En effet, la situation géographique de notre île nous rend particulièrement vulnérable aux effets des différents phénomènes qui se produisent dans les parties tropicales. Le fait que Madagascar soit encerclé, d'une part, par l'Océan indien à l'Est, qui est un lieu de rencontre par les Alizés, et d'autre part, par le canal de Mozambique à l'Ouest lieu de déplacement des régimes du Mousson. Ce passage de ses différents phénomènes est l'une des causes de la formation des précipitations dans la partie Ouest et Est de Madagascar. C'est pourquoi ce présent mémoire s'intitule : « *CONTRIBUTION A L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE DES SITUATIONS PLUIVIOGENES DES ZONES CLIMATIQUES EST ET NORD-UEST DE MADAGASCAR* ».

Pour cela notre travail se fera en trois parties telles : la première partie parlera des contextes sur cette étude, suivie de la deuxième partie qui nous entamerons les données, les outils et méthodologies employées et enfin les présentations et interprétations des résultats.

PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE

Chapitre I: Le climat de Madagascar

Le climat de Madagascar est conditionné par quatre facteurs : sa position géographique, son relief, l'influence maritime et le régime des vents.

I.1. Présentation de Madagascar :

I.1.1. Situation géographique :

Madagascar, est une grande île (560 000km²), allongée du N-N-E ou S-S-O entre le 12° et le 26° de latitude Sud, elle est située au Sud-Ouest de l'Océan Indien, à proximité de l'Afrique Orientale, Bien que tout entier située dans la zone tropicale.

I.2. Les saisons à Madagascar :

On distingue deux saisons principales à Madagascar qui sont bien distincts l'une de l'autre.

I.2.1. L'hiver austral :

Cette saison s'étend du mois de mai au mois d'Octobre, caractérisée par un climat « humide au vent », c'est-à-dire présence des pluies stratocumulus pendant la saison à l'Est de l'île et un climat « sous le vent » à l'Ouest qui se présente sous une forme de sécheresse. [1]

Le seul centre d'action étendant son influence à Madagascar pendant cette saison est l'anticyclone océanique situé au sud des Mascareignes. Il dirige, de façon quasi permanente, sur la grande île, un régime d'alizés humides, d'épaisseur comprise entre 2 000 et 4 000m surmontés de vents d'ouest subsidient, donc très secs. [2]

Elle est un peu affaiblie en saison chaude par les autres centres d'action mais son influence ne disparaît jamais totalement. Pendant cette saison, la côte Est, les versants correspondants et la partie orientale des plateaux sont soumis à un temps très nuageux, mais subissant fortement l'évolution diurne. Les précipitations ont lieu sous forme de pluies faibles ou modérées sur le littoral et les versants, de crachins sur la partie orientale des plateaux. La limite du temps orageux est grossièrement parallèle à la côte orientale, mais subit des fluctuations zonales en fonction de l'activité des alizés, elle-même liée à l'épaisseur de la couche humide. [2]

Cette situation moyenne est perturbée par les expulsions polaires en direction de l'Equateur. Lorsque celles-ci ont lieu sur la face orientale de l'anticyclone océanique, elles se

traduisent sur Madagascar par une augmentation de l'épaisseur de la couche humide, une accélération des vents alizés, une extension vers l'ouest de la zone nuageuse et une intensification des précipitations sur les régions orientales. Il peut même y avoir débordement de ces précipitations sur les régions de l'extrême nord-ouest de Madagascar. [2]

Si l'expulsion se fait en direction de Madagascar, sa limite antérieure s'accompagne d'un creux barométrique dont l'approche se traduit par une diminution de l'épaisseur de la couche humide, une amélioration des conditions atmosphériques sur les régions orientales et un recul vers l'Est de la limite de la zone nuageuse. [2]

1.2.2. L'été :

Elle est une saison chaude et humide qui commence le mois de Novembre et se termine au mois d'Avril et est caractérisée par une instabilité orageuse presque quotidiennement sur toutes les régions due à l'affaiblissement de l'anticyclone et l'intervention de la ZCIT, et parfois des cyclones tropicaux.

Ces deux types de temps les plus fréquents sont ceux résultant d'une part, de la descente vers le sud de la ZCIT et d'autre part, des perturbations cycloniques plus ou moins creusées et de faible diamètre sur l'Océan Indien et le canal du Mozambique (cyclones tropicaux).

La subsidence dans les couches moyennes observées en saison fraîche a disparu et l'instabilité convective peut se développer en toutes régions. La zone des basses pressions marque, à la latitude de Madagascar, la limite entre le régime de nord-ouest de sa face équatoriale et celui du secteur est de sa face polaire. Il y a donc convergence des deux flux et les mouvements ascendants sont favorisés. L'instabilité orageuse peut se développer et c'est donc la position de la zone de convergence qui en contrôle l'importance à Madagascar. En dehors de cette zone, elle reste en général modérée.

La position de la ZCIT est sous la dépendance des individus polaires de l'hémisphère sud et de l'anticyclone d'Arabie.

Le climat de l'été est caractérisé par l'affaiblissement de l'anticyclone et l'influence de la Zone de Convergence Intertropicale ou ZCIT (zone de rencontre entre l'Anticyclone et la dépression). Durant cette saison de mois de Novembre au mois d'Avril, le ZCIT une instabilité orageuse presque tous les jours sur la totalité des régions de Madagascar. Et, même si l'anticyclone s'affaiblit et le régime d'Alizé devient moins régulier, son influence est

toujours présente sur la partie Est de l'île. C'est au cours de cette période que les cyclones tropicaux peuvent se produire dans le Sud-est de l'Océan Indien.

Les cyclones tropicaux sont des perturbations très importantes et très violentes se présentant sous forme de tempêtes dépressionnaires qui intéressent une plus ou moins grande partie de Madagascar durant la saison chaude et y créent, pendant une période de durée variable (une semaine à quinze jours) un type de temps très particulier caractérisé généralement par l'abondance des précipitations.

Durant cette saison alors, le climat est généralement chaud et humide.

I.2.3. Les intersaisons :

L'intersaison marque le passage d'une saison à une autre. Avec les deux principales saisons de l'île, on fait face alors à deux plus ou moins longues intersaisons. La première, c'est au cours de la transition saison chaude- saison fraîche (avril-mai), où le climat tend progressivement vers celui d'un climat hivernal. Le second passage est entre le mois de Septembre et Octobre où l'on passe de la saison fraîche à la saison chaude. Durant ce temps, les périodes d'instabilité sont séparées par des périodes de « temps d'alizés » induisant à des orages fréquents en fin d'après-midi ou en début de nuit.

I.3. Variation des éléments caractéristiques du climat : [2]

Le climat de Madagascar est, entre autres, caractérisé par le régime des précipitations et de la température qui sont les paramètres les plus exploités sur l'île. Cependant, nous examinerons aussi les paramètres qui interviennent dans la caractérisation du climat de Madagascar tels que le vent, l'évaporation, l'insolation.

I.3.1. Précipitations :

Le régime pluviométrique est très varié dans la grande île. En effet, il varie d'une saison à l'autre mais aussi d'une région à une autre.

Durant l'été (saison chaude) la partie Est de l'île est la plus arrosée avec plus de 3.000mm de pluie par an, tandis que la partie Sud est la plus sèche avec moins de 400mm de pluie annuelle. Le nombre moyen de jours de pluie est compris entre 30 et 250 jours par an, et 90 à 95% de ces pluies tombent pratiquement.

Durant la saison fraîche, une diminution progressive de la quantité de précipitation se produit dans toute île. Toutefois la partie Est de Madagascar bénéficie encore d'une quantité

importante de précipitation : il n'existe pas de saison sèche bien définie mais seulement une diminution des précipitations en Septembre et Octobre.

I.3.2. Températures :

Durant l'hiver la température varie de 9°C à 31°C.

Cette minimum de 9°C est observé au mois de Juillet sur les régions des Hautes-Terres, et le maximum de 31°C sur la côte Ouest durant la saison chaude (Janvier et Février) où la température est toujours élevée ($> 25^{\circ}\text{C}$), tandis que sur la côte Est, la moyenne des températures est de 23°C.

I.3.3. Humidité relative :

Durant l'hiver le versant oriental a une valeur d'humidité relative supérieure à 80%, c'est-à-dire humide.

Tandis que la partie occidentale est pratiquement sèche avec une valeur de l'humidité relative comprise entre 40% et 60% ; 42% est observée dans la région d'Atsimo-Andrefana.

Pendant l'été cette variation varie de 60 à 90%. Ce maximum est observé sur la partie orientale, et le minimum dans la région d'Atsimo-Andrefana.

I.3.4. Humidité spécifique :

L'humidité spécifique (ou teneur en eau) H_s ou (q), est par définition, le rapport entre la masse volumique de la vapeur d'eau et la masse volumique de l'air humide.

I.3.5. Vent :

Pendant la saison fraîche, le vent principal de Madagascar est l'alizé de Sud-Est provenant de l'anticyclone semi-permanent de l'Océan Indien et dont la régularité est remarquable de Juin à Août. Le maximum de force de vents supérieur à 9 m/s est enregistré sur les régions de Sava, et Diana.

En été, le vent de Nord-Ouest (la mousson) s'établit sur le Nord-Ouest et Centre-Ouest, ainsi que sur les parties occidentales des Hautes-Terres.

Le vent à Madagascar est spécifiquement réglé par la présence de la cellule de hautes pressions dans l'Océan Indien qui engendre les vents d'alizé (s'écoule en direction de l'est).

La saison fraîche est alors marquée par ces derniers (vents d'alizé).

Et durant la saison chaude, ils sont moins réguliers et moins actifs. La descente vers le sud de la ZCIT amène des vents de secteur nord-ouest présentent certains caractères de l'alizé.

La vitesse du vent est très marquée pendant la saison de pluie ou en été, puisque les orages renforcent celle-ci.

- Les vents d'alizés sont des vents de secteur Est à Est-Sud-Est qui soufflent toute l'année sur la face équatoriale des hautes pressions de l'Océan Indien. Ils proviennent des masses d'air d'origine polaire méridionale ayant parcouru un long trajet sur des mers de plus en plus chaudes. Cet air présente une humidité relative importante, une température élevée et une instabilité très grande. L'action des alizés est la plus puissante et la plus régulière ; les autres masses d'air peuvent la contrarier sans jamais l'effacer complètement.

- Les vents du Nord-Ouest sont observés au nord de la zone des basses pressions intertropicales lorsque celle-ci se trouve sur Madagascar pendant l'été austral. Ils ont leur origine dans l'hémisphère Nord et ne sont autres que les alizés de cette région déviés par la traversée de l'équateur et probablement aussi par le relief africain. Ils sont souvent qualifiés de "mousson de Nord-Ouest". Ces masses d'air sont très instables, chaudes et humides par suite d'un long parcours sur des mers chaudes. Ces vents du Nord-Ouest n'ont pas, la constance de l'alizé en saison fraîche ; on constate une alternance des influences des alizés et des vents du nord-ouest lors des descentes vers le sud, plus ou moins prononcées, de la ZCIT.

- Par intermittence on observe des vents d'Ouest sur la partie méridionale de l'île. Ces vents d'ouest sont provoqués par le passage de la partie septentrionale des creux barométriques qui accompagnent la limite antérieure de l'air polaire entraîné par les perturbations du front polaire. Ces vents sont peu persistants, mais provoquent sur les régions méridionales de Madagascar un apport d'air plus frais que celui entraîné par les alizés. L'extension de cet air frais est en général très limitée et ne dépasse que rarement le tiers méridional de la Grande Ile. Il arrive parfois (cas du mois d'août 1961) que l'air froid amené par l'anticyclone méridional soit assez peu dégénéré. On constate alors une baisse très importante des températures sur le sud de l'île, baisse qui peut se manifester assez loin vers le nord dans la mesure où la circulation anticyclonique est suffisamment puissante. Une invasion d'air froid de ce type, en août 1961, a provoqué une des rares, mais importante, chute de neige sur le Pic BOBY dans le massif de l'Andringitra.

I.3.6. Insolation et rayonnement solaire :

Madagascar fait profit du soleil durant toute l'année. Bien que l'insolation et le rayonnement solaire sont peu exploités dans le pays, on peut dire que le sud-ouest de l'île présente des durées d'ensoleillement le plus importante (d'ordre de 2500h) soit 60% de la durée théorique.

Ces deux paramètres augmentent sensiblement de valeurs durant la saison fraîche. En effet, c'est durant cette période qu'il y a une faible nébulosité.

I.4. Les régions climatiques de Madagascar :

Comme dans toute région tropicale, les divisions climatiques à Madagascar sont basées sur le régime des pluies. On peut ainsi noter [1] des régions sans saison sèche, des régions à deux saisons, une sèche, l'autre humide, et des régions uniformément sèches.

On a subdivisé Madagascar en 5 principales régions climatiques. [2]

I.4.1. PLATEAUX :

Cette région comprend l'intérieur de l'île au-dessus de 700m. Elle s'élève jusqu'à plus de 2800m dans le massif du Tsaratanana, de 2 600m dans l'Andringitra et dans l'Ankaratra. Dans la période allant de Mai à septembre, les zones situées au-dessus de 1 500m sont parfois intéressées par des gelées et deux cas de chutes de neiges ont été observés sur l'Andringitra, le 8 Août 1961 et le 29 juillet 1963.

Le climat des plateaux est généralement tempéré vers 1 200m, la température moyenne annuelle oscille de 18 à 22°C. Les variations locales du climat sont très importantes suivant l'exposition et l'altitude. Ainsi, le maximum absolu de 40°C a été observé à Betroka en novembre 1955 et le minimum absolu de -8.5°C en juillet 1963 et août 1964.

La hauteur de pluie varie de 1 250mm à 1 900mm, mais l'Andringitra et le Tsaratanana en reçoivent plus de 2 500mm. Dans la dépression du Lac Alaotra, notablement plus chaude que les régions voisines, la hauteur de pluie annuelle est de l'ordre de 1 000mm.

Les pluies sont presque entièrement limitées à la période octobre-avril ; toutefois, une zone large de 50 à 100km en bordure de la forêt de l'Est compte de 30 à 40 jours de bruine (crachin) pendant la saison sèche.

Le début de la saison des pluies se produit suivant les années entre la deuxième décennie d'octobre et la première décennie de décembre. La fin de la saison des pluies a lieu entre la troisième décennie de Mars et la troisième décennie de Mai.

Il y a lieu de signaler également l'existence d'un minimum net des précipitations, soit pendant la troisième décennie de janvier, soit pendant la première décennie de février.

I.4.2. COTE-EST

Cette région jouit d'un climat chaud et humide. Exposée directement aux courants d'alizés, elle reçoit plus de 2500mm de pluie par an avec un maximum de 3700mm dans la baie d'Antongil et un minimum (900mm à 1600mm) aux extrémités Nord et Sud.

Les pluies sont particulièrement abondantes de janvier à avril ; elles sont minimales en septembre-octobre (bien que ces mois comportent encore en moyenne 7 à 15 jours de pluie). Il existe aussi un minimum relatif en mai entre les pluies d'été et d'hiver.

La température annuelle moyenne est d'environ 24°C, les températures extrêmes absolues sont de 36.8°C à Diégo-Suarez et de 35.4°C à Fort-Dauphin (pour les maximum), de 14.6°C à Diégo-Suarez et de 8.8°C à Fort-Dauphin (pour les minimum).

I.4.3. COTE OUEST ET PLAINE BASSE DE L'OUEST

Le climat de cette région est chaud et sec. La température annuelle moyenne est comprise entre 24°C (Sud) et 27°C (Nord). Le maximum absolu a été 40.4°C à Tuléar en février 1962, le minimum absolu de 5.1°C à Morombe en Août 1948.

La pluviosité moyenne annuelle diminue du nord au sud passant de 1 910mm à Analalava à 340mm (Tuléar-Androka). La saison sèche est particulièrement bien marquée et s'étend de Mai à octobre. Le maximum de précipitations est observé en janvier dans la moitié Nord et en février dans la moitié sud de cette région.

I.4.4. SAMBIRANO-NOSY-BE :

Le climat de cette partie de l'île est analogue à celui de la côte Est : chaud et humide avec des pluies annuelles assez abondantes (2 000 à 2 500mm), dont près de 15% tombent en hiver.

Les mois de décembre à mars sont les plus pluvieux. Le maximum mensuel a été observé en janvier 1941 à Hell-Ville avec 1001.5mm.

La température annuelle moyenne est d'environ 26°C. Les maximums absolus ont été de 39°C à Hell-Ville (mars 1931) et de 45°C à Ambilobe (novembre et décembre 1928) ; les minimums absolus de 13.2°C à Fascène (juillet 1963) et 10.5°C à Ambilobe (juillet-août 1964).

I.4.5. EXTREME SUD

Cette région est caractérisée par une grande variabilité de climat qui s'apparente à celui d'une zone semi-aride. Elle reçoit de 340mm à 750mm de pluie par an. La répartition en est très irrégulière au cours de l'année. On peut néanmoins mettre en évidence une petite saison des pluies de durée très variable (4 à 17 décades), commençant en octobre ou en janvier, pour se terminer soit en janvier soit au début de Mai. Des sécheresses s'étendant sur plusieurs mois peuvent se produire (4 mois en 1943).

La température moyenne annuelle de cette région est d'environ 24°C. Le maximum absolu a été de 46.5°C à Tranoroa (novembre 1936) et le minimum absolu de 2°C à Ampotaka-Marolinta (juin 1961)



Figure 1: Les principales régions climatiques de Madagascar

(Source : CONTRIBUTION A L'ETUDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE MADAGASCAR)

Chapitre II : zone d'étude et situation pluviogènes :

II.1. Zone d'étude :

Selon le titre de cet ouvrage, notre zone d'étude est la partie Nord-Ouest et la partie Est de Madagascar vu qu'on a constaté une variabilité climatique saisonnière et régionale remarquable sur ces parties de l'île.

Les cartes suivant montrent les délimitations climatiques de ces deux zones.

La zone climatique Nord-Ouest est constituée par la région Sofia, Betsiboka, Melaky, Menabe et Boeny.

La zone climatique Est est constitué par la région Sava, Analanjirifo, Antsinanana, Vatovavy-fitovinany et Atsimo andrefana.

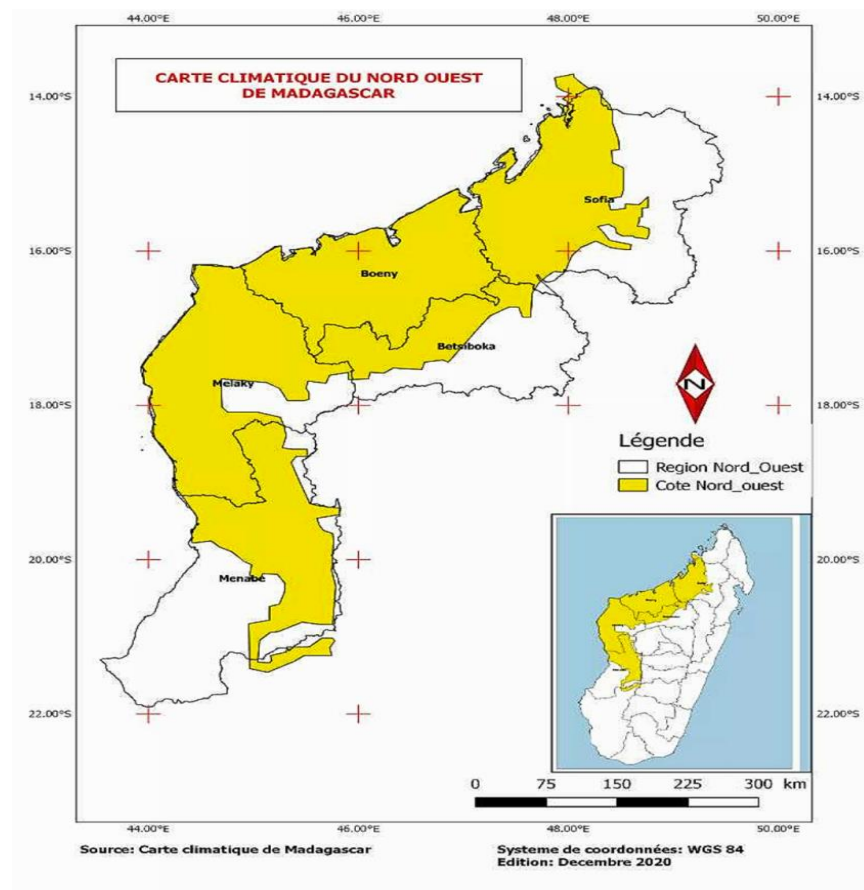


Figure 2:carte climatique du Nord-Ouest de Madagascar

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

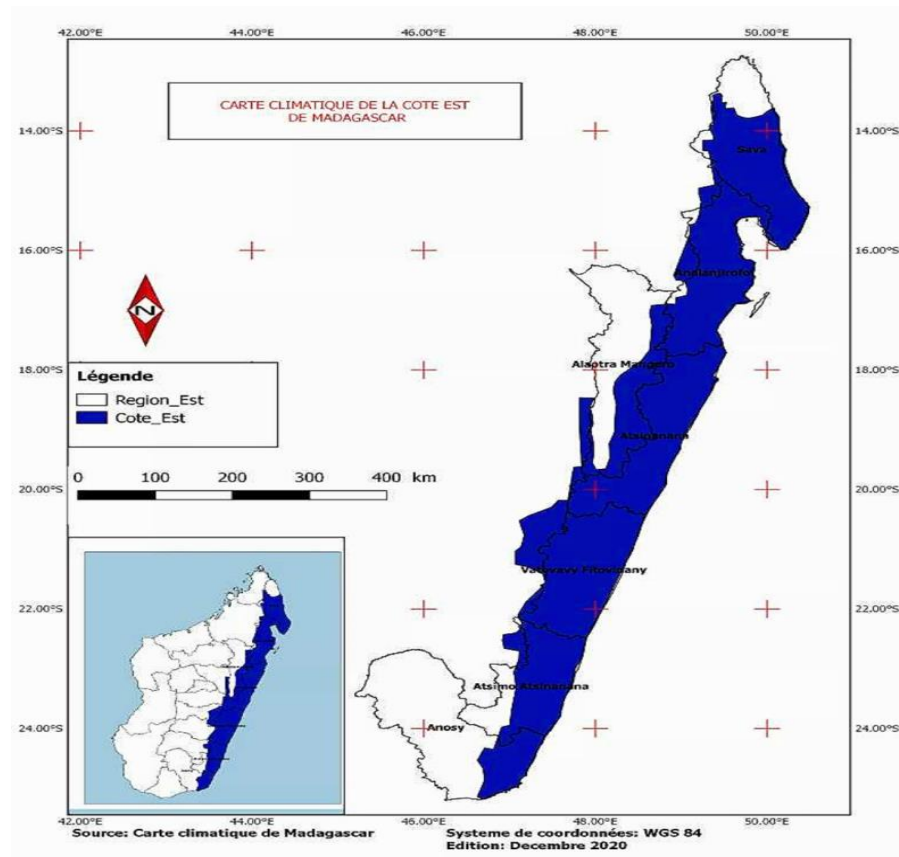


Figure 3: carte climatique de la côte Est de Madagascar

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

II.2. Situations pluviogènes :

II.2.1. Effet orographique (ou effet de FOEHN) :

II.2.1.1. Définition : [3]

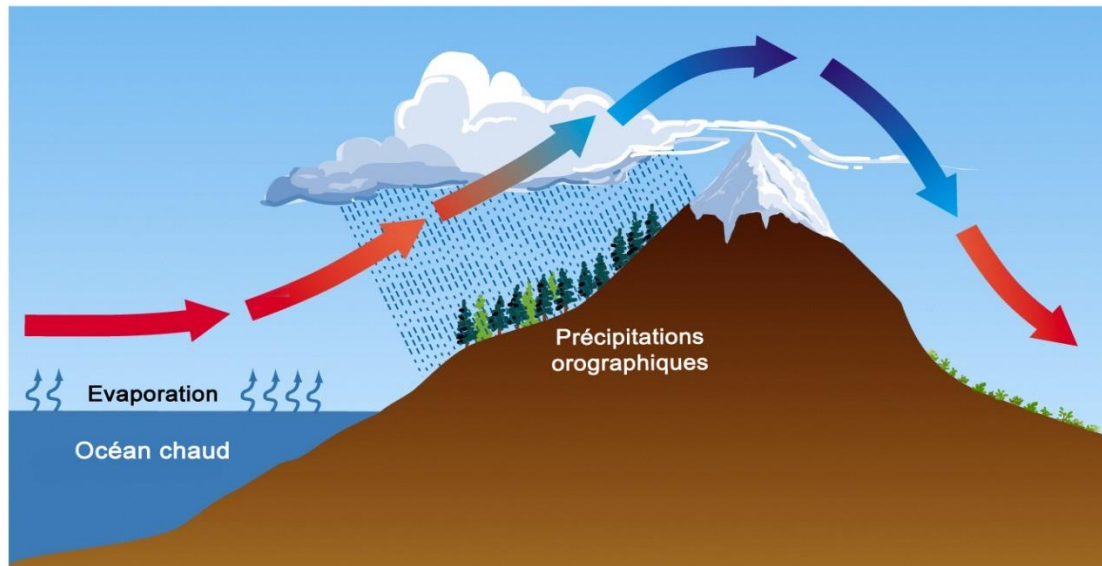


Figure 4: mécanisme de l'effet de foehn

[Source : [3] Stéphanie, GUEDJ. EUMETSAT. 2005]

Le Foehn est un vent chaud et sec qui descend le long des versants sous le vent. Une masse d'air rencontre un obstacle, les Alpes dans le cas du Foehn. La masse d'air est alors contrainte de s'élever. C'est le phénomène d'ascendance. Il se forme alors une masse nuageuse au-dessus du versant au vent. Après le passage de l'obstacle la masse d'air descend le long du versant sous le vent et se réchauffe. Ceci est le phénomène de subsidence.

Le réchauffement provoque la dissipation des nuages. Plus précisément, lors de la rencontre de l'obstacle, l'air atteint des zones de moindre pression et il s'opère un refroidissement adiabatique d'environ 1°C par 100m. Cependant, la formation des nuages par ascendance provoque fréquemment des précipitations et pendant ce temps la vitesse de refroidissement adiabatique est plus lente, $0,5^{\circ}\text{C}$ par 100m. L'air se trouve alors asséché au niveau de la crête. Après le passage de l'obstacle, l'air sec redescend le long du versant sous le vent et se réchauffe de même d' 1°C par 100m. Ainsi le nuage s'évapore et il se forme une zone de « beau temps ». Par conséquent le refroidissement s'effectue plus lentement que le réchauffement. Il semble donc normal qu'à altitude égale, de part et d'autre du relief, des températures différentes soient observables.

II.2.1.2. Mécanisme :

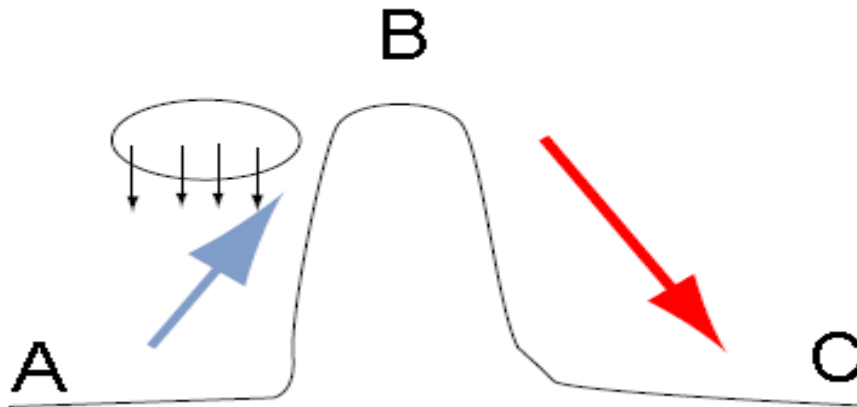


Figure 5: mécanisme de l'effet de foehn

[Source : [3] Stéphanie, GUEDJ. EUMETSAT. 2005]

A. Elévation de la base des nuages

Au cours du soulèvement forcé sur le relief, la température des particules d'air inférieures diminue le long d'une adiabatique sèche jusqu'au niveau de condensation (base du nuage au vent du relief) et le long d'une pseudo-adiabatique saturée ensuite.

Les précipitations qui interviennent sur le versant au vent du relief entraînent une diminution de la quantité d'eau liquide contenue dans le nuage. En conséquence, au cours de la descente le long du versant sous le vent du relief, l'évaporation de l'eau du nuage sera terminée plus tôt, de ce fait, la base du nuage se trouvera à un niveau plus élevé, c'est le chapeau de foehn.

B. Hausse de la température

Lorsque l'évaporation est terminée, la température de l'air augmente le long d'une adiabatique sèche. La représentation graphique sur un diagramme thermodynamique des transformations subies montre de manière péremptoire l'augmentation de température jusqu'à 10° -engendrée par le passage de l'air au-dessus de relief (température T_1 à l'avant du relief, T_2 à l'arrière).

C. Diminution de l'humidité relative

Les précipitations constituant une réduction de l'eau contenue dans les nuages, elles entraînent une diminution du rapport de mélange, w . De plus une augmentation du rapport de mélange saturant w_s , résultent de la hausse de température ; la diminution de l'humidité relative ($100w/w_s$) est donc évident.

II.2.2. La ZCIT : [4]

La zone de convergence intertropicale (ZCIT) désigne la région vers laquelle convergent les vents alizés (ou front des alizés) des deux hémisphères : de direction NE-SW dans l'hémisphère nord et SE-NW dans l'hémisphère sud. Le soulèvement de grande ampleur provoque alors le déclenchement des phénomènes convectifs. Egalement appelée « équateur météorologique », elle constitue une ceinture de basses pressions de direction Est-Ouest sur tout le pourtour du globe. Les gradients thermiques y sont faiblement marqués, permettant l'ascendance des masses d'air chargées en vapeur d'eau. La zone de l'équateur thermique est variable selon la saison et selon le lieu, mais généralement située à la latitude de l'air le plus chaud. Elle est liée à la position de la latitude d'insolation maximale qui varie au cours de l'année selon les saisons avec un décalage moyen de 6 à 8 semaines. Du fait de la plus grande inertie thermique des océans, le décalage temporel atteint 10-12 semaines sur l'Atlantique et le Pacifique Est.

Le climat est dû à la variation des paramètres météorologiques observés durant une longue période. En effet, lorsqu'on parle des caractéristiques climatiques, on se réfère immédiatement aux traits moyens de ces paramètres.

Les paramètres météorologiques sont alors les éléments qui décrivent quantitativement et qualitativement l'atmosphère. La durée de la manifestation de ces paramètres dans une région donnée définit alors le temps ou bien le climat.

La figure ci-dessous représente la position saisonnière moyenne de la ZCIT dans le monde.

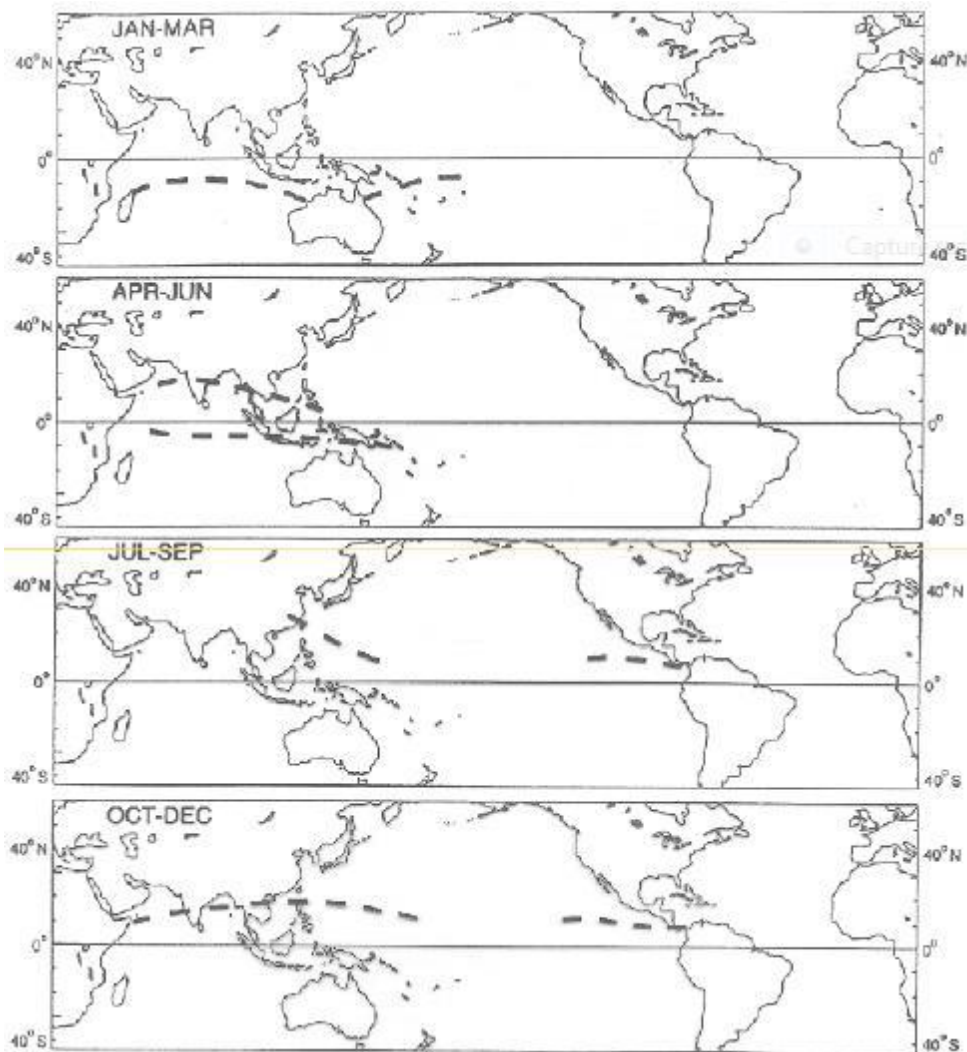


Figure 6: Distribution océanique des positions saisonnières moyennes de la ZCIT

[Source : (5)]

- En janvier, la ZCIT atteint sa position la plus méridionale : elle descend alors profondément sur l'Afrique de l'est, jusque vers 15 à 20 degrés de latitude, et reste enfoncée dans l'hémisphère Sud sur l'océan Indien où elle marque la frontière de la mousson d'hiver.

- En juillet, au contraire, la ZCIT atteint sa position la plus septentrionale et dessine très haut vers le nord les frontières de la mousson d'été au-dessus de l'Afrique sahélienne et de l'Asie du Sud-est, frontières qui, sur le sous-continent indien, font face à l'Himalaya. [6]

II.2.3. L'alizé :

Le type de temps d'Alizé actif est le plus fréquent sur Madagascar. Les flux de secteur Est apportent des masses d'air humide dans leurs basses couches qui s'élevant sur la falaise orientale. Engendrent un temps nuageux et pluvieux sur la côte Est. Mais dès la ligne

faitière passée, l'affaissement de l'air détermine un temps ensoleillé, chaud et sec sur l'Ouest et le Sud. [5]

Le régime anticyclonique détermine les types de temps les plus fréquents, les plus présents et les plus étendus sur Madagascar. Ils résultent soit de l'influence exercée par l'anticyclone mobile méridional passant au Sud de l'île et étendant sur elle une dorsale à axe subméridien, soit l'action de l'anticyclone de l'océan indien qui engendre alors les types de temps d'alizé.

Madagascar est en effet située sur la bordure occidentale d'une cellule quasi permanente de hautes pressions océaniques au voisinage d'un col séparant celles-ci des hautes pressions continentales d'Afrique australe. De la paroi équatoriale des hautes pressions indiennes s'échappe un flux d'air de secteur Est, l'alizé. En surface, comme en moyenne troposphère, les courants de secteur Est prédominent sur Madagascar ainsi que l'attestent les roses des vents des stations malgaches si bien que l'on peut dire que l'île appartient avant tout au domaine de l'alizé.

Les hautes pressions Indiennes sont centrées entre 30° et 35°S selon la saison : en hiver elles se rapprochent de Madagascar mais elles s'éloignent en été ; parallèlement leur puissance varie : souvent moins de 1 020 mb en saison chaude mais souvent plus de 1 030, voire 1 040 mb en saison fraîche. [5]

Pour mener l'étude on peut les classer sous trois catégories :

- Alizé faible quand la pression au centre de l'Anticyclone est moins de 1030 mb
- Alizé modéré quand la pression au centre est entre 1030 à 1035 mb
- Alizé forte quand la pression au centre est supérieure à 1035 mb.

II.2.4. La convection atmosphérique :

La convection atmosphérique désigne l'ensemble des mouvements internes de l'atmosphère terrestre résultant d'une instabilité de l'air due à une différence de température verticale ou horizontale. Son intensité dépend du taux de décroissance de cette température et donne des mouvements organisés dans la couche d'air instable, entraînant des transferts verticaux de chaleur, de quantité de mouvement et d'humidité. Le mouvement convectif peut se produire autant à partir du sol qu'en altitude dans une couche d'air instable plus ou moins épaisse. Il est donc possible de parler de convection profonde ou restreinte ce qui influencera ses impacts. [6]

Les processus ou les phénomènes qu'elle est capable de générer à certaines échelles spatio-temporelles sont qualifiés tout simplement de convectifs. Ils sont pourtant loin de représenter l'ensemble des processus et des phénomènes caractérisés par des mouvements verticaux, mais c'est parmi eux que se trouvent des phénomènes clés de la météorologie, comme les brises, les orages, les cyclones tropicaux ou les moussons. [6] [7]

Par définition, l'OLR est l'énergie rayonnant de la Terre sous forme de rayonnement infrarouge à faible énergie vers l'espace. De plus, c'est le rayonnement électromagnétique émis par la Terre et son atmosphère dans l'espace sous la forme d'un rayonnement thermique. Le flux d'énergie transporté par le rayonnement à ondes longues sortant est mesuré en $W.m^{-2}$. [6] [8]

Plus de 99% du rayonnement sortant à ondes longues a des longueurs d'onde comprises entre 4 μm et 100 μm , dans la partie infrarouge thermique du spectre électromagnétique. Les contributions avec des longueurs d'onde supérieures à 40 μm sont faibles, c'est pourquoi souvent seules les longueurs d'onde allant jusqu'à 50 μm sont considérées. Dans la gamme de longueurs d'onde comprise entre 4 μm et 10 μm , le spectre du rayonnement à ondes longues sortant chevauche celui du rayonnement solaire, et pour différentes applications, différentes longueurs d'onde de coupure peuvent être choisies entre les deux. [8]

II.2.5. La mousson :

II.2.5.1. Définition :

La mousson est le nom d'un système de vents périodiques des régions tropicales, actif particulièrement dans l'Océan Indien et l'Asie du Sud et dont la direction est inversée de manière persistante et avec une régularité surprenante chaque année. [9] [10]

Le mot *mousson* proviendrait du mot arabe *mawsim* qui signifie saison et désigne notamment la saison favorable à la navigation vers l'Inde dans l'Océan Indien. En effet, il est également employé pour désigner. [9]

- La saison pendant laquelle le vent souffle dans le Sud-ouest de l'Inde et les régions Voisines en été boréal et dans le Nord-Ouest de l'Océan Indien en été austral
- Les précipitations très fortes qui sont associées à ce vent
- Les inversions saisonnières de la direction du vent le long des rivages de l'Océan

- Indien (en particulier dans la mer d'Oman et le golfe du Bengale) ; qui souffle du Sud-ouest pendant six mois et du Nord-est pendant l'autre semestre.

II.2.5.2. Les zones soumises au régime des moussons :

Les moussons affectent en général les régions situées sous des latitudes moyennes, près des Tropiques. L'Inde et l'Asie du Sud Est sont les régions où ce phénomène se manifeste avec le plus d'intensité, même s'il concerne aussi les régions tropicales et subtropicales de l'Australie et de l'Afrique. [9]

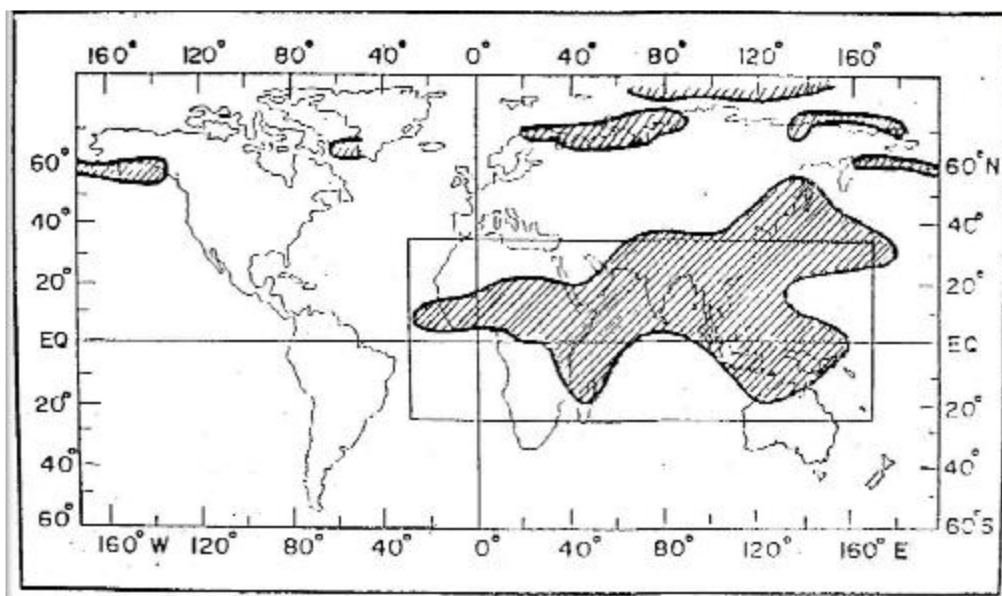


Figure 7: Les différentes zones affectées par la mousson selon les critères définis par Ramage(1971)

[Source : [11] Wikipédia, <http://fr.wikipedia.org/wiki/vent.htm>]

Géographiquement, les zones affectées potentiellement par la mousson sont très importantes tant du point de vue surfacique que démographique. En effet, 55% de la population mondiale se situent dans ces zones. La mousson est par conséquent un caractère prédominant dans le climat des zones tropicales, en particulier autour de l'Océan Indien.

II.2.6. Cyclone Tropicaux :

On appelle cyclone une dépression très creuse, d'origine tropicale, c'est dire qui naît sous l'influence ses forte chaleurs combinés aux eaux très chaudes des latitudes tropicales. Ainsi, lorsqu'un certain nombre de condition sont réunis des nuages convectifs se développent et s'enroule autour d'un centre de rotation, et lorsque la pression atmosphérique baisse, une dépression se matérialise.

C'est un phénomène de saison, qui ne se forme que dans les zones tropicales, au-dessus des océans de Mai à Décembre pour l'hémisphère Nord et de Novembre à Avril pour l'hémisphère Sud. [12]

II.3. Les paramètres météorologiques étudiés :

II.3.1. Précipitations

Définition et unité

Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui, formés après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évapore avant de l'atteindre (viagra).

Elles sont mesurées en mm d'équivalence en eau, autrement dit en litre par mètre carré de surface horizontale.

- Liquide :
 - Pluie
 - Bruine
 - Pluie verglaçante/bruine verglaçante
- Solide :
 - Neige
 - Neige en grains
 - Neige roulée
 - Grésil
 - Grêle
 - Granule de glace
 - Cristal de glace

Instrument de mesure

Les précipitations sont généralement mesurées à l'aide d'un pluviomètre à lecture directe ou à l'aide d'un pluviographe.

Le pluviomètre conçu pour la mesure de la quantité d'eau tombé dans un endroit donné, est équipé d'un récipient cylindrique dont l'extrémité est en forme d'entonnoir et d'une échelle graduée (en mm).

Le pluviographe de nos jours est beaucoup plus sophistiqué car il permet de mesurer en même temps la quantité des précipitations, l'intensité et la durée des pluies.

II.3.2. OLR (Outgoing Longwave Radiation) :

L'OLR est la quantité d'énergie émise dans l'espace par la surface de la Terre, les océans et l'atmosphère. Le flux d'énergie transporté par ce rayonnement est mesuré en watts par mètre carré (W/m²).

Il s'agit d'un élément essentiel du budget de rayonnement de la Terre. Dans un contexte différent, les valeurs d'OLR sont souvent utilisées comme substitut de la convection dans les régions tropicales et subtropicales, car les températures au sommet des nuages sont un indicateur de la hauteur des nuages. Les observations OLR sont effectuées via l'instrument AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) à bord du satellite NOAA en orbite polaire. [13]

II.3.3. Pression atmosphérique :

La pression atmosphérique est la pression qu'exerce le mélange gazeux constituant l'atmosphère considérée sur une surface quelconque en contact avec elle.

$$P_h = P_0 e^{\frac{-mgh}{kT}} \quad (\text{II.3.3 } 1)$$

P_h : Pression à hauteur h

P_0 : Pression au niveau de la mer

g : accélération due à la gravité

k : constante de Boltzmann (constante universelle des gaz parfaits divisée par le nombre d'Avogadro)

T : température absolue

m : masse d'une molécule d'air

II.3.4. Les températures de surface de la mer :

La température de surface de la mer est la température dans une couche plus ou moins importante près de la surface de la mer qui peut varier selon la méthode de mesure. C'est au niveau de cette couche que se produisent les interactions entre l'océan et l'atmosphère

qui gouvernent le climat et cette température est donc critique sur le développement des systèmes météorologiques. Elle l'est également sur le type et la quantité d'organismes vivants dans les profondeurs de la mer. [7]

La température de surface de la mer (Sea Surface Temperature - SST - en anglais) correspond à la température de la couche d'eau proche de la surface et dont l'épaisseur, plus ou moins importante, est en général de l'ordre de quelques mètres. C'est un paramètre difficile à définir précisément car dans cette couche supérieure de l'océan, la structure thermique verticale est relativement complexe et variable. [6]

On distingue en général plusieurs températures de surface de la mer :

- la température à l'interface air - mer (SST_{int}),
- la température de "peau" (SST_{skin}),
- la température "sous la peau" (SST_{sub-skin}),
- la température de surface "profonde" (SST_{depth} ou SST_{bulk}) et
- la température de "fondation" (SST_{fnd}).

II.3.5. Le vent

Le vent est le paramètre physique qui représente le mouvement de l'air (direction, vitesse). Il est né de la différence de pression entre deux masses d'air et se déplace des hautes pressions vers les basses pressions. Il est caractérisé par :

- Sa direction : → d'où souffle le vent
 - mesurée dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord géographique avec la Girouette
 - unité en degré (°) arrondie à la dizaine la plus proche à l'aide du code 01 jusqu'à 36.
- Sa force ou sa vitesse : → déterminée soit par calcul $v=d/t$, soit par la lecture ou l'estimation de l'Anémomètre
 - exprimée en m/s ou en nœud (kt) : $1\text{kt} = 0.44\text{m/s}$.

Les appareils de mesure du vent sont placés au sommet d'un pylône anémomètre de 10 mètres de hauteur et s'observe à chaque observation. En effet, sur cette hauteur les obstacles sur le trajet du vent ne vont pas modifier les caractéristiques (vitesse et direction). La vitesse

et la direction relevées lors de d'une observation synoptique représente la vitesse et la direction moyennes déterminées 10 minutes avant l'observation.

Dans cette étude, c'est surtout la vitesse du vent qui nous interesse. Voici alors le tableau représentant le caractère du vent en fonction de sa vitesse :

Tableau 1:classification des vents

Caractère du vent	Vitesse en (m.s ⁻¹)
Léger	2
Modéré	2 à 5
Fort	5 à 8
Très fort	8

PARTIE II : DONNEES ET METHODOLOGIES

Chapitre I: LES DONNEES ET LES MATERIELS

Pour pouvoir faire une étude, des matériels seront nécessaires. Dans notre cas, fondamentalement, on a besoin des données, et ensuite, des logiciels de traitements.

I.1. Données :

Toutes les données qu'on a utilisées pour élaborer ce travail sont en format NetCDF. Elles sont téléchargées sur le site NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) et ECWMF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Parmi les particularités de ces sites, elle consiste à publier des données océaniques et atmosphériques. On a donc téléchargé les données quotidiennes du vent moyen à 10 m, de l'OLR, de pressions, et des précipitations de la période 2009 à 2018, soit une période de dix années.

I.1.1. Description et limites

Afin de mener les analyses, plusieurs champs atmosphériques ont été utilisés à travers les réanalyses ERA-Interim produites par l'ECWMF. Disponibles de 1979 à 2018, les données ERA-Interim peuvent être téléchargées à partir de l'ECMWF au format NetCDF. Les variables sont disponibles sous la forme d'un ensemble de données quadrillées à une résolution spatiale d'environ $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ et à 37 niveaux atmosphériques.

Notre recherche se focalise alors sur l'étude des données journalières de réanalyse pour une échelle temporelle de 2009 à 2018 comme énoncée dans le premier chapitre.

I.2. Outils :

I.2.1. Logiciel R et RSTUDIO :

R est un environnement intégré de manipulation de données, de calcul et de préparation de graphiques. Toutefois, ce n'est pas seulement un environnement statistique, mais aussi un langage de programmation complet et autonome qui est principalement inspiré du S et de Scheme. [14]

Les possibilités de manipulation de données sous R sont en général largement supérieures à celles des autres logiciels usuels d'analyse statistique.

L'utilisation de R présente plusieurs avantages en étant :

- un logiciel multiplateforme, qui fonctionne aussi bien sur des systèmes Linux, Mac OS X ou Windows,
- un logiciel libre, développé par ses utilisateurs et modifiable par tout un chacun,
- un logiciel gratuit,
- un logiciel très puissant, dont les fonctionnalités de base peuvent être étendues à l'aide de plusieurs milliers d'extensions,
- un logiciel dont le développement est très actif et dont la communauté d'utilisateurs ne cesse de s'élargir,
- un logiciel avec d'excellentes capacités graphiques et de nombreuses possibilités d'export,
- le plus utilisé dans tous les secteurs scientifiques.

Lorsque l'on parle de R sous Windows, on distingue RGui et RStudio. Or, RStudio est aussi facile à manipuler que RGui. Sous Windows, RStudio fonctionne avec 4 fenêtres comme l'indique la photo de son interface.

La « fenêtre 1 » est principalement pour les scripts. Elle sert au traitement de texte à coloration syntaxique.

La « fenêtre 2 » constitue la console. Elle est le périphérique ou le terminal du logiciel R. Dans cette fenêtre, les commandes et les sorties de résultats en mode texte seront affichées.

La « fenêtre 3 » comprend cinq onglets qui sont « Files », « Plots », « Packages », « Help » et « Viewer ». Dans l'onglet « Files », on trouve tous les fichiers enregistrés dans le répertoire de travail, on peut donc ouvrir un script R qui est dans ce répertoire en le cliquant une ou deux fois. Dans l'onglet « Plots », tout ce qui est graphe sera affiché. Dans l'onglet « Packages », on voit tous les packages installés dans R, leurs noms, leurs descriptions, et la version. On peut les actualiser et les mettre à jour en cliquant « Update » ou bien installer un autre package en cliquant « Install ».

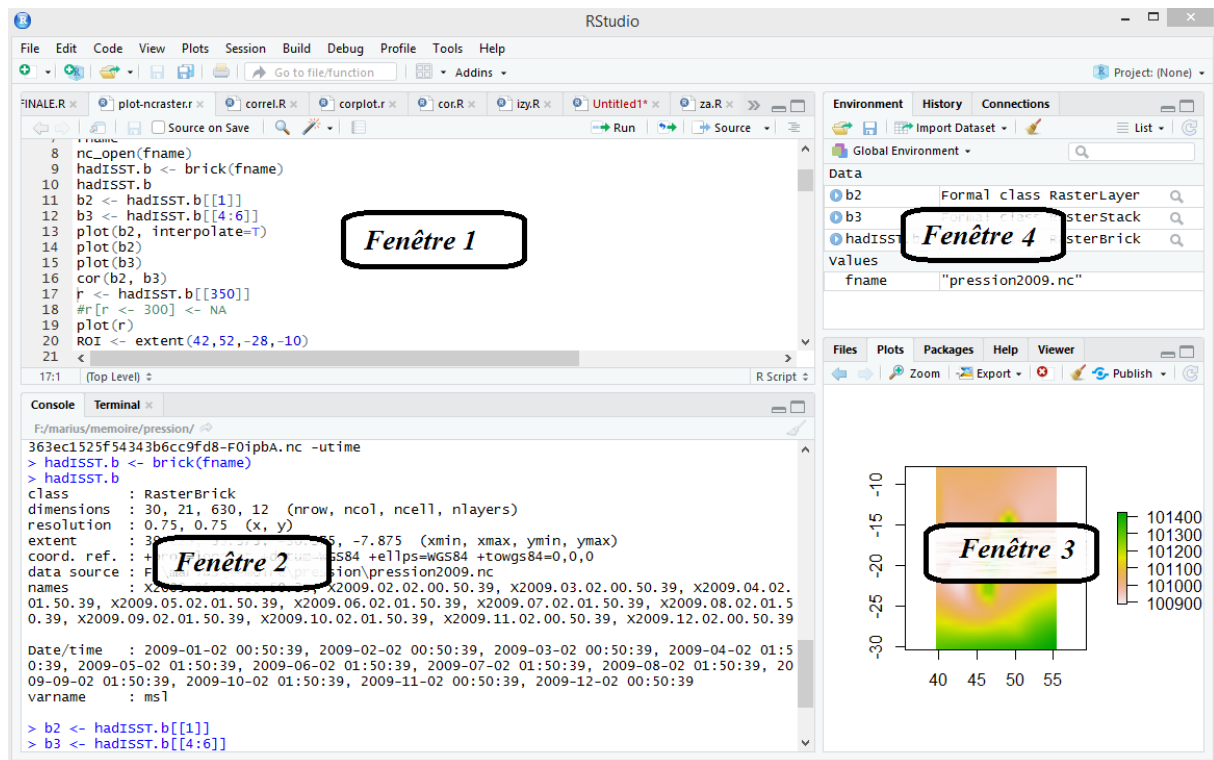


Figure 8: interface du logiciel RSTUDIO

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

1.2.2. Logiciel GrADS (Grid Analysis and Display System):

GrADS est un outil de bureau interactif qui facilite l'accès, la manipulation et la visualisation des données de sciences de la Terre. GrADS dispose de deux modèles de données pour gérer les données maillées et les données de station. GrADS prend en charge de nombreux formats de fichiers de données, y compris binaires (flux ou séquentiels), GRIB (versions 1 et 2), netCDF, HDF (versions 4 et 5) et BUFR (pour les données de station). GrADS a été implémenté dans le monde entier sur une variété de systèmes d'exploitation couramment utilisés et est distribué gratuitement sur Internet. [15]

Chapitre II: Démarches et méthodologies

Dans ce chapitre, nous allons voir les préparations à faire pour l'aboutissement de cette étude ainsi que les différentes méthodologies adoptées pour traiter les données.

II.1. Méthodes utilisées :

II.1.1. Analyse statistique :

L'objectif d'une étude statistique est de synthétiser, résumer, structurer l'information, d'où la « Statistique Descriptive ». D'autre part, elle sert à formuler ou valider des hypothèses relatives à la population totale, d'où la « Statistique d'inférence ».

➤ Moyenne :

La moyenne est un indicateur statistique de position. Elle est le centre de gravité d'une distribution (barycentre). De ce fait, elle est très sensible aux valeurs extrêmes. Pour découvrir la climatologie générale en moyenne saisonnière et annuelle de chaque paramètre, on élaborera les cartes de la climatologie moyenne saisonnière et annuelle pour chaque paramètre.

Ces moyennes sont à calculer, pour une période bien définie. La moyenne est définie comme suit :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{II.1.1} \quad 1)$$

Lorsque l'on veut calculer la moyenne pour un vecteur de données :

- x_i : Différentes valeurs du paramètre utilisé ;
- N : Nombre total de valeurs observées ;
- $\bar{x}$: Moyenne calculée.

Les cartes de la climatologie moyennes consistent à dévoiler les zones où les paramètres sont plus, moins ou moyennement intenses, et pour montrer la tendance centrale du paramètre observé.

On peut établir les cartes de la climatologie de chaque paramètre, dans plusieurs cas

particuliers, à savoir :

- Cartes de la climatologie moyenne en hiver pendant la période 2009-2018.
- Cartes de la climatologie moyenne en été pendant la période 2009-2018.

➤ **L'écart-type :**

L'écart-type est l'écart moyen des valeurs à leur moyenne arithmétique. L'écart type comme la variance est un indicateur statistique de dispersion. Ils sont les mesures de dispersion les plus couramment utilisées. L'écart-type permet donc de caractériser la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Ici, il sert à mettre en exergue la variabilité spatiale des données observées.

Il est défini par :

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{II.1.1} \quad 2)$$

Lorsque l'on veut calculer l'écart-type pour un vecteur de données, alors :

σ_X : Ecart-type

x_i : Valeurs observées

$\bar{x}$: Moyenne de valeurs observées

N : Nombre total de valeurs observées

L'intérêt de construire les cartes de la déviation standard est de voir les variabilités moyennes de chaque paramètre.

Pour cela, on a établi les cartes d'écart-type pour chaque paramètre dans plusieurs cas, à savoir :

- Cartes de la climatologie d'écart-type en hiver pendant la période 2009-2018.
- Cartes de la climatologie d'écart-type en été pendant la période 2009-2018.

➤ **Diagramme de Hovmöller :**

L'intérêt de tracer le diagramme de Hovmöller est de mettre en évidence la distribution spatiale de chaque paramètre météorologique suivant les longitudes en fonction du temps (Diagramme Longitude-Temps) ou suivant les latitudes en fonction du temps (Diagramme Latitude-Temps).

On va ainsi appliquer cette méthode en prenant en compte séparément les valeurs de l'OLR le long de la latitude (en variant de longitude) et de la longitude (en variant de latitude) au niveau des coordonnées des stations synoptiques de Mahajanga et Toamasina.

➤ **Etude de la corrélation :**

Le coefficient de corrélation est le taux de dépendance entre deux paramètres différents. Le coefficient de corrélation varie entre -1 et 1. Plus on se rapproche de 1 ou de -1, la corrélation est forte. Plus on se rapproche de 0, la corrélation est faible. Plus on se rapproche de 0.5 ou de -0.5, la corrélation est modérée. Lorsque ce coefficient est négatif, les deux paramètres étudiés varient en sens inverse, si l'un augmente alors l'autre diminue. Lorsque ce coefficient est positif alors les deux paramètres étudiés varient dans le même sens, soit ils augmentent ou diminuent ensemble.

L'intérêt d'étudier la corrélation est de découvrir l'interaction spatiale des paramètres étudiés et deux à deux. La meilleure façon de découvrir les régions où les paramètres sont fortement, moyennement ou faiblement corrélés, est donc d'établir les cartes de corrélation.

Généralement, le coefficient de corrélation est défini par l'équation suivant :

$$\frac{\text{Covariance de X et Y}}{(\text{Ecart type de X}) \times (\text{Ecart type de Y})} \text{ ou } \rho = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_X \times \sigma_Y} \quad (\text{II.1.1} \quad 3)$$

II.1.2. Comparaison des cartes :

La comparaison est un objectif spécifique de la cartographie. Que l'on souhaite comparer des positions relatives ou absolues, il s'agit de comparer :

- ❖ La distribution de deux phénomènes sur un même espace,
- ❖ La distribution d'un même phénomène sur un même espace sans le temps,
- ❖ La distribution d'un même phénomène sur deux espaces différents.

PARTIE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre I: Etude préliminaire:

Dans cette partie du travail, nous suivrons la démarche précédemment énoncée et présenterons les résultats obtenus. Pour avoir des renseignements sur la situation de pluviogènes dans la partie Nord-Ouest et la partie Est de Madagascar.

Mais avant tout, on va faire quelques recherches préliminaires dans ces deux zones d'études.

On choisie une partie, c'est-à-dire entre les latitudes 14°S-18°S et les longitudes 45°E-48°E pour la partie Nord-Ouest et les latitudes 16°S-20°S et les longitudes 49°E-50°E pour la partie Est.

La figure 9 et la figure 10 ci-dessous représentent les vents moyens en été et en hiver pendant la période 2009-2018 pour ces deux provinces.

On observe que le vent du Nord-Ouest est le vent dominant pendant l'été (figure 9), et le vent du Sud-Est pendant la période d'hiver (figure 10).

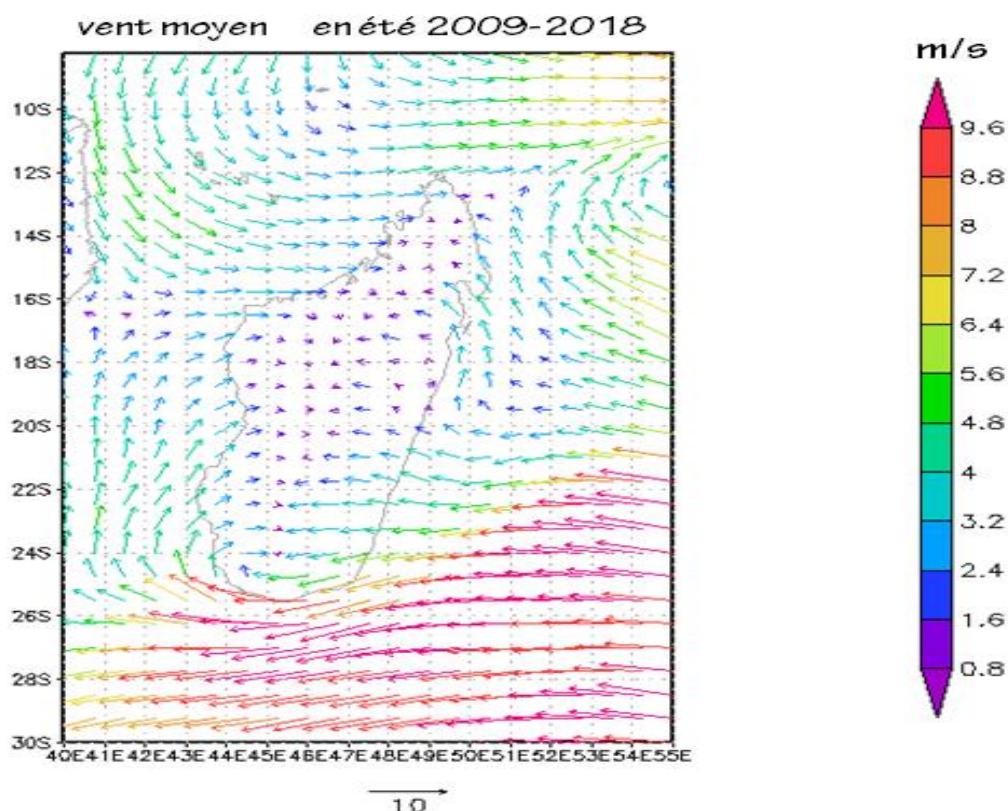


Figure 9: carte du vent moyen en été 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

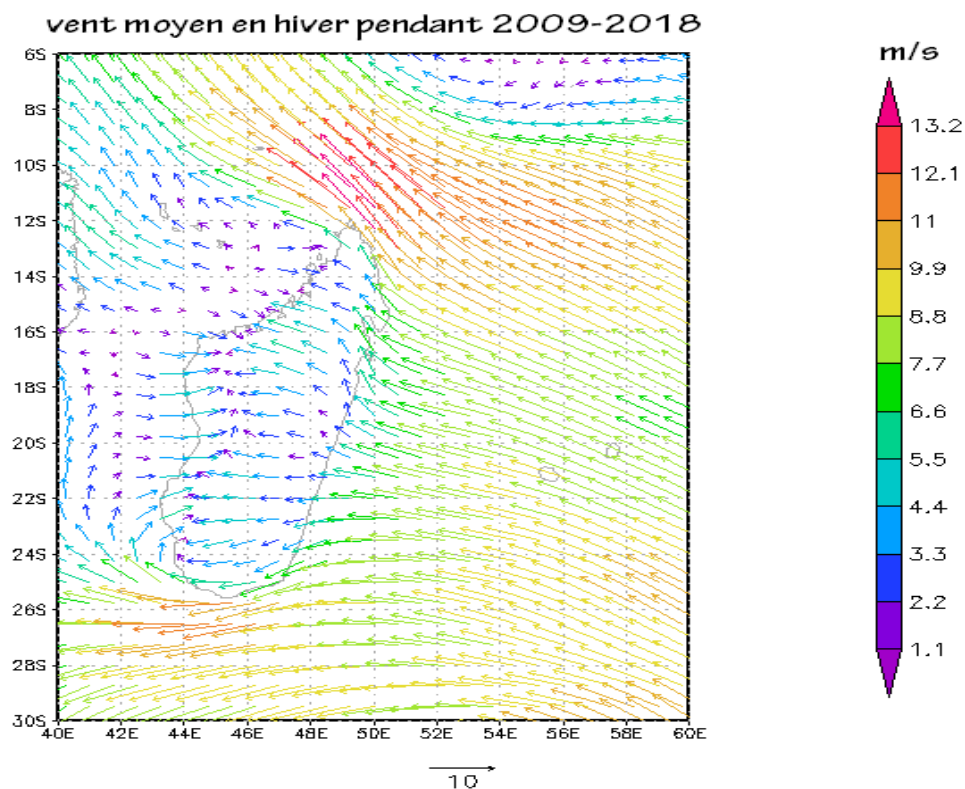


Figure 10: carte du vent moyen en hiver 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

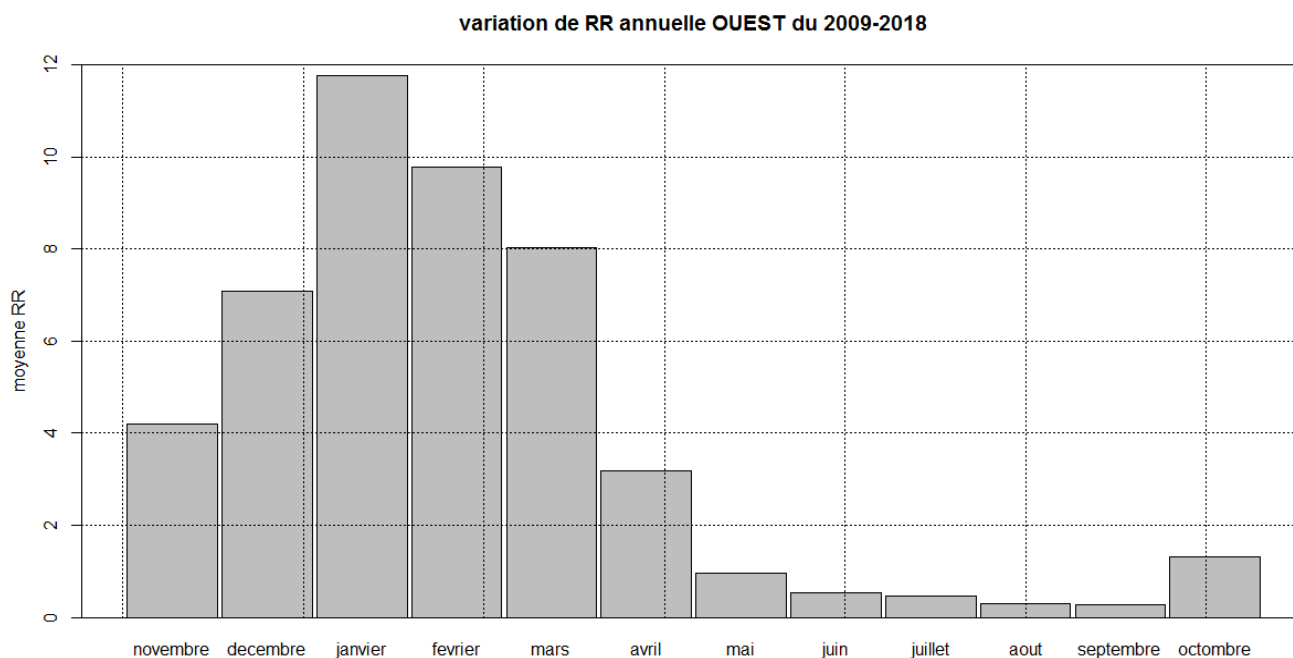


Figure 11: graphe des précipitations entre 14°S-18°S et 45°E-48°E pendant l'été et hiver pendant 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

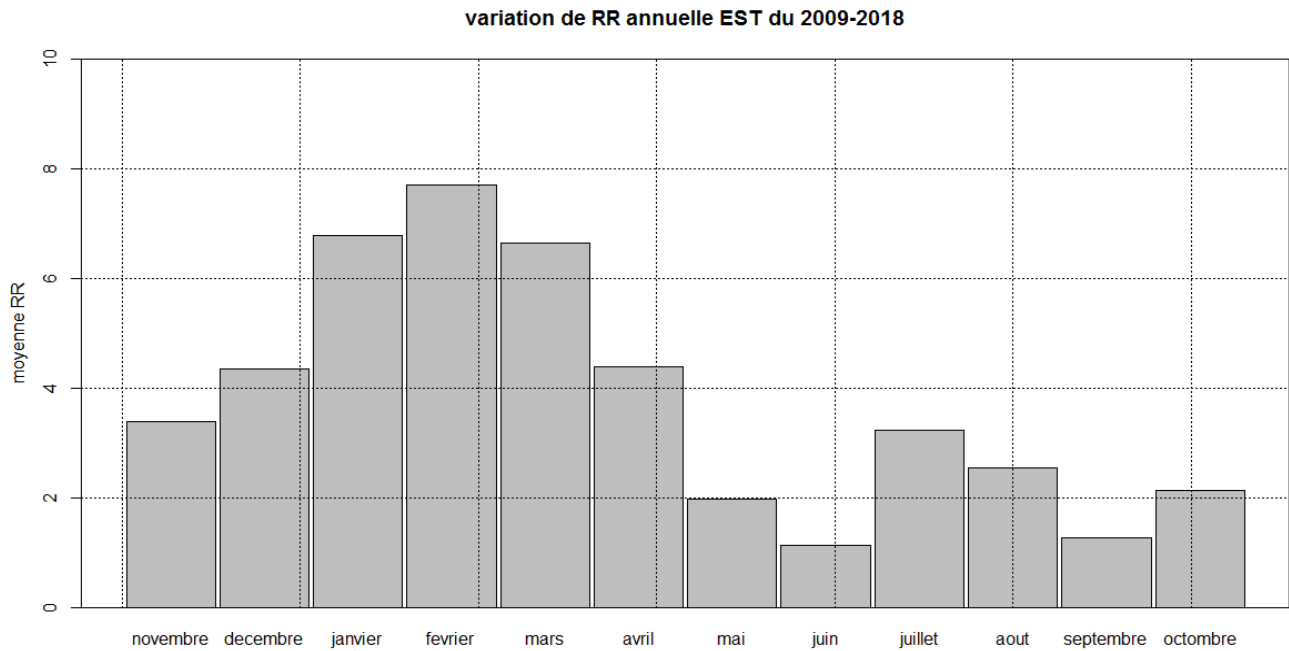


Figure 12: graphe des précipitations entre 16°S-20°S et 49°E-50°E pendant l'été et hiver pendant 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La figure 11 ci-dessus représente la variation des précipitations dans la latitude 14°S-18°S et de longitude 45°E-48°E pendant l'été et l'hiver, on constate d'après ce graphe que presque les précipitations dans cette région sont concentrées pendant l'été, et presque nulles ou bien sèche pendant l'hiver.

Par contre les précipitations dans la partie Est se répartissent entre les deux saisons, c'est-à-dire presque humide toute l'année d'après la figure 12.

C'est pour cela qu'on doit faire l'étude pour la région Nord-Ouest pendant l'été, et la région Est pendant l'hiver.

Chapitre II: Etude des cas:

I.1. Cas de la région Nord-Ouest :

Le vent du Nord-Ouest est le vent dominant dans cette zone, il est observé au nord de la zone des basses pressions intertropicales lorsque celle-ci se trouve sur Madagascar pendant l'été austral.

Ce vent du Nord-Ouest a pour origine l'hémisphère Nord et n'est autres que l'alizé de cette région dévié par la traversée de l'équateur. Il est souvent qualifié de "mousson de Nord-Ouest". Ces masses d'airs sont très instables, chaudes et humides par suite d'un long parcours sur des mers chaudes. Ces vents du Nord-Ouest n'ont pas, la constance de l'alizé en saison fraîche ; on constate une alternance des influences des alizés et des vents du nord-ouest lors des descentes vers le sud, plus ou moins prononcées, de la ZCIT. L'étude de ces vents est essentielle dans la compréhension de la situation pluviogènes dans les deux zones d'études.

Pour le cas de la partie Nord-Ouest, notre étude se fait pendant l'été durant lequel le régime de Mousson se place sur la partie Nord-Ouest et on tiendra aussi compte de l'OLR qui entre en considération dans l'étude des précipitations.

I.1.1. L'OLR :

L'OLR est un bon indicateur pour identifier les zones de convection potentielle qui pourraient être en relation avec les zones de précipitations.

En général, les valeurs d'OLR inférieures à 240W/m^2 représentent de fortes activités convectives associées à des couvertures nuageuses pouvant occasionner des précipitations. Supérieures à 240W/m^2 , les valeurs d'OLR indiquent de faibles activités convectives.

I.1.1.1. Carte de la moyenne :

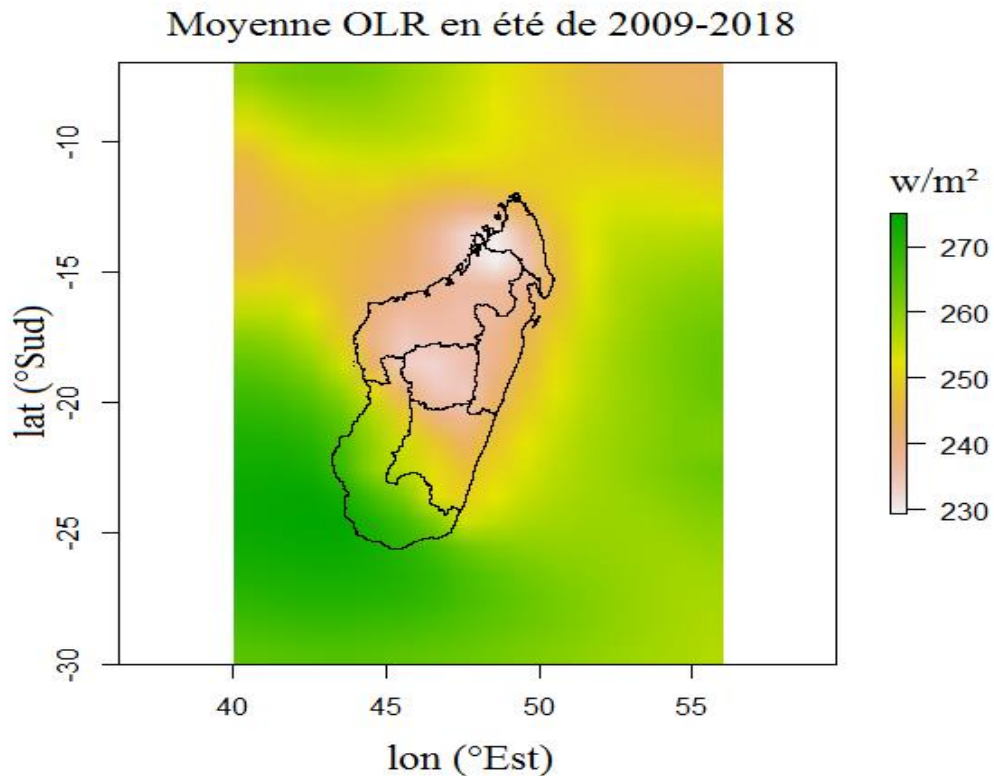


Figure 13:carte moyenne OLR en en été 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Les trois-quarts de Madagascar présentent une activité convective durant l'été. Cette activité convective est plutôt faible dans l'Est ($240\text{W/m}^2 < \text{OLR} < 250\text{W/m}^2$), forte au Nord-Ouest et dans les hauts plateaux ($\text{OLR} < 240\text{W/m}^2$), et elle quasiment inexistante au Sud ($\text{OLR} > 250\text{W/m}^2$).

Ainsi, en été la partie Nord-Ouest de Madagascar présente des activités convectives importantes, c'est-à-dire OLR inférieure à 240W/m^2 qui est favorable à la formation des nuages convectifs « Cumulus et Cumulonimbus », ce qui explique la cause des fortes précipitations dans cette zones. On peut ajouter que c'est la descente de la ZCIT vers le Sud et donc vers notre région d'étude qui contribue à cette importance de l'activité convective. En effet, la ZCIT amène avec elle des masses d'air humide et chaudes qui favorisent la convection.

I.1.1.2. Carte de l'écart-types :

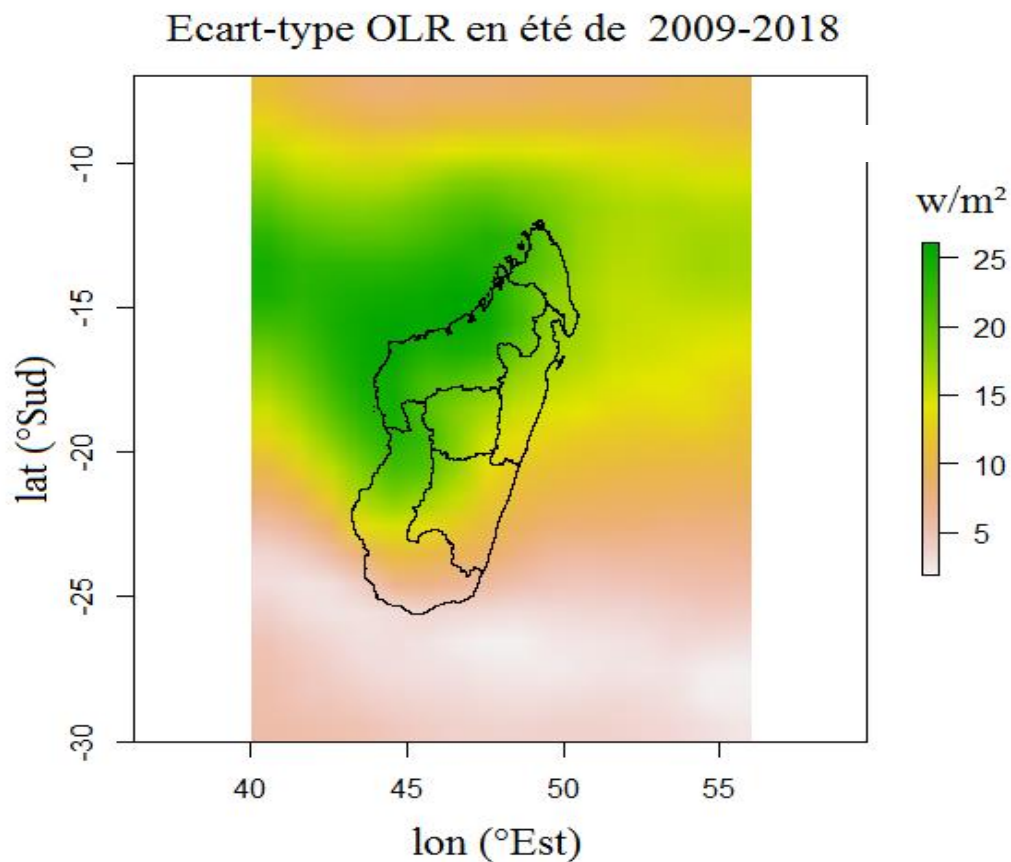


Figure 14:écart-type OLR en été 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

En été, la carte de déviation standard ou écart-type de l'OLR dans la partie Nord-Ouest présente une forte variabilité d'OLR avec une valeur supérieure à 15. Ceci est un indicateur de l'existence de la convection dans cette zone. Les fortes précipitations dans y sont donc principalement d'origine convective.

I.1.1.3. Diagramme de Hovmöller :

Le diagramme de Hovmöller sert à préciser la variabilité spatio-temporelle de l'OLR, plus précisément le déplacement des activités convectives avec le temps.

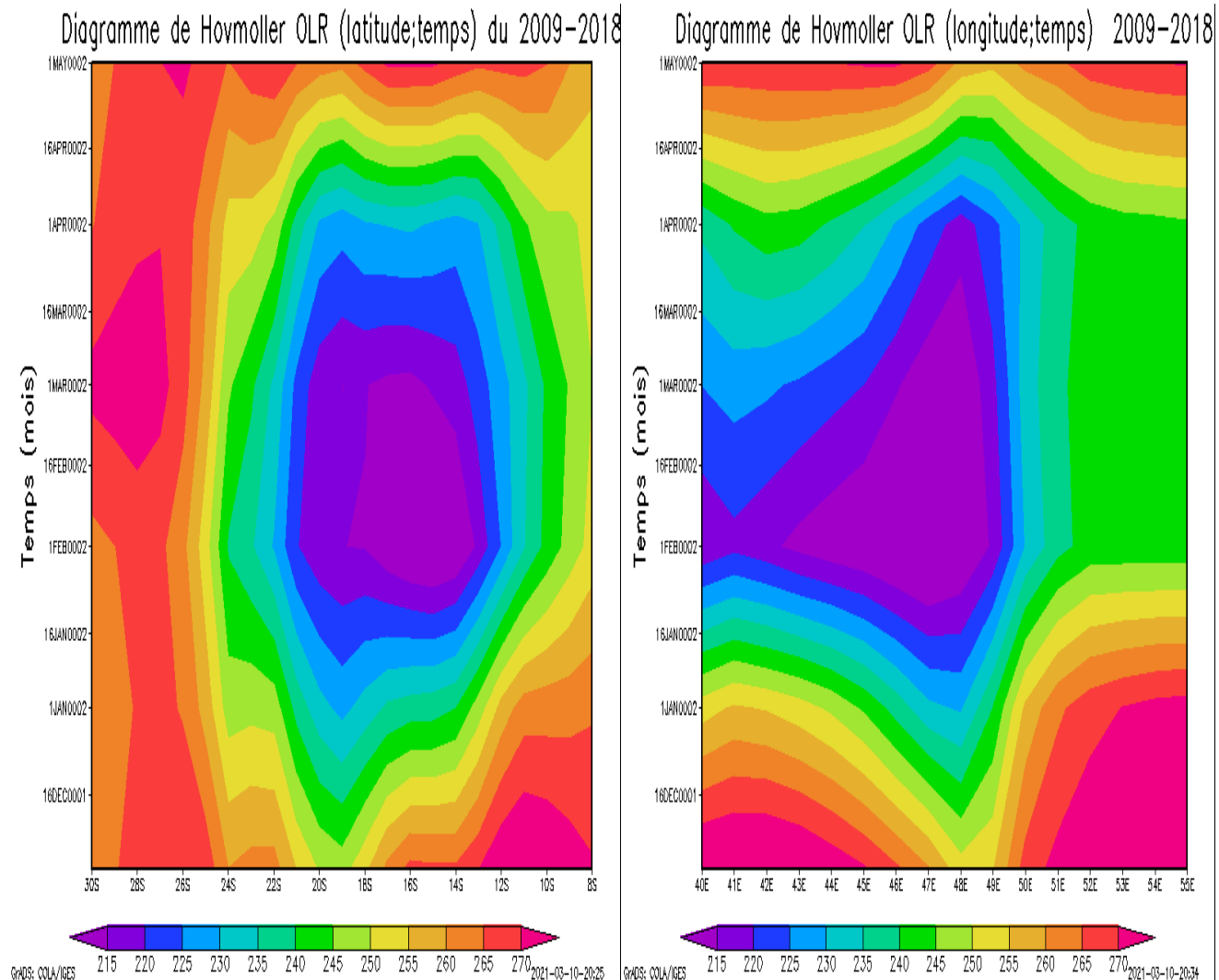


Figure 15: Diagramme de Hovmöller de l'OLR en été, période : 2009 à 2018.

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

En été, On observe un léger déplacement des activités convectives du Nord vers le Sud de Madagascar. Ceci est lié à la descente de la ZCIT vers le Sud de Madagascar. Ce déplacement s'effectue généralement de Janvier à Février.

C'est en Février qu'une grande partie de la côte Nord-Ouest est la plus touchées par la convection.

I.1.2. Précipitation :

Comme dans le cas de l'OLR, l'étude menée ici est faite à partir des données de réanalyse des modèles numériques. La climatologie des précipitations donnée est donc une vision globale mais qui devrait être conforme avec la réalité. Nous analyserons la situation en Été.

I.1.2.1. Carte de la moyenne :

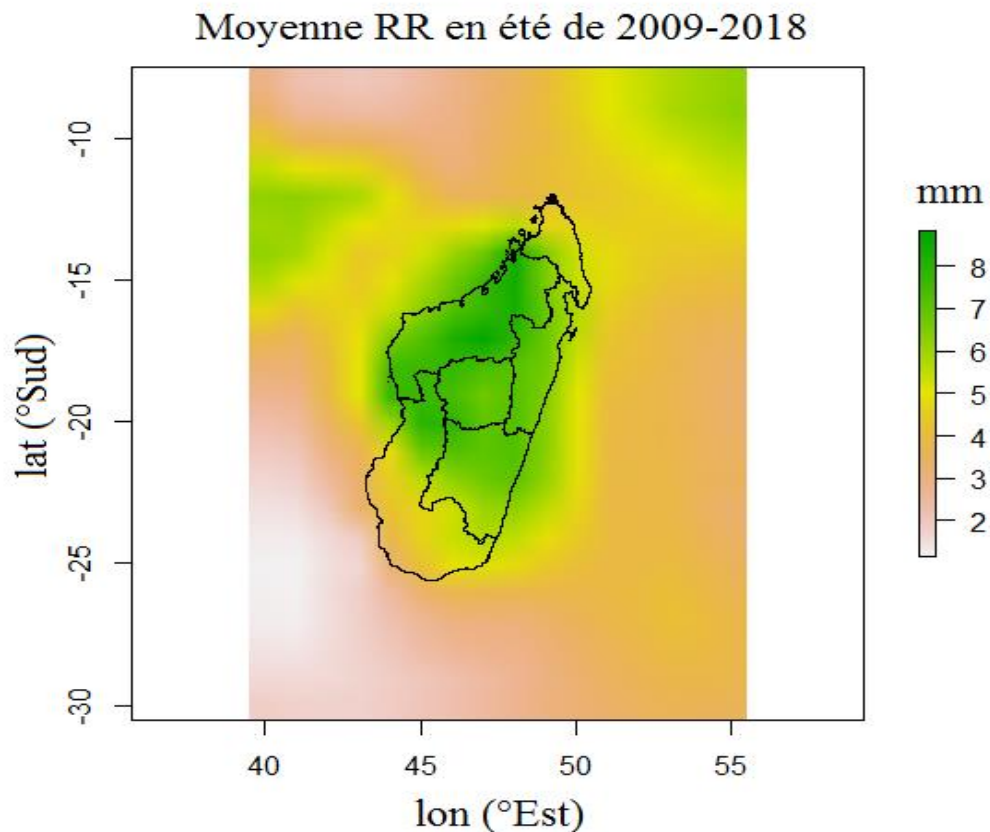


Figure 16:carte moyenne RR en été 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

On constate une moyenne de précipitations supérieures à 6mm dans les parties Nord-Ouest, Ouest, Est et centrale de l'île durant la saison estivale, les précipitations dans le Sud sont cependant faibles, inférieures à 3mm.

La partie Nord-Ouest de Madagascar est la plus arrosée avec environ plus de 8mm de pluie par jour en moyenne.

I.1.2.2. Carte de l'écart-type :

L'étude des écart-type écarts-types est très utile pour la précipitation, pour mettre en évidence des zones soumises à de fortes activités convectives.

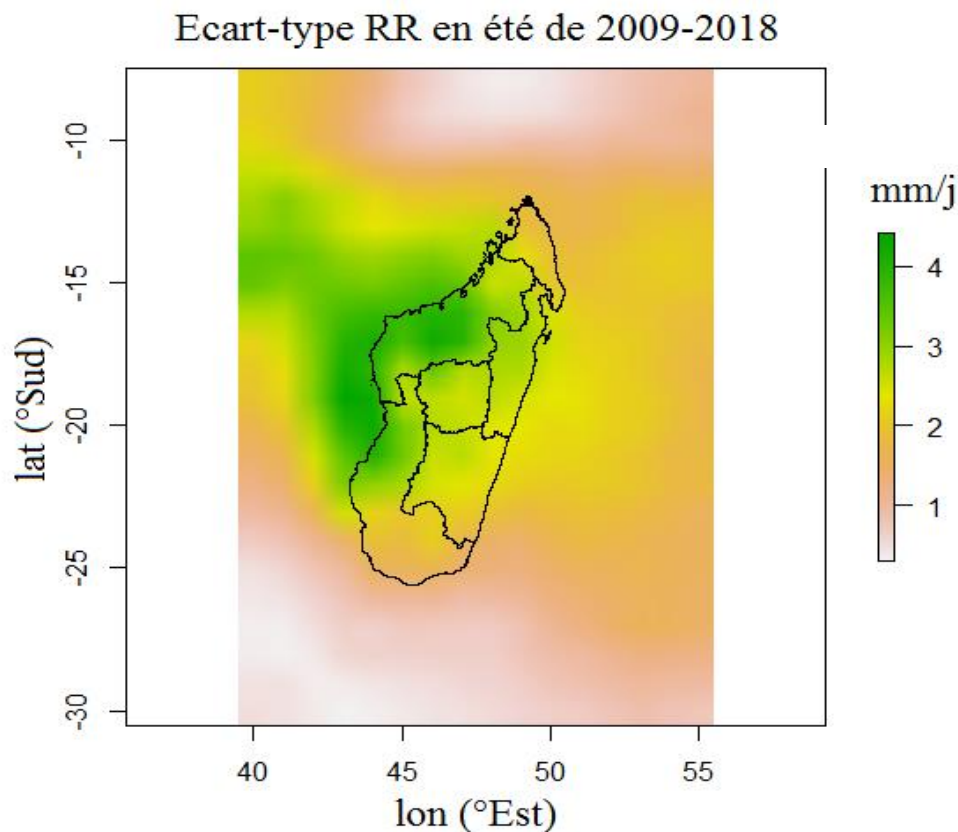


Figure 17:écart -type RR en été 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La figure 17 illustre une forte variabilité de précipitations dans les zones du Nord-Ouest et centrale Ouest avec un écart-type supérieur à 3. Par rapport à ces deux régions, la variabilité de précipitations est plus faible à l'Est, entre 2 et 3. Ceci prouve la présence de forte convection dans la partie Ouest.

I.1.2.3. Diagramme de Hovmöller :

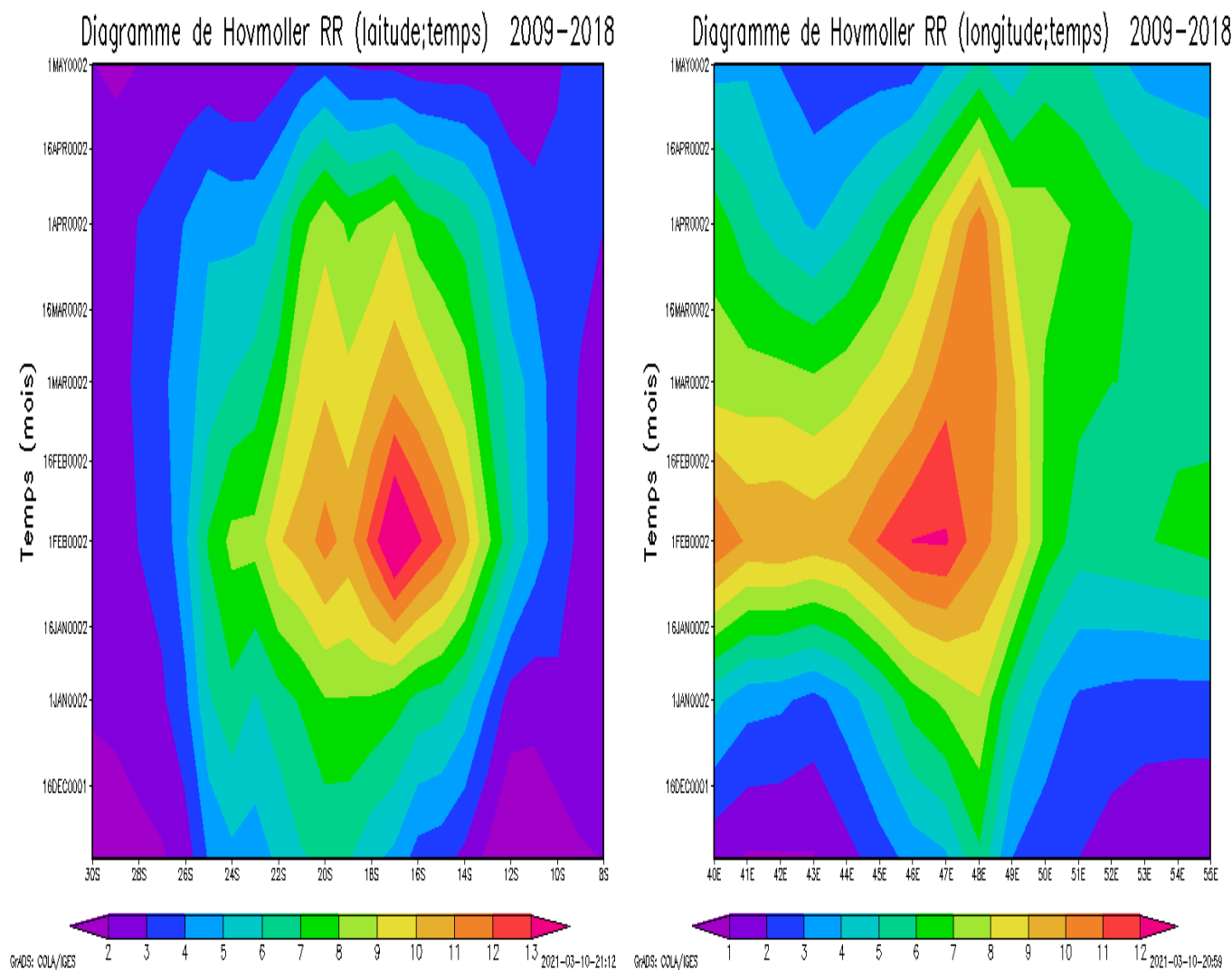


Figure 18:Diagramme de Hovmöller de précipitations en été, 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

On constate d'après cette figure que la saison des fortes pluies à Madagascar s'étend de Janvier à Février. Ces fortes précipitations se manifestent surtout entre la latitude 12°Sud et 20°Sud et sur la longitude 43°Est-47°Est, c'est-à-dire dans la partie Nord-Ouest de Madagascar.

Et en fin les zones de précipitations se déplacent d'Ouest vers l'Est de Janvier à Mars.

I.1.3. Carte de corrélation :

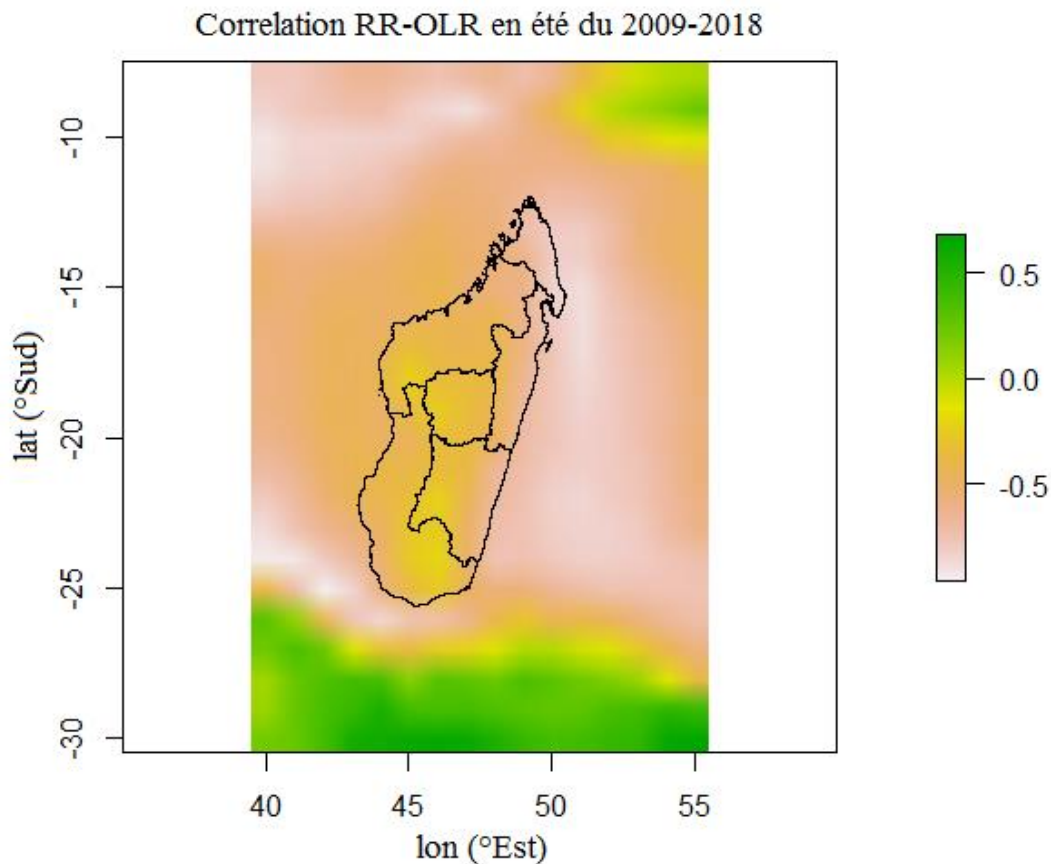


Figure 19: carte de corrélation RR-OLR en été du 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La corrélation OLR-RR est toujours négatif dans tout Madagascar, donc la précipitation et l'OLR varient inversement, lorsque l'OLR augmente, la précipitation diminue. On notera ainsi que lorsque la valeur de l'OLR commence à dépasser 240W/m^2 , la précipitation diminue aussi progressivement.

Ainsi, pour le cas de notre zone d'étude (Nord-Ouest), cette corrélation illustre bien les fortes précipitations en été.

Pour une plus grande compréhension de la zone Nord-Ouest, on va étudier quelques cas évoquant tout ce qui a été présenté précédemment.

I.1.4. Etude des cas :

On peut indiquer qu'il est communément admis que des valeurs d'OLR de l'ordre de 180-230 W/m² pour les régions tropicales indiquent l'existence de la convection profonde. (16) (17) (18) Dans ces conditions, la ZCIT est remarquable par des valeurs faibles d'OLR de l'ordre environ de 190 W/m².

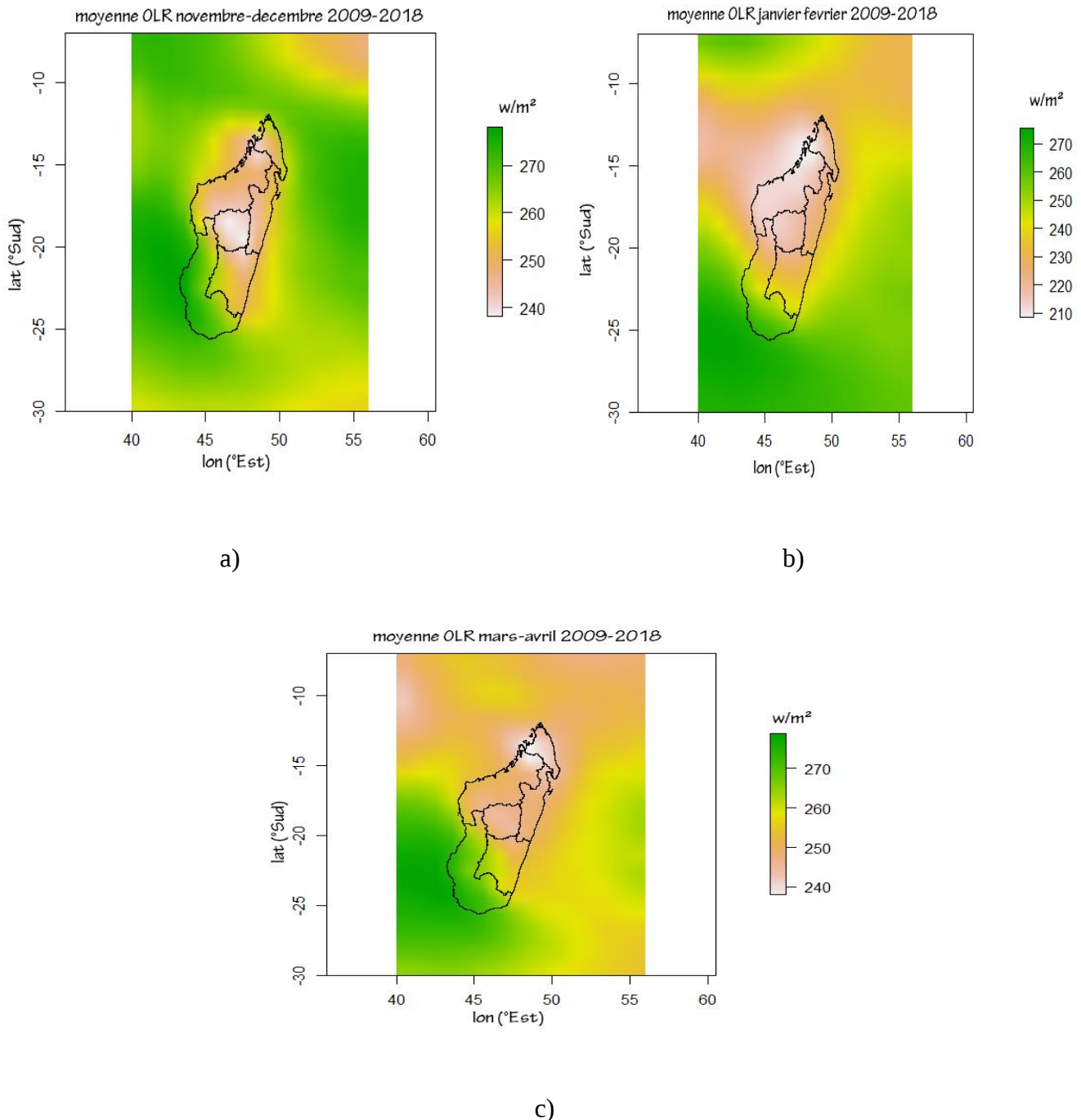


Figure 20: Moyenne de l'OLR pour les mois de a) novembre-décembre b) janvier-février c) mars-avril de la période 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La figure 20 ci-dessus permet de noter le déplacement de la ZCIT au cours de la saison d'été austral qui est maximum au-dessus de Madagascar pendant les mois de janvier et février. La plus faible valeur d'OLR est obtenue au cours de ces deux mois, c'est-à-dire en plein été austral.

La figure 20b dans la page 40 montre qu'effectivement, c'est au mois de janvier et février qu'on observe des valeurs moyennes d'OLR en dessous de 230 W/m^2 dans la partie Nord-Ouest. Ceci indique qu'il y a une activité convective significative. La variabilité de cette activité est également la plus importante au cours de ces deux mois.

Prenant le cas du Janvier et Février de la saison 2009 à 2018.

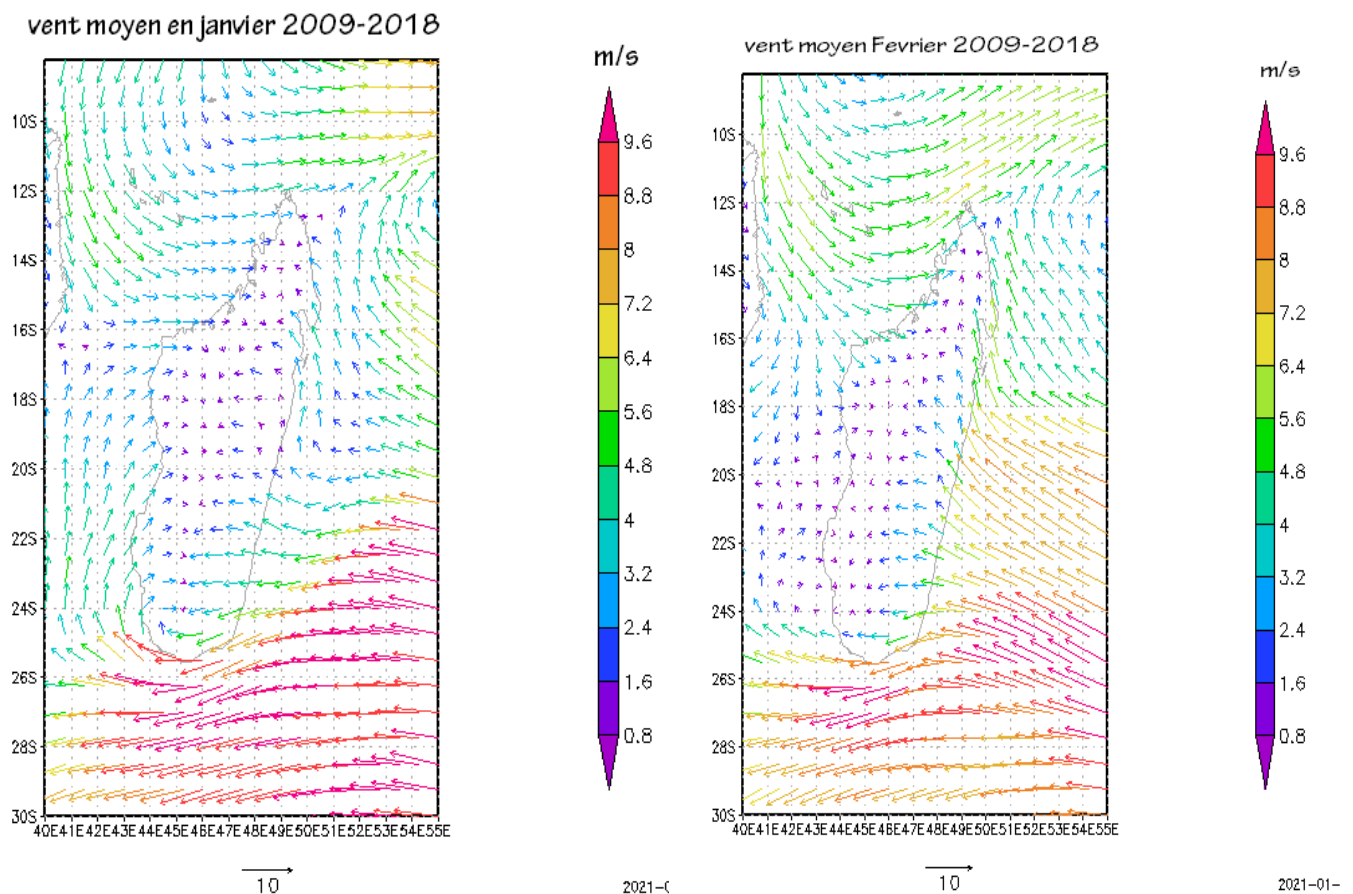


Figure 21: carte de vent moyen en janvier et Février 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Les cartes ci-dessus montre l'influence du vent dominant de Nord-Ouest de direction Sud-Est puis Est et de vitesse moyenne de 4 à 6m/s en janvier et février dans la partie Nord-Ouest de Madagascar, c'est la mousson du Nord-Ouest.

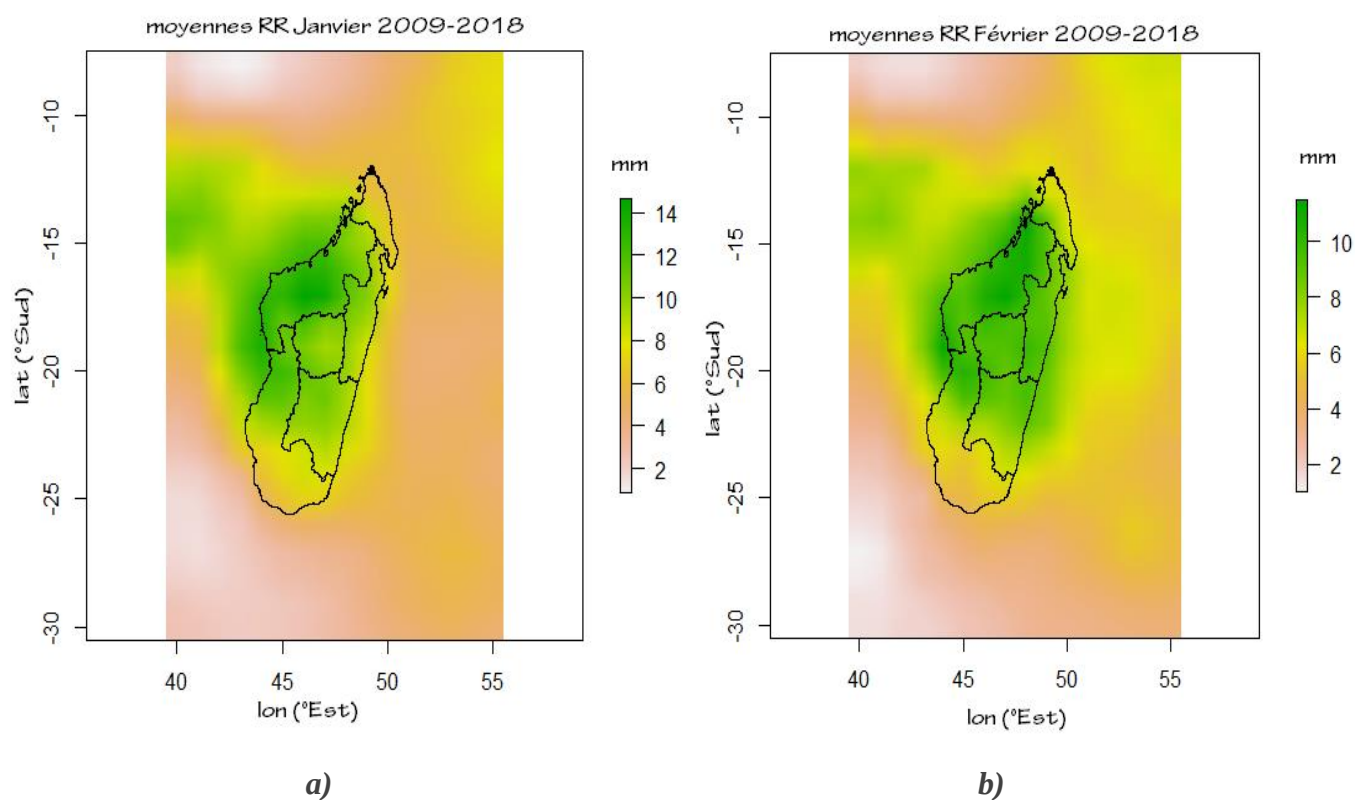


Figure 22: carte de précipitation en janvier 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

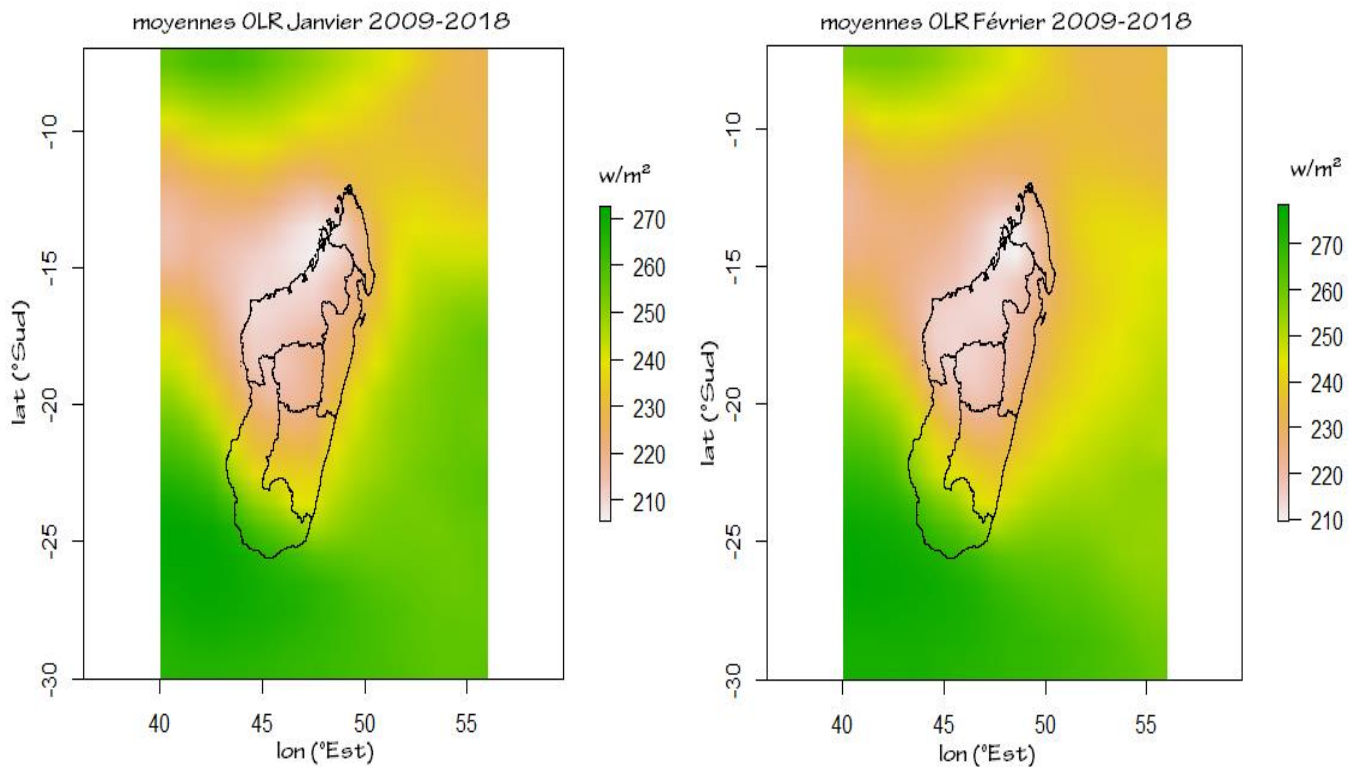


Figure 23: carte moyennes de l'OLR en janvier 2009-2018

[Source : Investigation personnelle de l'auteur, 2021]

On voit bien sur la carte de l'OLR illustré sur la figure 23 l'existence d'une forte convection sur la partie Nord-de Madagascar, qui est très marquant surtout sur la partie Ouest à une valeur d'OLR inférieure à 220 w/m^2 .

Ce phénomène a provoqué la forte convection dans la partie Nord-Ouest en mois de janvier montré sur la figure 22 de la page 42, qui est la cause de la forte précipitation dans cette zone.

I.2. Cas de la partie Est :

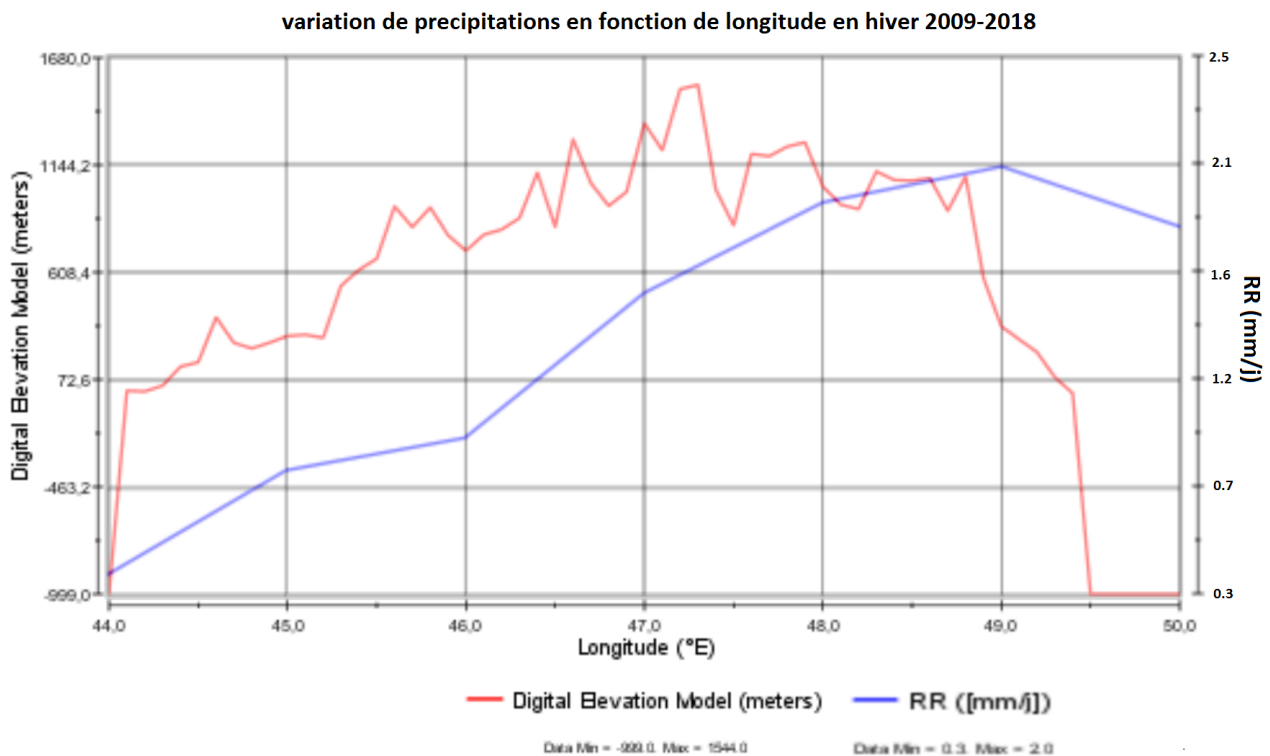


Figure 24: variation des précipitations en fonction la longitude

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Cette figure montre l'évolution de la précipitation en fonction de l'altitude (élévation du terrain) le long de la latitude de Toamasina (18°11Sud) en variant de longitude de 44°Est à 50°Est en été. La courbe rouge représente l'élévation du terrain d'Est en Ouest et la courbe en bleue représente les précipitations.

On peut alors constater que les précipitations dans la région Est durant l'été sont surtout dues à des vents de Sud-Est. Et ces précipitations sont plus importantes sur le versant au vent du relief et diminue au fur et à mesure du déplacement du vent vers l'Ouest. Il y a donc ici la présence de l'effet orographique par la rencontre du vent de Sud-Est avec le relief de la région Est de Madagascar et cette région est sous l'influence d'un vent d'alizé pendant l'hiver.

Nous allons donc étudier les impacts de l'alizé sur la précipitations dans la partie Est de Madagascar selon sa classification dans la partie II (alizé fort, alizé modéré, alizé faible). Mais avant cette étude, on va encore recourir à l'OLR pour savoir s'il influe sur la précipitation pendant l'hiver.

Les vents d'alizés sont des vents de secteur Est à Est-Sud-Est qui soufflent toute l'année sur la face équatoriale des hautes pressions de l'Océan Indien. Ce vent est très marqué pendant la saison d'hiver, il assure la formation des précipitations dans la partie Est et Sud-Est de Madagascar pendant cette saison.

Il provient des masses d'air d'origine polaire méridionale ayant parcouru un long trajet sur des mers de plus en plus chaudes. Cet air présente une humidité relative importante, une température élevée et une instabilité très grande. L'action des alizés est la plus puissante et la plus régulière ; les autres masses d'air peuvent la contrarier sans jamais l'effacer complètement.

I.2.1. L'OLR :

I.2.1.1. Carte de la moyenne :

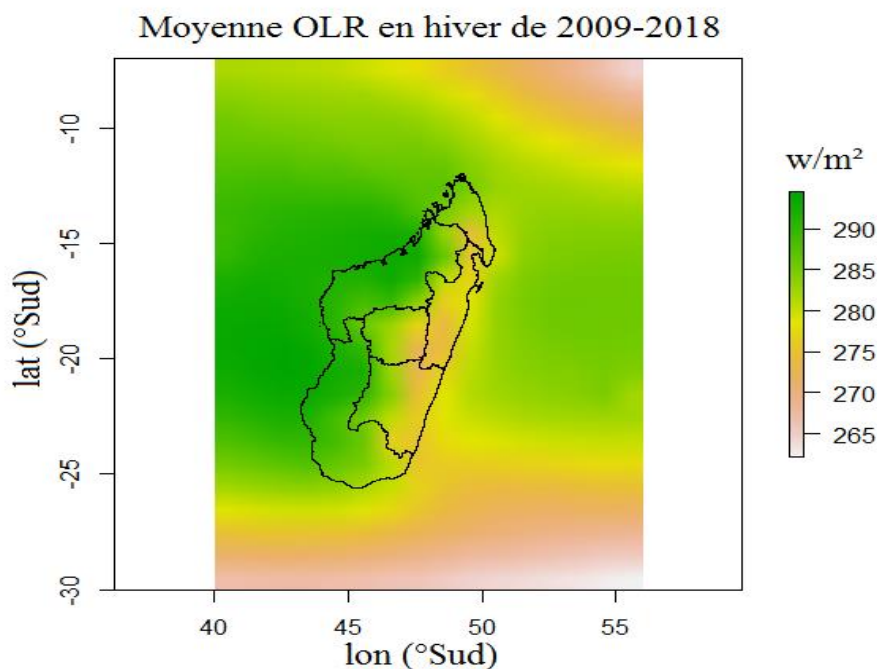


Figure 25:carte moyenne d'OLR en hiver de 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

En général les activités convectives sont absentes sur presque la totalité de l'île en hiver, les couvertures nuageuses qui sont présentes sont plutôt stratiformes et ne sont généralement pas d'origine convective. Les précipitations qui pourraient tomber sur la côte Est durant l'hiver ne sont pas donc d'origine convective. Mais à cause de l'existence du régime d'Alizé dans l'Océan Indien.

I.2.1.2. Carte de l'écart-types :

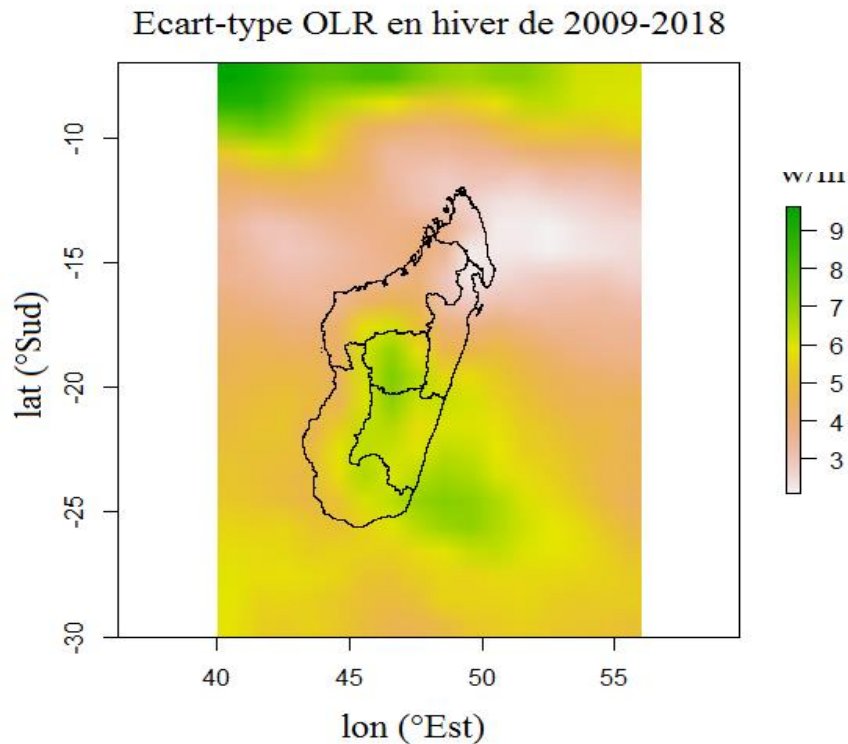


Figure 26: carte de l'écart-type d'OLR en hiver de 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

On voit sur la figure 26 ci-dessus que la variabilité de l'OLR se manifeste partout à Madagascar durant l'hiver. Cette variabilité est plus élevée à l'Est qui est environ de 6 et 8 pour la partie Sud-Est et de moins 4 pour la partie Nord-Est.

Comme on a vu dans cette figure que l'OLR est plus variable en Hiver dans la partie Est, qui est logique car il y a plus de convection en été qu'en Hiver.

I.2.1.3. Diagramme de Hovmöller :

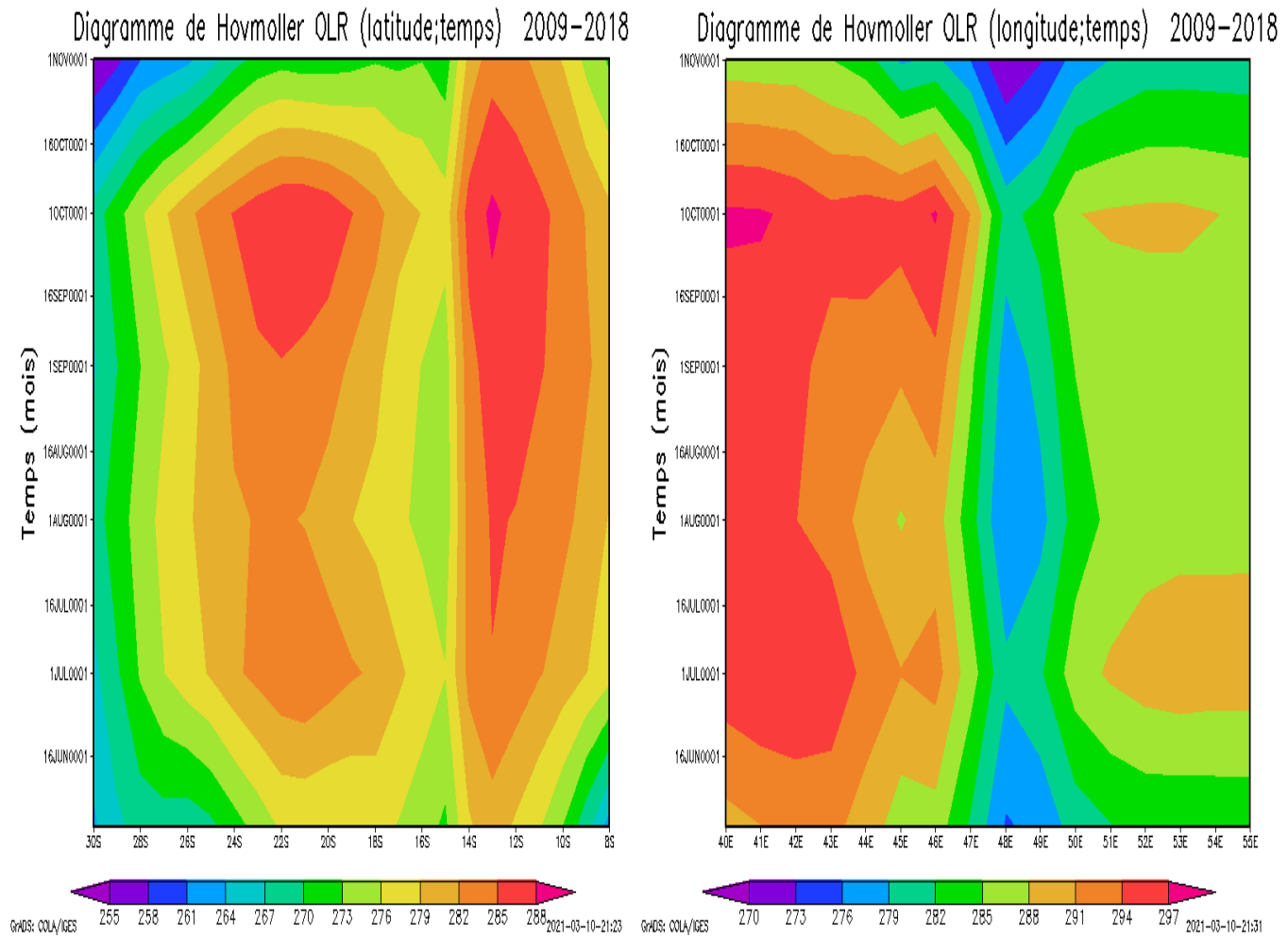


Figure 27: Diagramme de hovmöller d'OLR en hiver, période : 2009 à 2018.

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

On constate que le côté Ouest a une valeur d'OLR supérieure à 291 W/m^2 durant toute l'hiver, tandis que la valeur de l'OLR est légèrement variable dans la partie Est. Car on constate que pendant le mois de Juin il est inférieur à 279 W/m^2 , et il monte de plus en juillet, et il redescend en aout et septembre, puis il diminue progressivement au cours du mois suivant qui est sur le point de rentrer dans la saison estivale.

En hiver, la partie Est et surtout la partie Sud-Est de Madagascar est plus couverte que les autres régions principalement les mois de Juin et Juillet période pic du régime d'Alizé.

I.2.2. Précipitation :

I.2.2.1. Carte de la moyenne :

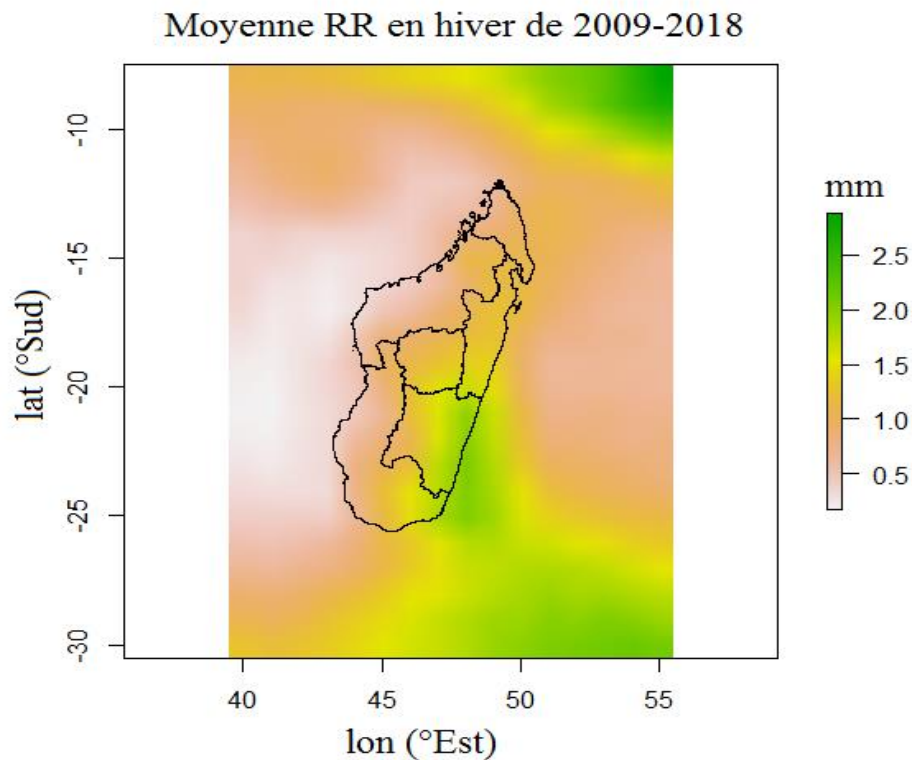


Figure 28:carte moyenne de RR en hiver 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Ici la figure représente la présence de pluie dans la partie Est, alors que l'Ouest est presque inexistant, il s'embles qu'il y en ait plus dans la parties Sud-Est que dans la partie Nord-Est, du fait d'un régime d'alizé située au Sud de Madagascar pendant l'hiver, avec des débordements sur les versants orientaux des Hautes Terres.

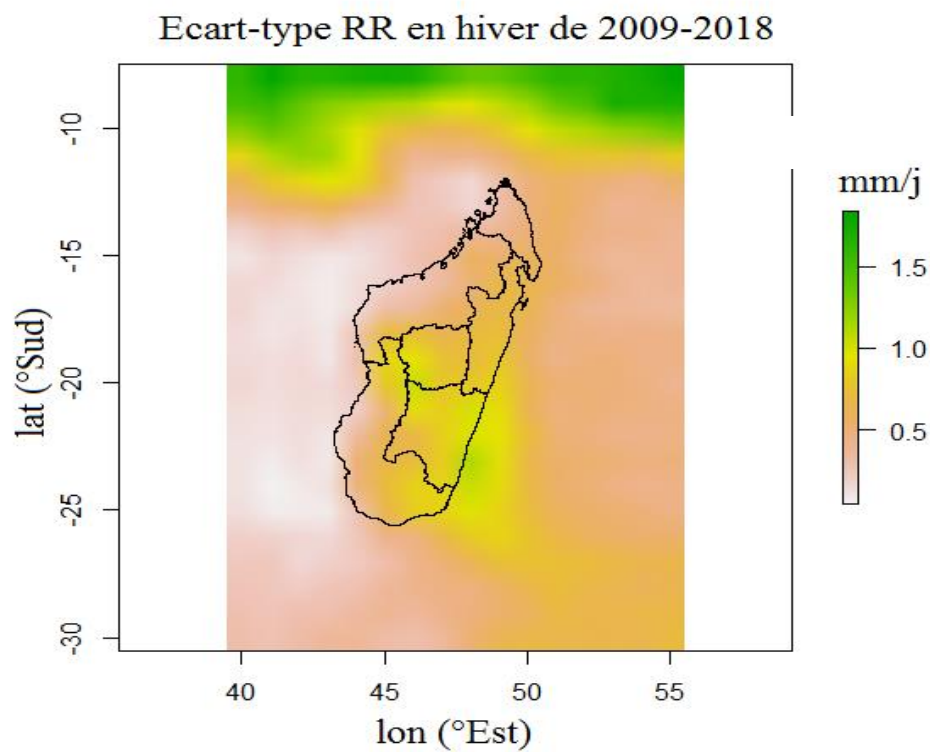


Figure 29:écart-type RR en hiver 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Ici, la figure confirme tout ce qui précède que la partie Est a la plus grande variabilité de précipitations dans tout Madagascar pendant l'hiver.

On a observé une faible variabilité sur la partie Nord-Est par rapport à la partie Sud-Est de la grande île qui est certainement due au régime d'Alizé dans cette zone.

I.2.2.2. Diagramme de Hovmöller :

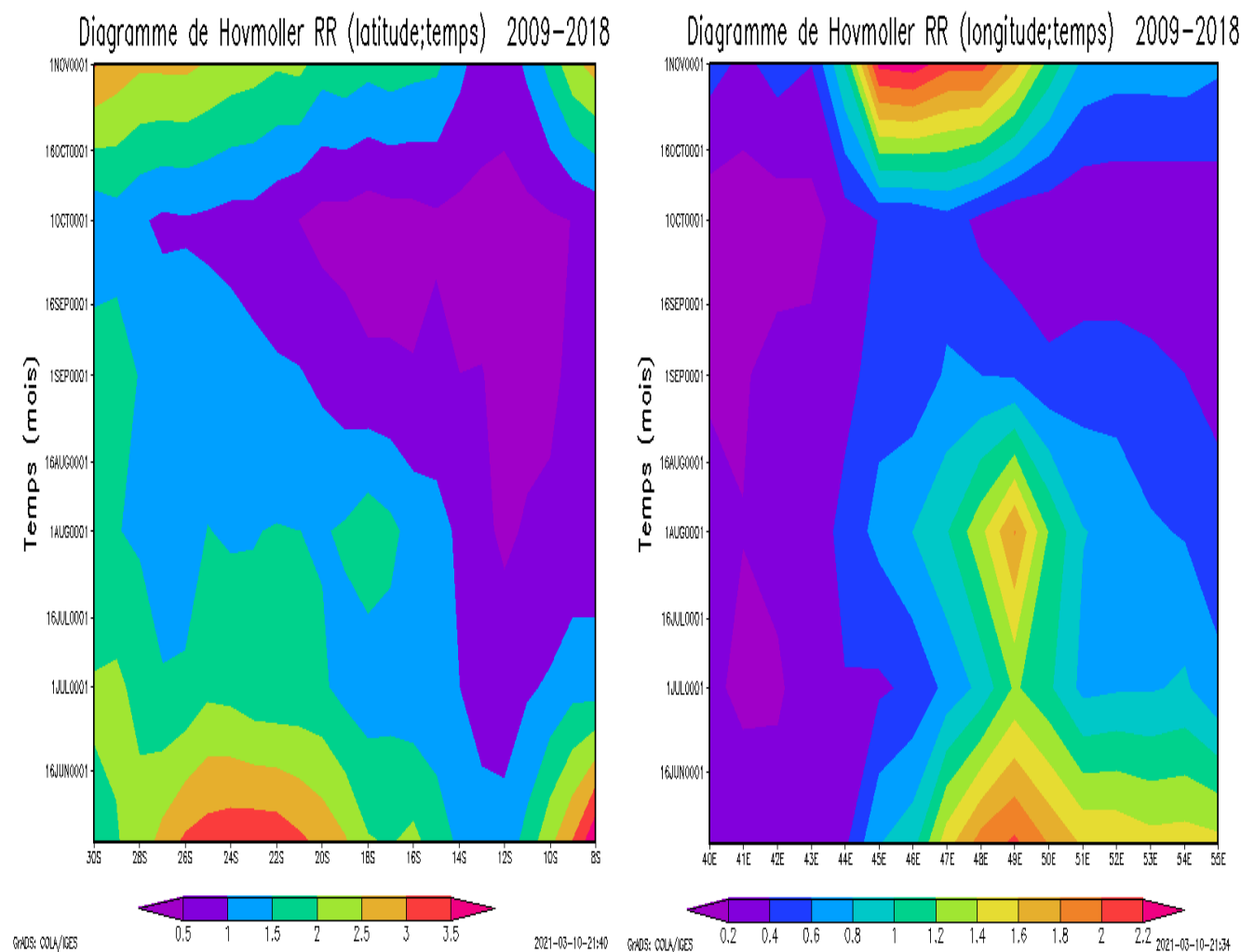


Figure 30: Digramme de Hovmöller de la précipitation en hiver, 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Il semble que la partie orientale reçoit le plus de précipitations en juin-juillet- et août, tandis que la partie Ouest ne reçoit presque aucune pluie.

On constate aussi que la partie Sud reçoit plus de pluie que la partie Nord pendant l'hiver.

I.2.3. Carte de corrélation :

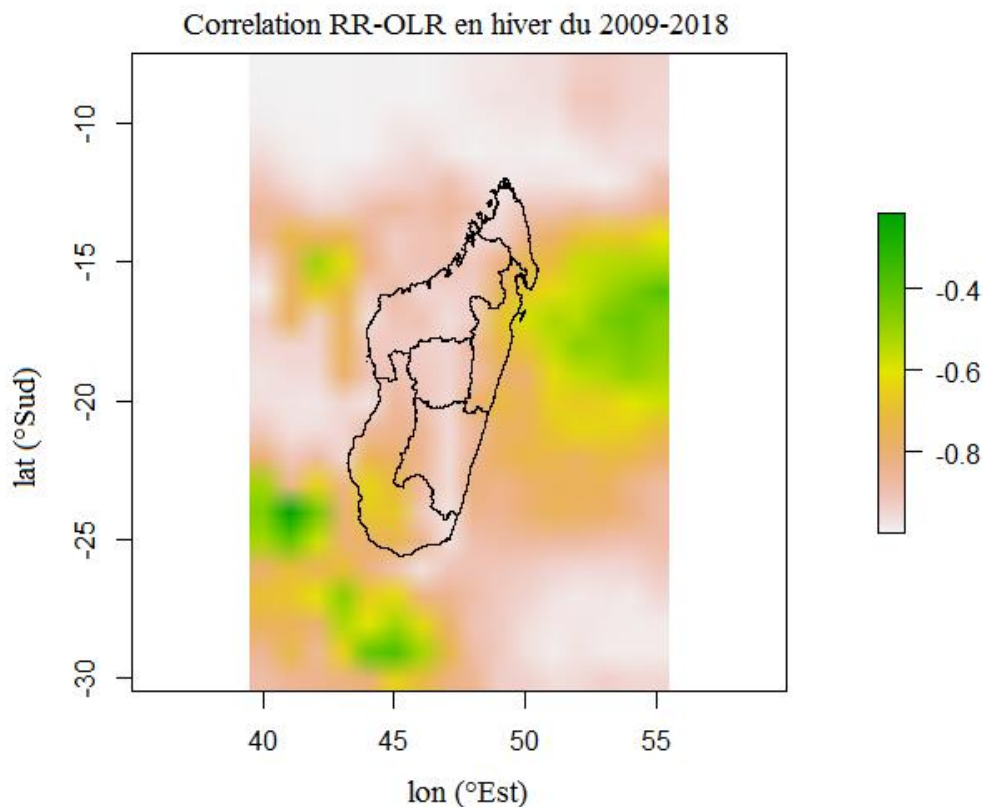


Figure 31: carte de corrélation RR-OLR en hiver du 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

En hiver, la relation entre la précipitation et l'OLR, dans la partie Est de Madagascar, est négative, ce qui indique que les précipitations et l'OLR varient en sens inverse, lorsque l'OLR diminue (ou respectivement augmente) les précipitations augmentent (ou respectivement diminuent).

Or les précipitations dans la partie Est ne sont pas d'origine convective.

I.2.4. Etude des cas :

I.2.4.1. L'Alizé :

La position et la nature des alizés ont aussi une des causes de la formation des précipitations dans la partie Est de Madagascar. Pour ce cas on va étudier quelque cas dans la décade 2009-2018 suivant leur nature et leur position.

L'étude se fait en mois de Juillet, Août et Septembre ou le régime d'Alizé est très marquant dans l'Océan Indien.

La figure ci-dessous montre ce vent dominant de direction Nord-Ouest, pendant cette période.

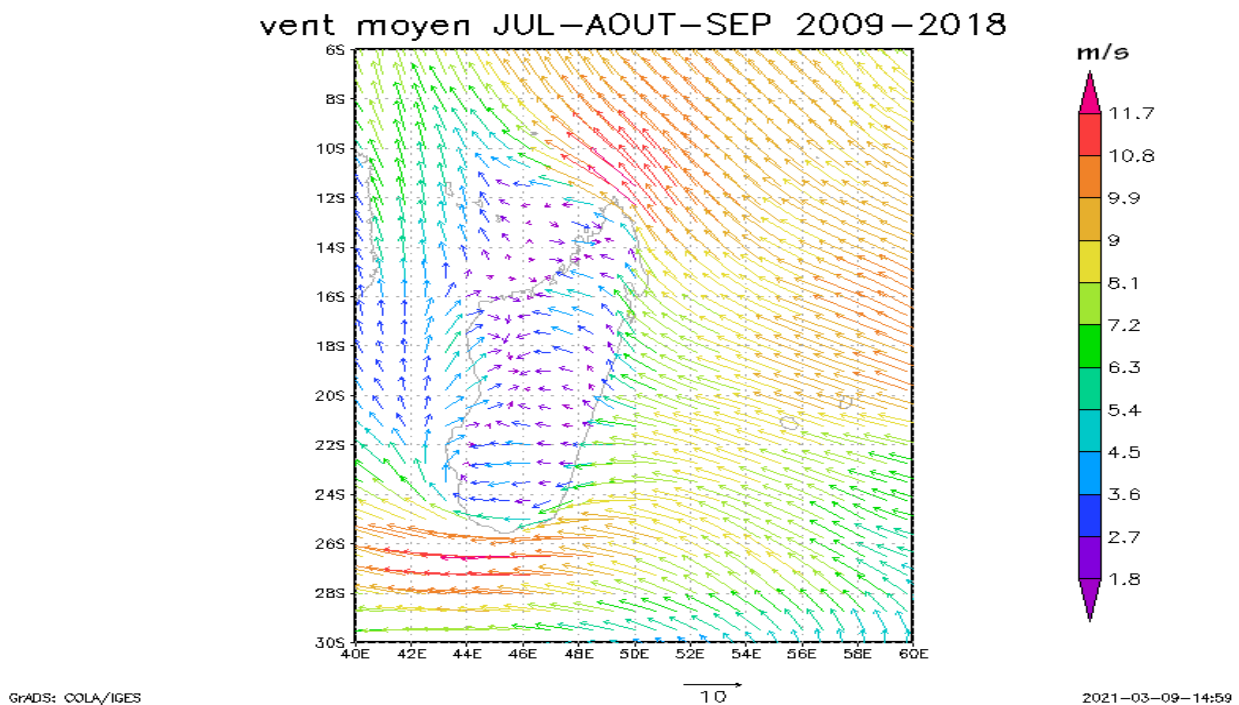


Figure 32: carte de vent moyen en JUL-AOUT-SEP 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

I.2.4.1.1. Alizé faible :

carte isobare du 16/08/2012

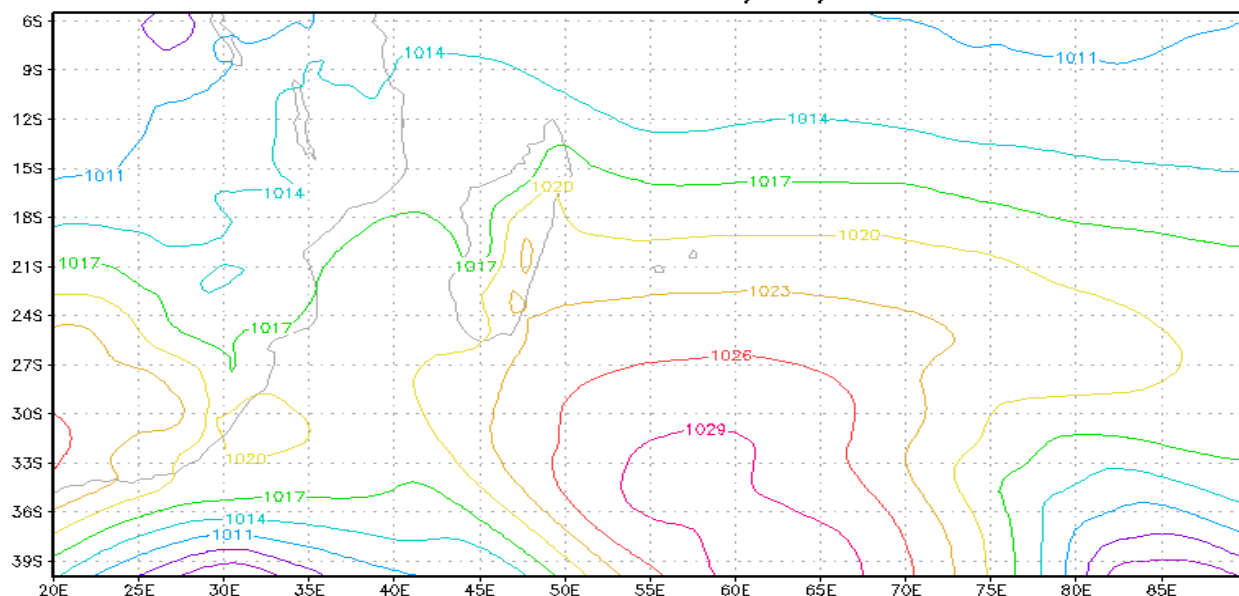


Figure 33: carte isobarique du 16/08/2012

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

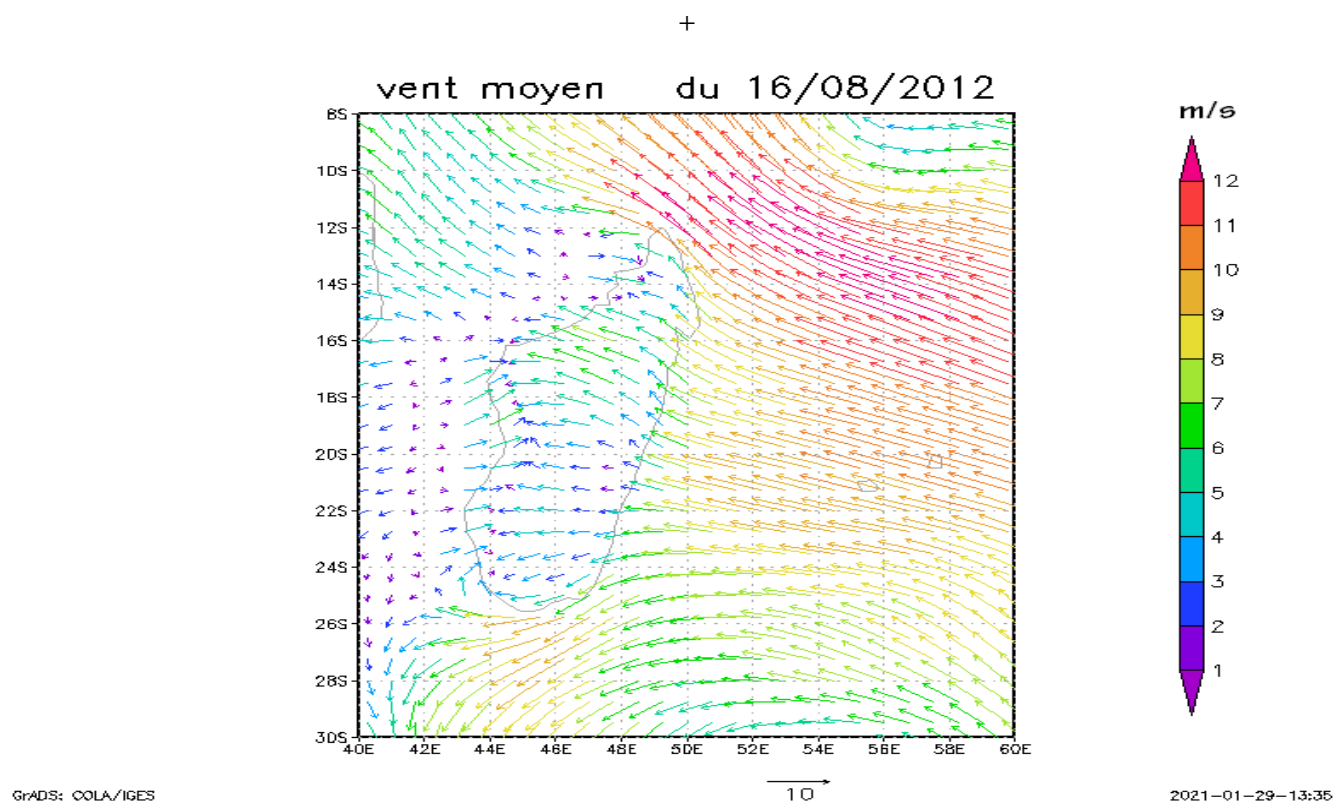


Figure 34: carte de vent moyen du 16/08/2012

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

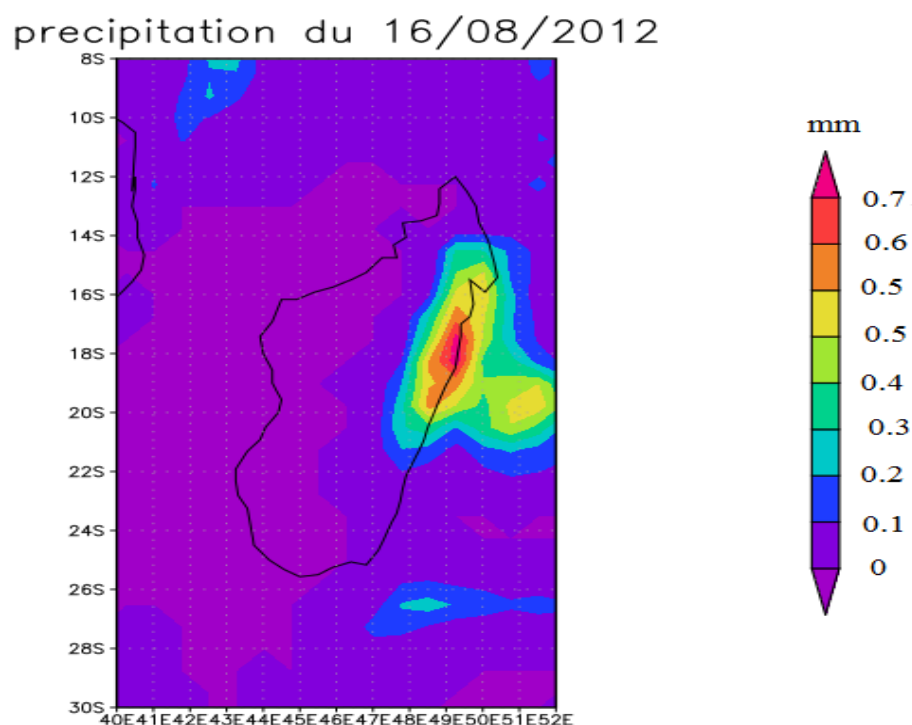


Figure 35: carte de précipitation du 16/08/2012

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La carte isobarique du 16 août 2012 montré ci-dessus (figure 33, page 52) montre la présence d'une Anticyclone à une pression au centre de 1029 mbar situé à 30°S-40°S et 50°E-70°E, qui indique la présence d'Alizé Faible dans cette zone.

Cet Alizé amène un vent moyen de 6 à 9 m/s de direction Nord-Est vers Madagascar, qui entraine une formation des précipitations moyennes de 0.5 à 0.7 mm dans la partie Nord-Est de l'île causé par l'effet orographique qui se produise.

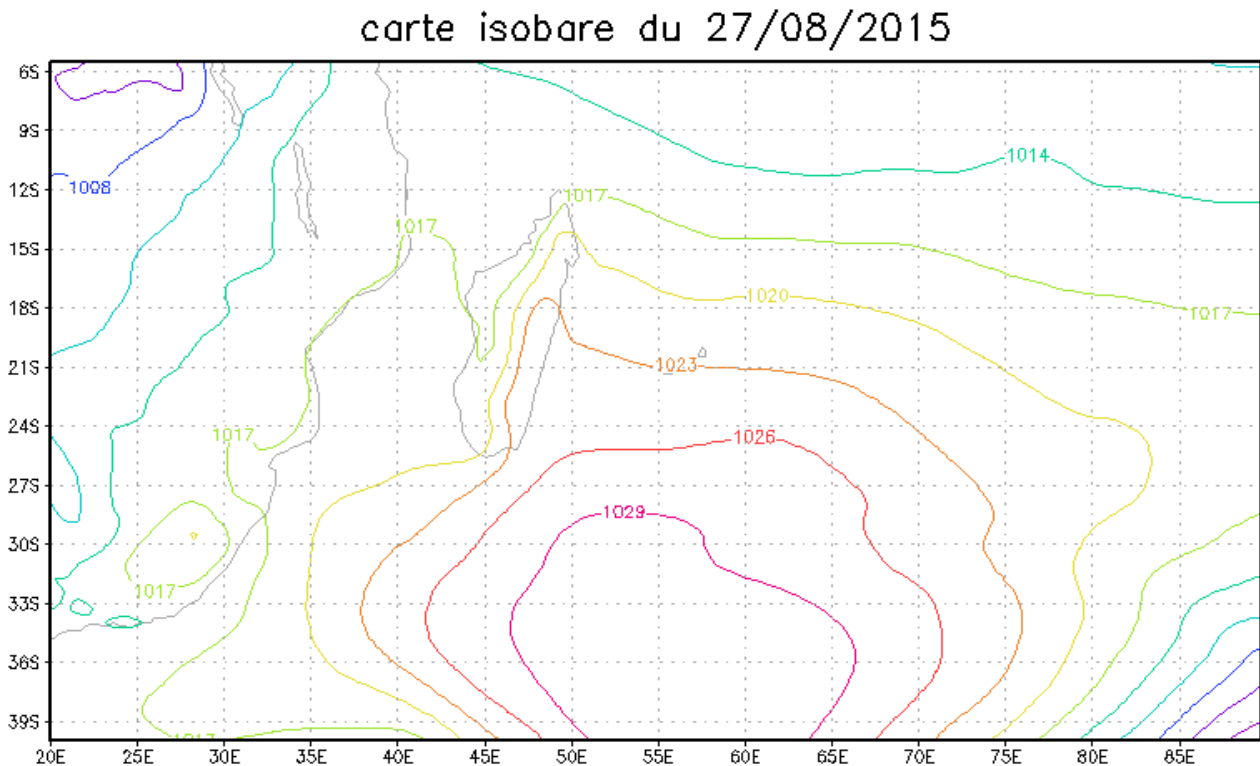


Figure 36:carte isobare du 27/08/2015

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

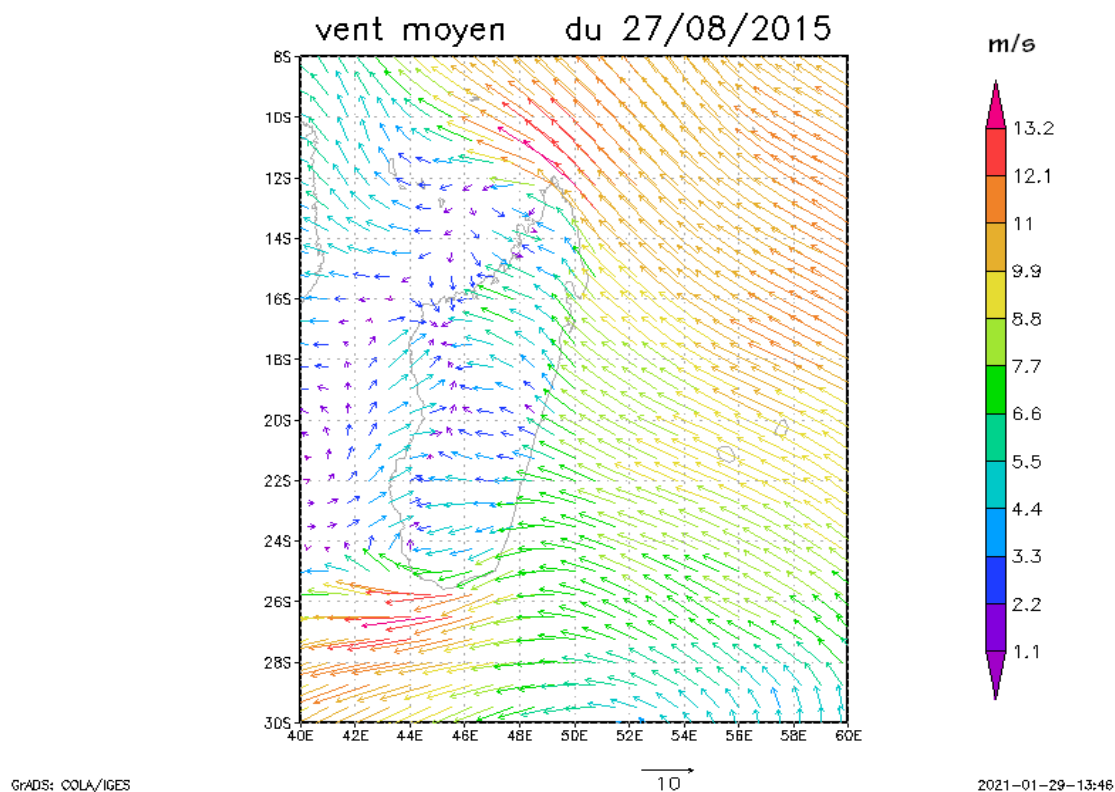


Figure 37: carte du vent moyen du 27/08/2015

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

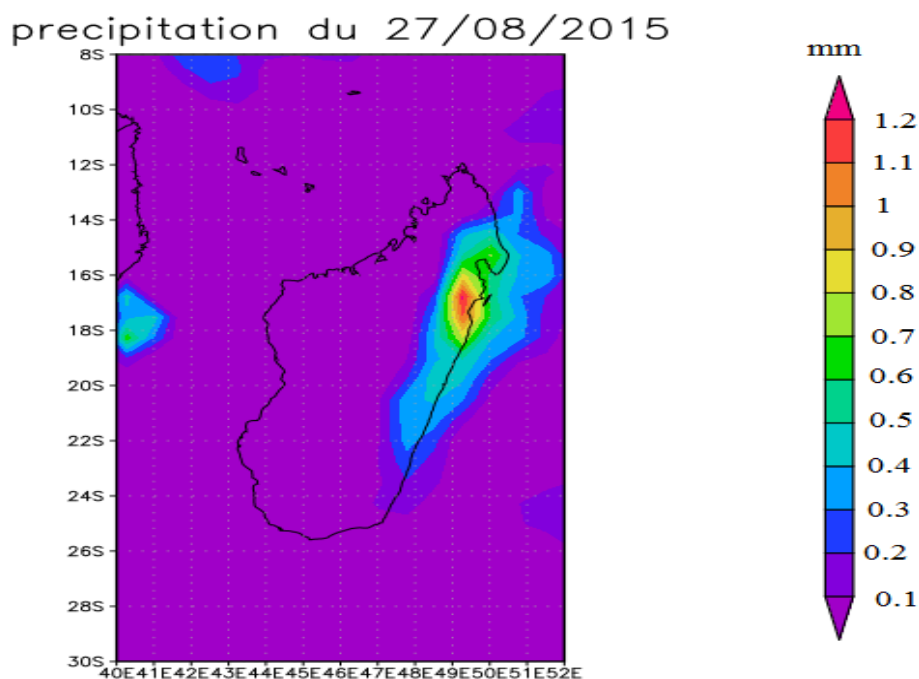


Figure 38: carte de la précipitation moyenne du 27/08/2015

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La situation isobarique de 27/08/2015 montré sur la figure 36 (page 54) : marque la présence d'un Anticyclone faible de pression au centre de 1030 mbar, situé à 27°S-40°E et 50°E-65°E. Cela indique aussi la présence d'un alizé faible.

Comme dans le cas du 16 août 2012 cet Alize amène aussi des vents moyens de 6 à 8.8 m/s de direction Nord-Est représenté sur la figure 37 (page 55), qui est la cause principale de la formation des précipitations dans cette zone environ de 0.5 à 1 mm par l'effet orographique.

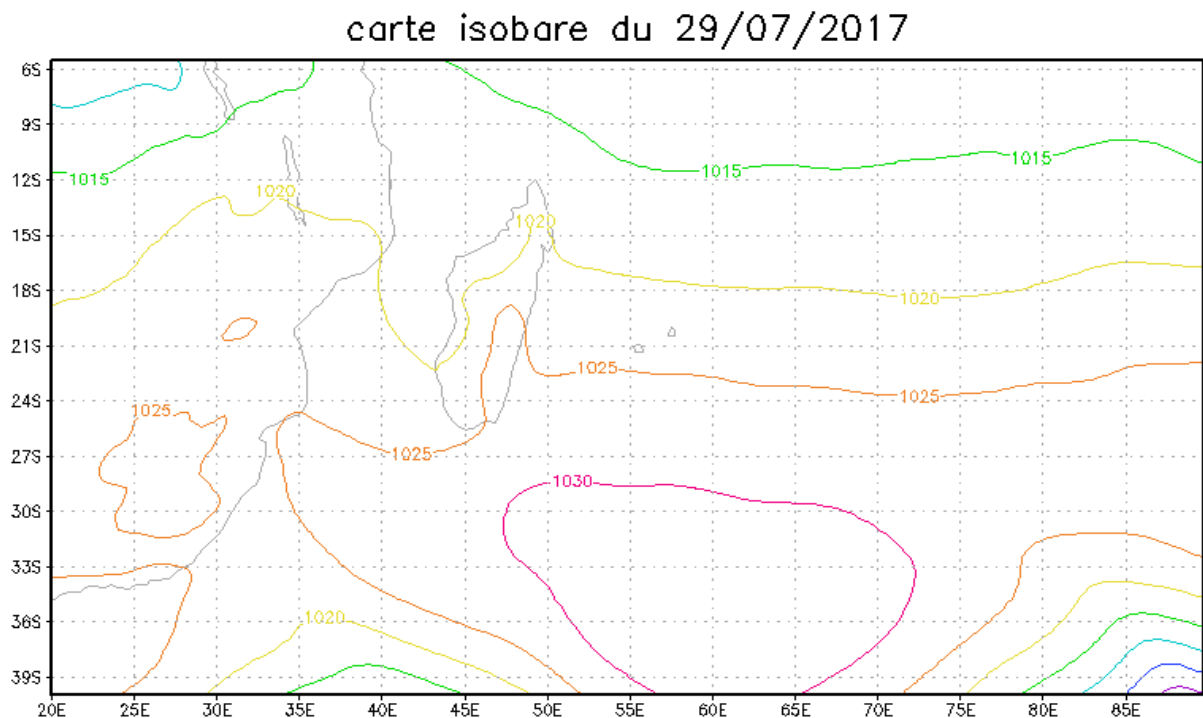


Figure 39:carte isobare du 29/07/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

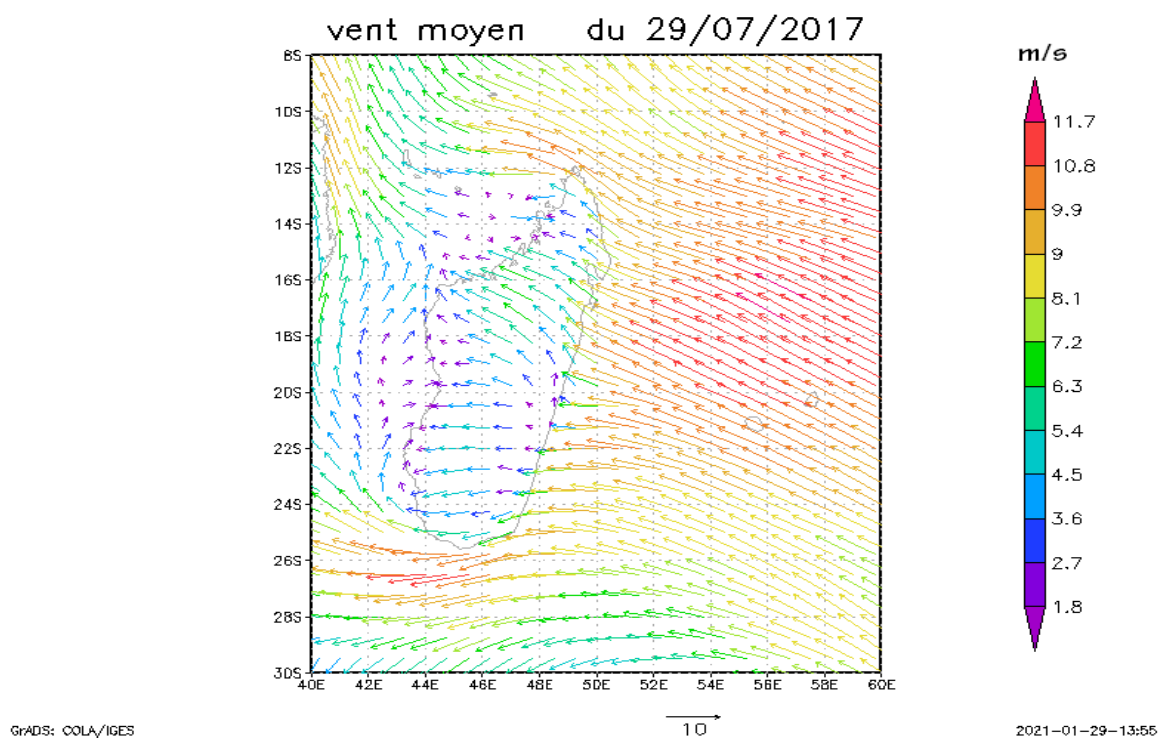


Figure 40: carte du vent moyen du 29/07/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

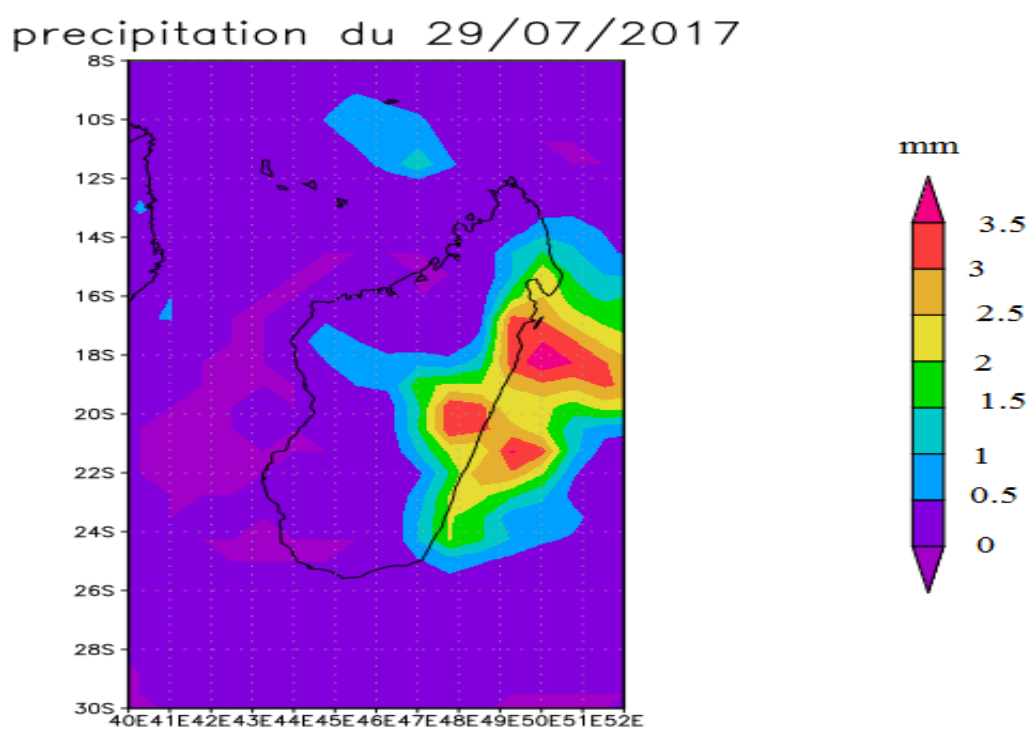


Figure 41: carte de précipitation du 29/07/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Le cas du 29/07/2017 est aussi marqué par la présence d'une Anticyclone faible situé à 35°S-40°S et 50°E-70°E. Qui indique la présence d'une Alizé faible, et emporte un vent moyen de 7.2 à 9 m/s d la direction Nord-Est.

La précipitation moyenne varie de 0.5 à 3 mm.

I.2.4.1.2. Alizé modéré:

carte isobare du 24/07/2014

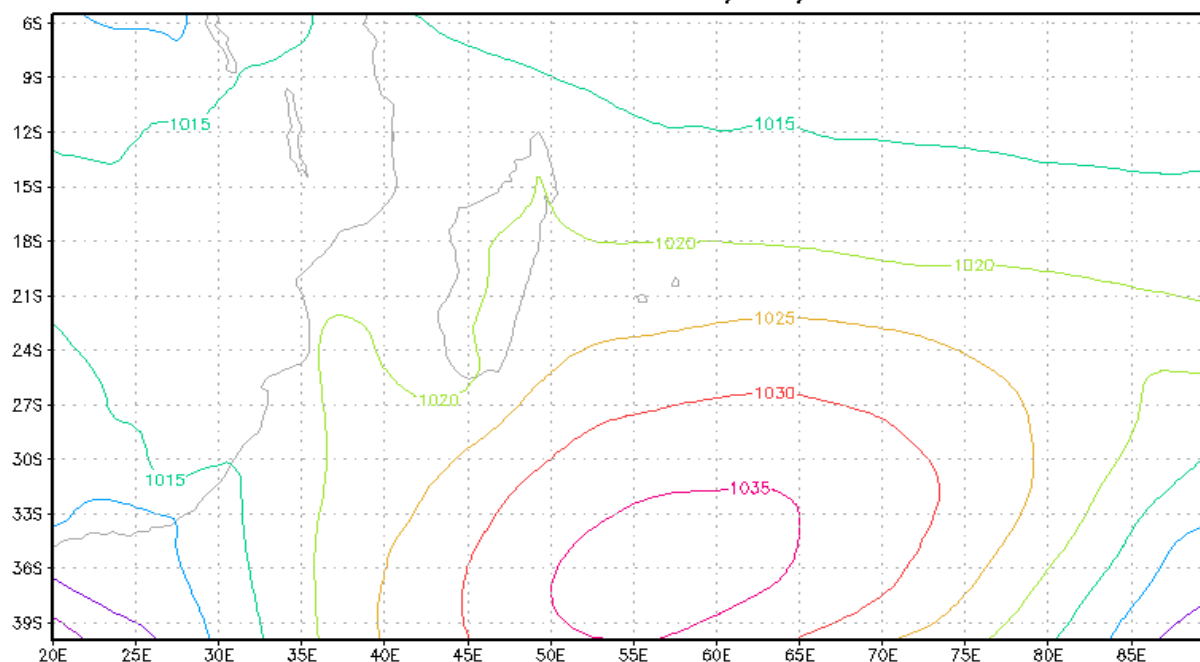


Figure 42: carte isobare du 24/07/2014

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

vent moyen du 24/07/2014

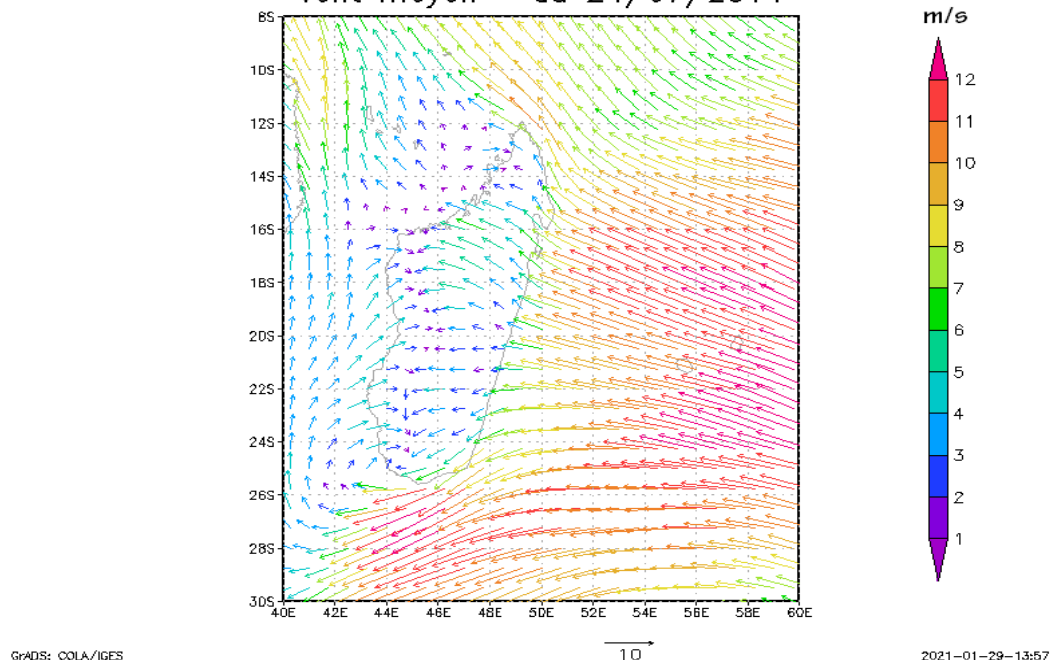


Figure 43: vent moyen du 24/07/2014

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

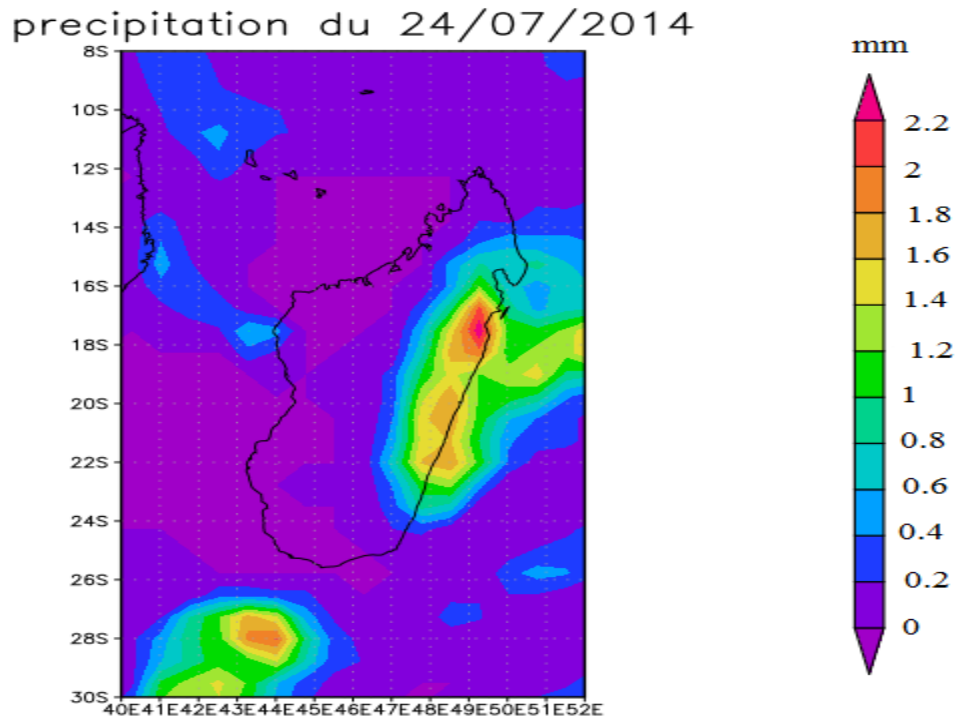


Figure 44:précipitation moyenne du 24/07/2014

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

On observe dans le cas de 27/07/2014 la présence d'une Anticyclone modéré situe à 30°S-4°S et 50°E-65°E.

La présence de Cat Anticyclone représente l'existence d'une Alizé modéré dans cette zone.

Qui emporte un vent moyen de 7 à 9 m/s dans la partie Nord-Est.

La précipitations moyenne du jour de 27/07/2014 varie de 1.2 à 2.2mm.

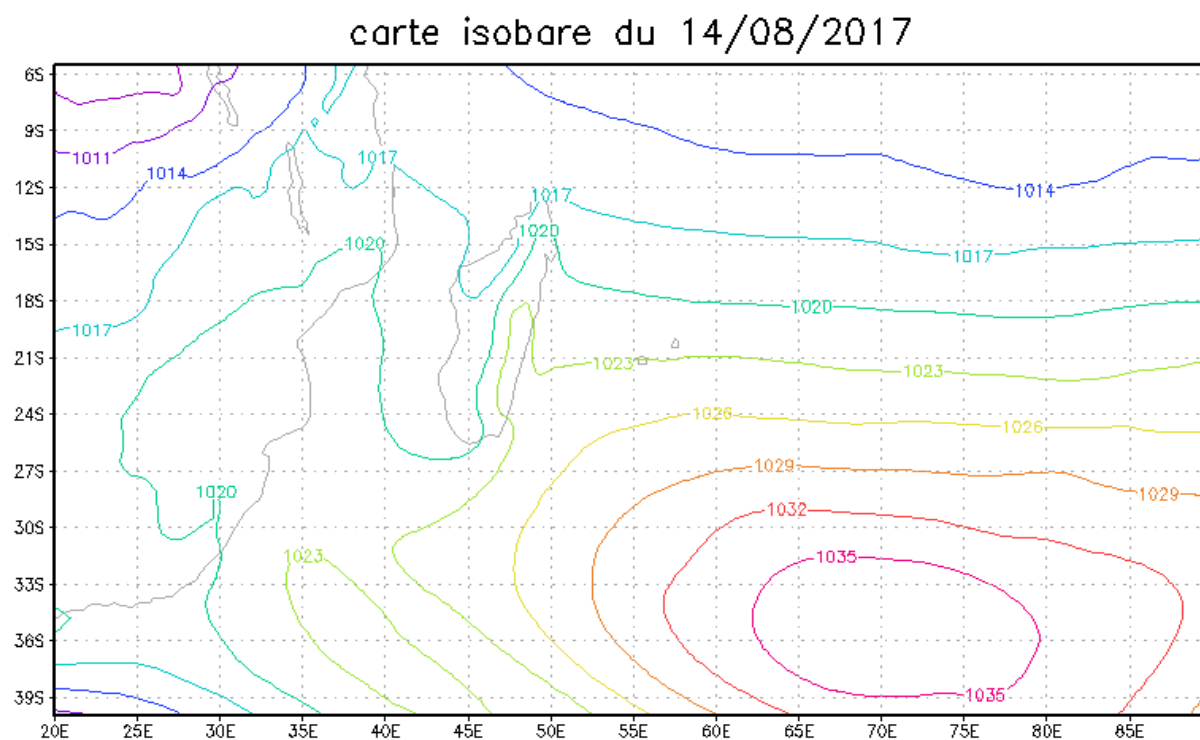


Figure 45:carte isobare du 14/08/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

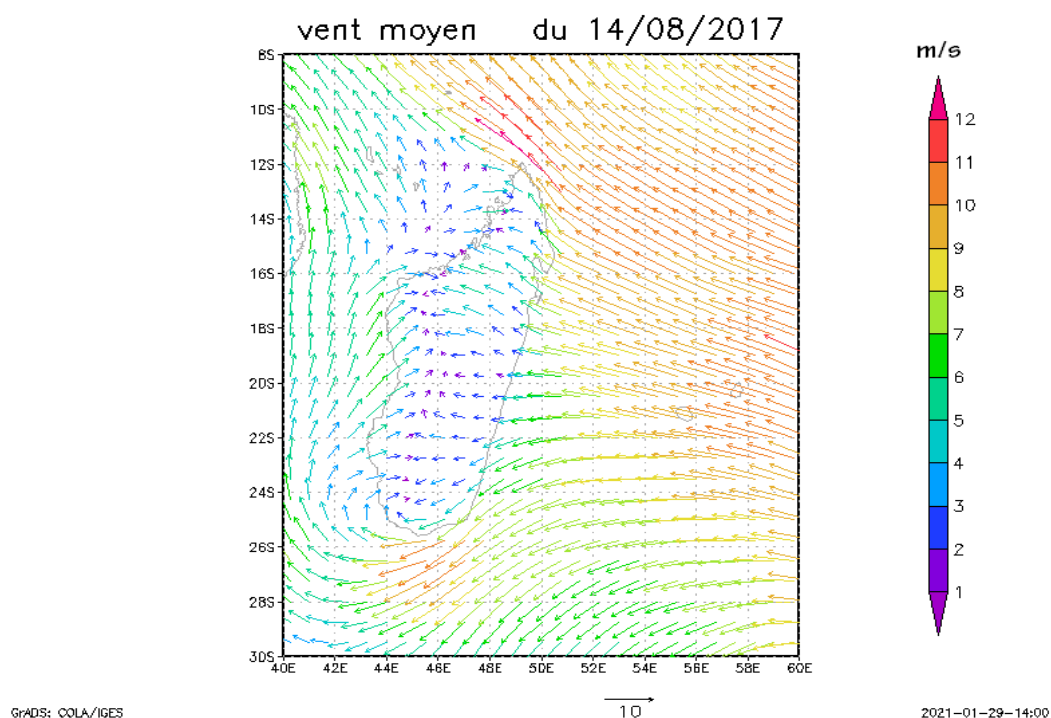


Figure 46:carte moyen du vent 14/08/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

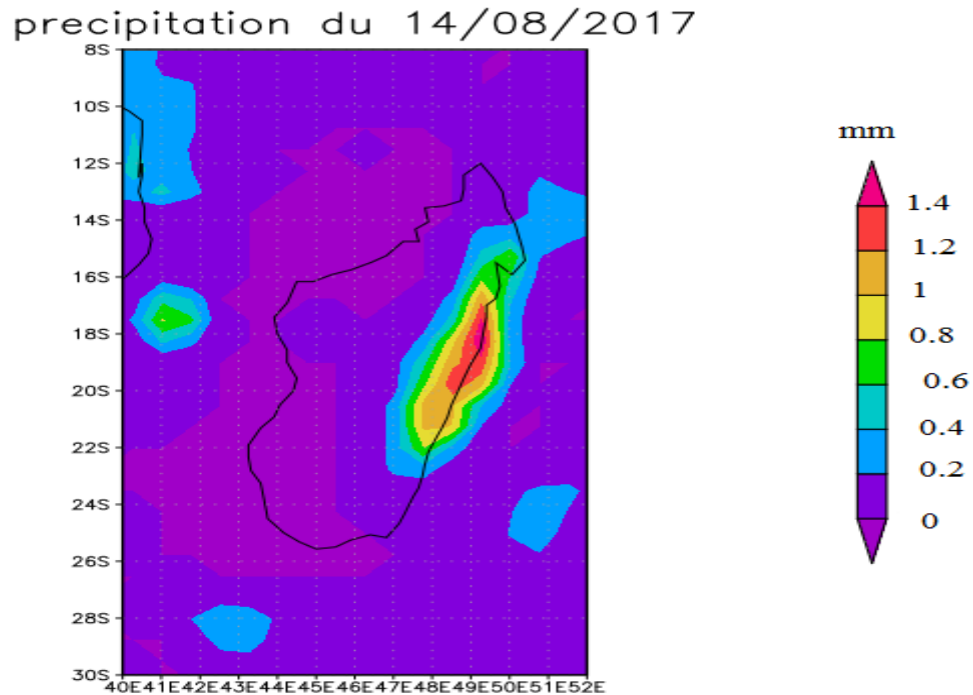


Figure 47: carte de précipitation moyenne du 14/08/2017

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La carte isobare du 14/08/2017 indique la présence d'un anticyclone modéré situé à 30°S à 40°S et 60°E à 80°E.

Elle apporte un vent moyen varie de 7 à 10 m/s de direction Nord-Est, ce qui provoque la précipitation dans la partie Est qui atteint une variation moyenne de 0.8 à 1.4 mm pendant la journée, dans cette zone.

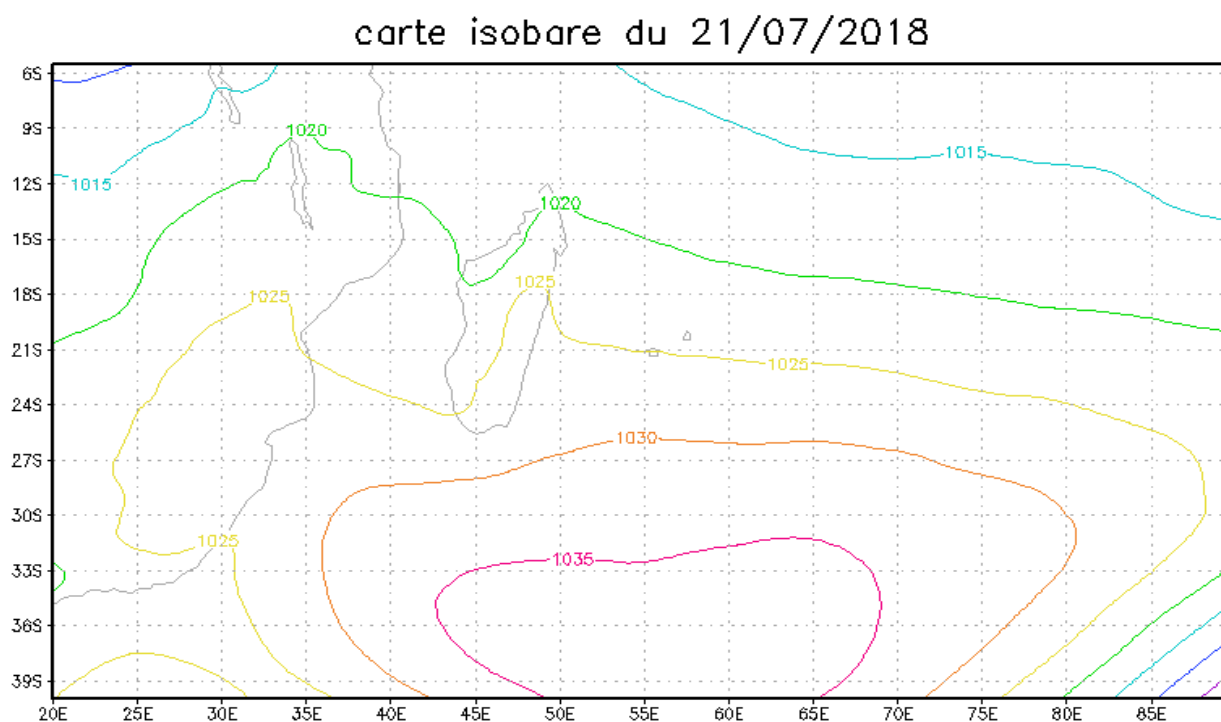


Figure 48:carte isobare du 21/07/2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

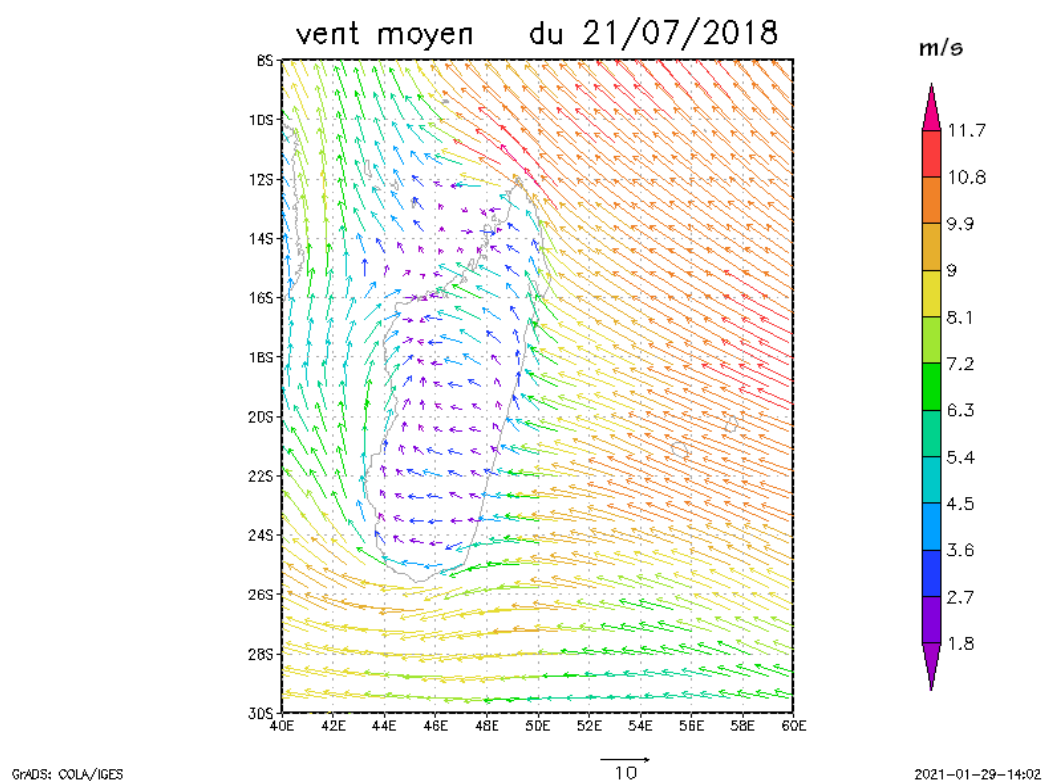


Figure 49:carte moyen du vent 21/07/2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

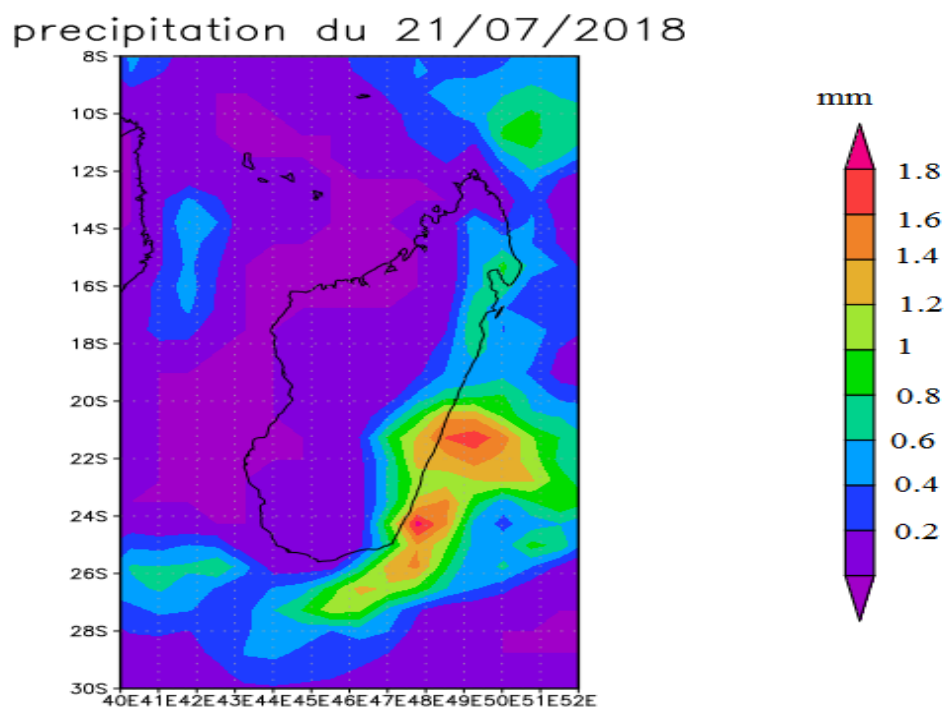


Figure 50: carte de précipitation moyenne du 21/07/2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Le 21/07/2018 est aussi marqué par la présence d'une Alizé modéré situé dans 30°S-40°S et 45°E-65°E.

Qui apporte un vent moyen de 6 à 9 m/s de direction Nord-Est.

La précipitation moyenne journalière varie de 0.4 à 1.4 mm.

I.2.4.1.3. Alizé fort :

carte isobare du 01/09/2016

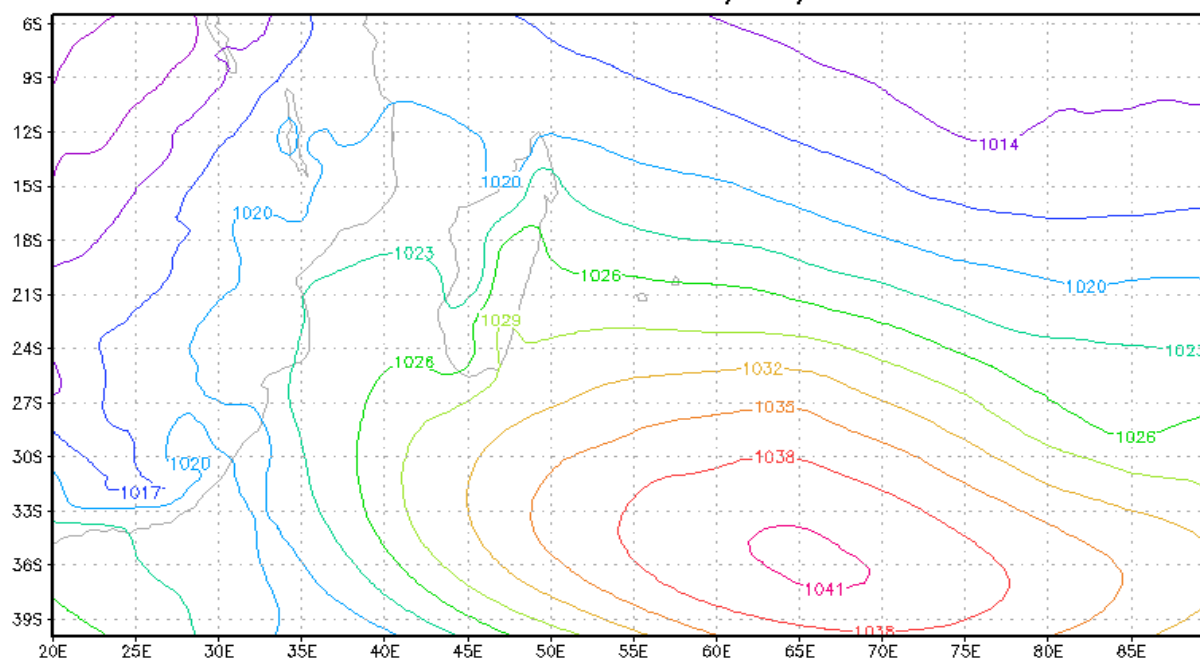


Figure 51:carte isobare du 16/09/2016

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

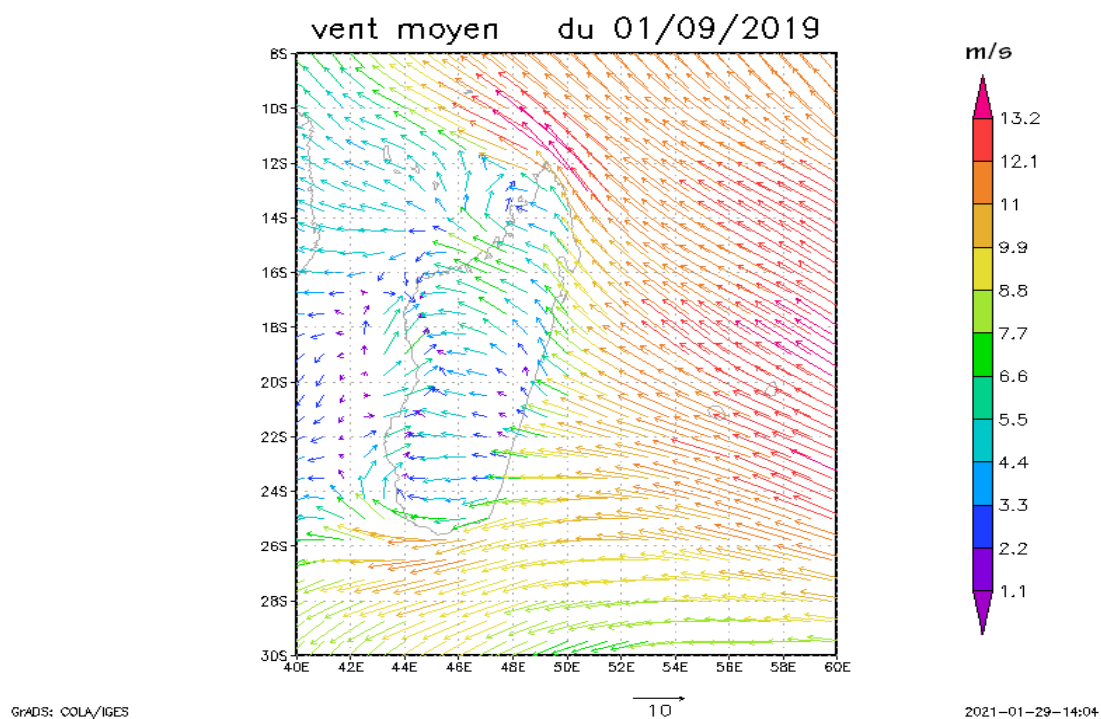


Figure 52:carte moyen du vent 01/09/2019

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

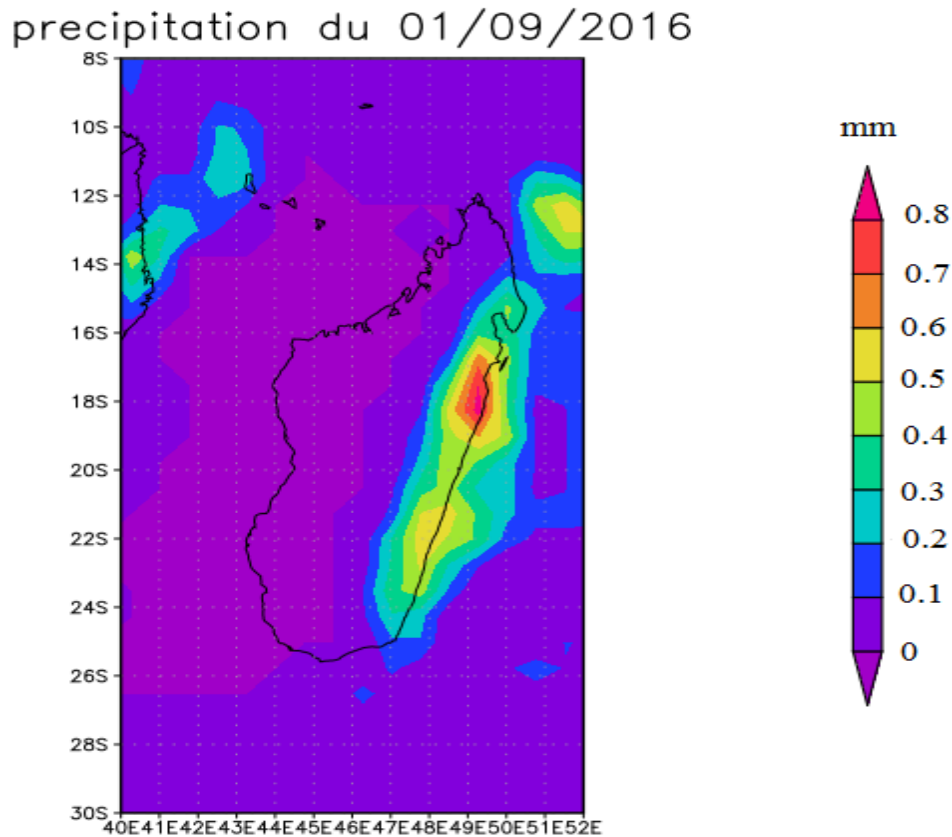


Figure 53: carte de précipitation moyenne du 01/09/2016

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

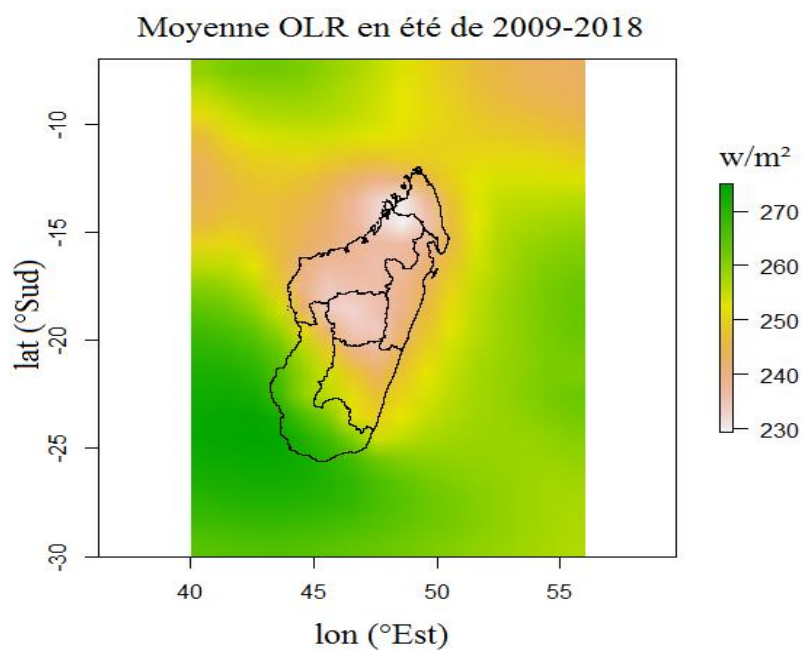
Le cas du 01/09/2016 indique la présence d'une Alizé forte situé dans la latitude 30°S -40°S et de longitude 60°E-70°E.

Le vent moyen accompagné varie de 11 m/s de direction Nord-Est.

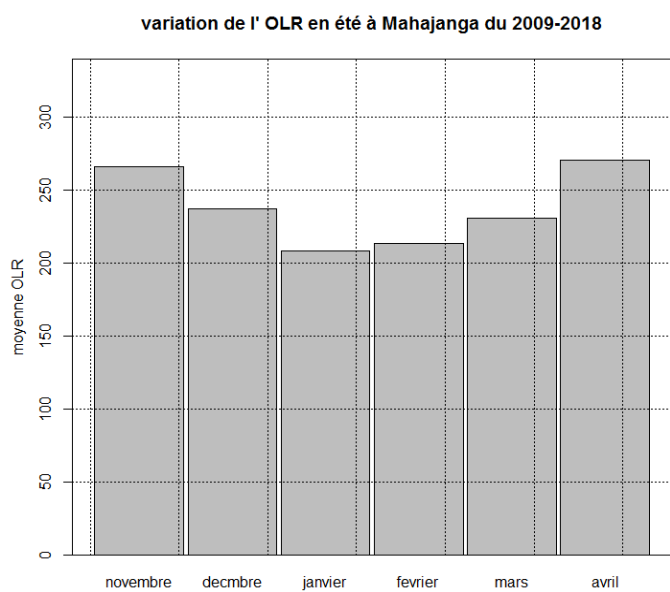
Précipitation journalière moyenne varie de 0.8 mm

I.3. Comparaison entre la partie Nord-Ouest et Est :

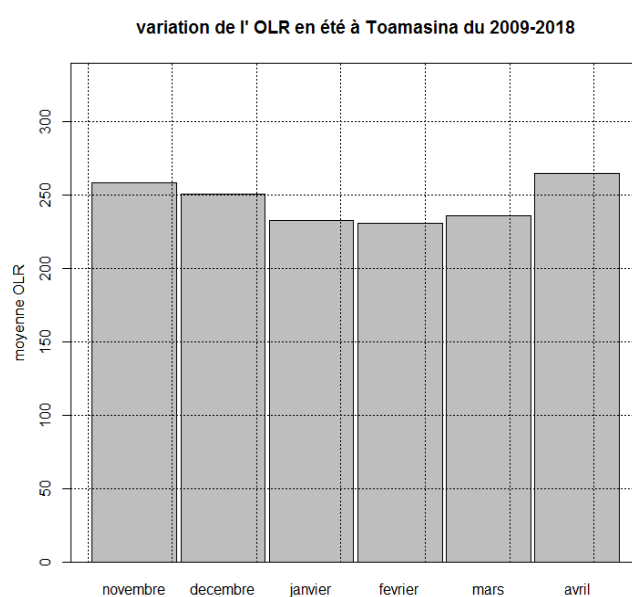
Dans cette partie on fait quelque comparaison entre la partie Nord-Ouest et la partie Est de Madagascar, pour montrer l'existence de cette différence de pluviométrie en été et en hiver. Pour mieux faire l'étude on a choisi la province de Mahajanga pour la partie Nord-Ouest et Toamasina pour la partie Est.



(a)



(b)



(c)

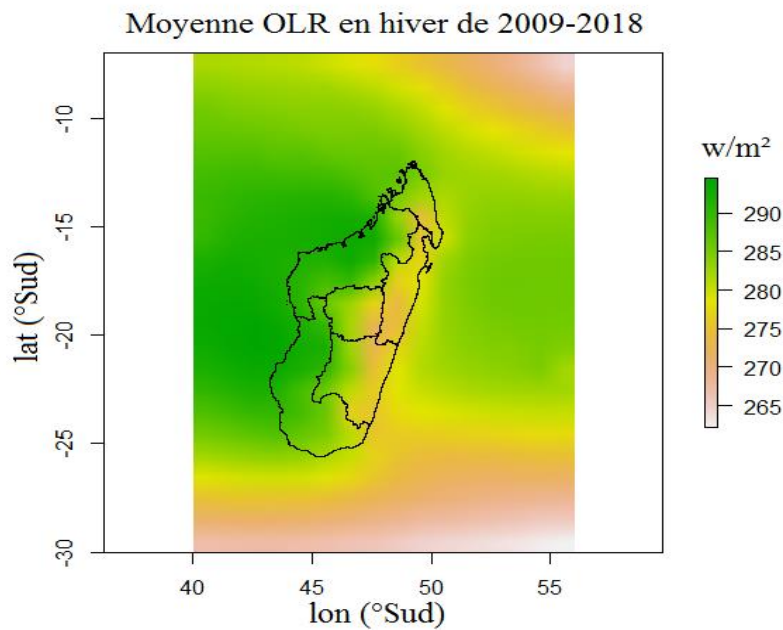
Figure 54: comparaison OLR en été entre Toamasina et Mahatsanga

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Les cartes de la figure 54 ci-dessus montrent la variation de l'OLR pendant la saison d'été dans ces deux provinces.

Le graphe (b) dans la figure 54 (page 67), montre que l'OLR est au-dessous de 240 w/m^2 durant le mois de Janvier-Février-Mars dans la province de Mahajanga, ce qui confirme la forte convection dans cette région.

Par contre dans la province de Toamasina l'OLR est au voisinage de 240 w/m^2 représenté sur le graphe (c), c'est-à-dire convection moins important pendant le mois de Janvier-Février et Mars.



(a)

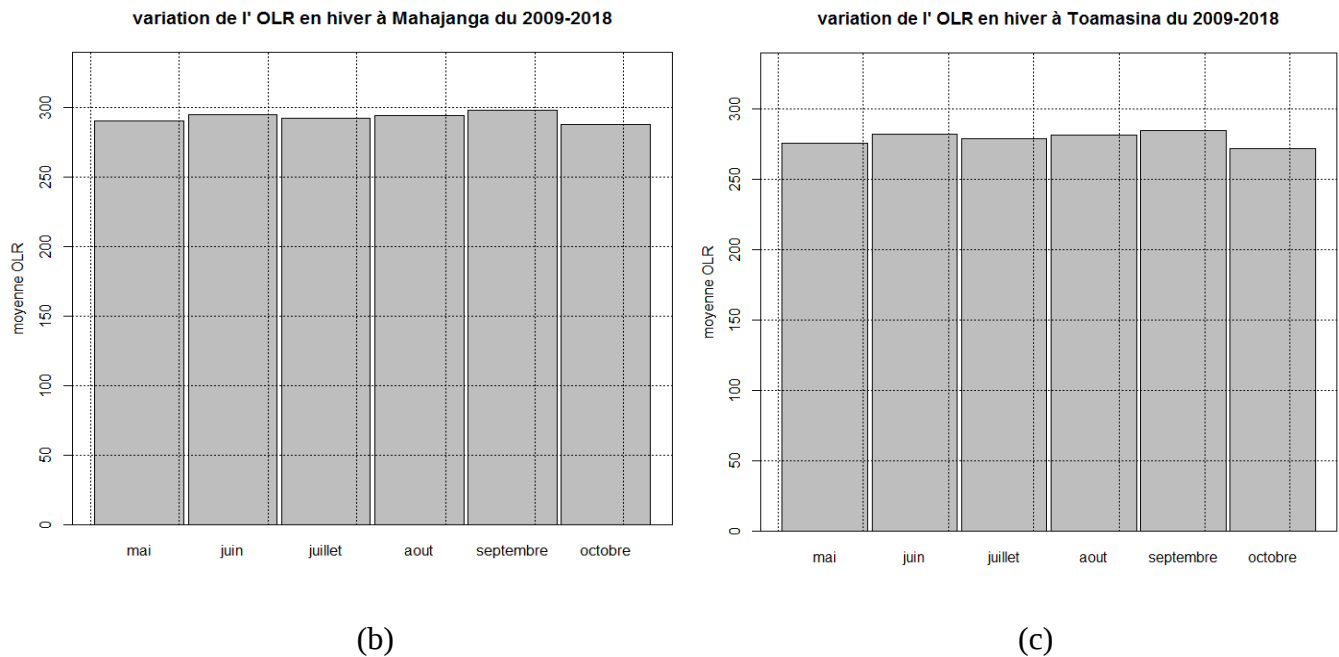


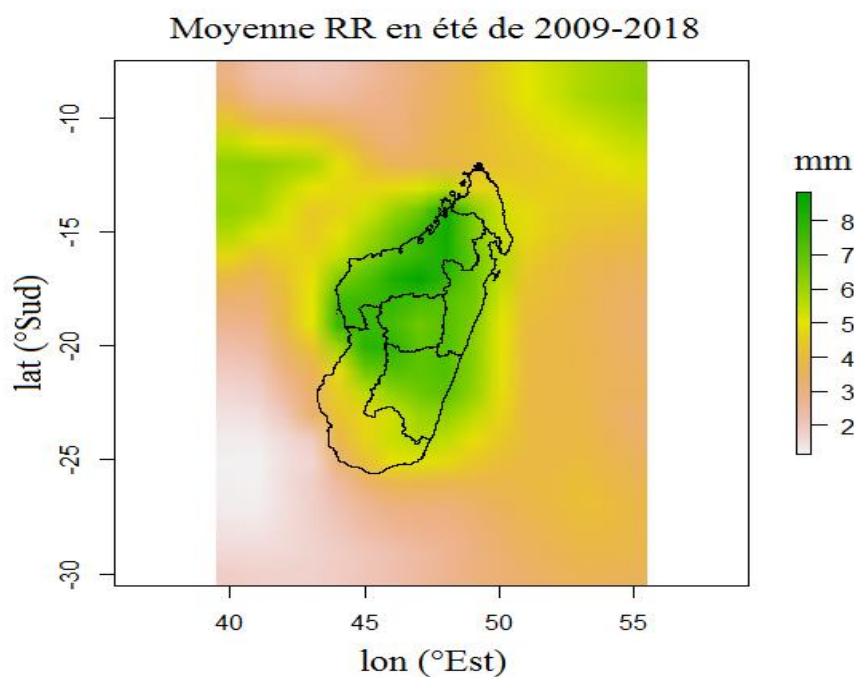
Figure 55: comparaison d'OLR en hiver entre Toamasina et Mahajanga

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

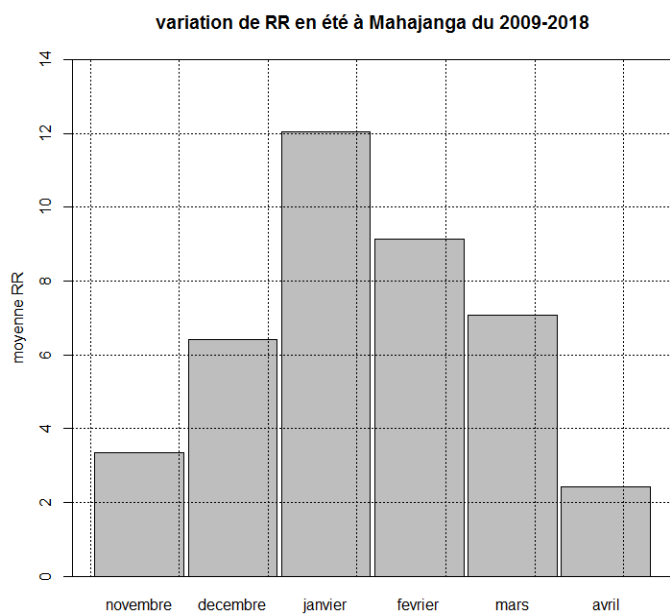
La carte et les graphes de la figure 55 montrent l'évolution de l'OLR dans la saison d'hiver.

Les graphes (b) et (c) montrent que l'OLR est au-dessus de 240 W/m^2 dans ces deux provinces pendant l'hiver.

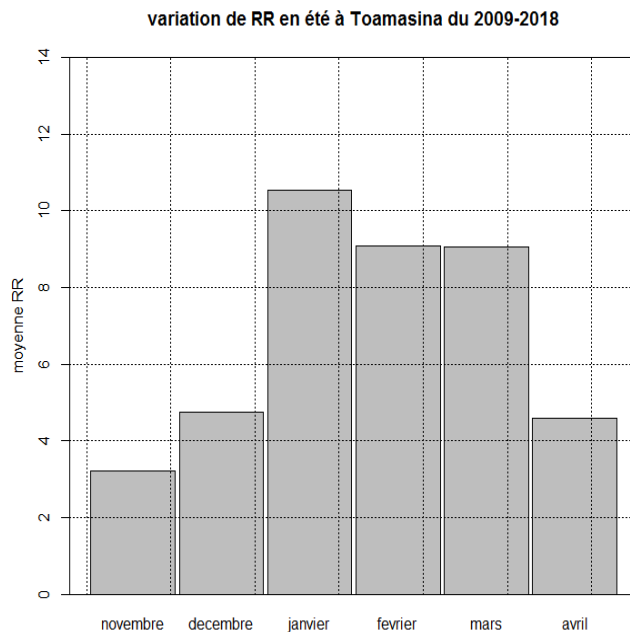
Les précipitations qu'on voit dans la saison d'hiver ne sont pas donc d'origine convective pour ces deux provinces.



(a)



(b)



(c)

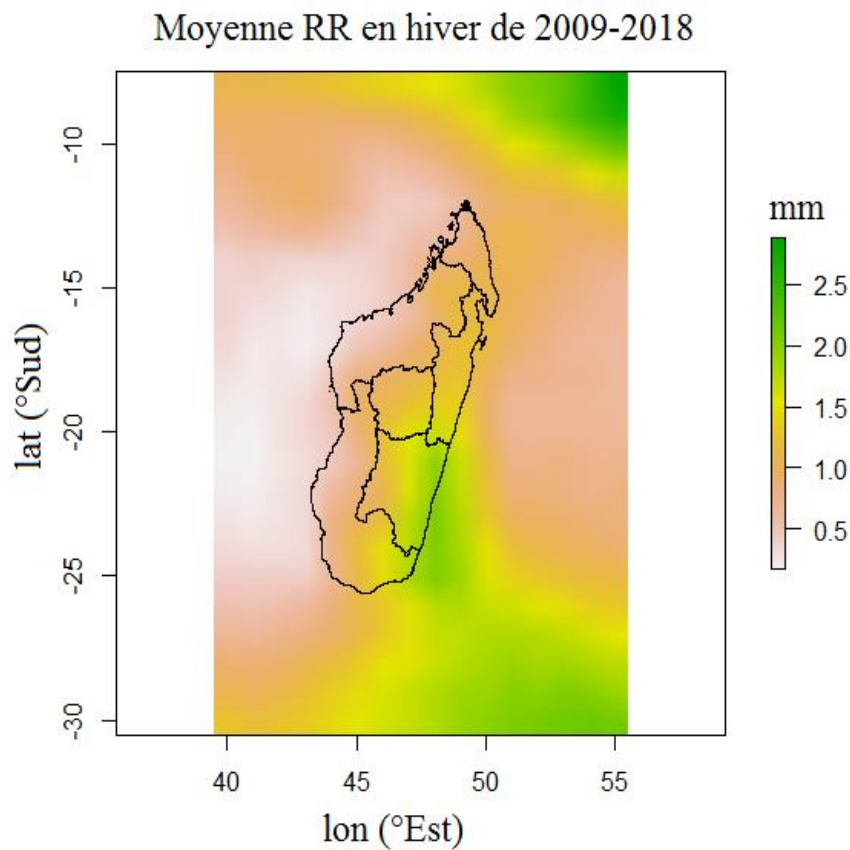
Figure 56: comparaison de RR en été entre Toamasina et Mahajanga

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

La figure 56 ci-dessus montre la variation de précipitations pendant l'été dans ces deux provinces.

Les deux graphes (b) et (c) montre qu'on voit plus de précipitations à Mahajanga, par rapport à Toamasina pendant l'été.

Ces précipitations sont plus abondantes dans le mois de Janvier-Mars et Avril, et atteint le maximal au mois de Janvier.



(a)

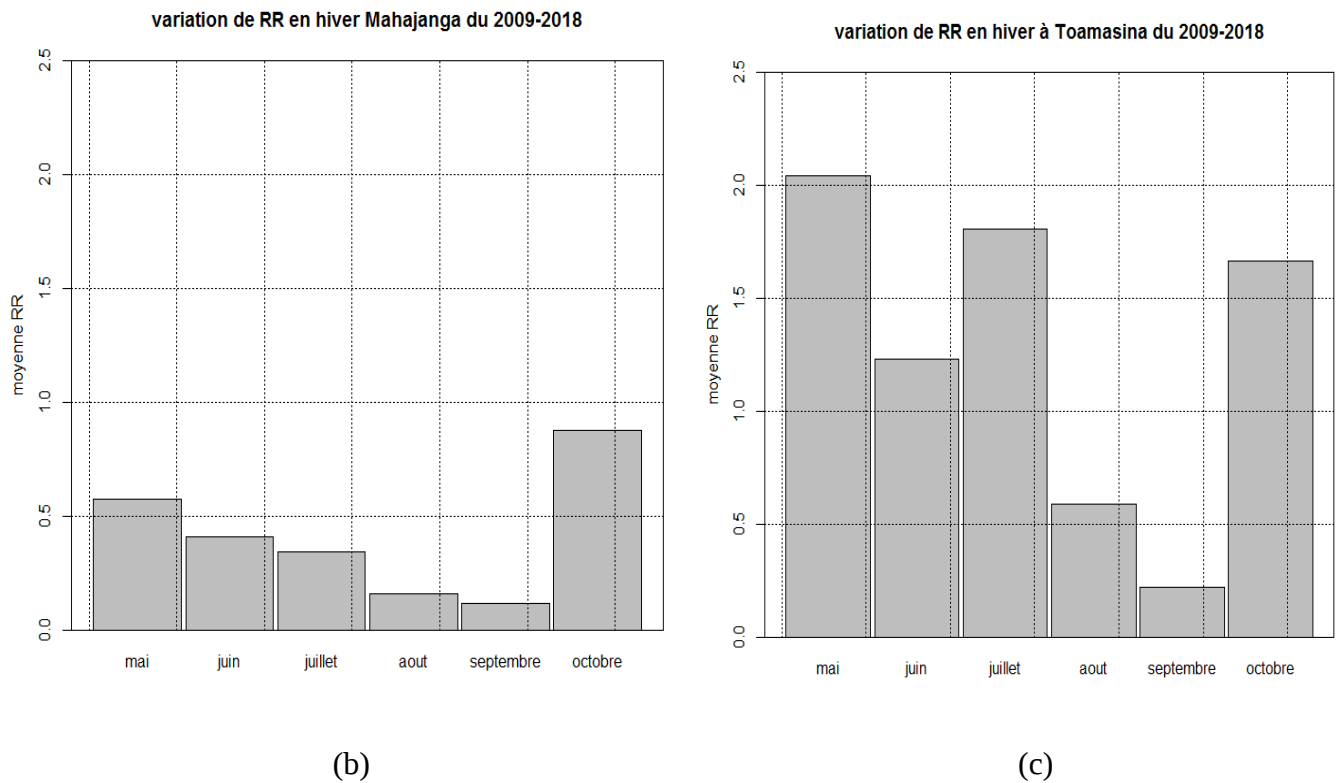


Figure 57: comparaison de RR en hiver entre Toamasina et Mahajanga

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Les graphes (b) et (c) du figure 57 ci-dessus montre les précipitations en hiver dans ces deux régions.

On voit que Toamasina reçoit encore beaucoup de pluie pendant l'hiver, alors qu'on remarque aussi qu'il pleut beaucoup pendant le mois de juin-juillet-août en raison de la présence d'Alizé qui est très proche de Madagascar pendant ces mois.

On constate d'après ces graphes qu'on trouve plus de précipitations à Toamasina par rapport au Mahajanga. Ces précipitations sont dues à la présence des vents d'Alizé dans cette zone pendant l'hiver.

D'après ces résultats nous pouvons dire alors que les précipitations pendant la période d'été surtout sur la partie Ouest sont causées par la présence du vent du Nord-Ouest ou « Mousson », tandis que le vent du Sud-Est ou « Alize » est la principale cause des précipitations pendant l'hiver dans la partie Est.

CONCLUSION

Le comportement des précipitations est très important pour connaître la climatologie de Madagascar. L'abondance ou l'insuffisance des pluies, la variabilité de la couverture nuageuse, sont intimement liées. Dans cette étude nous avons tenté de faire une étude climatologique diagnostique pour mettre en évidence la situation pluviogènes des zones climatiques Est et Nord-Ouest de Madagascar, en tenant compte les valeurs des précipitations, de l'OLR, des vents, et de la pression.

Cette étude qui s'intitule « *CONTRIBUTION A L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE DES SITUATIONS PLUIVIOGENES DES ZONES CLIMATIQUES EST ET NORD-OUEST DE MADAGASCAR* » tente de mettre en évidence ces situations, et les relation entre ces variables. Toutes les données qu'on a utilisées dans cette étude sont tirées des bases de données issues des modèles numériques. L'étude statistique utilisée se basant sur l'établissement des cartes climatologiques, des études de la moyenne, de l'écart-type, de corrélations, qui ont données des résultats satisfaisants. Les relations évidentes entre ces différents paramètres avec les précipitations ont été identifiées en analysant les cartes et les diagrammes de Hovmöller. Ainsi les zones de forte convection ont été identifiées et elles sont généralement associées à des zones où les précipitations sont relativement importantes. On constate que la présence de la mousson, qui favorise la forte convection dans la partie Ouest provoque les fortes précipitations dans cette zone pendant l'été, et la présence d'Alizé dans le Sud provoque les précipitations pendant l'hiver dans la partie Est, qui ne sont pas d'origine convective.

Cette étude s'est focalisée sur les relations entre les précipitations, le vent, la pression et l'OLR. D'autres facteurs aussi importants sont encore à prendre en compte, et, les possibilités d'améliorer cette étude à l'échelle plus précise pourront être envisagées.

Bibliographie

- [1] **Météorologie Nationale (MN).** *Notice sur la climatologie de Madagascar.* Antananarivo : s.n., 1970. 551.582.3 (691).
- [2] **Pierre Chaperon, Joël Danloux et Luc Ferry.** *Fleuves et rivières de Madagascar.* Paris : Orstom, 1993.
- [3] **Stéphanie, GUEDJ.** *EUMETSAT.* 2005.
- [4] **intertropicale), Zone de convergence intertropical :**(meteofrance .fr/publication/glossaire /zone de convergence.
- [5] **Guide cyclonique- Océan Indien Sud-Ouest**
- [6] **419, Bull. Assoc. Géogr. Franc. 1974. N°. LES TYPES DE TEMPS D'ALIZE ACTIF A MADAGASCAR.**
- [9] **Hai-Tien Lee, Istvan Laszlo, Arnold Gruber : ABI Earth Radiation Budget Upward Longwave Radiation : TOA (Outgoing Longwave Radiation), 24 Septembre 2010.**
- [12] **14]Pham Xuan Thanh, 2008, « Etude climatique de la mousson vietnamienne et applications à la prévision saisonnière », Thèse de doctorat, Université de Bourgogne.**
- [13] **Reunion/webcmrs9.0/francais/index.html, www.meteo.fr/temps/domtom/La.**
- [14] **Hai-Tien Lee, Istvan Laszlo, Arnold Gruber: ABI Earth Radiation Budget Upward Longwave Radiation: TOA (Outgoing Longwave Radiation), 24 September 2010.**
- [15] **Julien Barnier, et al. Analyse_R. 2018.**
- [17] **Kousky, V. E., 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America.**
- [18] **Laurent Borrel (ENM/RP), Yann Esnault (SaE)**
L'Atmosphère
- [19] **Randel, W. J., F., Wu, and W., R., Rios, 2002: Thermal variability of the tropical.**
- [20] **Luc Yannick Andrés RANDRIAMAROLAZA, Marie Louise, Zoaharimalala RABEFITIA, Mark TADROSS et Zheng KI YIP. Le changement climatique à Madagascar. s.l. : Direction Générale de la Météorologie , Mars 2008.**
- [21] **II, poisson.**
- [23] **SEAS5 user guide : ECMWF, Novembre 2017.**
- [24] **Dick Dee : Use of satellite data in reanalysis, 2010.**

Webographies

[7] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wiki_plot_03.png, le 12 Avril 2018.

[8] : http://www.meteo-spatiale.fr/src/multi-sensor_precipitation_estimate.php, le 20 Avril 2018.

[10] Gralon, <http://www.gralon.net/articles/news-et-media/meteo/meteo-france/article-la-mousson---presentation-et-causes-du-phenomene-4099.htm>.

[11] Wikipédia, <http://fr.wikipedia.org/wiki/vent.htm>.

[16] <http://grads.iges.org/grads/gadoc/tutorial.html>, le 21 Février 2018.

[22] <http://grads.iges.org/grads/gadoc/tutorial.html>, le 21 Février 2018.

[25] www.cnrs.fr/.../equateur.html, position du ZCIT :.

ANNEXES

Annexe 1 : Répartition mensuelle de l'OLR sur la région de Madagascar.

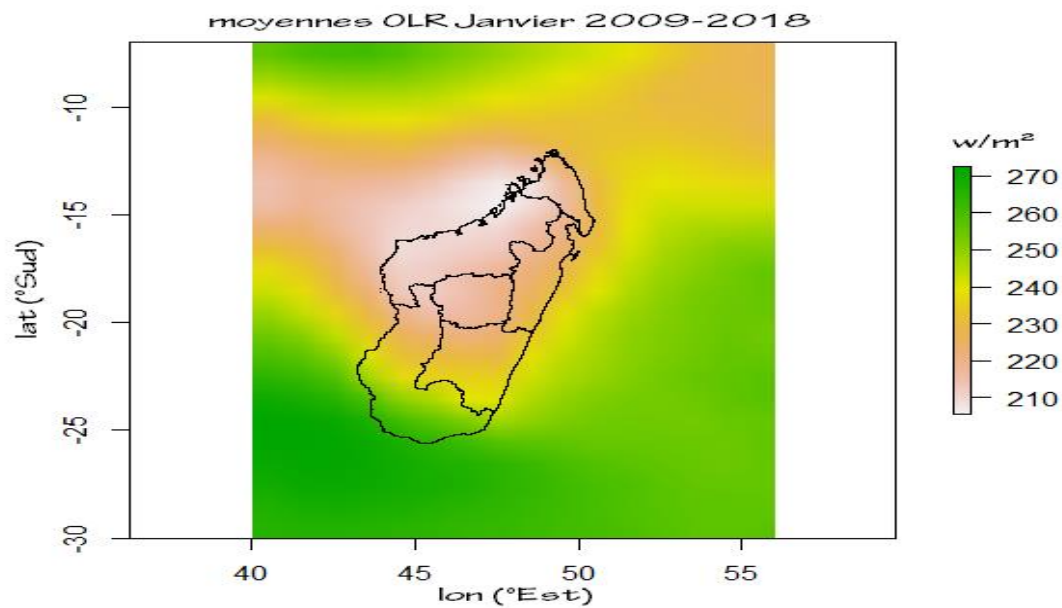


Figure 58: moyennes OLR EN Janvier 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

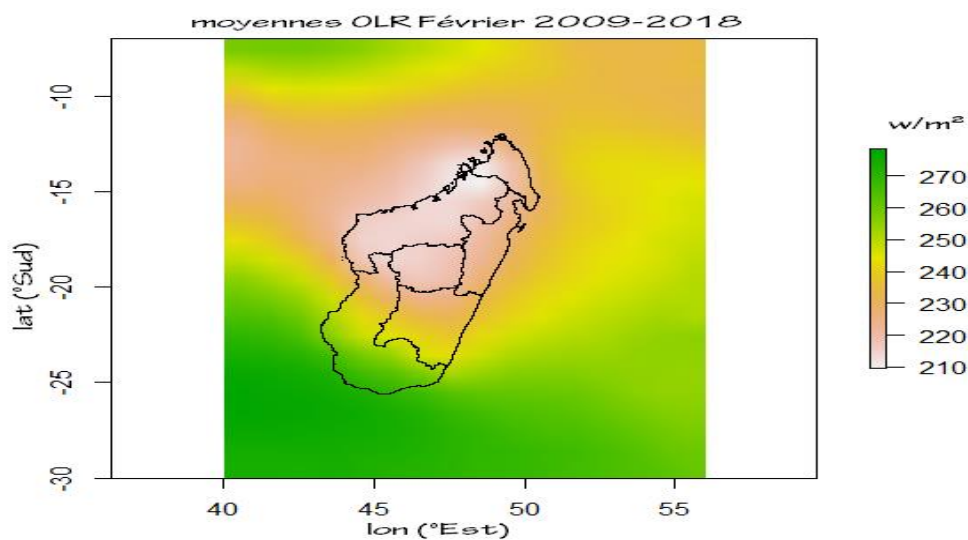


Figure 59: moyennes OLR EN Février 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

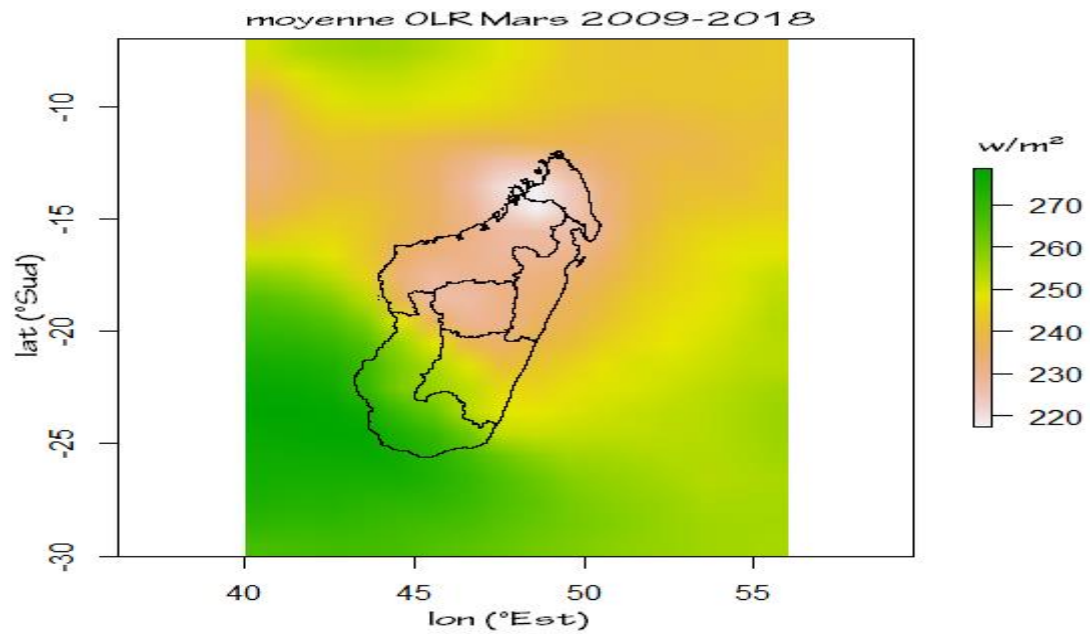


Figure 60: moyennes OLR en Mars 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

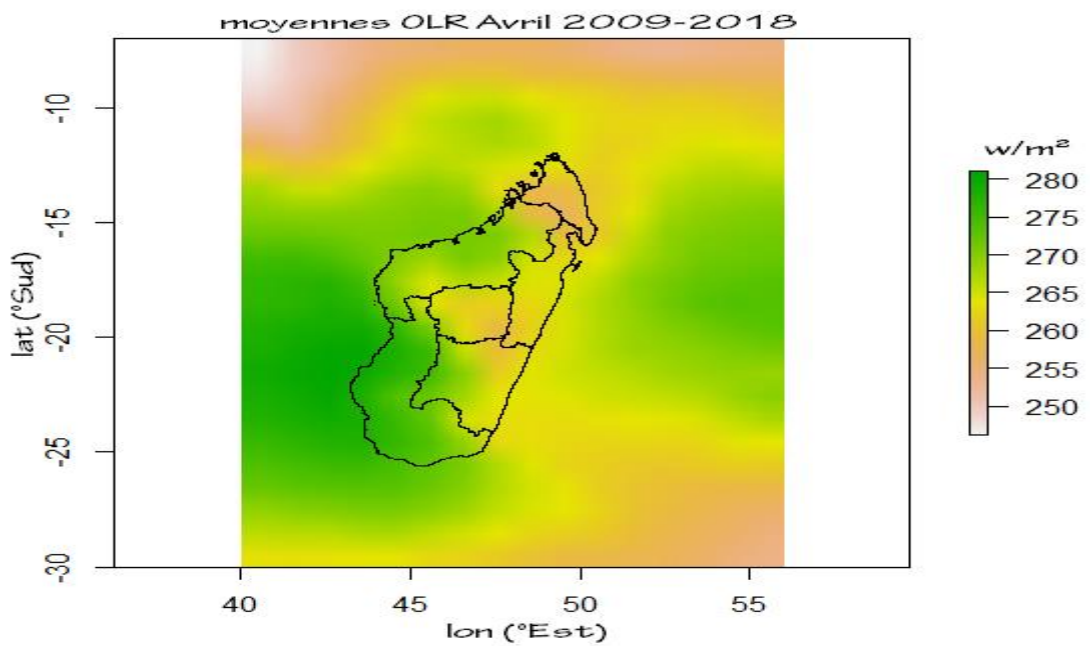


Figure 61: moyennes OLR en Avril 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

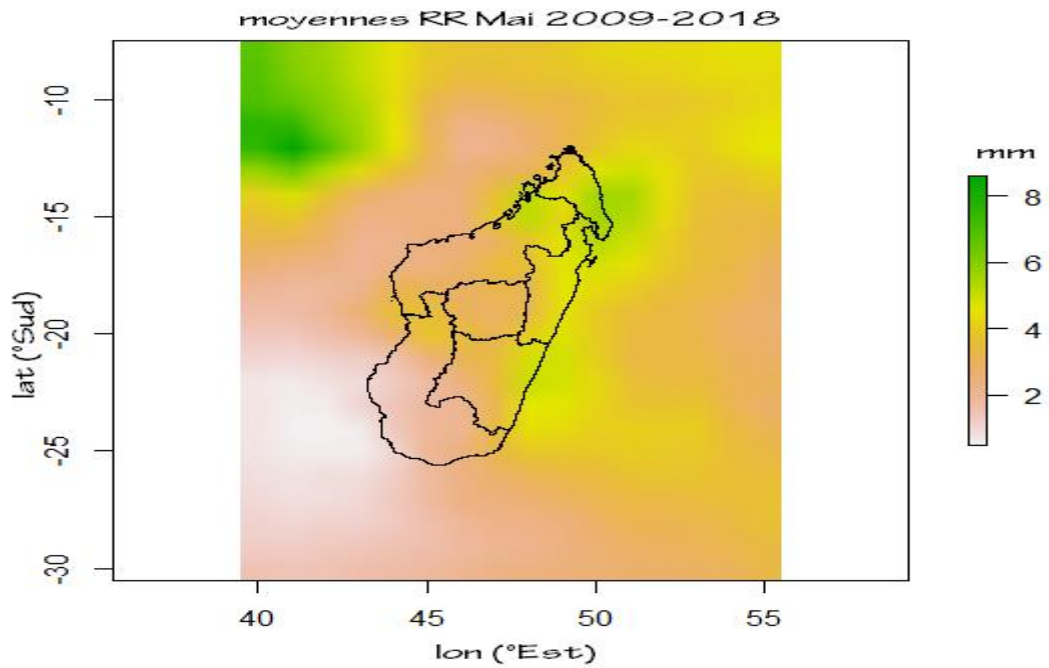


Figure 62: moyennes OLR en Mai 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

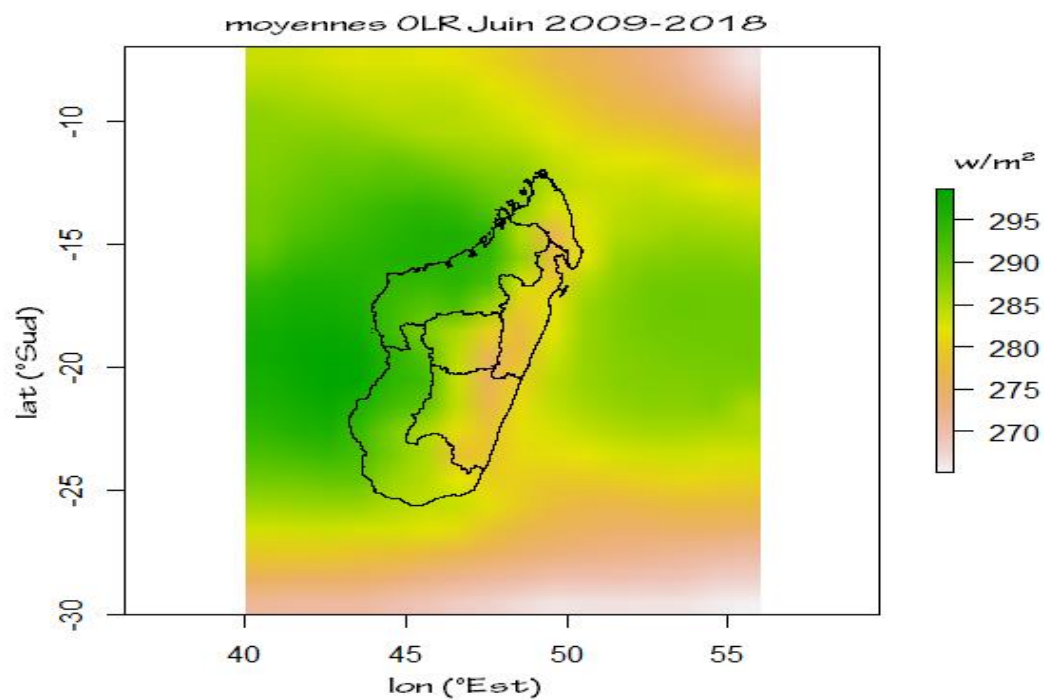


Figure 63: moyennes OLR en Juin 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

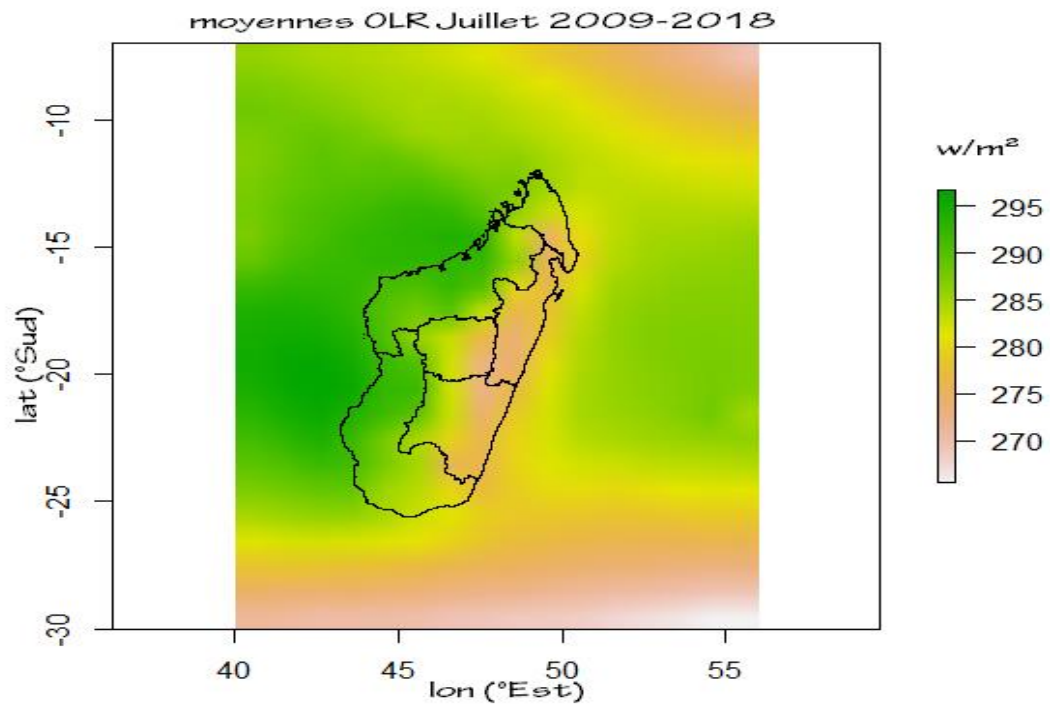


Figure 64:moyennes OLR en Juillet 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

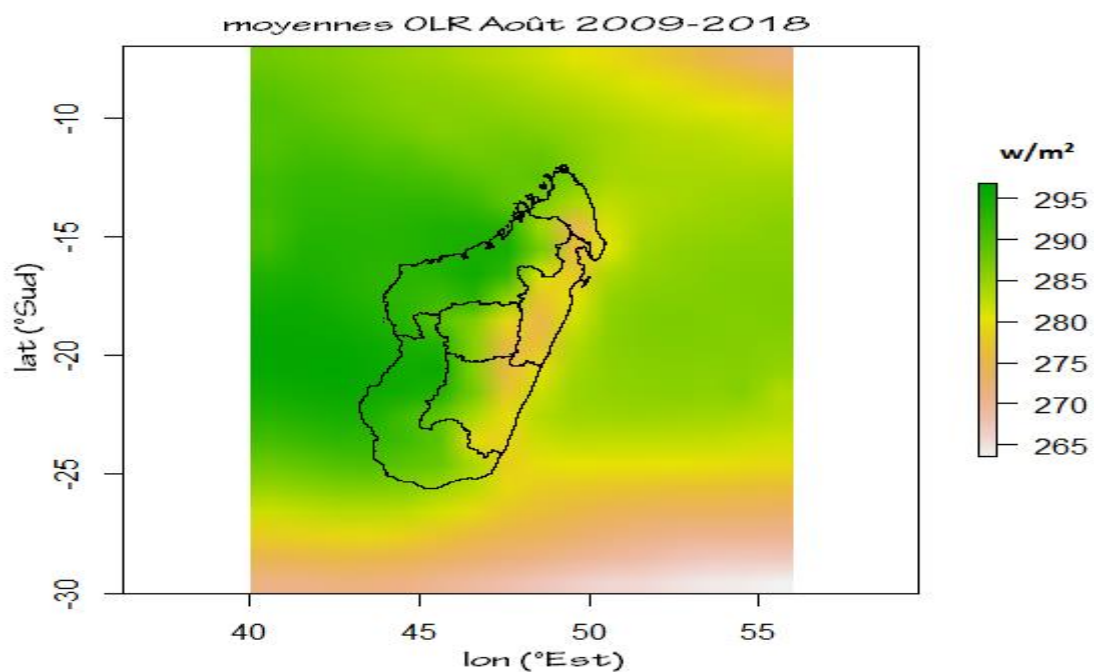


Figure 65:moyennes OLR en Aout 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

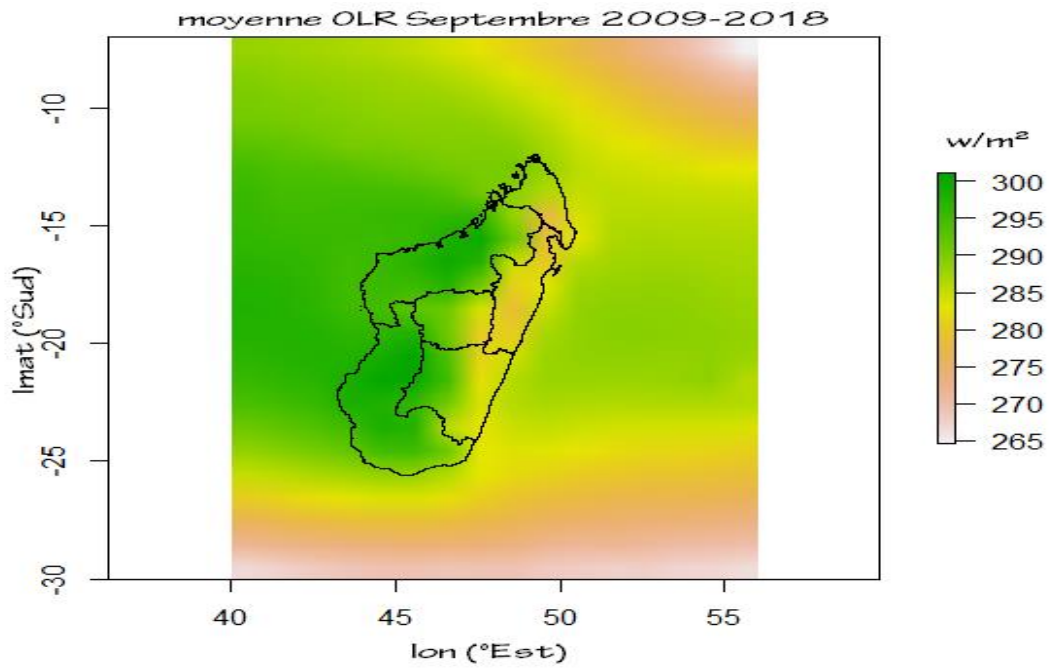


Figure 66: moyennes OLR en Septembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

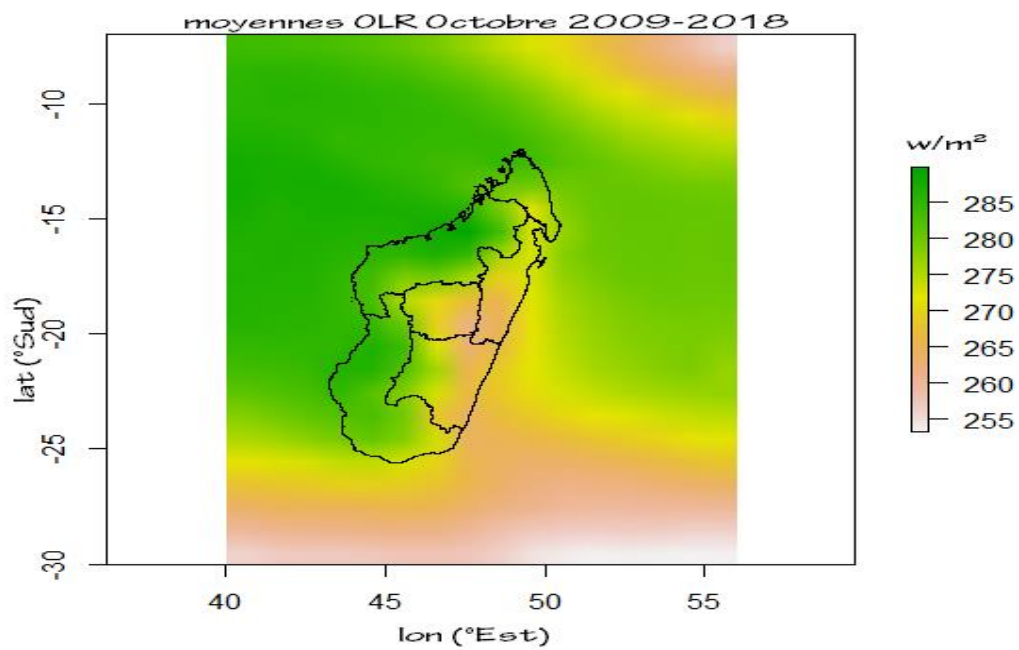


Figure 67: moyennes OLR en Octobre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

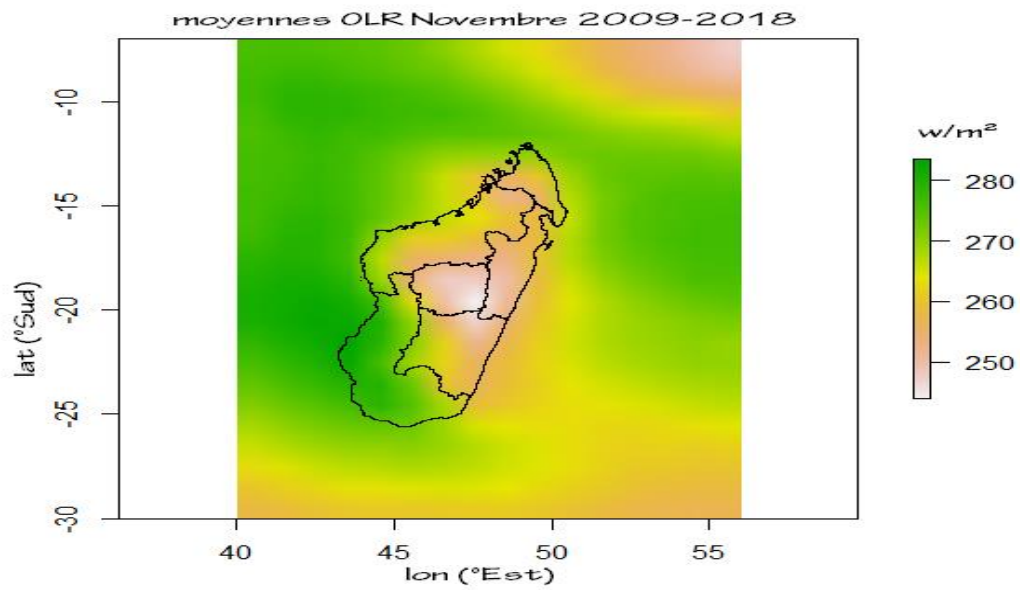


Figure 68: moyennes OLR en Novembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

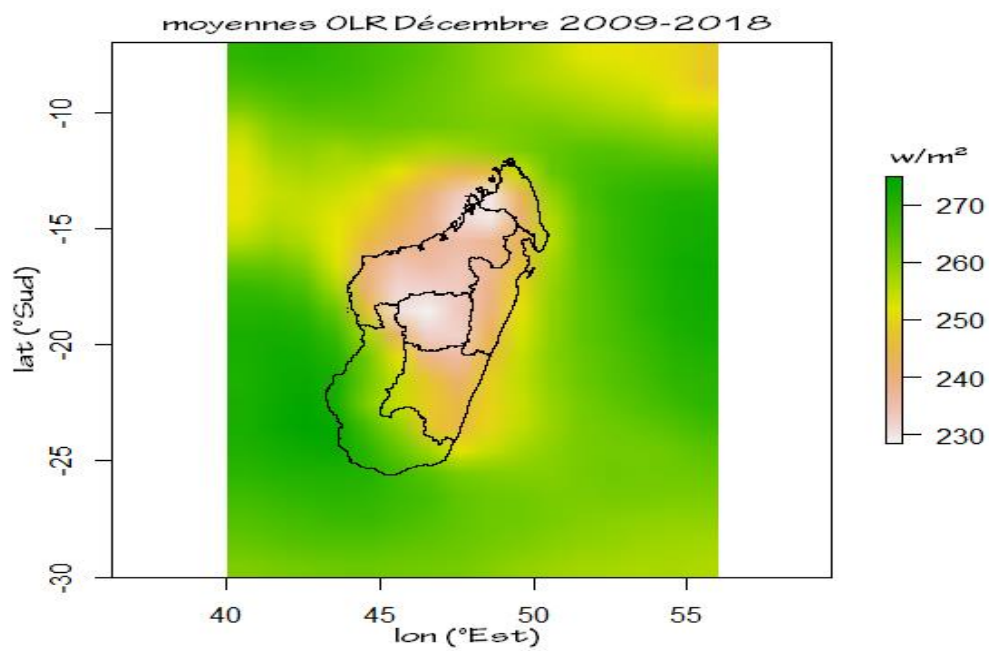


Figure 69: moyennes OLR en Décembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Annexe 2 : Répartition mensuelle de précipitations sur la région de Madagascar :

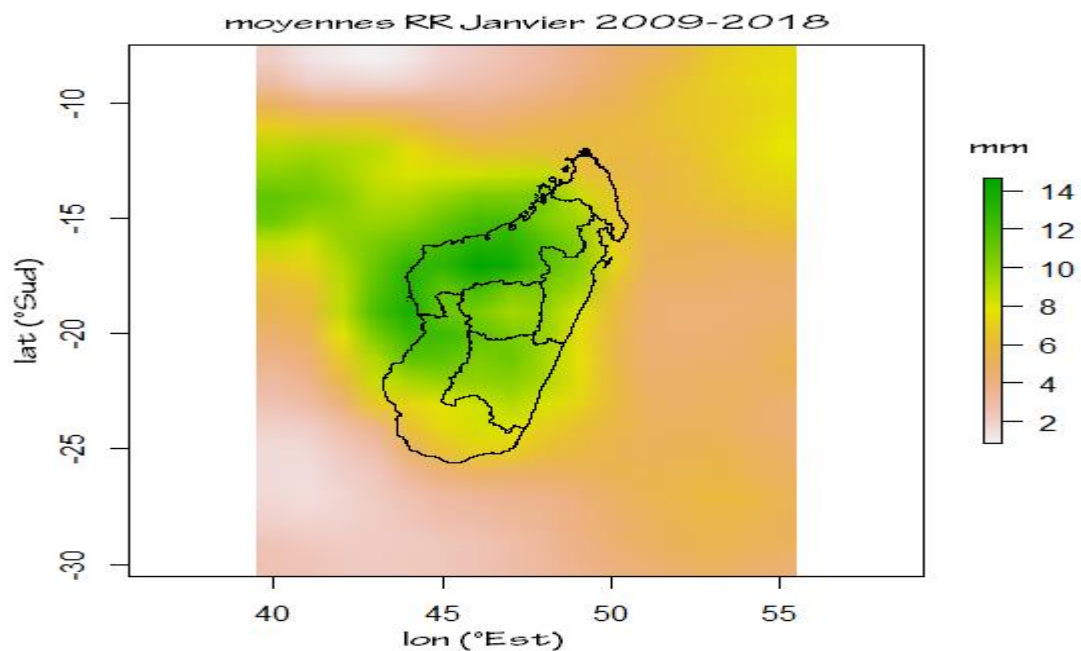


Figure 70: moyennes RR en Janvier 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

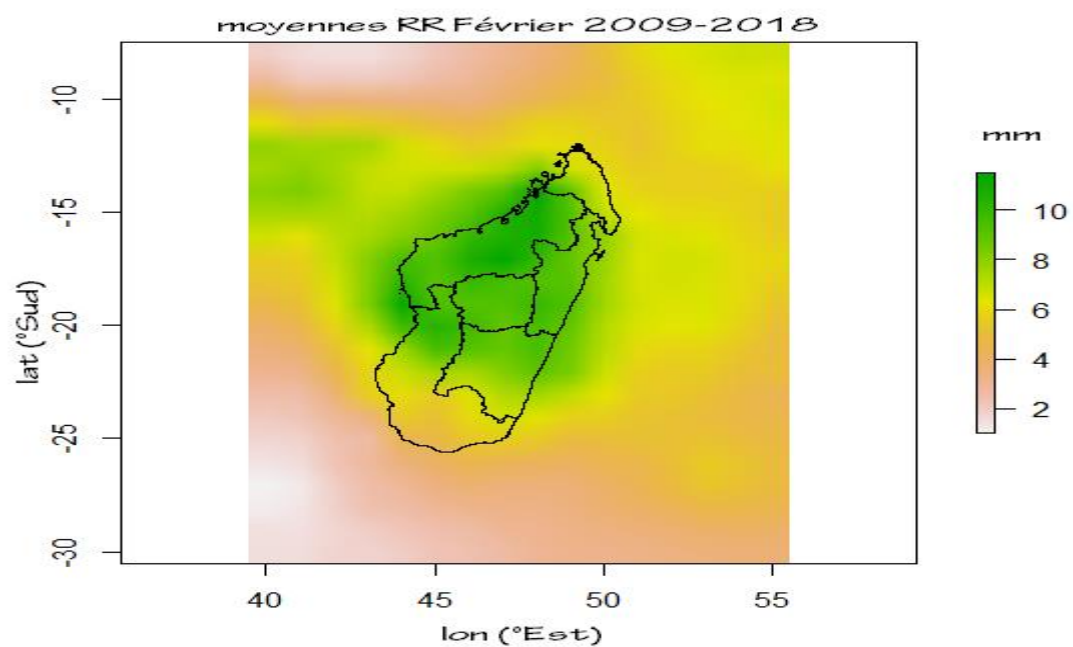


Figure 71: moyennes RR en Février 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

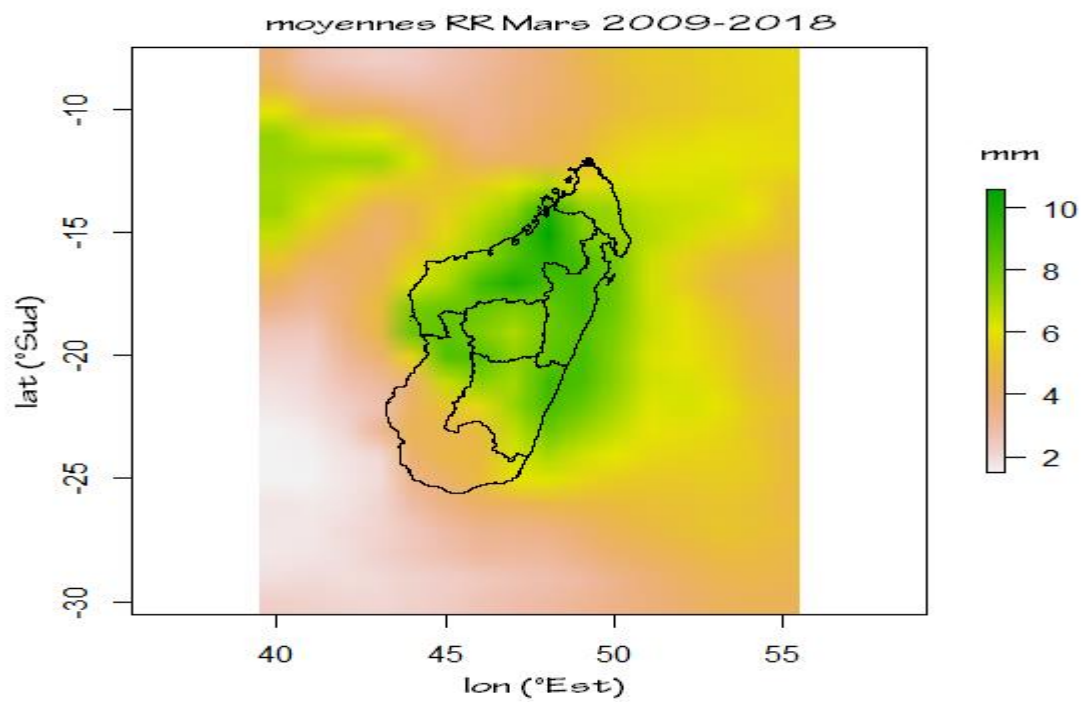


Figure 72 : moyennes RR en Mars 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

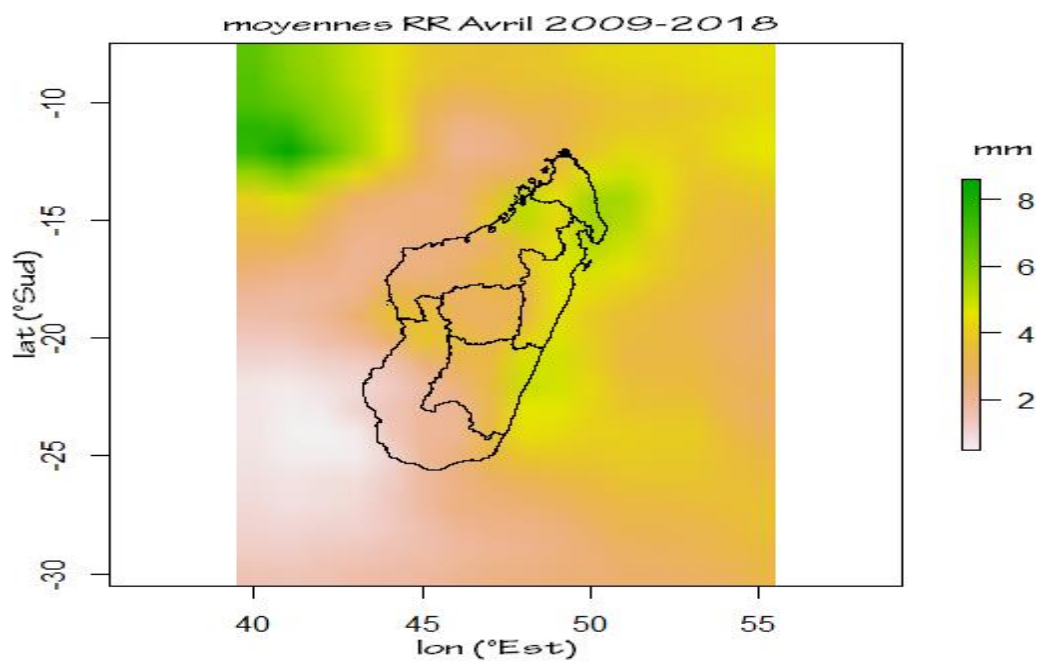


Figure 73: moyennes RR en Avril 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

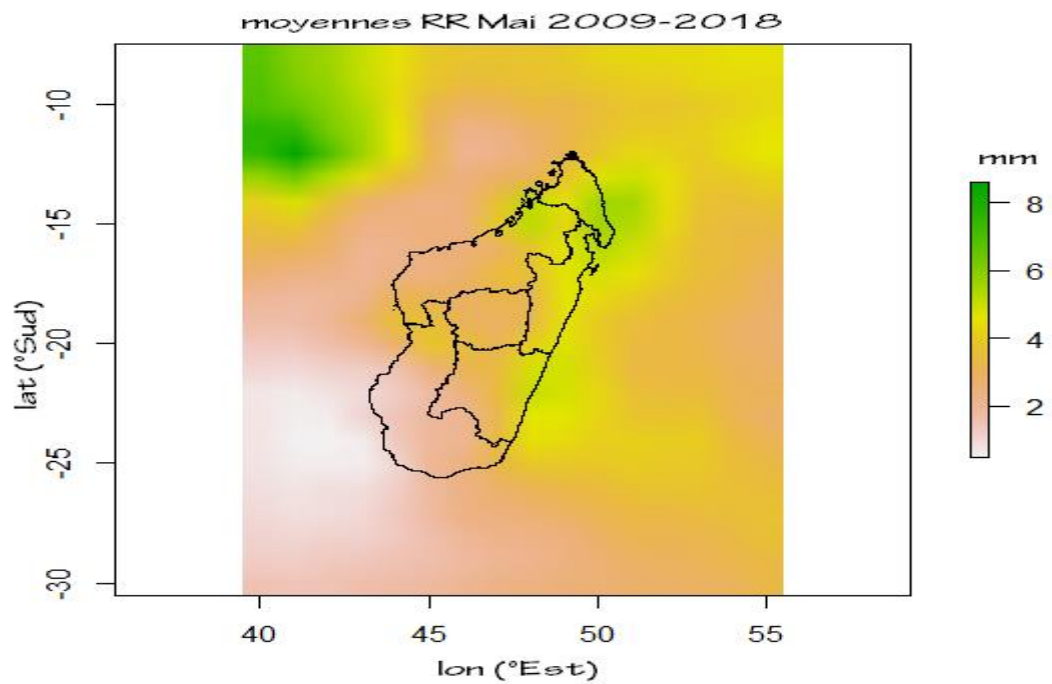


Figure 74: moyennes RR en Mai 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

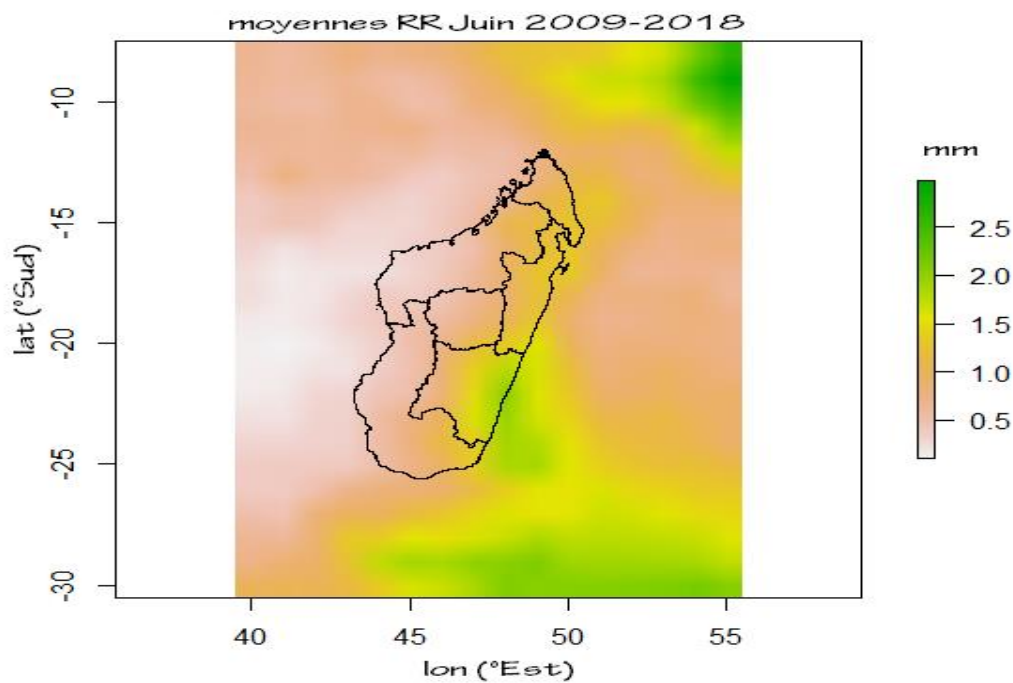


Figure 75: moyennes RR en Juin 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

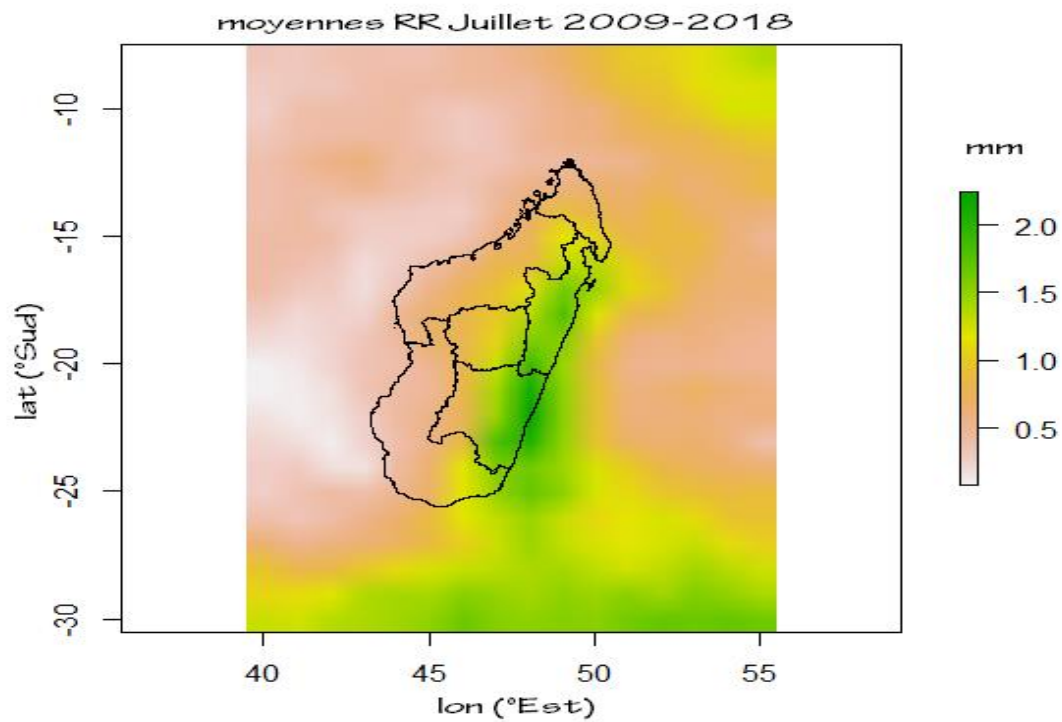


Figure 76: moyennes RR en Juillet 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

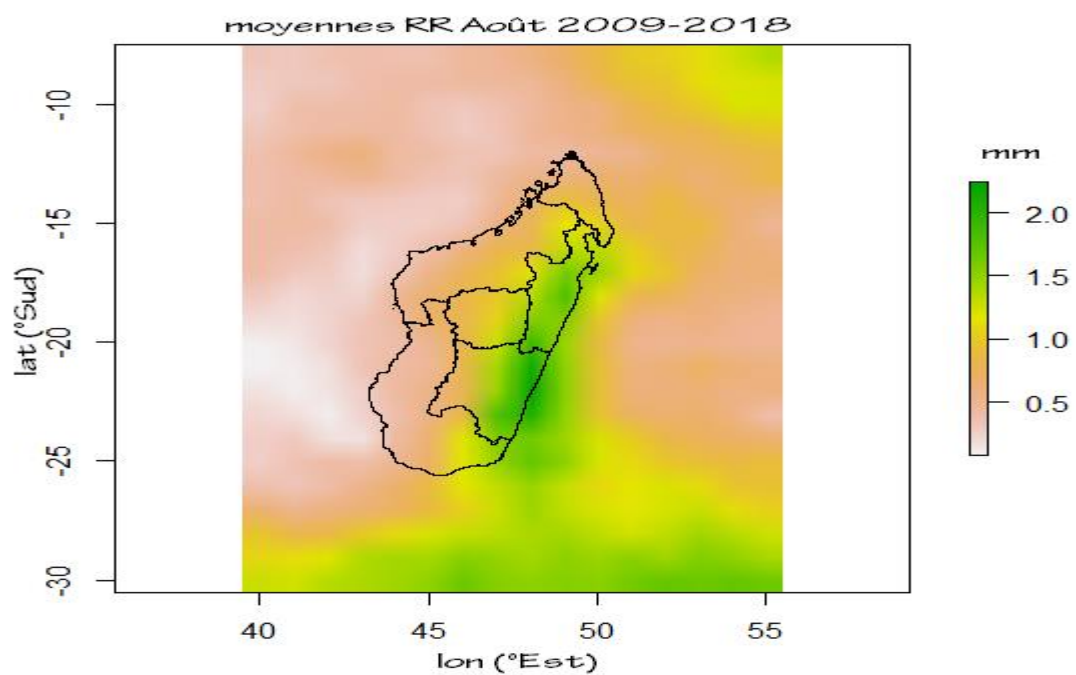


Figure 77: moyennes RR en Aout 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

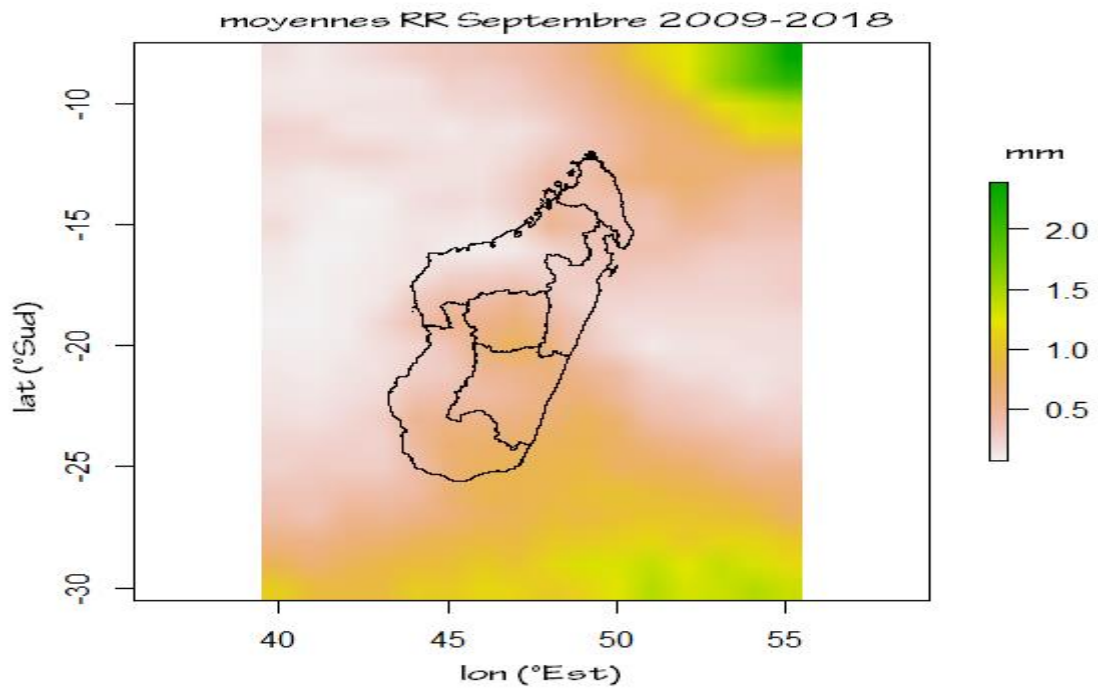


Figure 78: moyennes RR en Septembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

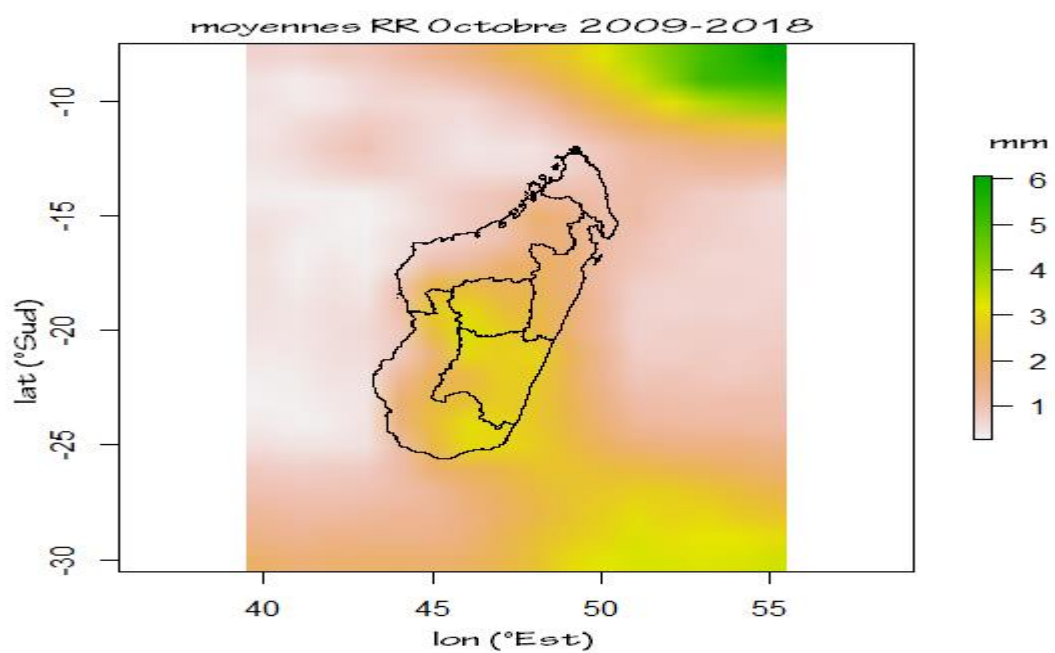


Figure 79: moyennes RR en Octobre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

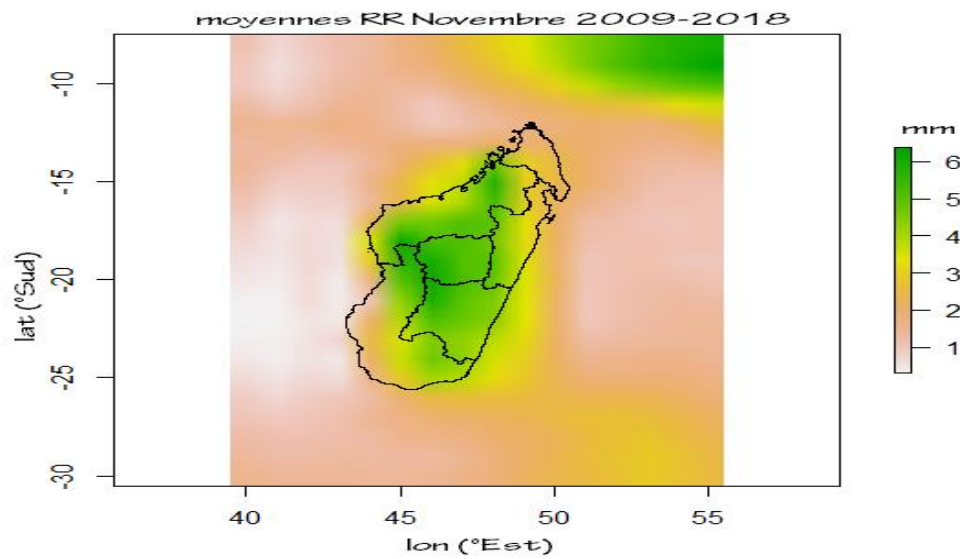


Figure 80: moyennes RR en Novembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

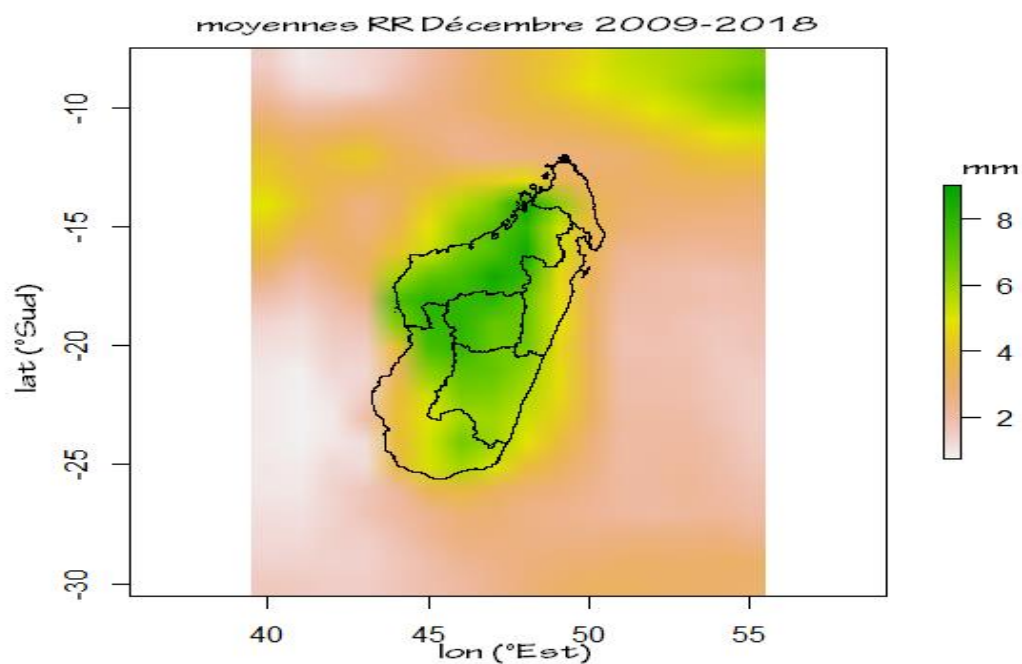


Figure 81: moyennes RR en Décembre 2009-2018

[Source : Investigation de l'auteur, 2021]

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	i
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
LISTE DES FIGURES	iv
TABLEAU.....	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : CONTEXTE DE L'ETUDE	
Chapitre I : Le climat de Madagascar	2
I.1. Présentation de Madagascar :	2
I.1.1. Situation géographique :.....	2
I.2. Les saisons à Madagascar :.....	2
I.2.1. L'hiver austral :	2
I.2.2. L'été :.....	3
I.2.3. Les intersaisons :	4
I.3. Variation des éléments caractéristiques du climat : [2].....	4
I.3.1. Précipitations :.....	4
I.3.2. Températures :.....	5
I.3.3. Humidité relative :.....	5
I.3.4. Humidité spécifique :	5
I.3.5. Vent :	5
I.3.6. Insolation et rayonnement solaire :.....	7
I.4. Les régions climatiques de Madagascar :	7
I.4.1. PLATEAUX :.....	7
I.4.2. COTE-EST	8
I.4.3. COTE OUEST ET PLAINE BASSE DE L'OUEST	8
I.4.4. SAMBIRANO-NOSY-BE :	8
I.4.5. EXTREME SUD	9
Chapitre II : zone d'étude et situation pluviogènes :.....	10
II.1. Zone d'étude :	10
II.2. Situations pluviogènes :	12

II.2.1.	Effet orographique (ou effet de FOEHN) :	12
II.2.1.1.	Définition : (3).....	12
II.2.1.2.	Mécanisme :	13
II.2.2.	La ZCIT : [4].....	14
II.2.3.	L'alizé :	15
II.2.4.	La convection atmosphérique :	16
II.2.5.	La mousson :	17
II.2.5.1.	Définition :	17
II.2.5.2.	Les zones soumises au régime des moussons :	18
II.2.6.	Cyclone Tropicaux :	18
II.3.	Les paramètres météorologiques étudiés :	19
II.3.1.	Précipitations.....	19
II.3.2.	OLR (Outgoing Longwave Radiation) :	20
II.3.3.	Pression atmosphérique :	20
II.3.4.	Les températures de surface de la mer :	20
II.3.5.	Le vent.....	21
PARTIE II : DONNEES ET METHODOLOGIES		
Chapitre I : LES DONNEES ET LES MATERIELS		23
I.1.	Données :	23
I.1.1.	Description et limites.....	23
I.2.	Outils :	23
I.2.1.	Logiciel R et RSTUDIO :	23
I.2.2.	Logiciel GrADS (Grid Analysis and Display System):	25
Chapitre II : Démarches et méthodologies		26
II.1.	Méthodes utilisées :	26
II.1.1.	Analyse statistique :	26
II.1.2.	Comparaison des cartes :	28
PARTIE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....		
Chapitre I : Etude préliminaire :		29
Chapitre II : Etude des cas :		32
I.1.	Cas de la région Nord-Ouest :	32
I.1.1.	L'OLR :	32
I.1.1.1.	Carte de la moyenne :	33

I.1.1.2. Carte de l'écart-types :.....	34
I.1.1.3. Diagramme de Hovmöller :	35
I.1.2. Précipitation :.....	36
I.1.2.1. Carte de la moyenne :.....	36
I.1.2.2. Carte de l'écart-type :.....	37
I.1.2.3. Diagramme de Hovmöller :	38
I.1.3. Carte de corrélation :	39
I.1.4. Etude des cas :	40
I.2. Cas de la partie Est :	44
I.2.1. L'OLR :	45
I.2.1.1. Carte de la moyenne :.....	45
I.2.1.2. Carte de l'écart-types :.....	46
I.2.1.3. Diagramme de Hovmöller :	47
I.2.2. Précipitation :.....	48
I.2.2.1. Carte de la moyenne :.....	48
I.2.2.2. Diagramme de Hovmöller :	50
I.2.3. Carte de corrélation :	51
I.2.4. Etude des cas :	51
I.2.4.1. L'Alizé :.....	51
I.2.4.1.1. Alizé faible :	52
I.2.4.1.2. Alizé modéré:	59
I.2.4.1.3. Alizé fort :	65
I.3. Comparaison entre la partie Nord-Ouest et Est :	66
CONCLUSION.....	73
Bibliographie.....	A
Webographies.....	B
ANNEXES	C
Table des matières	O

« Contribution à l'étude climatologique des situations pluviogènes des zones climatiques EST et NORD-OUEST de Madagascar »

Auteur : **RAMANDIMBISOA Marius**

Téléphone : 034 38 732 93

Adresse email : mariusrmd2@gmail.com

Directeur de mémoire : Docteur **RABEFITIA Zoaharimalala**,
Ingénieur en chef de classe exceptionnelle à la Direction Générale de la
Météorologie



Nombre des figures : 81

Nombre de tableau : 01

Nombre d'équations : 04

Nombre des pages : 73

Au cours de ce présent mémoire, nous avons abordé l'étude des situations pluviogènes de la région climatique Nord-Ouest pendant l'été austral et Est de Madagascar pendant l'hiver pendant la période 2009 – 2018. On peut dire que la présence du régime de Mousson qui traverse la partie Ouest de Madagascar est l'un des principaux facteurs à l'origine de la forte pluviométrie dans cette région, ou y est favorise la convection dans cette zone durant l'été.

Et la présence d'Alizé dans la partie Sud-Est détermine la présence des précipitations pour la partie Est pendant l'hiver, qui est le résultat de l'effet orographique qui se produit du fait de la présence du vent qu'il emmène.

Mots clés : Pluviogènes, Mousson, Convection, Alizé

During this present report, we approached the study of the situations pluviogenes of the North-western climatic area during the southern summer and Is of Madagascar during the winter for the period 2009 – 2018. One can say that the presence of the mode of Monsoon which crosses the Western part of Madagascar east one of the principal factors at the origin of the strong pluviometry in this area, or east supports there the convection in this zones during the summer.

And the presence of Trade wind in the South-eastern part determines the presence of precipitations for the part Is during the winter, which is the result of the orographical effect which occurs because of the presence of the wind that it takes along.

Key words : Pluviogenes, Monsoon, Convection, Trade wind