



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE



Premier Partenaire des Professionnels

MENTION METEOROLOGIE

Parcours : Sciences et techniques d'observations, de traitements et d'informations
météorologiques et hydrologiques

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Licence en METEOROLOGIE

**ETUDE COMPARATIVE DE LA VARIABILITE
CLIMATIQUE SUR LA COTE-OUEST DE MADAGASCAR
POUR LA PERIODE DE 1961-1990**

Présenté par : **RANDRIAMANANTSOA Sariaka**

Dirigée par : Monsieur **Zo RABEFITIA**

Soutenu le : 28 Décembre 2018



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE



MENTION METEOROLOGIE

Parcours : Sciences et techniques d'observations, de traitements et d'informations
météorologiques et hydrologiques

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Licence en METEOROLOGIE

ETUDE COMPARATIVE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA COTE-OUEST DE MADAGASCAR POUR LA PERIODE DE 1961-1990

Présenté par : RANDRIAMANANTSOA Sariaka

Devant les membres du jury :

- Le président : Monsieur **RAMANAKOTO Toky Nandrasana**
- Les examinateurs :
 - ❖ Monsieur **RAKOTOARINOSY Andrianiana Tahina**
 - ❖ Madame **RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzelà**
 - ❖ Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Benjamin**
- Directeur de mémoire : Monsieur **Zo RABEFITIA**

Soutenu le : 28 Décembre 2018

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, j'aimerais rendre grâce au Seigneur Dieu tout puissant qui m'a donnée la force, le courage ainsi que la santé afin de finir à terme ce présent mémoire.

Ma profonde gratitude s'adresse également à :

- ✚ Monsieur **ANDRIANAHARISON Yvon**, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui m'a permis d'accomplir les trois années d'études au sein de l'Ecole.
- ✚ Monsieur **RAKOTOVAZAHA Olivier**, Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et Responsable de la Mention Météorologie, qui m'a permis de suivre la formation au sein du département.
- ✚ Monsieur **RAMANAKOTO Toky Nandrasana**, maître de conférences à l'ESPA et enseignant dans la mention météorologie ; qui a bien voulu présider ce mémoire.
- ✚ Monsieur **Zo RABEFITIA**, Enseignant au sein du Département Météorologie et Ingénieur en chef de la Météorologie Appliquée, qui a bien accompli son rôle d'encadreur et n'a pas économisé son temps pour nous guider dans nos tâches.
- ✚ Tous les membres du jury qui ont bien voulu consacrer une partie de leur temps pour juger ce travail, en dépit de leurs occupations :
 - Madame **RAMAROSANDRATANA Mamiarisoa Anzelà**, Ingénieur d'étude dans la Direction des Recherches et Développement Hydrométéorologies à la Direction Générale de la Météorologie,
 - Monsieur **RAKOTOARINOSY Andrianiana Tahina**, Ingénieur en Météorologie et Enseignant Chercheur à l'ESPA,
 - Monsieur **RAZAFINDRAKOTO Benjamin**, Ancien Chef de service de la Météorologie Agricole à la Direction Générale de la Météorologie et Enseignant à la mention Météorologie à l'ESPA.
- ✚ Enfin, j'exprime toute ma gratitude à tous les membres de ma famille et mes amis qui ont eu la gentillesse de me faire des commentaires, de m'aider et dont les conseils et suggestions contribuent à la qualité didactique de ce mémoire.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABBREVIATIONS	iv
ACRONYMES	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie I : GENERALITES.....	2
Chapitre I : Le climat de Madagascar	2
I.1. Les principaux facteurs du climat à Madagascar	2
I.2. Les variations régionales.....	7
I.3. Variations saisonnières (ou saisons)	12
I.4. Les variations des paramètres météorologiques.....	14
Chapitre II : Généralité sur la zone d'étude	17
II.1. Localisation de la zone d'étude	17
II.2. Le climat de la côte-Ouest de Madagascar.....	20
II.3. Facteurs influant le climat de la cote-ouest	22
II.4. Les paramètres météorologiques étudiés	24
Partie II : DONNEES, OUTILS ET METHODOLOGIES	27
Chapitre I : Données et Outils	27
I.1. Données	27
I.2. Outils	29
Chapitre II : Méthodologies	36
II.1. Préparation des données.....	36
II.2. Détermination de la climatologie de chaque station à partir du diagramme ombrothermique	38
II.3. Analyses statistiques des données	40
II.4. Autres comparaisons des précipitations	46

Partie III : RESULTATS et INTERPRETATIONS	48
Chapitre I : Classifications du climat de chaque station	48
I.1. Diégo	48
I.2. Majunga	49
I.3. Besalampy	50
I.4. Morondava.....	51
I.5. Morombe	53
I.6. Tuléar	54
Chapitre II : Caractéristiques statistiques	56
II.1. Précipitations	56
II.2. Température	61
Chapitre III : Autres caractéristiques des précipitations.....	64
III.1. Durées de saisons de pluies de chaque station	64
III.2. Effets des phénomènes El Niño et La Niña	65
CONCLUSION GENERALE	66
Bibliographie	67
ANNEXES.....	a
Table des matières	e

LISTE DES ABBREVIATIONS

Abréviations	Désignations
<i>km²</i>	Kilomètre au carrée
<i>ZCIT</i>	Zone de Convergence Intertropicale ou zone de basses pressions
<i>OMM</i>	Organisation Météorologique Mondiale
<i>ETP</i>	Evapotranspiration Potentielle
<i>m</i>	Mètre
<i>mm</i>	Millimètre
<i>°C</i>	Degré Celsius
<i>Km</i>	Kilomètre
<i>'</i>	Minute
<i>DGM</i>	Direction Générale de la Météorologie
<i>h</i>	Heure
<i>NOAA</i>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<i>ETCCDMI</i>	Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices
<i>NB</i>	Noté Bien

ACRONYMES

Acronymes	Désignations
<i>me</i>	Médiane ou deuxième quartile
<i>NjP</i>	Nombre de jours de pluies
<i>P</i>	Précipitation(s)
<i>T</i>	Température
<i>tna</i>	Température minimum absolue
<i>txa</i>	Température maximum absolue
<i>-99.9</i>	Valeur manquante
<i>.</i>	Séparateur décimal
<i>ddl</i>	Degré de liberté
<i>p.value</i>	Probabilité ou risque de refus de H_1
$\bar{x}_1$	Moyenne d'un échantillon tiré de la population 1
$\bar{x}_2$	Moyenne d'un échantillon tiré de la population 2
n_1	Effectifs de l'échantillon 1
n_2	Effectifs de l'échantillon 2
σ	Ecart-type
<i>N</i>	Effectif total
<i>tx</i>	Température maximum
<i>tn</i>	Température minimum
<i>CV</i>	Coefficient de variation
<i>Tm</i>	Température moyenne

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : La situation des centres d'action sur le sud-Atlantique et l'Océan Indien pendant la saison chaude (novembre à avril).....	3
Figure 2 : Carte du relief de Madagascar	5
Figure 3 : Les principales régions climatiques de Madagascar	9
Figure 4 : Délimitation climatique de Madagascar	11
Figure 5 : Situation de Madagascar sous l'influence de l'alizé durant l'hiver	13
Figure 6 : La Côte-Ouest de Madagascar	17
Figure 7 : Positions géographiques des stations étudiées	19
Figure 8 : Illustration de la brise de mer et brise de terre	22
Figure 9 : Pluviomètre.....	25
Figure 10 : Pluviographe	26
Figure 11 : Echantillons des données brutes	28
Figure 12 : Interface de R sous Windows.....	29
Figure 13 : Interface de R-Instat sous Windows	30
Figure 14 : interface de RClimDex ouvert sous R.....	32
Figure 15 : Boîte de dialogue de RClimdex pour les calculs des indices	33
Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Diégo	48
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de Majunga	49
Figure 18 : Diagramme ombrothermique de Besalampy	50
Figure 19 : Diagramme ombrothermique de Morondava	51
Figure 20 : Diagramme ombrothermique de Morombe	53
Figure 21: Diagramme ombrothermique de Tuléar.....	54
Figure 22 : Pourcentage des pluies saisonnières	56
Figure 23 : Pourcentage des précipitations dans chaque station.....	58
Figure 24 : Précipitation moyenne annuelle de chaque station	60
Figure 25 : Température moyenne saisonnière de chaque station	61
Figure 26 : Température moyenne annuelle de chaque station.....	63
Figure 27 : Durée moyenne de saison de pluie	64
Figure 28 : Représentation des jours secs et humides successifs pour une année de El Niño forte, La Niña forte et une année simple.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Longitudes, latitudes et altitudes des stations.....	18
Tableau 2 : Températures extrêmes observées.....	20
Tableau 3 : Les valeurs les plus basses de l'humidité relative en pourcent par rapport à la saturation	21
Tableau 4 : Durée d'insolation	21
Tableau 5 : Clé de détermination des principaux types de climat	39
Tableau 6 : Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles	59
Tableau 7 : Températures maximum et minimum absolues	62
Tableau 8 : Caractéristiques statistiques des températures moyennes annuelles	62
Tableau 9 : Effectifs des valeurs manquantes.....	a
Tableau 10 : Pourcentage des données présentes.....	a
Tableau 11 : les précipitations journalières $P \geq 200 \text{ mm}$	b
Tableau 12 : Erreurs des températures	d
Tableau 13 : Saut significatives des températures	d

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Statistiques des données

Annexe 2 : Exemples de programme lancé sur R

Annexe 3 : Les précipitations journalières $P \geq 20\text{mm}$

Annexe 4 : Extrait des erreurs détectées par RCLindex

INTRODUCTION GENERALE

La variabilité climatique se définit comme étant la variation de l'état moyen du climat à des échelles temporelles et spatiales. Elle se réfère alors à la variation naturelle intra et interannuelle du climat mais surtout désigne la variation naturelle significative du climat. Sur cette dernière, nombreux risques peuvent se produire tels la sécheresse, l'inondation et autre.

La climatologie, qui étudie cette variation du climat, est ainsi d'une importance grandissante étant donnée qu'elle influence toutes activités humaines et est une ressource naturelle dont laquelle nombreux profits seront disponible.

Cette variation du climat est à l'échelle mondiale et dont chacun des régions et zones du globe possèdent sa variation approprié y compris Madagascar. Sur ce, même si Madagascar est une île, son climat varie encore d'une région à une autre tels qu'en général : la partie Est qui est humide pendant toute l'année sous l'influence de l'Alizé, le centre qui est chaud et humide et la partie Ouest qui a un climat chaud et sec. Ces trois principales zones climatiques peuvent être encore divisés en plusieurs sous zones climatiques. Pour la côte ouest de Madagascar qui est à l'abri des alizés de l'Océan Indien, on a toujours considéré que toutes les régions sur cette côte ont les mêmes caractéristiques climatiques ; alors que le climat de cette zone peut varier d'un point à un autre. Ainsi, certaines ressources naturelles liées au climat ne sont pas encore maîtrisées.

Et selon l'OMM, une normale climatique est égale à 30 ans mais aussi une période de référence en climatologie est en moyenne les 30 ans avant.

C'est pourquoi ce présent mémoire s'intitule : « ETUDE COMPARATIVE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA COTE OUEST DE MADAGASCAR POUR LA PERIODE DE 1961-1990 ».

Pour cela notre travail se fera en trois parties : premièrement on parlera des généralités sur cette étude, suivit des données, outils et méthodologies employées et enfin, les résultats et interprétations.

Partie I : GENERALITES

Partie I : GENERALITES

Chapitre I : Le climat de Madagascar

Le climat à Madagascar est lié à différents facteurs bien que météorologique ou géographique et varie d'une région à une autre et aussi d'une saison à une autre.

I.1. Les principaux facteurs du climat à Madagascar

I.1.1. Effet de la latitude

Madagascar est une île se trouvant dans l'hémisphère Sud, elle se situe au Sud-Ouest de l'océan Indien et à l'Est de la continent Africaine ; et est séparée à cette dernière par un bras de mer de 400 km de large environ qui est le Canal de Mozambique.

- Sa superficie est de 560 000km² environ.
- Sa largeur est de 570km environ d'Est en Ouest.
- Son longueur est de 1600km environ du Nord (Cap d'Ambre) au Sud (Cap Sainte-Marie).
- Sa latitude Sud varie entre 11°57' et 25°39'.
- Le méridien 47° Est de Greenwich la partage en deux parties à peu près égales.

Le tropique du Capricorne traverse l'île un peu au-dessous de la latitude de Tuléar.

⇒ Madagascar est donc presque entièrement située dans la zone tropicale.

Avec cette position géographique, Madagascar est soumise à l'influence de deux grands centres d'action météorologique qui :

- ❖ Dirigent sur l'île les vents alizés et les vents du nord-ouest ou mousson
- ❖ Règlent les conditions générales de circulation atmosphérique dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien:
 - la ZCIT au nord dont le mouvement méridien, lié au déplacement apparent du soleil particulièrement important à la longitude de Madagascar, entraîne l'alternance des saisons chaudes et saisons fraîches ;
 - la cellule océanique des hautes pressions centrée en quasi permanence élément de la ceinture anticyclonique subtropicale dont la position moyenne est située dans le sud de l'Archipel des Mascareignes.

Cette ZCIT n'est pas continue dans le temps et dans l'espace; elle est en effet soumise à l'influence du courant de perturbations polaires qui prennent naissance sur la face Sud-Est de la cellule des hautes pressions atlantiques (anticyclone de Sainte-Hélène) et qui sont souvent suivies d'anticyclones mobiles.

Ainsi, la cellule des hautes pressions de l'Océan Indien est affaiblie vers le sud-est par le passage des dépressions ; les arrivées d'air polaire la régénèrent.

La figure ci-après représente la situation des centres d'action sur le sud-Atlantique et l'Océan Indien pendant la saison chaude (novembre à avril).

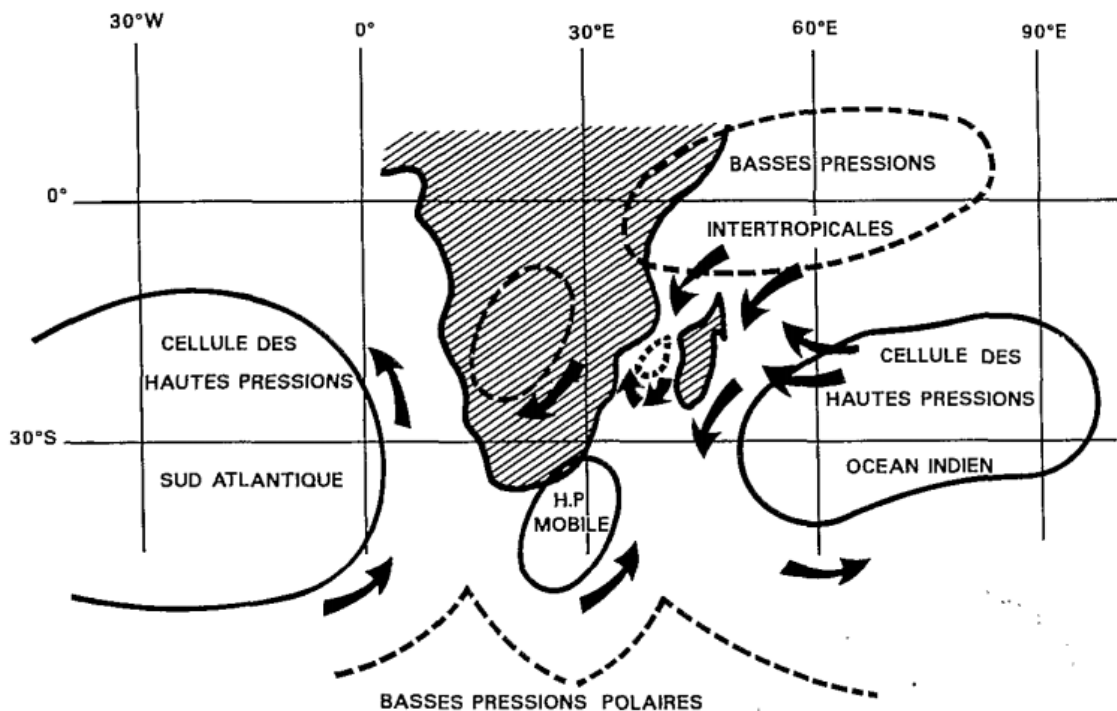


Figure 1 : La situation des centres d'action sur le sud-Atlantique et l'Océan Indien pendant la saison chaude (novembre à avril).

(source : Fleuves et rivières de Madagascar)

- 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 nord 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. (1)

1.1.2. Effet orographique (ou effet de FOEHN)

Ce qui frappe immédiatement lorsqu'on examine une carte physique de Madagascar, c'est la dissymétrie de l'île normalement à son grand axe. Le versant occidental s'étale doucement vers le canal de Mozambique, tandis que la pente du versant oriental est toujours très forte.

On peut alors diviser Madagascar en trois grands ensembles orographiques :

- **les hautes terres centrales** constituées par une masse montagneuse continue dont les sommets dépassent 2500 m et dont l'altitude moyenne est comprise entre 1000 et 1500 m.
- **les versants orientaux** très abrupts et les plaines côtières correspondantes.
- **la zone sédimentaire du nord-ouest, de l'ouest et du sud ou les versants occidentaux** en pente plus douce, et les plaines ou pénéplaines beaucoup plus larges.

La figure suivante montre le plus de détails sur les reliefs à Madagascar en générale.

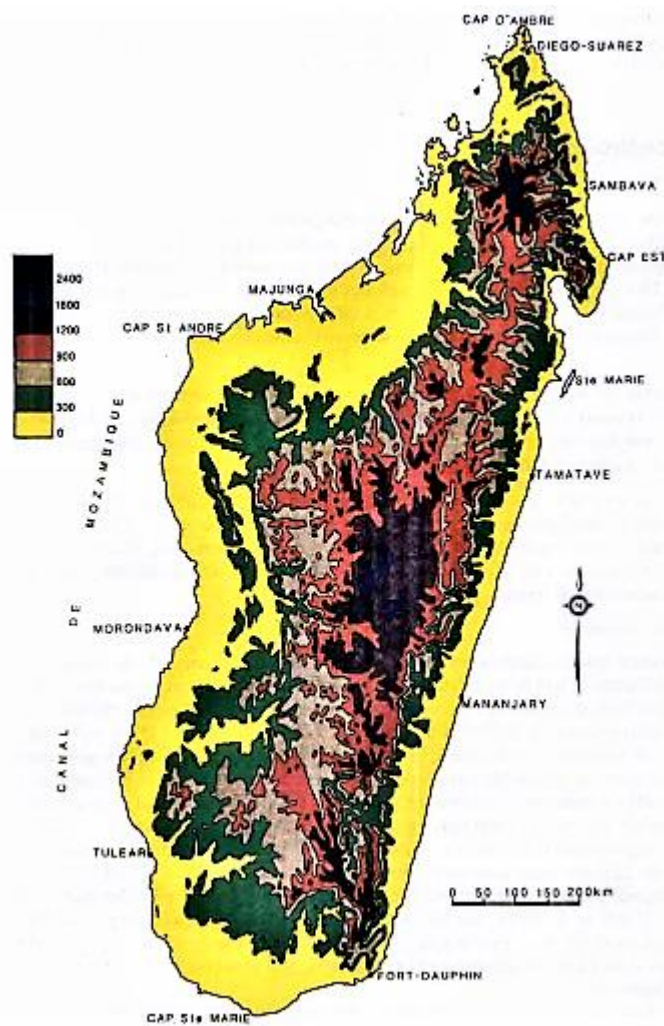


Figure 2 : Carte du relief de Madagascar
(source : Fleuves et rivières de Madagascar)

Cette orographie est alors un autre facteur important du climat à Madagascar. Les alizés doivent franchir ou contourner cet obstacle et il en résulte :

- ✚ **Sur les régions orientales** : un soulèvement général de l'air humide, il y a donc formation de nuages orographiques au vent et de précipitations plus ou moins abondantes.

On est toutefois amené à distinguer plusieurs régions :

- **au nord du massif du Tsaratanana** : une prédominance du secteur avec accélération des vents et courbure anticyclonique des lignes de courant, ce qui atténue les précipitations (minimum relatif septentrional) ;
 - **entre les massifs du Tsaratanana et de l'Ankaratra** : les vents prennent une orientation de secteur Sud-Est, ce qui impose une courbure cyclonique aux lignes de courant, donc un accroissement de la convergence au sein de la masse d'air et une recrudescence des précipitations (maximum relatif oriental) ;
 - **Entre les massifs de l'Ankaratra et de l'Andringitra**, une orientation des vents au secteur nord-est et une courbure anticyclonique des lignes de courant s'accompagnant de l'affaiblissement des précipitations (minimum relatif oriental) ;
 - **Au sud du massif de l'Andringitra** : un retour au secteur est avec accélération des vents contournant le massif et courbure cyclonique des lignes de courant ; il y a donc intensification des précipitations (maximum relatif méridional).
- ✚ **Sur les régions occidentales** : un mouvement général descendant de l'air après franchissement de la chaîne montagneuse et formation d'une dépression sous le vent, l'air ayant abandonné une partie de son humidité sur les versants au vent et subissant un effet de subsidence est donc asséché et on observe sur ces régions une pluviosité faible et des températures assez élevées (effet de Foëhn).

Le relief exerce aussi son influence :

- ✚ **Sur les courants de Nord-Ouest** : dans ce régime, le Nord-Ouest de Madagascar, situé au vent, reçoit des précipitations abondantes et c'est le Nord-Est de l'île qui subit l'influence de l'air asséché, aux précipitations rares.
- ✚ **Sur les vents d'ouest méridionaux**. C'est ainsi que, lorsqu'une dépression se trouve à proximité sud de Madagascar et dirige sur cette île un courant d'ouest assez fort et épais, il se forme un creux barométrique orographique sur la côte Sud-Est et il peut arriver qu'un effet de Foëhn important y soit observé. (1)

I.2. Les variations régionales

La subdivision de Madagascar en différentes zones climatiques se diffère les uns des autres selon les classifications utilisées dans les ouvrages. Cependant, on a constaté que plus l'ouvrage est récent, plus la subdivision est précise, c'est-à-dire cette subdivision s'améliore d'une année à une autre. Ainsi, prenons deux exemples, l'une selon un ouvrage plus ancien et l'autre plus récent qui nous permettraient de voir ces différences.

I.2.1. Selon l'ouvrage antérieure

On a subdivisé Madagascar en cinq principales régions climatiques :

a- 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).

b- 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 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.

C- NOSSI-BE – SAMBIRANO

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).

d- 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.

e- EXTREME SUD

Cette région est caractérisée par une grande variabilité climatique 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). (2)

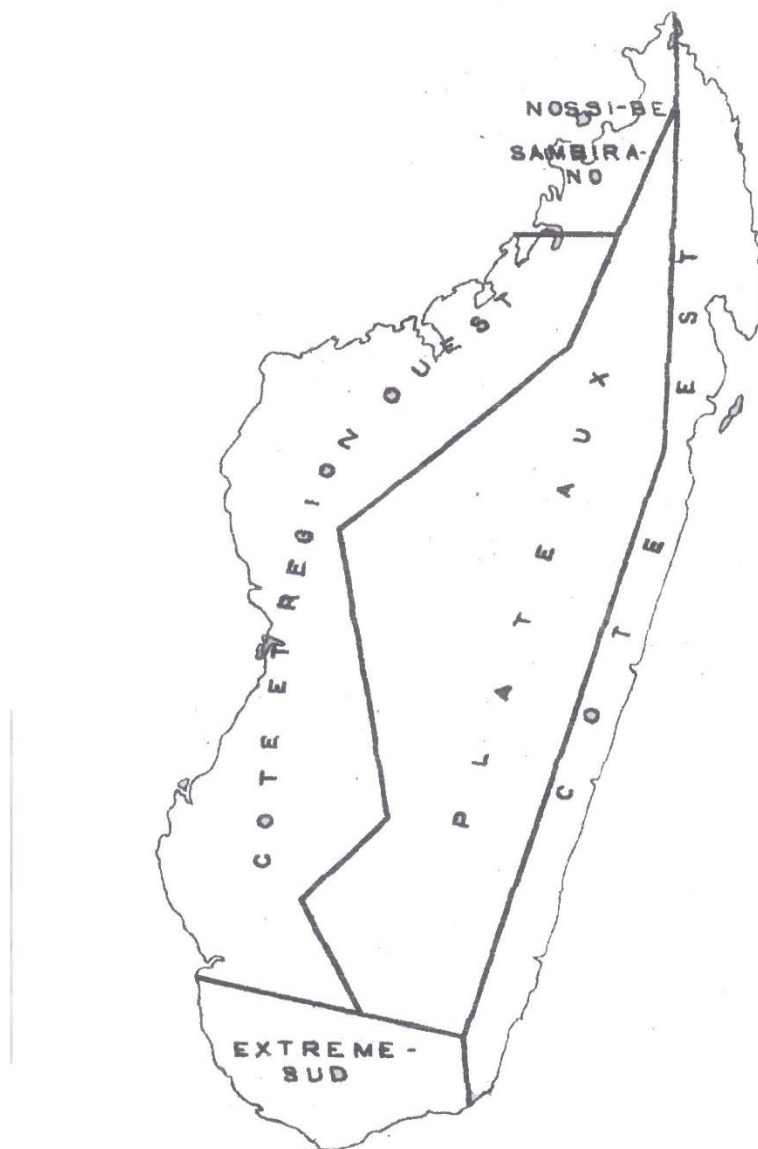


Figure 3 : Les principales régions climatiques de Madagascar

(Source : Notice sur la climatologie de Madagascar)

I.2.2. Selon une ouvrage plus récente

On distingue quatre principales zones climatiques à Madagascar et chaque zone climatique se subdivise en plusieurs sous zones topo climatiques compte tenu de la topographie, de l'influence maritime, du régime des vents et d'autres facteurs climatiques comme la radiation solaire, l'humidité relative, ... relatées par les courbes ombrothermiques :

a- Zones très humides

- **Zone A** : très humide toute l'année

Exposée directement aux courants d'alizés. Précipitation annuelle : 2500 – 3700mm Température moyenne annuelle : $\geq 23,6^{\circ}\text{C}$

- **Zone B** : très humide

Influence des régimes d'alizé atténuée. Précipitation annuelle : 1350 – 2500mm Température moyenne annuelle : 18°C - 22°C

b- Zones humides

- **Zone C** : Humide à forte pluviosité

Exposée directement au régime de mousson en été. Précipitation annuelle : 1200 – 2000mm Température moyenne annuelle : $\geq 26^{\circ}\text{C}$.

- **Zone D** : Humide

Climat adouci par le relief ; pluie concentrée en été. Précipitation annuelle : 1400 – 1700mm Température moyenne annuelle : $\geq 19^{\circ}\text{C}$

- **Zone E** : Humide toute l'année

Exposée directement au régime d'alizé. Précipitation annuelle : 1400 – 1700mm Température moyenne annuelle : $\geq 21^{\circ}\text{C}$

- **Zone F** : Humide à faible précipitation

Hiver sec. Précipitation annuelle : 800 – 1100mm Température moyenne annuelle : 18°C - 25°C

c- Zones semi humides

- **Zone G** : Semi humide venteux

Influence des régimes d'alizé Précipitation annuelle : 700 – 1200mm Température moyenne annuelle : $\geq 23^{\circ}\text{C}$

- **Zone H** : Semi humide

Influence des effets locaux (brises). Précipitation annuelle 600 – 800mm
Température moyenne annuelle : $\geq 23^{\circ}\text{C}$

- **Zone I** : semi humide à faible pluviosité

Précipitation annuelle : $\sim 500\text{mm}$ Température moyenne annuelle : $\geq 23^{\circ}\text{C}$

d- Zone semi-aride

- **Zone J** : Semi-aride

Nombre annuelle de jours de pluie < 50 . Précipitation annuelle : $< 500\text{mm}$
Température moyenne annuelle : $\geq 22^{\circ}\text{C}$. (3)

La carte ci-dessous montre la délimitation climatique de Madagascar.

DELIMITATION CLIMATIQUE DE MADAGASCAR

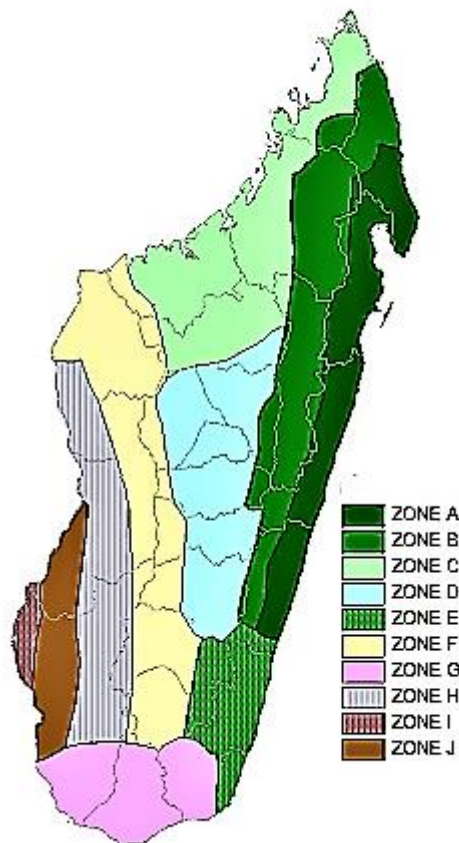


Figure 4 : Délimitation climatique de Madagascar

(Source : Atlas Climatologique de Madagascar)

I.3. Variations saisonnières (ou saisons)

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

I.3.1. 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. (2)

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 subsidents, donc très secs. (1)

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. (1)

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. (1)

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. (1)

La figure 5 ci-après montre la situation sur Madagascar durant l'hiver sous l'influence de l'alizé.

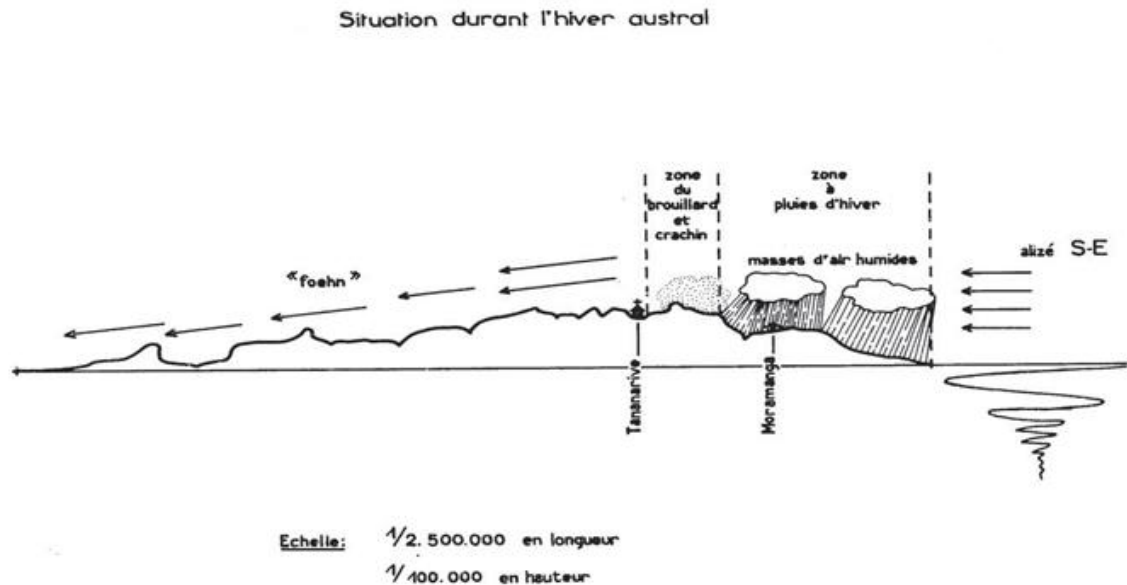


Figure 5 : Situation de Madagascar sous l'influence de l'alizé durant l'hiver
(source : cours)

1.3.2. 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. (2)

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.

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.

I.3.3. Les intersaisons

Le passage d'une saison à l'autre se fait progressivement par une période de transition plus ou moins longue, l'intersaison durant laquelle on retrouve alternativement les caractéristiques de la saison fraîche et chaude. C'est ainsi qu'en septembre-octobre, époque où l'on passe de la saison fraîche à la saison chaude, des périodes de « temps d'alizés » séparent les périodes d'instabilité. Toutefois, l'instabilité orageuse fait son apparition d'abord au voisinage des massifs montagneux du nord (Tsaratanana) puis du centre (Ankaratra), avant de se faire sentir sur les autres régions moins élevées.

Les orages ont lieu en fin d'après-midi ou début de nuit et sont suivis de pluies d'étalement pendant la nuit particulièrement dans le nord-ouest. C'est durant cette période qu'on observe les orages les plus violents sur les hautes terres centrales.

Au cours de la transition saison chaude en saison fraîche (avril-mai), on observe les derniers orages sur les massifs montagneux de l'Ankaratra et du Tsaratanana. (1)

I.4. Les variations des paramètres météorologiques

I.4.1. Précipitations

- **Hiver**

La côte Est est généralement arrosée durant la saison fraîche et sèche mais, les précipitations sont relativement faibles durant les mois de Septembre et Octobre.

Sur les régions des Hautes-Terres, une zone large de 50 km à 100 km en bordure de la forêt de l'Est compte de 30 à 40 jours de bruine (crachin).

Sur la côte Ouest, la saison sèche est particulièrement bien marquée et s'étend de Mai à Octobre.

- **Été**

Sur la côte Est, les précipitations sont particulièrement abondantes de Janvier à Avril.

Sur les régions des Hautes-Terres, la période propice aux précipitations s'étend d'Octobre à Avril.

Sur la côte Ouest, le maximum de précipitations est observé en Janvier.

Pour l'Extrême Sud, la répartition des précipitations est très irrégulière. On distingue une petite saison de pluies commençant en Octobre ou en Janvier. Des périodes de sécheresse s'étendant sur plusieurs mois consécutifs peuvent se produire.

I.4.2. Températures

- **Hiver**

A Madagascar, la température hivernale varie de 9°C à 31°C.

Le 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 où la température est toujours élevée (> à 25°C), tandis que sur la côte Est, la moyenne des températures est de 23°C.

Sur le littoral Est, la température moyenne mensuelle décroît de l'Extrême Nord vers le Sud de 27°C à 22°C.

- **Été**

La côte Ouest est plus chaude que la côte Est.

Sur les régions des Hautes-Terres, la température moyenne mensuelle atteint son maximum en Janvier et Février.

⇒ Amplitude

L'amplitude de températures moyennes est la différence entre la moyenne des températures maximales et la moyenne des températures minimales.

En général, elle reste faible sur la côte Est, ailleurs, elle est élevée avec une maximale très marquée dans les régions des Hautes-Terres, et Atsimo Andrefana durant l'hiver.

Au cours de la saison chaude, le minimum de la valeur de l'amplitude (entre 4°C et 5°C) est observé sur le Sud-Est.

I.4.3. Humidité relative

- **Hiver**

Le versant oriental est toujours humide avec une valeur de l'humidité relative supérieure à 80%.

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.

- **Été**

La valeur de l'humidité relative varie de 60% à 90% pendant la saison chaude. Le maximum supérieur à 90% est observé sur la partie orientale de l'Ile, le minimum de 60% sur les régions d'Atsimo-Andrefana.

I.4.4. Insolation

Pendant la saison sèche, la valeur maximale se trouve sur la partie occidentale et la valeur minimale (120 heures) sur la région de Sava.



En général, la partie occidentale est plus exposée au soleil que la partie orientale.

Durant la saison chaude, la durée maximale d'insolation augmente d'Est en Ouest de 190 heures à 312 heures. Le maximum, supérieur à 312 heures, est observé dans le district de Morombe.

I.4.5. 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. (3)

Chapitre II : Généralité sur la zone d'étude

II.1. Localisation de la zone d'étude

II.1.1. Délimitation administrative

Selon le titre de cette ouvrage, notre zone d'étude est la côte-ouest de Madagascar vu qu'on a constaté une variabilité climatique saisonnière et régionale remarquable sur cette partie de l'île. Administrativement, la partie occidentale de Madagascar est représentée par les régions de DIANA, le plus au nord, suivie de Sofia, Boeny, Melaky, Menabe et Antsimo Andrefana, le plus au sud et dont les chefs-lieux de ses régions sont respectivement : Diégo, Antsohihy, Majunga, Maintirano, Morondava et Tuléar comme dans la figure suivante.



Figure 6 : La Côte-Ouest de Madagascar
(source : auteur)

II.1.2. Délimitation de la zone d'étude

Cependant, pour cette étude, on ne va considérer que les stations dont les données ont été disponibles mais surtout les stations qui se situent les plus près de la côte Ouest de Madagascar afin de voir le contraste existant près de Canal de Mozambique. Le tableau suivant présentera ses stations avec leurs latitudes, longitudes et aussi leurs altitudes respectives suivi d'une figure qui montera la position géographique de ses stations par rapport à Madagascar.

Tableau 1 : Longitudes, latitudes et altitudes des stations

Stations	Longitude EST	Latitude SUD	Altitude(m)
Diégo	49°18'	-12°21'	105
Majunga	46°21'	-15°40'	22
Besalampy	44°29'	-16°45'	36
Morondava	44°18'	-20°16'	8
Morombe	43°22'	-21°45'	4
Tuléar	43°44'	-23°23'	8



Figure 7 : Positions géographiques des stations étudiées

(source : auteur)

Remarque : La ligne imaginaire divisant la terre en différents zones qui est le tropique du Capricorne passe exactement sur la station de Tuléar.

II.2. Le climat de la côte-Ouest de Madagascar

Aucune étude approfondie n'a été encore faite à propos de la variabilité climatique régnant sur cette partie de l'île. Malgré cela, on connaît que le climat de cette région est chaud et sec et dont les valeurs de certains paramètres météorologiques sont les suivants.

II.2.1. Température

La température annuelle moyenne est comprise entre 24°C (Sud) et 27°C (Nord). Le maximum absolu a été de 40,4°C à Tuléar en février 1962, le minimum absolu de 5,1°C à Morombe en août 1948. (2)

Tableau 2 : Températures extrêmes observées

Station	Minimum absolu		Maximum absolu	
	Valeur (en °C)	Date	Valeur (en °C)	Date
Diégo	14.6	Aou 1967	36.8	Dec 1936
Majunga	14.6	Aou 1957	36.8	Dec 1936
Besalampy	-	-	-	-
Morondava	6.9	Jul 1958	38.7	Jan 1937
Morombe	5.1	Aou 1948	39.8	Fev 1940
Tuléar	6.0	Aou 1935	40.4	Fev 1962

(-) : valeur manquante

II.2.2. Précipitations

La pluviosité moyenne annuelle diminue du Nord au Sud passant de 1910mm 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.

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). (2)

II.2.3. Humidité relative

Tableau 3 : Les valeurs les plus basses de l'humidité relative en pourcent par rapport à la saturation

Station	Pourcentage par rapport à la saturation	Date
Diégo	23	Juillet 1950
Majunga	15	Septembre 1966
Besalampy	-	-
Morondava	11	Septembre 1947
Morombe	10	Octobre 1966
Tuléar	10	Novembre 1941

(-) : valeur manquante

II.2.4. Insolation

Durant l'hiver, la nébulosité de cette partie de l'île est généralement faible, sauf dans le cas où il y a un renforcement de l'anticyclone très marqué. (2)

Tableau 4 : Durée d'insolation

Station	Durée de l'insolation (en h et dixièmes) / Moyenne annuelle	Pourcentage par rapport à la durée possible de l'insolation (%)
Diégo	3 088.0	70.1
Majunga	3 278.3	74.4
Besalampy	-	-
Morondava	3 550.9	80.6
Morombe	3 724.0	84.6
Tuléar	3 636.2	82.6

(-) : valeur manquante

II.3. Facteurs influant le climat de la cote-ouest

II.3.1. Brises de terre et brises de mer

Puisque terre et mer chauffent ou refroidissent différemment, l'air se met en mouvement au cours de la journée près des côtes.

Le jour, par beau temps, la terre a tendance à s'échauffer rapidement que la mer ; il se produit alors une ascension de l'air chaud au niveau de la terre, et qui est remplacé par l'air plus frais en provenance de la mer : c'est la brise de mer. Par contre, la nuit, la terre se refroidit plus vite que la mer et il se produit le phénomène inverse : c'est la brise de terre.

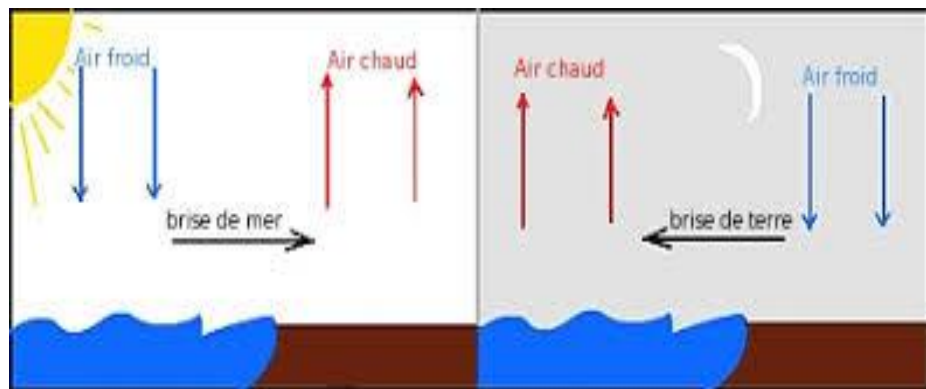


Figure 8 : Illustration de la brise de mer et brise de terre
(source : <http://www.google.com/brise+de+terre&source>)

Ces brises sont observées à un degré plus ou moins net sur les côtes. Elles donnent localement aux vents généraux une composante vers la terre ou vers la mer. Elles sont particulièrement nettes sur la côte Ouest, abritée de l'Alizé et dont l'interlande présente une forte variation diurne de la température.

II.3.2. Les courants d'ouest

L'alizé est surmonté de courant d'Ouest subsident et secs. Lors des passages au sud de Madagascar des Thalwegs polaires, l'alizé disparaît parfois sur une grande partie de l'île et laisse la place aux courants d'ouest. En hiver, lorsqu'ils arrivent au sol, ces courants donnent sur les régions qu'ils intéressent un temps généralement clair ou peu nuageux avec des brouillards matinaux sur les Plateaux. En été, ces courants d'ouest s'humidifient par la base sur le canal de Mozambique et, en atteignant les plateaux, favorisent le développement des orages sur les régions où ils sont en convergence avec le régime de sud-est.

II.3.3. Vent de nord-ouest

En été, l'anticyclone d'Arabie développe parfois une dorsale sur le Nord du Canal de Mozambique, il s'établit alors par intermittences sur les régions Nord-Ouest et Centre Ouest, ainsi que sur la partie occidentale des Plateaux des courants de Nord-Ouest faibles à modérés (appelés par certains auteurs). D'origine équatoriale, ce vent très instable favorise sur les régions qu'il intéresse le développement de foyers orageux. A la suite d'une évolution cyclonique, ce vent se renforce et s'accompagne de fortes pluies.

La limite entre les vents de Nord-Ouest et ceux du Sud-Est est la ZCIT ou front intertropical. C'est dans cette zone que se forme les perturbations cycloniques.

II.4. Les paramètres météorologiques étudiés

Il existe plusieurs façons de présenter les caractéristiques du climat et de les décrire. La plus courante est celle qui fait la description : élément par élément, par année, saison, mois et éventuellement par séquence de temps plus courts. (4)

Une station climatologique ordinaire se situe sur un terrain présentant les conditions requises pour l'observation de la température maximale et minimale quotidienne et de la hauteur de précipitation. Ainsi, les paramètres qu'on étudiera dans cette étude sont : la température maximum et minimale et la hauteur de la précipitation.

II.4.1. La température

a- Définition

La température est une grandeur physique caractérisant un phénomène physique qui se présente comme une manifestation de l'énergie cinétique moyenne de translation des molécules d'une substance, due à l'agitation calorifique.

Sa perception varie d'un individu à un autre et selon les conditions atmosphériques (vent, pluie, ensoleillement...). Pour déterminer la grandeur physique de la température, plusieurs échelles ont été définies mais la majorité des pays utilise le degré Celsius. Le 0°C de cette échelle correspond au point de congélation de l'eau, et le 100°C au point d'ébullition de l'eau.

b- Appareils de mesure

La mesure de la température s'effectue à l'aide d'un thermomètre. Les thermomètres classiques exploitent la dilatation d'un liquide (mercure, alcool) proportionnelle à la variation de température.

II.4.2. Les précipitations

a- Définition

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.

Elles sont mesurées en mm d'équivalence en eau, autrement dit en litre par mètre carré de surface horizontale. Les différents types de précipitations sont les suivants :

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

b- Appareils de mesure

Le plus utilisé pour mesurer la hauteur de la précipitation est le pluviomètre et/ou pluviographe.

Un pluviomètre est composé d'un seau pluviométrique qui se situe à 1m au-dessus du sol comme dans la figure suivant. On n'obtiendra pas directement la hauteur de la précipitation avec ce seau mais on doit renverser l'eau recueillit dans une éprouvette graduée afin d'obtenir la hauteur de la précipitation.



Figure 9 : Pluviomètre
(Source : auteur)

Pour le pluviographe, il possède aussi un seau pluviométrique comme le pluviomètre mais ce qui le différencie de ce dernier est qu'il enregistre automatiquement les hauteurs de précipitations.



Figure 10 : Pluviographe
(source : auteur)

Partie II : DONNEES, OUTILS
et
METHODOLOGIES

Partie II : DONNEES, OUTILS ET METHODOLOGIES

Chapitre I : Données et Outils

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

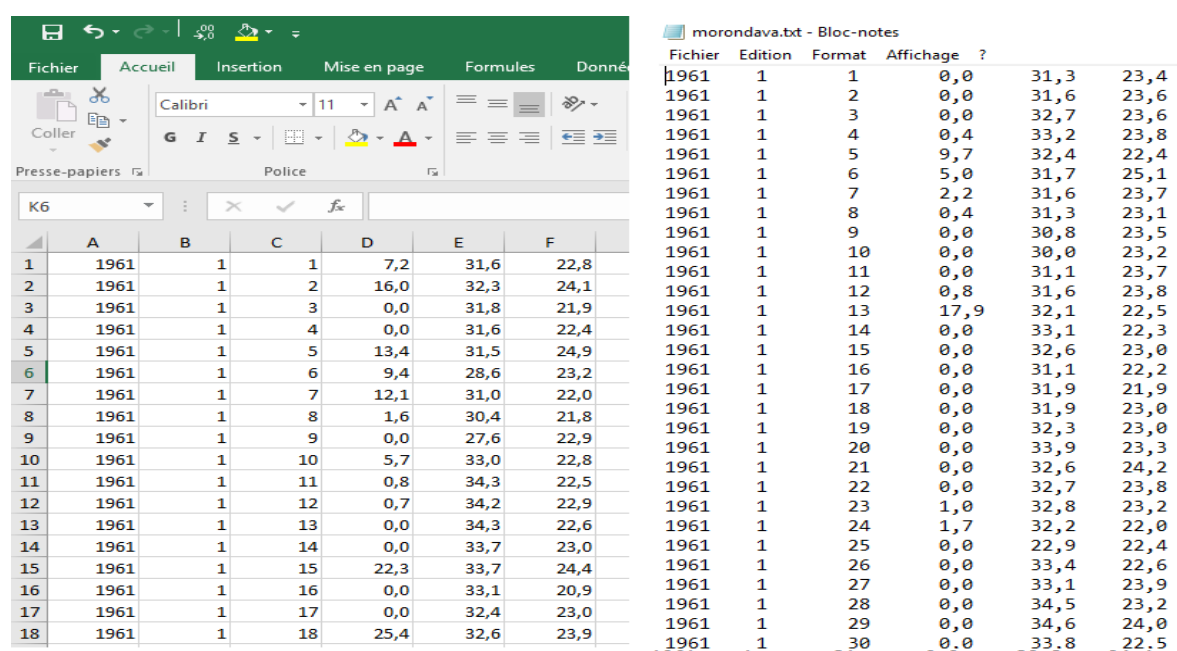
I.1. Données

Selon le chapitre précédant, les paramètres étudiés pour cette étude seront les précipitations, les températures maximum et températures minimum.

Ainsi, des séries statistiques de données quotidiennes s'étendant de 1961 à 1990, de ces paramètres pour les six stations ont été utilisé pour cette étude climatique, qui ont été obtenues au sein de la DGM. Certains de ces données ont été stockés dans des fichiers Excel d'extension .xls et d'autres dans des fichiers textes d'extension .txt et dont un fichier représente les données d'une station.

Malgré cela, les contenus de chaque fichier sont tous formés par des empilements de lignes qui représentent consécutivement les dates d'observations avec les mesures des paramètres et qui sont aussi arrangées par colonnes comme suit : la première colonne à gauche, il y aura l'année de l'observation suivit du mois et du jour ; ensuite, au quatrième colonne se présente les données de précipitations (en mm) et enfin, les deux dernières colonnes contiennent respectivement les températures maximum (en °C) et les températures minimum (en °C). Ainsi pour faciliter les manipulations de ces données et d'avoir aussi une uniformité sur l'extension des fichiers, on a transformé tous les fichiers en fichiers textes d'extension .txt.

La figure qui suit montre un extrait des données de ses différents fichiers.



	A	B	C	D	E	F
1	1961	1	1	7,2	31,6	22,8
2	1961	1	2	16,0	32,3	24,1
3	1961	1	3	0,0	31,8	21,9
4	1961	1	4	0,0	31,6	22,4
5	1961	1	5	13,4	31,5	24,9
6	1961	1	6	9,4	28,6	23,2
7	1961	1	7	12,1	31,0	22,0
8	1961	1	8	1,6	30,4	21,8
9	1961	1	9	0,0	27,6	22,9
10	1961	1	10	5,7	33,0	22,8
11	1961	1	11	0,8	34,3	22,5
12	1961	1	12	0,7	34,2	22,9
13	1961	1	13	0,0	34,3	22,6
14	1961	1	14	0,0	33,7	23,0
15	1961	1	15	22,3	33,7	24,4
16	1961	1	16	0,0	33,1	20,9
17	1961	1	17	0,0	32,4	23,0
18	1961	1	18	25,4	32,6	23,9

Figure 11 : Echantillons des données brutes
(source : auteur)

Des fois, le mal fonctionnement des instruments de mesures ou par manque de précision, ils peuvent y avoir des jours où il n'y avait pas des observations pour certains paramètres. D'où, la présence de certaines valeurs manquantes dans les données. On a aussi uniformisé les séparateurs décimaux en des points puisque dans certaines données, le séparateur décimal a été des virgules ; tandis que d'autres avaient comme séparateur décimal des points.

I.2. Outils

I.2.1. Le logiciel de programmation R

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 (4).

(5) 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.

Ci-après se présente l'interface de R ouvert sous Windows.

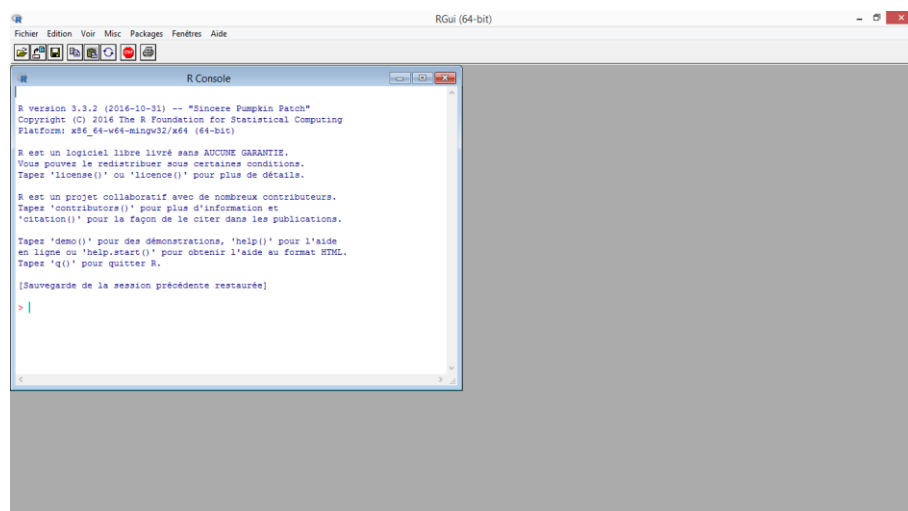


Figure 12 : Interface de R sous Windows
(source : auteur)

I.2.2. R-instat

R-Instat est un logiciel libre et piloté par menu de statistiques actionné par le R. Il est conçu pour exploiter la puissance du système statistique de R, tout en étant facile à utiliser que d'autres paquets traditionnels de statistiques de point et de clic, par un menu et une conception dialogue-basée. (6)

Le « Instat » dans « R-Instat » se rapporte à un paquet simple de statistiques d'abord développé dans les années 80 avec les objectifs semblables et des publics cibles comme R-Instat, et une grande partie de la philosophie de R-Instat est inspirée par Instat. Instat a inclus un menu spécial pour l'analyse des données climatiques et il suit cette tradition, aussi bien qu'inclure un autre menu spécial pour l'analyse des données de marchés publics. La figure ci-après montre son interface ouverte sous Windows.

Nombreux sont les boîtes de dialogue qu'offrent cette logiciel, parmi eux le menu spécial « climatique » qui adopte l'analyse des données quotidiennes.

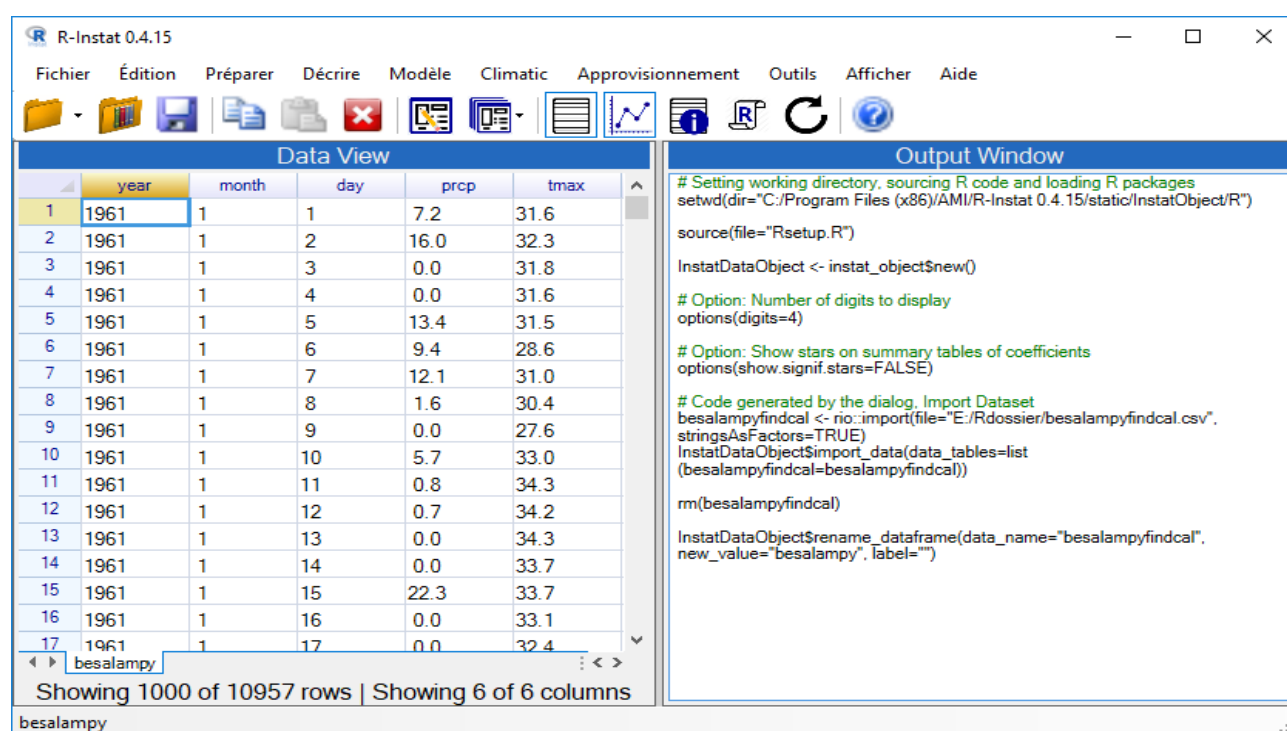


Figure 13 : Interface de R-Instat sous Windows
(source : auteur)

I.2.3. Rclimdex (6)

RClimDex est conçu pour fournir une interface facile à utiliser aux calculs des indices extrêmes de climat. Il calcule chacun des 27 indices en mémoire centrale recommandés par CCI/CLIVAR (ETCCDMI) aussi bien que quelques autres indices de la température et de précipitation avec les seuils définis par l'utilisateur. Les 27 indices en mémoire centrale incluent presque tous les indices calculés par ClimDex.

ClimDex est un programme basé sur Microsoft Excel qui fournit un progiciel facile à utiliser pour le calcul des indices extrêmes de climat pour la surveillance et détection du changement climatique. Il a été développé par Byron Gleason au centre de calculs national de climat (NCDC) de NOAA, et a été employé dans des ateliers de CCI/CLIVAR sur des indices de climat en 2001.

L'objectif original était de mettre en communication ClimDex dans un environnement qui ne dépend pas d'un détail du système d'exploitation. L'emploi de R en tant que notre plateforme est normale, puisque R est un libre mais logiciel très robuste et puissant pour l'analyse statistique et les graphiques. Il fonctionne sous des environnements de Windows et d'Unix. En 2003, on a découvert que la méthode employée pour calculer des indices percentile-basés de la température dans ClimDex et d'autres programmes a eu comme conséquence l'inhomogénéité de la série d'indice. Une difficulté au problème exige une procédure d'amorce qui le rend presque impossible à mettre en application dans un environnement d'Excel. Ceci l'a rendue plus pressante pour développer ce paquet basé par R.

A propos des données d'entrer de RClimDex, ils doivent être dans des fichiers textes « .txt » et dont un fichier contient les données d'une station. L'arrangement des colonnes dans ses fichiers doit suivre les ordres suivants : Année, mois, jour, PRCP, TMAX, TMIN (à noter que : l'unité pour le PRCP est le mm tandis que celle des températures est en °C) 3. Le format comme décrit ci-dessus doit être délimité par des espaces (par exemple chaque élément séparé par un ou plusieurs espaces). Pour des articles de données, des données absentes doivent être codées en tant que -99.9 ; les articles de données doivent être dans l'ordre de date civile.

La figure ci-dessous représente l'interface du RClimDex ouvert sous le logiciel de programmation R.

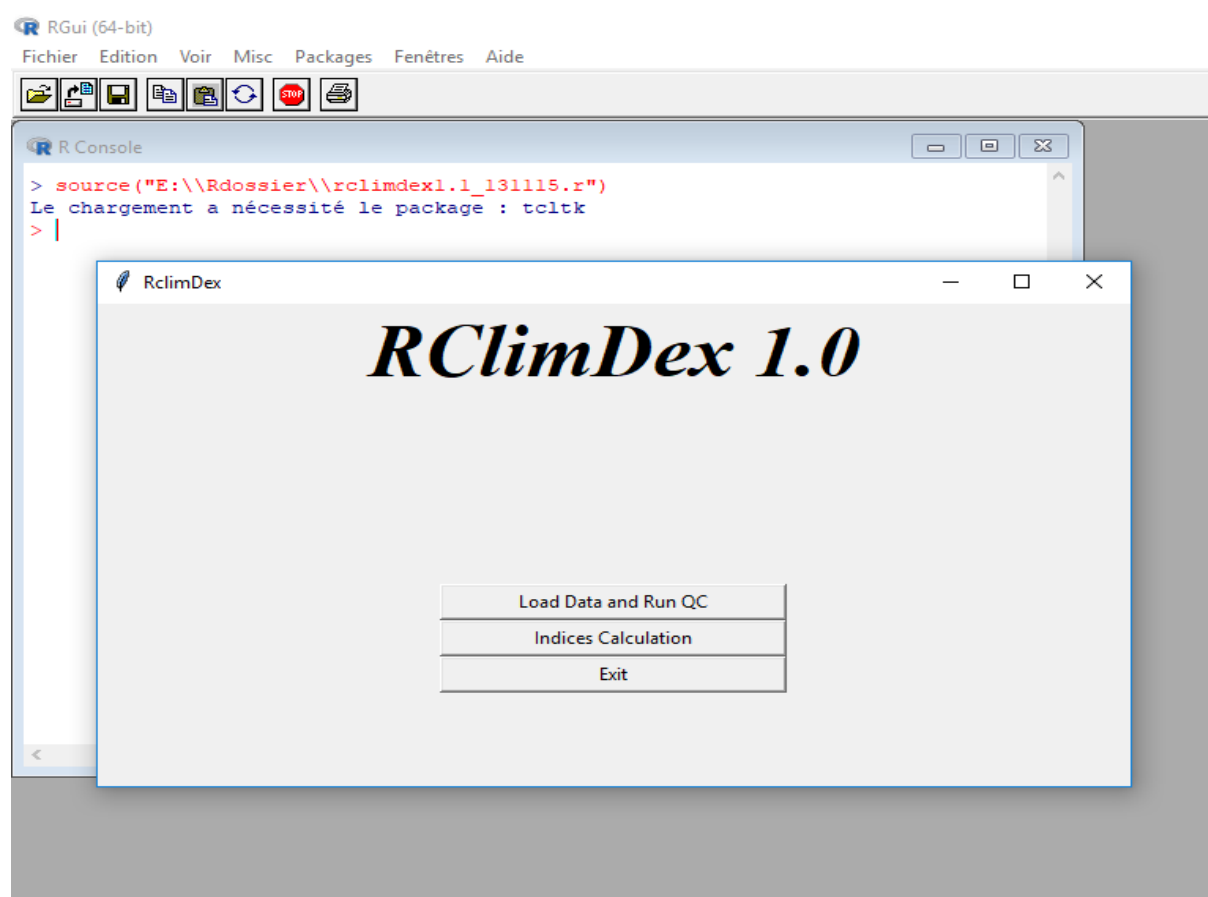


Figure 14 : interface de RclimDex ouvert sous R
(source :auteur)

Les données utilisés sous RclimDex doivent être stockées dans un fichier texte « .txt »

a- Le menu « Load Data and Run QC »

Ce menu sert à lire (ou à entrer) les données dans RclimDex mais aussi à détecter les anomalies dans la série de base de données.

Un objectif principal de ces indices est d'être employé pour des études de surveillance et de détection de changement climatique. Ceci exige que les indices soient homogénéisés. RclimDex inclut un procédé de contrôle de qualité de données simples qui a été fourni dans ClimDex. Comme dans ClimDex, nous avons besoin de que la qualité des données est contrôlée avant que les indices puissent être calculés.

Il identifie et décrit comme des anomalies les valeurs quotidiennes dont :

- $T_{max} < T_{min}$
- $T_{ma} - T_{min} = 0$
- $Prec \leq 0$ et $Prec \geq 200$ mm

b- Le menu « Indices Calculation »

Ce menu permet d'ouvrir une boîte de dialogue pour générer les indices à calculer comme dans la figure qui suit.

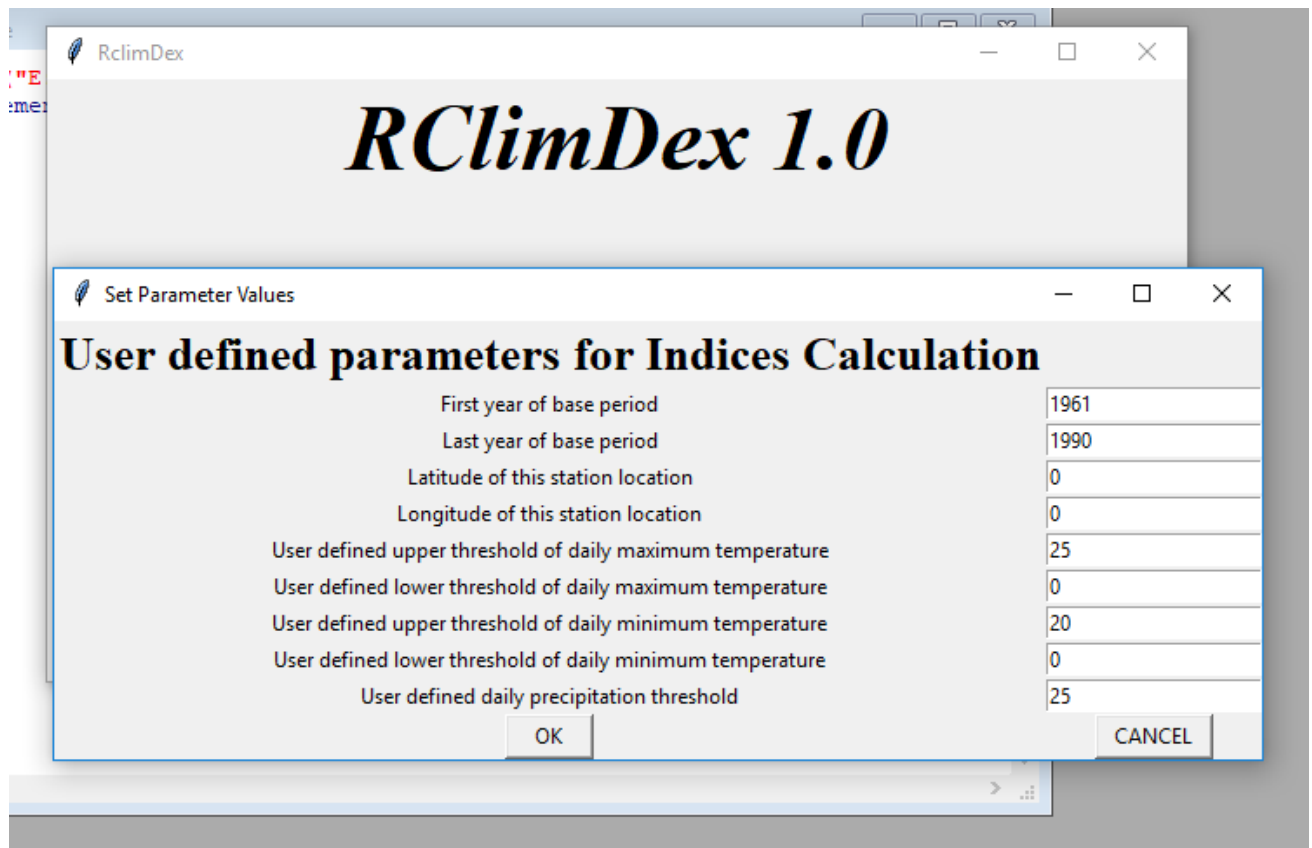


Figure 15 : Boîte de dialogue de Rclimdex pour les calculs des indices
(source : auteur)

c- Le menu « Exit »

Ce menu permet de quitter l'interface de RclimDex ouvert sous R.

Les indices de RclimDex

Les indices de climat sont définis comme les valeurs calculées qui peuvent être employées pour décrire l'état et les changements du système climatique.

L'indice climatique, en climatologie, est à la fois une mesure de base et une composition à partir de ces mesures qui doit être bien différenciée de l'indicateur climatique, valeur quantitative ou qualitative, donc parfois adimensionnelle, caractérisant l'état d'un système de façon indirecte.

Cependant, les 27 indices du RCLimindex ne pourront pas être calculés que si :

- le nombre de jours manquants > 3 jours alors la valeur du mois est manquante.
- le nombre de jours manquants > 15 jours ou si la valeur moyenne est manquante alors la valeur annuelle est manquante.
- 70% des données sont présentes.

Ils peuvent être classés par catégorie dans cinq groupes tels que :

❖ Indice de Percentile-base

- Occurrence des nuits froides (TN10p)
- Occurrence des nuits chaudes (TN90p)
- Occurrence des jours froids (TX10p)
- Occurrence des jours chauds (TX90p)
- Jour très humide (R95p)
- Jour extrêmement humide (R99p)

❖ Indice absolus

Ce sont les indices qui représentent les valeurs maximum ou minimum dans une saison ou une année

- Température maximale quotidienne de maximum (TXx)
- La température minimum quotidienne de maximum (TNx)
- Température maximale quotidienne de minimum (TXn)
- La température minimum quotidienne de minimum (TNn)
- Précipitation d'une journée maximum (RX1day)
- Précipitation de cinq jours maximum (RRX5day)

❖ Indice de Seuil

Elle est basée sur le nombre de jours au-dessus duquel une température ou une valeur de précipitation tombe au-dessous d'un seuil fixé.

- Occurrence annuelle des jours de gel (FD)
- Occurrence annuelle des jours de glace (ID)
- Occurrence annuelle des jours d'été (SU)
- Occurrence annuelle des nuits tropicales (TR)
- Nombre des jours lourds de précipitation > 10mm
- Nombre des jours très lourds de précipitation > 20mm

❖ Indice de durée

Elle est composée des périodes chaud, froid excessifs, de l'humidité ou de la sécheresse ou dans le cas de la longueur de période de végétation, périodes de la douceur.

- Indicateur de durée de période de froid (CSDI)
- Indicateur de durée de charme de mémoire à accès direct par fenêtre (WSDI)
- Longueur de période de végétation (GSL)
- Jours secs consécutifs (CDD)
- Jours humides consécutifs (CWD)

❖ D'autres indices

Les indices ne tombent dans aucune de catégories ci-dessus mais pourraient avoir des impacts sociaux significatifs :

- Total annuel de précipitation (PRCPTOT)
- Température ambiante journalière (DTR)
- Index quotidien simple d'intensité (SDII)
- Température ambiante d'extrême (ETR)
- Contribution annuelle des jours très humides (R95pT) (8)

Parmi ces nombreux indices, on ne va prendre que certains d'entre eux tels que :

- Jours secs consécutifs (CDD)
- Jours humides consécutifs (CWD)

Chapitre II : Méthodologies

Dans ce chapitre, nous allons voir les différentes étapes à suivre pour l'aboutissement de cette étude ainsi que les différentes stratégies (surtout statistiques) pour traiter les données à partir des logiciels cités ci-dessus afin de pouvoir tirer des résultats à interpréter mais surtout de définir la climatologie des régions concernées, plus précisément de la station concernée.

A cela, dans toutes les études qui suivent, un jour est dit « humide » si et seulement si la hauteur de la précipitation en une journée est supérieur ou égale à 1mm.

II.1. Préparation des données

Pour faire une étude climatologique, les données sont les plus importants et aussi nécessaire.

II.1.1. Uniformisation des données

Afin de faciliter le traitement des données, l'uniformité de ces derniers est primordiale. On a alors uniformisé :

- Les fichiers contenant les données en des fichiers textes « .txt » puisque ce genre de fichier peut être lu directement par tous ces logiciels de traitement.
- Les points décimaux en « des points » puisque c'est une norme internationale du point décimal mais surtout les logiciels de traitement considèrent directement le point comme le point décimal.
- Les valeurs manquantes en « - 99.9 » car dans RCLimindex cela indique directement les valeurs manquantes.

II.1.2. Correction des données

Dans la mesure du possible, les données utilisées pour le calcul des normales et moyennes climatologiques doivent être homogènes (4). Et vu que nous travaillons avec des milliers de données et que durant la collecte, transmission, entreposage, conversion d'unités, calculs et interprétation, des erreurs peuvent s'introduire. Alors, corrigée ces données est à priori nécessaire. Cependant, avant de corriger les données, on fait d'abord sortir les extrêmes qui sont les valeurs minimums et maximums d'un paramètre dans une série de données durant une unité de temps bien précise afin de ne pas fausser les résultats.

Après cela, on fait entrer les données dans RCLimDex à l'aide du menu « Load and Run QC » pour détecter les anomalies dans les séries de données. Après avoir obtenu les erreurs présentes dans les données, on les corrige en estimant la valeur à l'aide des valeurs qui l'entoure.

Cependant, si la valeur ne peut pas être estimée, on l'affectera directement une assignation de la valeur manquante « -99.9 ». Malgré cela, on ne peut pas avoir directement des données sans erreur ; alors on fait repasser les données dans ses étapes jusqu'à ce que le menu ne détecte plus d'erreur.

Des exemples d'erreur de données seront présentés dans les annexes.

II.1.3. Insertion de nouvelles colonnes de données

Afin de faciliter la manipulation des données sous R, on a inséré une nouvelle colonne qui est une moyenne des températures maximum et minimum journalière. Cette nouvelle est obtenue par le calcul suivant :

$$Tm = \frac{tx + tn}{2} \quad (1)$$

Puisque nous allons aussi faire des études sur les caractéristiques saisonnières des deux paramètres, alors on a aussi ajouté une autre colonne contenant les saisons selon les règles suivant :

- si le mois est entre le mois de novembre et le mois d'avril, la colonne des saisons est remplie par « été »
- pour les autres mois, on la remplie par « hiver ».

II.2. Détermination de la climatologie de chaque station à partir du diagramme ombrothermique

Les diagrammes ombrothermiques représentent l'évolution au cours d'une année des températures moyennes mensuelles et des précipitations totales mensuelles et permet de déterminer le climat d'une ville, plus précisément d'une station. (7)

Cependant dans notre cas, nous allons utiliser les moyennes durant les 30 ans, c'est-à-dire, les précipitations totales mensuelles seront changées en des moyennes des cumuls de précipitations mensuels pendant 30 ans et les températures moyennes mensuelles seront changer en des moyennes en 30 ans des températures moyennes mensuelles. Nous allons ajouter aussi les nombres de jours de pluies moyenne de chaque mois sur ses diagrammes.

Règle de construction :

- En abscisse, on représente les mois de l'année.
- En ordonnée, on place deux axes : la température
 - L'axe des températures est à droite, celui des précipitations est à gauche.
 - Les températures sont représentées par une courbe. Les points représentant les températures moyennes de chaque mois sont situés au centre de chaque mois et sont reliées par une courbe lissée. (7)
 - Les précipitations sont représentées par un histogramme (colonnes) ayant le mois comme largeur.

Par convention, pour faciliter l'analyse de ce type de graphique, on conseille d'adopter entre les deux axes la relation suivante :

$$P = 2T \quad (2) ;$$

C'est-à-dire que si par exemple sur l'axe des précipitations, on a 20 mm alors cette valeur correspondra à 10°C sur l'axe des températures.

Cette convention permet de distinguer les mois secs et humides en considérant qu'un mois est sec si la courbe des températures est supérieure à l'histogramme des précipitations (et inversement pour un mois humide). (7)

N.B : Dans certaines régions, les précipitations mensuelles peuvent être très importantes (> 100 mm). Dans ce cas, pour éviter des diagrammes démesurés, on opère un changement dans l'échelle des précipitations, on place le même espace entre 100 et 200 mm qu'entre 80 et 100 mm.

Pour déterminer un climat, on peut utiliser la grille simplifiée dans le tableau suivant après avoir calculer :

- la température moyenne annuelle
- l'amplitude thermique (différence en la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid)
- les précipitations totales (somme des précipitations mensuelles)
- le nombre de mois secs (en fonction de $P = 2T$)

Tableau 5 : Clé de détermination des principaux types de climat

Températures moyenne annuelle	Amplitude thermique annuelle	Précipitations totales annuelles	Type de climat
> 20 °C	≤ 5 °C		Tropical humide
	> 5 °C	> 250 mm	Tropical à saisons contrastées
		≤ 250 mm	Désertique chaud
15°C ≤ T ≤ 20°C		> 500 mm	Subtropical
		≤ 500 mm	Méditerranéen
0°C < T < 15°C	≤ 20 °C	> 500 mm	Tempéré océanique
	> 20 °C	250mm ≤ P ≤ 500mm	Tempéré continental
		< 250 mm	Désertique froid
≤ 0°C			Polaire

Ainsi, nous allons caractériser le climat existant dans chacun de ses six stations à partir des diagrammes ombrothermiques. Nous allons traiter les données et sorti les graphes sous R.

II.3. Analyses statistiques des données

L'analyse statistique est exigée pour l'interprétation des ensembles de données observés et simulés. La nécessité d'employer des techniques statistiques provient du grand espace de phase du climat. L'avantage des approches statistiques est qu'ils permettent de traiter directement l'information au sujet du vrai système. Tandis que certains processus cruciaux pourraient être représentés mal dans un modèle, les données observées reflètent l'influence de tout approprié processus.

II.3.1. Caractéristiques saisonnières

On met en évidence dans ce paragraphe les deux saisons bien distinctes qu'on a parlé dans la première partie qui sont : l'été de novembre à avril et l'hiver de mai à octobre.

a- Précipitations saisonnières

Pour déterminer et comparer les précipitations de chaque saison à chaque station, nous avons employé la méthode des pourcentages (ou fréquence).

La fréquence est un indicateur du nombre de fois ou effectif d'une classe par rapport à la totalité qu'une valeur est présente dans une série statistique. Elle un nombre compris entre 0 et 1 et que l'on peut aussi donner sous forme de pourcentage.

La proportion en pourcentage d'une quantité A par rapport à une quantité totale B est égale à $\frac{A}{B} \times 100$ (en %), c'est alors le rapport l'effectif de la population considérées sur l'effectif de la population totale multipliée par 100.

On sait qu'il existe deux saisons bien distinctes à Madagascar alors pour comparer les pourcentages des pluies saisonnières tombant sur ces stations, on calcul des pourcentages des précipitations tombantes sur chacun de ses stations selon les saisons par les formules suivant :

$$\%_{P \text{ en hiver}} = \frac{\sum P_{\text{en hiver}}}{\sum P} \times 100 \quad (3)$$

$$\%_{P \text{ en été}} = 100 - \%_{P \text{ en hiver}} \quad (4)$$

On obtient ainsi les variations saisonnières de la précipitation pour chaque station et que l'on comparera ensuite.

b- Températures saisonnières

Pour la température saisonnière, on a calculé la moyenne des températures saisonnières de chaque année pour chacun des stations à partir des deux colonnes qu'on a insérées dans les données.

II.3.2. Pourcentage des précipitations tombantes sur chaque station

Dans cette partie, nous allons utiliser la même méthode que la précédente, seulement la quantité totale qu'on emploiera sera la somme de toutes les précipitations des six stations et que la valeur à déterminer en pourcentage sera la précipitation totale de chaque station.

On calculera alors le pourcentage des précipitations de chaque station comme suit

$$\%_{Pi} = \frac{P_i}{P_{total}} \times 100 \quad (5)$$

i : stations (Diégo, Majunga, Besalampy, Morondava, Morombe, Tuléar)

P_i : Précipitations totales sur la station concernée

Après avoir effectué les calculs sous R, on représentera les résultats sous forme de graphique afin de faciliter la comparaison entre elles.

II.3.3. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions

➤ Les extrêmes

Ce sont les valeurs minimums et maximums d'un paramètre dans une série de données durant une unité de temps bien précise. Elles sont alors d'un degré plus intense dépassant les limites ordinaires. (8)

Nous allons employer des données de précipitations et températures moyennes annuels de chaque station et déterminer parmi ces valeurs l'année qui a été le plus humide et le plus sec avec leurs hauteurs de précipitations respectives recueilli et aussi de l'année avec la température extrême et leur valeur respective.

Pour la température, on a cherché aussi les maximums et minimum absolues des températures.

➤ Les tendances centrales

Les caractéristiques de tendance centrale expriment la concentration des données.

La médiane

La médiane est la valeur d'une variable qui partage la population en deux effectifs égaux, c'est-à-dire 50% des données sont inférieures à la médiane et les 50% sont supérieurs à cette dernière.

La médiane ne dépend pas des valeurs elles-mêmes, mais de l'ordre dans lequel elles sont rangées, ce qui entraîne des conséquences positives et des conséquences négatives.

Les conséquences positives :

- Quand une variable se présente avec deux classes extrêmes ouvertes, si on ne connaît pas les valeurs minimales et maximales, la médiane est la caractéristique de tendance centrale la plus pertinente.
- De même, c'est la meilleure caractéristique quand on travaille sur des variables dont les valeurs sont de mauvaise qualité.
- Enfin, quand on travaille sur de petites populations, la médiane est la caractéristique la moins sensible au hasard.

Les conséquences négatives :

- Les comparaisons sont souvent difficiles à faire car la distribution des valeurs des modalités peut varier dans de très grandes proportions.
- La même valeur médiane peut correspondre à deux populations totalement différentes. (8)

La moyenne empirique

La moyenne est le rapport entre la somme des valeurs et le nombre de valeurs. C'est donc la valeur la plus proche de l'ensemble des valeurs.

Pour notre cas, nous allons calculer les moyennes des cumuls des précipitations annuelles pour chaque station selon la formule suivante :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

x_i : Cumul des précipitations annuels pour une station avec $i \in [1961; 1990]$

N : Effectif total des x_i

Les avantages de la moyenne :

- La moyenne tient compte de toutes les valeurs de la variable (valeur représentative de l'ensemble des valeurs).
- Elle se prête particulièrement bien aux calculs algébriques.

Les inconvénients de la moyenne :

- Chaque individu n'intervient pas de la même manière dans le calcul de la moyenne. Cela entraîne toute une série de déformations. Ainsi, il est prudent de ne pas utiliser des moyennes à des fins comparatives sans se demander si l'utilisation est possible. De plus, dès que l'on compare des moyennes, il faut se demander s'il n'y a pas des effets de structure qui les perturbent.

➤ Les caractéristiques de dispersion :

Les caractéristiques de dispersion mesurent la répartition des valeurs les unes par rapport aux autres.

L'écart-type

L'écart-type est la racine carrée de la variance. La moyenne est d'autant plus représentative que l'écart-type est faible.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_i^n x_i^2\right) - \bar{x}^2} \quad (7)$$

x_i : cumul des précipitations annuelles pour une station avec $i \in [1961; 1990]$

$\bar{x}$: moyenne des précipitations annuelles d'une station

N : effectif total des x_i

Le coefficient de variation (CV)

La variabilité interannuelle est importante. Elle est mesurée par le coefficient de variation (CV) qui est le quotient de l'écart type sur la moyenne, exprimé en pourcentage. (7) Plus ce quotient est élevé, plus la variation interannuelle des précipitations est importante.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (8)$$

σ : écart-type des précipitations annuelles de chaque station

$\bar{x}$: moyenne des précipitations annuelles pour chaque station

Pour ces deux caractéristiques : tendances centrales et dispersions, on les a calculé et déterminé sous R pour les précipitations annuelles et aussi les températures moyennes annuelles de chacun de ses stations.

II.3.4. Test de comparaison de deux moyennes

Pour pouvoir prendre une décision tel que deux moyennes climatiques sont différentes, on va employer le test de deux moyennes ou test de Student puisque statistiquement parlant deux populations ne peuvent pas être différentes l'une de l'autre sans que les échantillons tirés de chaque population aient été testés l'un par rapport à l'autre. Les populations qui nous intéressent dans ce test sont les précipitations annuelles

Les tests statistiques fonctionnent tous sur le même principe qui consiste à

- énoncer une hypothèse nulle (noté H_0) et une hypothèse alternative (H_1),
- définir deux risques d'erreurs liés au choix de H_1 (noté α) et de H_0 (noté β),
- calculer une valeur notée t et prendre une décision à partir de t .

Les risques d'erreurs correspondent aux probabilités d'accepter une hypothèse sachant que l'autre est vraie :

α = probabilité d'accepter H_1 alors que H_0 est vraie ;

β = probabilité d'accepter H_0 alors que H_1 est vraie.

On ne peut pas effectuer les tests que si et seulement si les populations suivent la Loi normale centrée et réduite $N(0,1)$.

Nous allons employer un test bilatéral qui se déroulera comme suit :

Hypothèse de Test bilatéral

$$\begin{cases} H_0 : m_1 = m_2 \\ \text{contre} \\ H_1 : m_1 \neq m_2 \end{cases} \quad \text{au niveau } 0.05$$

Calcul de T

Le test est applicable si et seulement si

- les écart types des populations totales σ_1 et σ_2 sont inconnus
- Les effectifs respectives des échantillons sont supérieurs ou égales à 30
- L'échantillonnage est non-exhaustif

Alors on calcule :

$$T = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\left(\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}\right)}} \quad (9)$$

Règle de décision

On rejette H_0 au seuil de risque de 0.05 si $T \in \left[-t_{1-\frac{0.05}{2}} ; t_{1-\frac{0.05}{2}}\right]$ où la valeur est lue dans la table de la loi normale centrée réduite.

➤ Test des moyennes annuelles des précipitations entre les stations

Dans notre cas, pour effectuer le test, nous allons d'abord calculer les cumuls de précipitations annuelles à chacun de ses stations, on comparera alors les moyennes annuelles des précipitations. Ensuite, nous allons tester ses données sous le logiciel de programmation R qui donnera tout de suite les résultats des tests ainsi que les valeurs des paramètres tels que :

- T : paramètre du test
- p-value : risque de refus de H_1
- $ddl = n_1 + n_2 - 2$

Ainsi, nous avons passé le test entre les données de précipitations annuelles de chaque station, qui sera en tous 15 tests à effectuer.

➤ Test des moyennes annuelles des températures entre les stations

Pour le test suivant qui est sur la température, on applique les mêmes règles et les mêmes méthodes de calculs que celui que nous avons effectué avec la précipitation pour pouvoir tirer une conclusion sur la différence de la moyenne des températures de chaque station.

Les données que nous avons employées sont les moyennes annuelles des températures moyennes journalières et on a effectué le test en croisant les six stations. Ainsi, quinze tests aussi seront effectués avant de faire une représentation graphique de ses moyennes. Nous avons ainsi employé le logiciel R pour faire les calculs et les graphes.

II.4. Autres comparaisons des précipitations

I.4.1. Comparaison des durées de saisons de pluies de chacun des stations

On a vu dans la partie précédente que la saison des pluies commence le mois de novembre et se termine ensuite le mois d'avril.

➤ Début de saison de pluie

De nombreuses conditions devraient être vérifiées afin de définir cette début de saison, telles que :

- Le jour du début de saison de pluie doit être compris entre le 1 Novembre et 31 Décembre
- 1jour de pluie doit avoir au moins 1mm d'hauteur de précipitation
- Hauteur de précipitations recueilli en 2jours doit être 20mm au minimum

➤ Fin de saison

Pour la fin de saison, on a vu dans la partie précédente que l'été ou la saison des pluies se termine en mois d'avril alors les conditions que la fin de saison doit vérifier sont :

- Il devrait être comprise entre le mois mars et le mois d'avril
 - La capacité doit être à 60mm
 - Equilibre en eau = 0.50
 - ETP = 5
- Fin de pluie
- Hauteur de précipitations en 1 jour inférieur à 10mm

Pour le début de saison de pluies, la fin de saison et la fin de pluie, ce serait sous R-Instat qu'on va tirer les données. Après avoir obtenue ses données, on calculera les moyennes de ses trois paramètres et ensuite, on les représentera sur un graphique la durée moyenne de saisons de pluie qui sera la distance entre le début de saison et la fin de saison, ensuite on les comparera. Pour la fin de pluie, on effectuera aussi sa moyenne pour chaque station et que l'on représentera sur le même graphe que le précédent.

I.4.2. Comparaison des effets des phénomènes El Niño et La Niña

El Niño est à l'origine le nom que les Péruviens donnaient au réchauffement occasionnel des eaux de surface de l'océan dans le centre et l'est du Pacifique équatorial, une région où les eaux sont généralement fraîches. Ce phénomène, qui peut se déclencher à n'importe quel moment, se manifeste habituellement tous les deux à sept ans (soit tous les 4 ans et demi en moyenne) et peut durer de 12 à 18 mois. El Niño est alors un phénomène de réchauffement des eaux de surface le long de la côte Ouest de l'Amérique du Sud qui débutait chaque année aux alentours du mois de décembre, d'où son nom, et ne durerait que quelques mois. Ce phénomène est également associé à des modifications de la pression au niveau de la mer dans certaines zones du bassin du Pacifique situées entre Darwin(Australie) et Tahiti.

El Niño sème le désordre dans le climat mondial en perturbant le climat dans l'ensemble de la planète telles la sécheresse dans des régions généralement humides, inondations dans des zones habituellement désertiques.

La Niña est à l'inverse d'El Niño qui est le nom donné à l'abaissement de la température de surface de la mer dans le centre du Pacifique. Ce phénomène a ces incidents propres qui, dans certaines régions, sont opposées à celles associées au phénomène El Niño. Un épisode La Niña peut ainsi apporter de fortes précipitations voire des inondations dans des pays ou des régions habituellement soumis à la sécheresse. (13)

Cependant, ce qui nous intéressera est leurs effets sur les nombres de jours secs et humides qui ont été tiré des indices du RCLimdex.

Pour cela, on prendra le nombre de jours secs successifs d'une année d'El Niño fort, d'une année de La Niña fort et aussi d'une année normale afin de pouvoir comparer les effets de ces deux phénomènes. Pour vérifier cela, on prendra aussi le nombre de jours humides successifs sur ses différentes années et l'on présentera sur un graphique pour faciliter la lecture et aussi la comparaison.

L'année d'El Niño forte durant cette période est l'année 1982, celle du La Niña est le 1973 et pour se référer, on a pris aussi une année dont aucun de ses deux phénomènes ne domine, l'année 1962.

Partie III : RESULTATS et INTERPRETATIONS

Partie III : RESULTATS et INTERPRETATIONS

Chapitre I : Classifications du climat de chaque station

Ce chapitre présentera les diagrammes ombrothermiques de chaque station :

I.1. Diégo

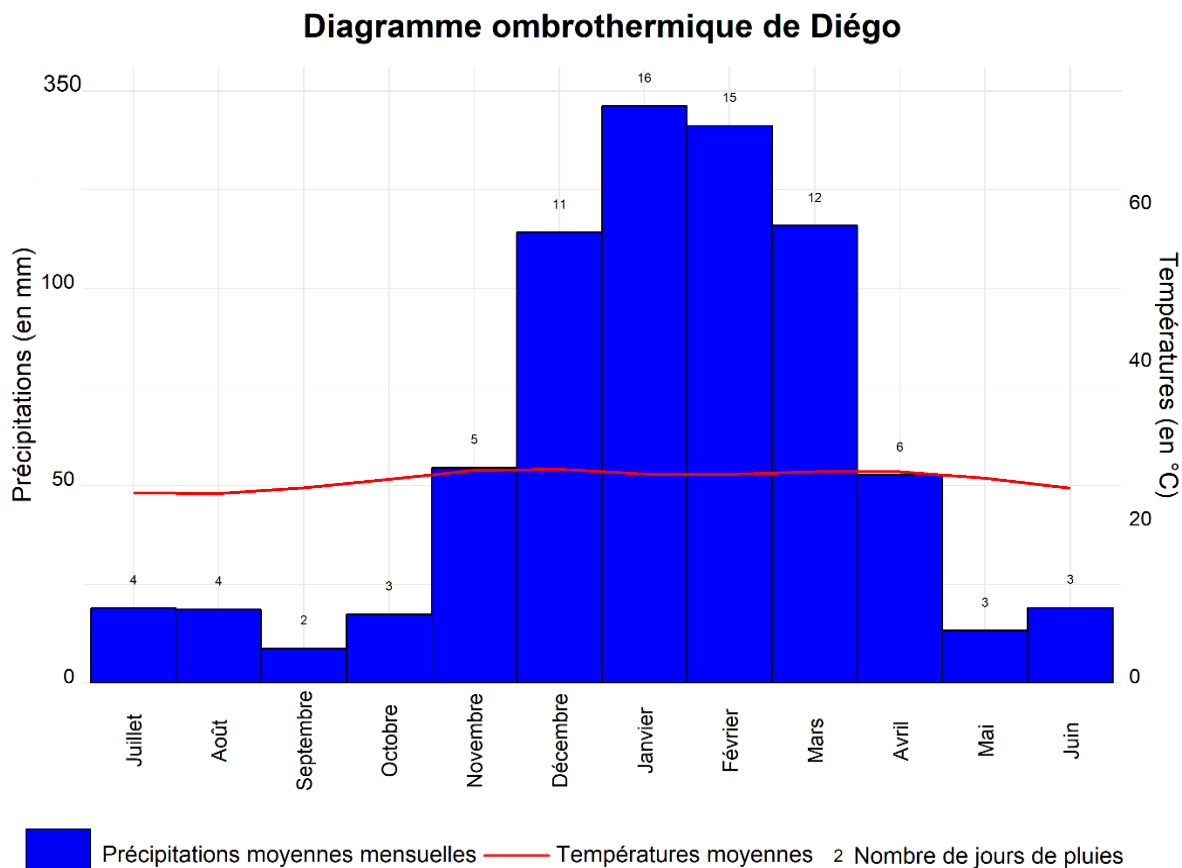


Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Diégo
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 25.83 °C
- Amplitude thermique : 3.05 °C
- Précipitations totales annuelles : 1190.5 mm
- Nombre de mois secs : 6mois

La figure montre un diagramme ombrothermique de la station de Diégo. On peut parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 25.83 °C. Le mois le plus chaud, qui est le mois de décembre, a 27.08 °C en moyenne, pendant qu'en mois d'août, le mois le plus froid, elle a 24.3 °C en moyenne ; ce qui entraîne une amplitude thermique annuelle de 3.05 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 1190.5 mm. La précipitation est concentrée en Novembre jusqu'en Avril. Le mois le plus humide est le mois de janvier avec une précipitation moyenne de 329.47 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de septembre avec seulement 7.66 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois de mai jusqu'à octobre.

Le climat de cette zone est donc un climat tropical humide de la zone intertropicale.

I.2. Majunga

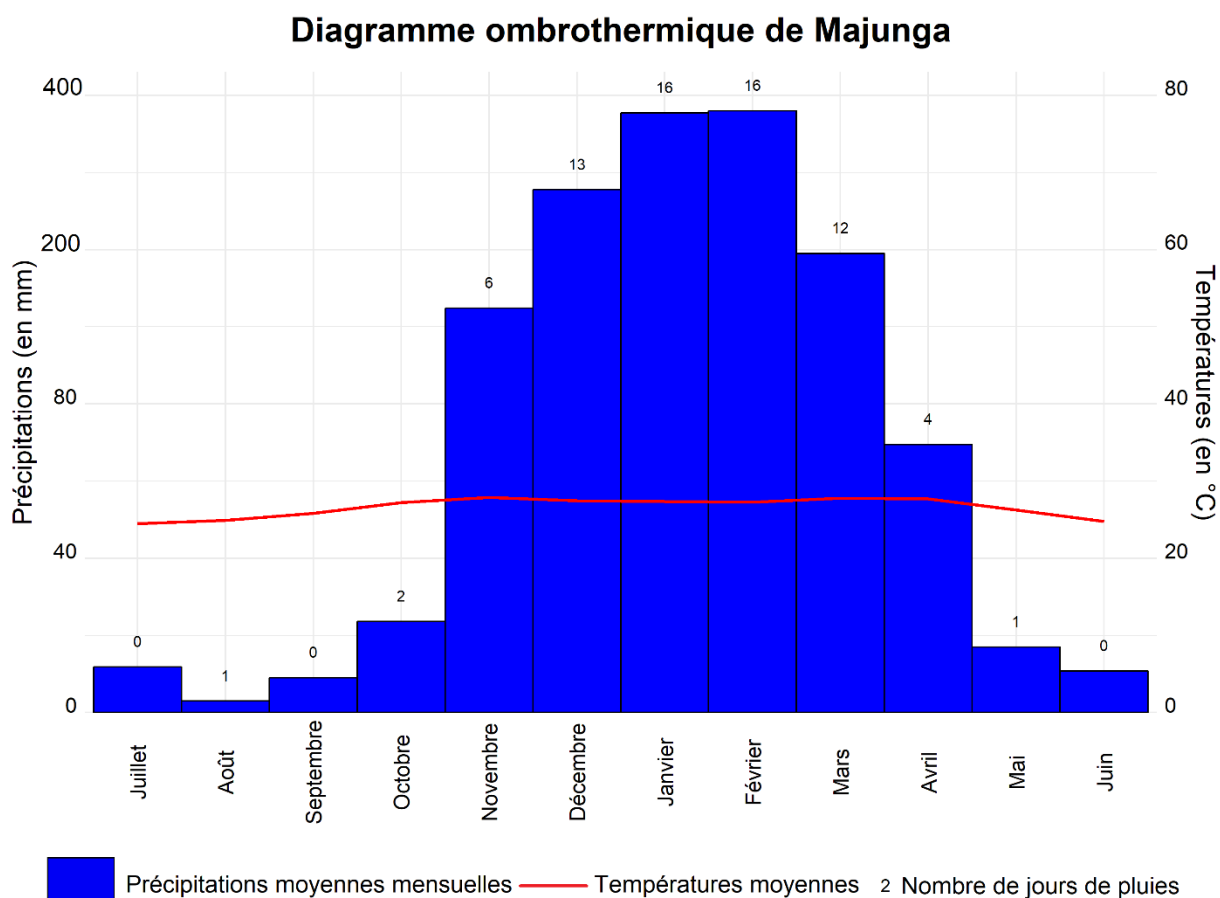


Figure 17 : Diagramme ombrothermique de Majunga
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 26.58 °C
- Amplitude thermique : 3.93 °C
- Précipitations totales annuelles : 1499.42 mm
- Nombre de mois secs : 6mois

La figure représente le diagramme ombrothermique de la station de Majunga. On peut aussi parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 26.58 °C. Le mois le plus chaud avec 27.88 °C en moyenne est le mois de novembre, tandis qu'en mois de juillet, le mois le plus froid, elle est à 24.49 °C en moyenne ; ce qui entraîne une amplitude thermique annuelle de 3.93 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 1499.42 mm. La précipitation est concentrée en Novembre jusqu'en Avril. Le mois le plus humide est le mois de février avec une précipitation moyenne de 379.03 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois d'août avec seulement 2.69 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois de mai jusqu'à octobre.

Cette zone a alors comme climat, un climat tropical humide de la zone intertropicale.

I.3. Besalampy

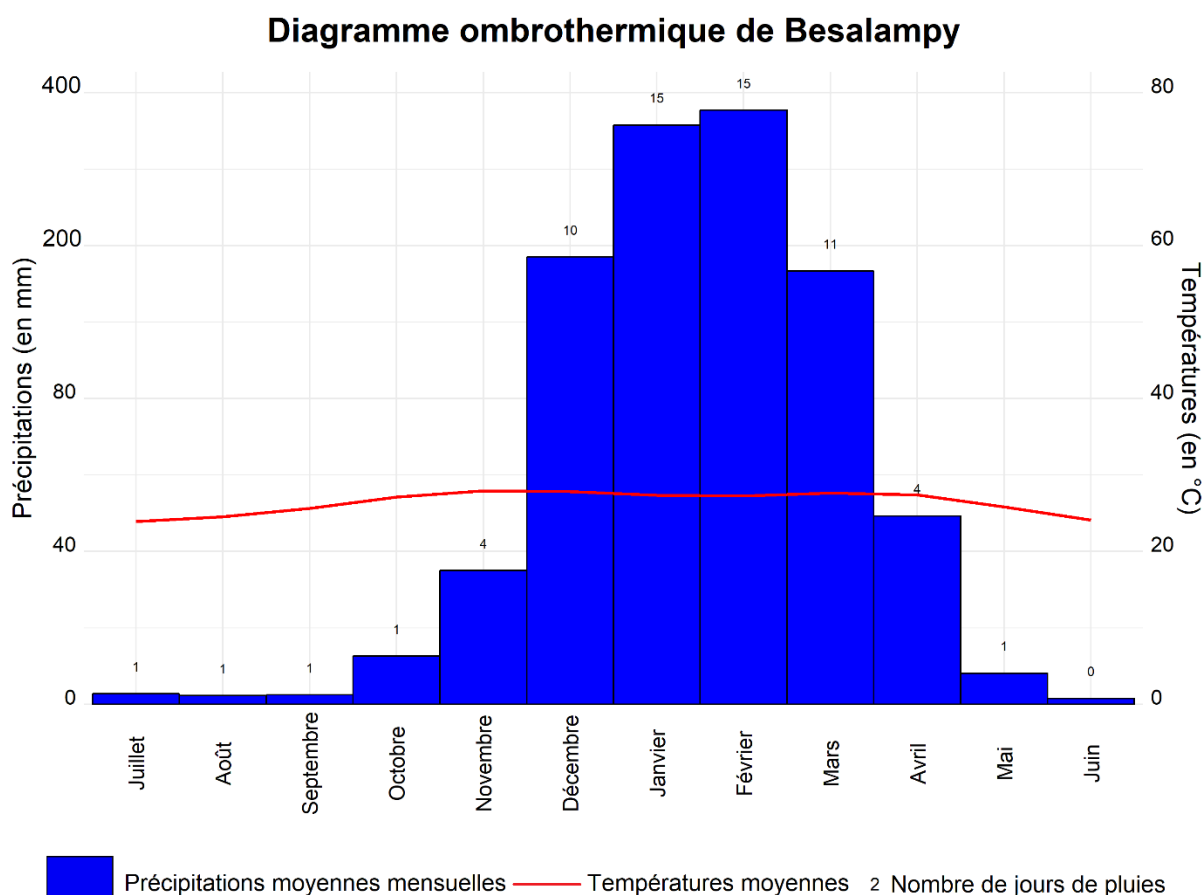


Figure 18 : Diagramme ombrothermique de Besalampy
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 26.38 °C
- Amplitude thermique : 4 °C
- Précipitations totales annuelles : 1200.65 mm
- Nombre de mois sec : 8mois

La figure montre un diagramme ombrothermique de la station de Besalampy. On peut parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 26.38 °C. Le mois le plus chaud, qui est le mois de novembre, a 27.92 °C en moyenne, pendant qu'en mois de juillet, le mois le plus froid, elle a 23.92 °C en moyenne ; ce qui entraine une amplitude thermique annuelle de 4 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 1200.35 mm. La précipitation est concentrée en Décembre jusqu'en Mars. Le mois le plus humide est le mois de février avec une précipitation moyenne de 375.9 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de juillet avec seulement 1.46 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois d'avril jusqu'au mois de novembre.

On en déduit que le climat de cette partie est un climat tropical humide de la zone intertropicale.

1.4. Morondava

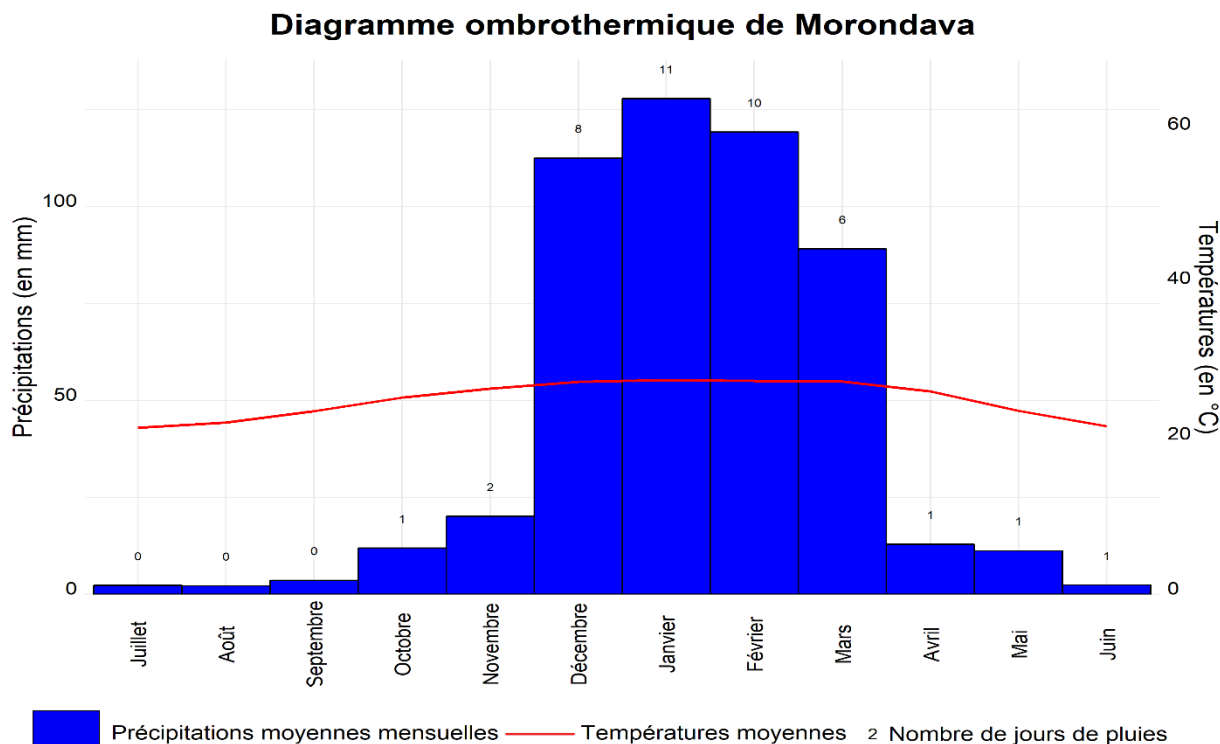


Figure 19 : Diagramme ombrothermique de Morondava
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 25.07 °C
- Amplitude thermique : 6.18 °C
- Précipitations totales annuelles : 754.31 mm
- Nombre de mois secs : 8 mois sec

La figure montre un diagramme ombrothermique de la station de Morondava. On peut parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 25.07 °C. Le mois plus chaud, qui est le mois de janvier, elle a 27.66 °C en moyenne, pendant qu'en mois de juillet, le mois le plus froid, elle a 21.48 °C en moyenne ; ce qui entraîne une amplitude thermique annuelle de 6.18 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 754.31 mm. La précipitation est concentrée en Décembre jusqu'en Mars. Le mois le plus humide est le mois de janvier avec une précipitation moyenne de 238.23 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois d'août avec seulement 2.05 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois de Avril jusqu'à Novembre.

Ce climat est donc un climat tropical à saison contrasté de la zone intertropicale.

1.5. Morombe

Diagramme ombrothermique de Morombe

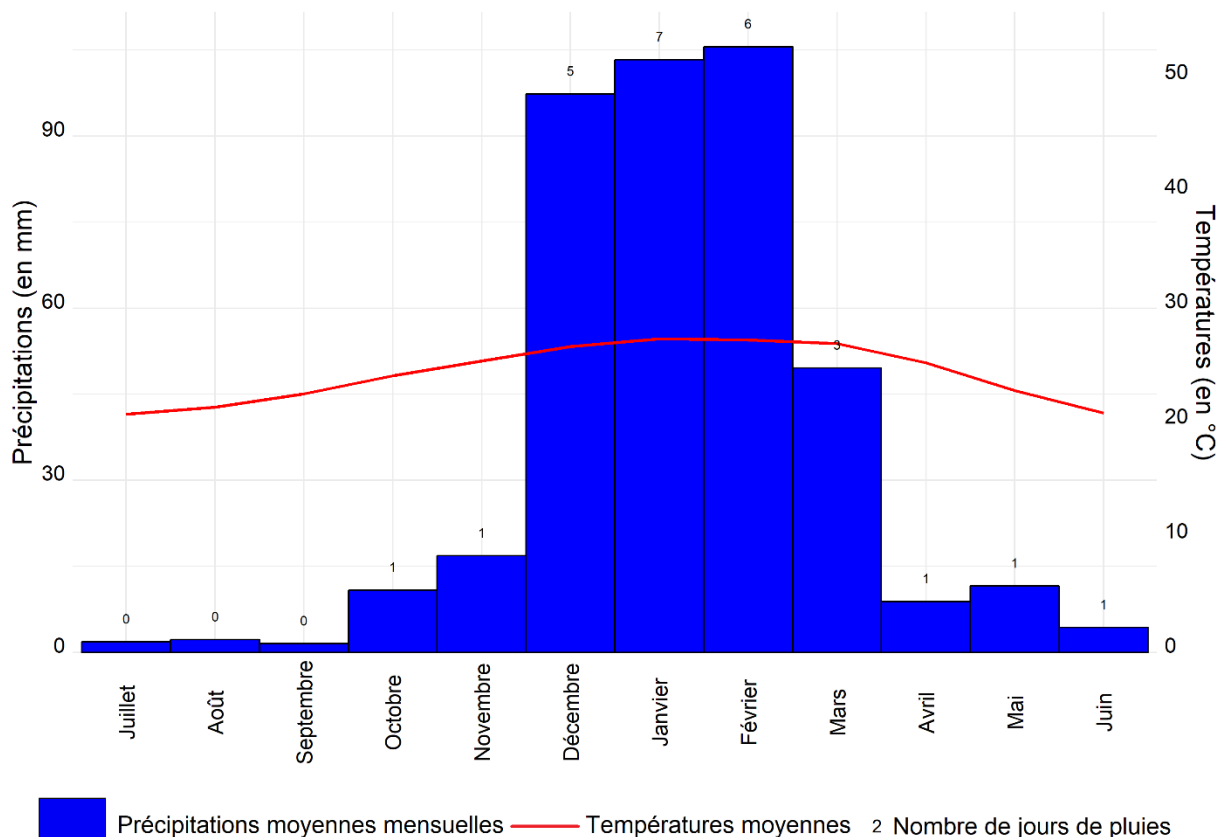


Figure 20 : Diagramme ombrothermique de Morombe
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 24.28 °C
- Amplitude thermique : 6.58 °C
- Précipitations totales annuelles : 449.92 mm
- Nombre de mois secs : 9 mois

La figure montre un diagramme ombrothermique de la station de Morombe. On peut parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 24.28 °C. Le mois plus chaud, qui est le mois de janvier, a 27.33 °C en moyenne, pendant qu'en mois de juillet, le mois le plus froid, elle a 20.77 °C en moyenne ; ce qui entraîne une amplitude thermique annuelle de 6.56 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 449.92 mm. La précipitation est concentrée en Décembre jusqu'en Février. Le mois le plus humide est le mois de février avec une précipitation moyenne de 127.4 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de septembre avec seulement 1.48 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois de mars jusqu'à novembre.

Ce climat est donc un climat tropical à saison contrastée de la zone intertropicale.

I.6. Tuléar

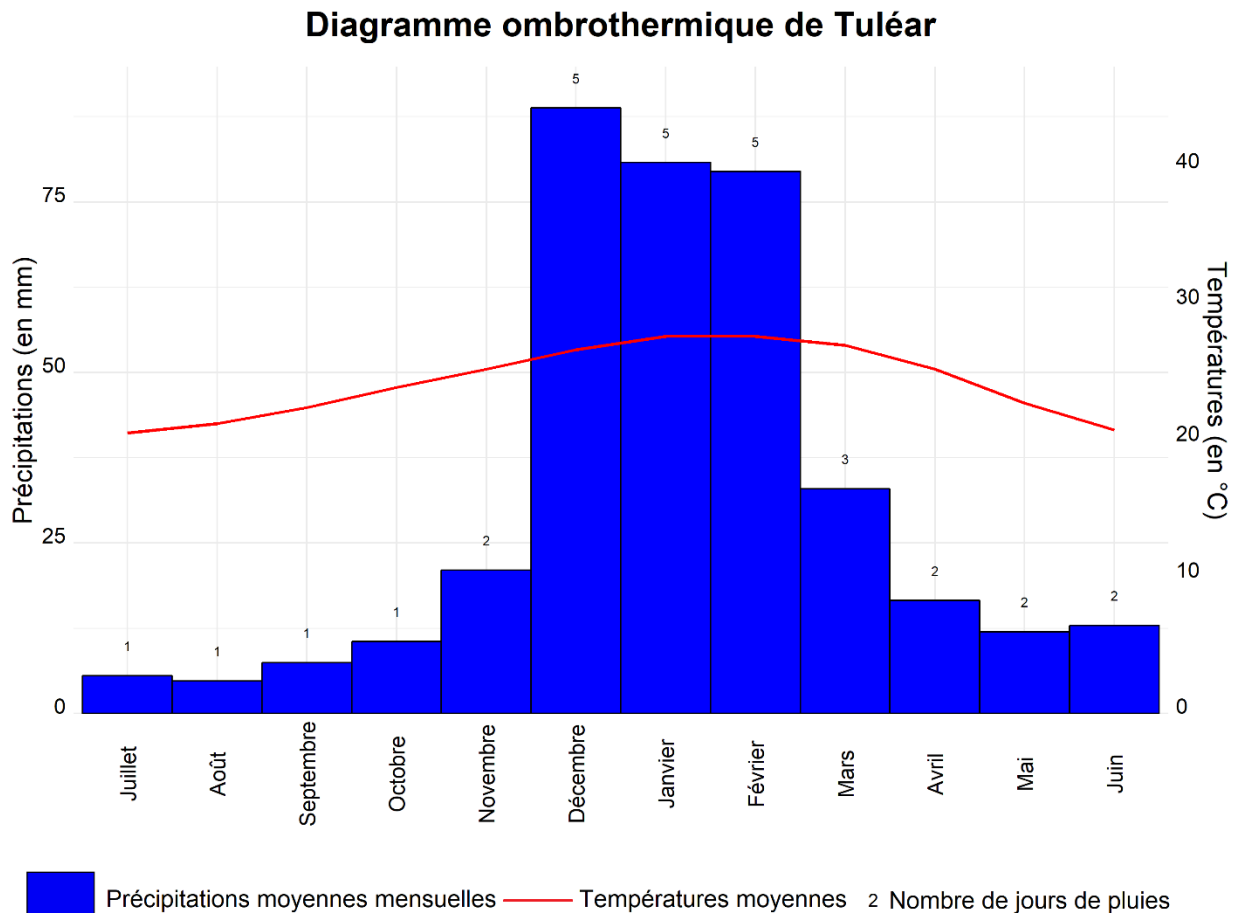


Figure 21: Diagramme ombrothermique de Tuléar
(source : auteur)

- Température moyenne annuelle : 24.26 °C
- Amplitude thermique : 7.07 °C
- Précipitations totales annuelles : 372.83 mm
- Nombre de mois secs : 9 mois

La figure montre un diagramme ombrothermique de la station de Tuléar. On peut parler d'un climat chaud, puisque sa température moyenne monte à 24.26°C. Le mois le plus chaud, qui est le mois de janvier, a 27.65 °C en moyenne, pendant qu'en mois de juillet, le mois le plus froid, elle a 20.58 °C en moyenne ; ce qui entraîne une amplitude thermique annuelle de 7.07 °C : on peut parler donc d'une amplitude douce.

On peut aussi parler d'un climat humide, avec une précipitation annuelle de 372.83 mm. La précipitation est concentrée en Décembre jusqu'en Février. Le mois le plus humide est le mois de janvier avec une précipitation moyenne de 238.23 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois d'août avec seulement 2.05 mm en moyenne. Selon l'indice de Gaussen, on considère comme mois arides le mois de mars jusqu'à novembre.

Ce climat est donc un climat tropical à saison contrasté de la zone intertropicale.

D'après ses six diagrammes qu'on a obtenus, on peut tirer que le climat des stations de Diégo, Majunga et Besalampy sont les mêmes, un climat tropical humide. Cependant, les précipitations moyennes annuelles, les températures moyennes annuelles et l'amplitude thermique même le nombre de mois humide diminuent du Nord, Majunga, au Sud, Tuléar car Diégo est un peu unique. Malgré cela, leurs températures maximums sont tous entre le mois de Novembre et le mois de Février, durant l'été et leurs minimums entre le mois d'Août et le de Juillet en hiver.

Chapitre II : Caractéristiques statistiques

Selon le chapitre précédant, en général, les trois stations situées au Nord sur la côte Ouest de Madagascar ont été décrit d'avoir le même climat qui est un climat tropicale humide et les trois stations au Sud ont aussi la même climatologie : climat tropical à saison contrastée. Dans ce chapitre, nous allons vérifier statistiquement les caractéristiques qui ont permis de définir ces climats. Nous allons voir une à une les précipitations et les températures.

II.1. Précipitations

II.1.1. Précipitations saisonnières

Après avoir effectué les calculs qu'on a cité auparavant, on a obtenu la figure qui suit :

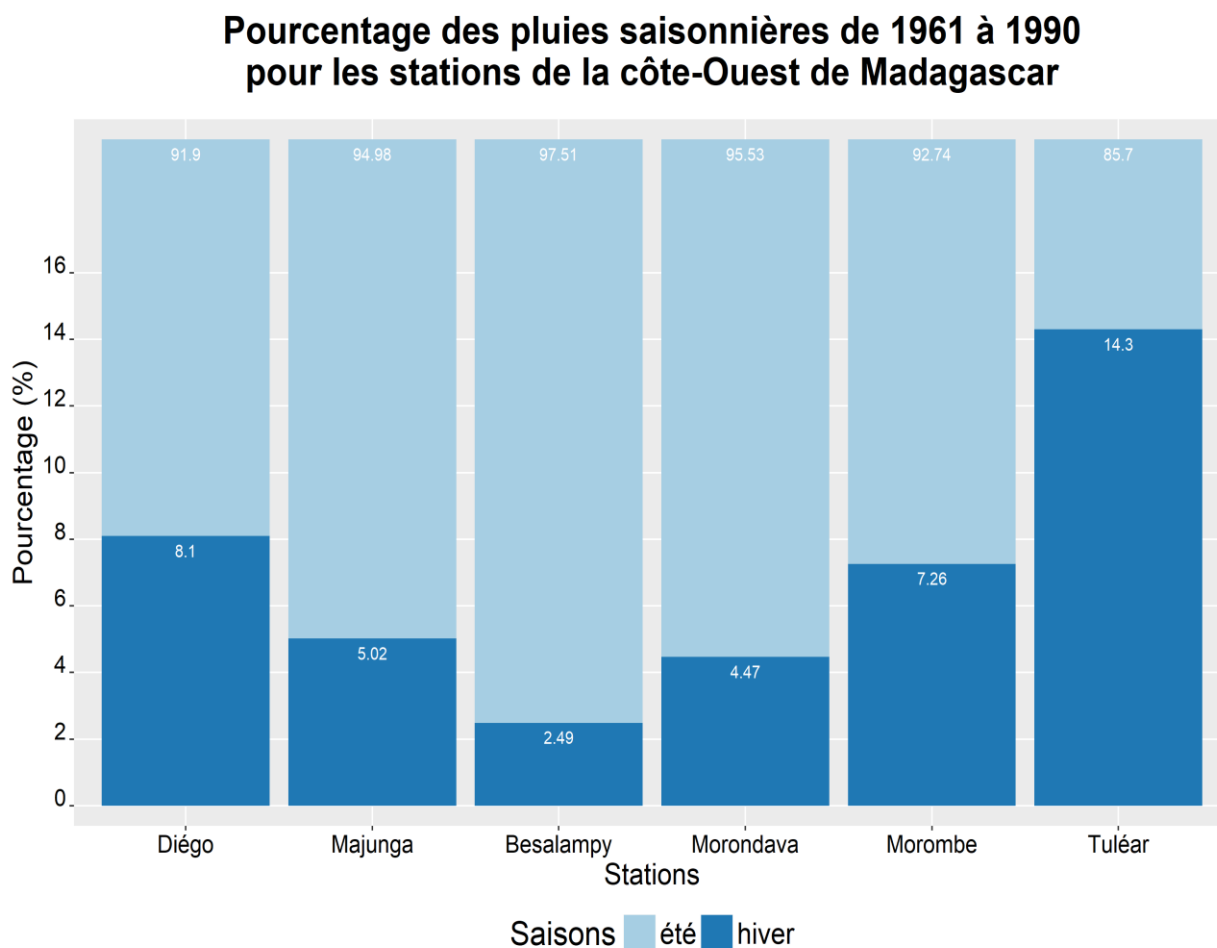


Figure 22 : Pourcentage des pluies saisonnières
(source : auteur)

Selon cette figure, on peut voir que les pourcentages des précipitations en hiver de chaque station par rapport à leur propre normale climatique sont comme suit :

- Diégo : 8.1%
- Majunga : 5.02%
- Besalampy : 2.49%
- Morondava : 4.47%
- Morombe : 7.26%
- Tuléar : 14.3%

On peut dire alors que les stations de Diégo et Tuléar peuvent quand même avoir de la pluie en hiver par rapport à leurs propres normales climatiques alors que les quatre autres stations sont presque sèches en hiver dont Besalampy est extrêmement sec en hiver.

Cette variation saisonnière en pourcentage des précipitations vérifie exactement ce que les diagrammes ombrothermiques ont présenté parce que par exemple sur le diagramme ombrothermique de Besalampy, les précipitations du mois d'Avril jusqu'au mois d'octobre sont très faibles tandis que sur celui de Tuléar, elles sont un peu plus remarquables.

II.1.2. Précipitations régionales

On a calculé les pourcentages de pluies obtenues sur chaque station par rapport à la précipitation totale obtenue sur la côte Ouest, on a obtenu les résultats qui sont représentés sur la figure suivante :

**Pourcentage des précipitations de chaque station
par rapport aux précipitations de la côte Ouest de 1961 à 1990**

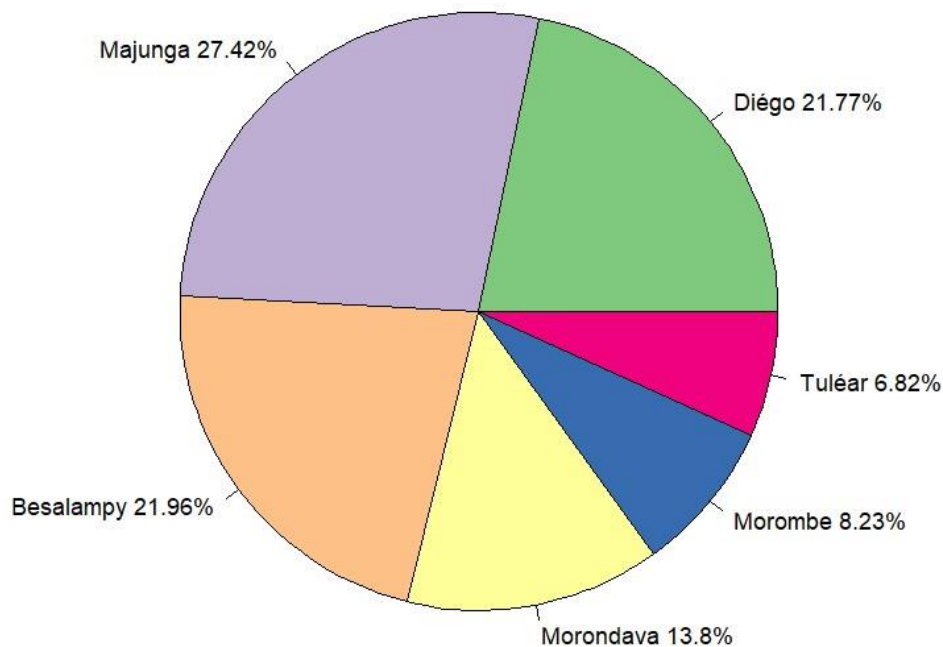


Figure 23 : Pourcentage des précipitations dans chaque station
(source : auteur)

D'après la figure ci-dessous, on voit que c'est Majunga qui reçoit le plus de pluie par rapport aux autres stations avec 27.42% de la précipitation tombant sur la côte-Ouest de Madagascar y tombe. Elle est suivie de Besalampy avec 21.96% et ce n'est qu'à la troisième place que Diégo se place avec 21.77%, suivie de Morondava avec 13.8%, ensuite de Morombe avec 8.23% et enfin de Tuléar avec seulement 6.82%.

Ainsi, les précipitations sur la côte Ouest sont réparties différemment dont Majunga qui reçoit plus du quart de la précipitation de la côte Ouest et que plus on va vers le sud plus la précipitation qu'on obtient diminue d'une station à une autre. Sauf pour Diégo qui reçoit presque le même pourcentage de précipitation que Besalampy.

II.1.3. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions

Voici le tableau résumant les paramètres statistiques de

Tableau 6 : Caractéristiques statistiques des précipitations annuelles

	Moyenne (mm/an)	Me (mm/an)	Ecart type	Max	Min	CV %
Diégo	1190.50	1163.75	306.04	1796.2	664.9	25.71
Majunga	1499.42	1498.50	427.09	2790.9	705.1	28.48
Besalampy	1200.65	1126.35	357.20	2070.0	652.1	29.75
Morondava	754.31	689.50	277.29	1431.0	408.1	36.76
Morombe	449.93	457.80	250.61	1089.0	69.7	55.70
Tuléar	372.83	384.90	131.25	650.0	141.3	35.20

CV = coefficient de variation

La pluviosité moyenne annuelle calculée sur l'ensemble de la série, soit 30ans, donne des valeurs moyennes proches pour les stations de Diégo et de Besalampy (1190.5 mm et 1200.65 mm) alors que pour Majunga, elle atteint 1499.42 mm. La variabilité interannuelle est importante. Elle est mesurée par le coefficient de variation (CV), exprimé en pourcentage. Les CV sont sensiblement identiques pour Majunga et Besalampy, avec respectivement 28.48 % et 29.75 %. On note une valeur légèrement supérieure pour Morombe avec 55.70 %. Quant aux stations situées au Sud, la moyenne y est de 754.31 mm pour Morondava, 449.93 mm pour Morombe et 372.83 mm pour Tuléar.

II.1.4. Précipitations moyennes annuelles

Après avoir eu les moyennes des précipitations annuelles dans la section précédente, on a fait passer des tests afin de pouvoir vérifier que les différences entre les moyennes annuelles des précipitations sont significatives pour chacune des populations. Après avoir fait les quinze tests, on en résume que les moyennes de précipitations annuelles sont différentes les unes des autres. Ainsi, on peut dire que la différence de tous ces moyennes est significative au risque de se tromper de 5%. La précipitation annuelle à :

- Diégo est de 1190.5 mm
- Majunga est de 1499.42 mm
- Besalampy est de 1200.45 mm
- Morondava est de 754.31 mm
- Morombe est de 449.95 mm
- Tuléar est de 372.83 mm

Comme la figure ci-après montre.

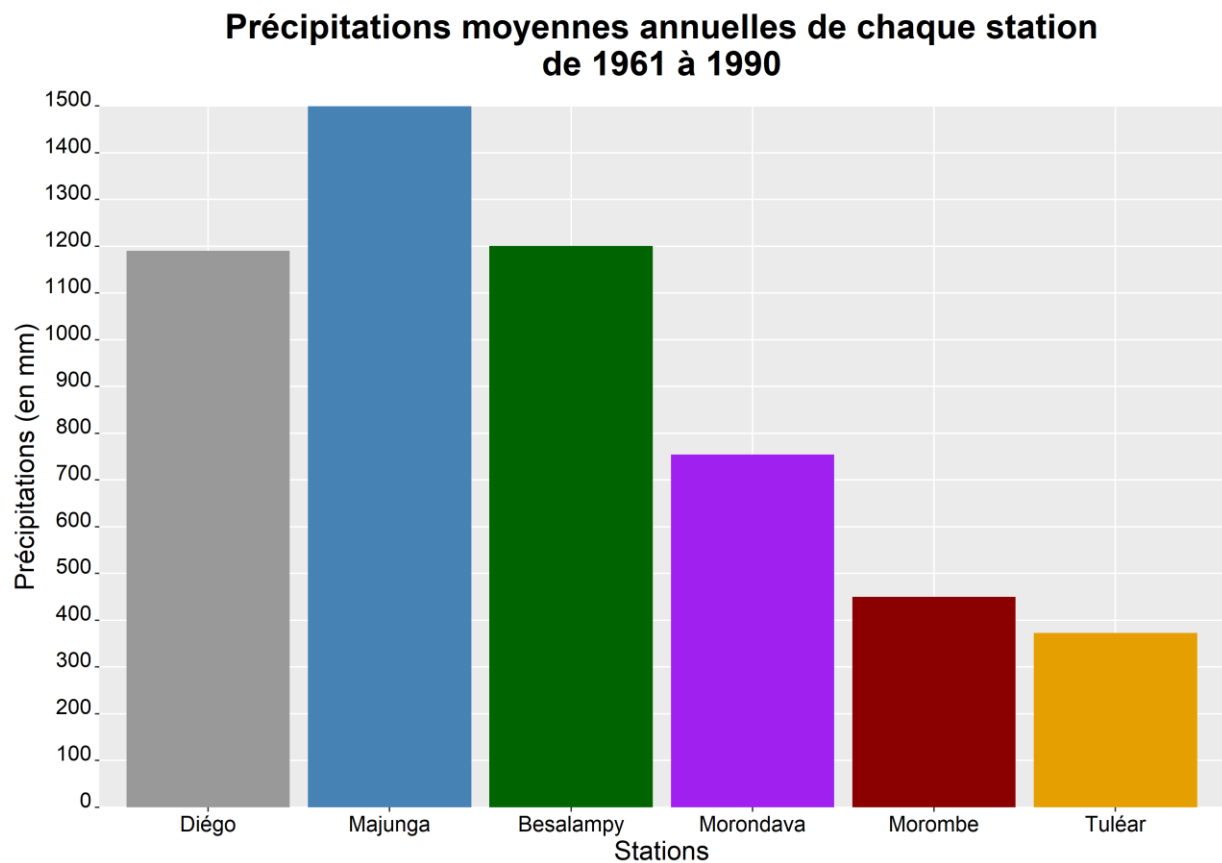


Figure 24 : Précipitation moyenne annuelle de chaque station
(source : auteur)

II.2. Température

II.2.1. Températures saisonnières

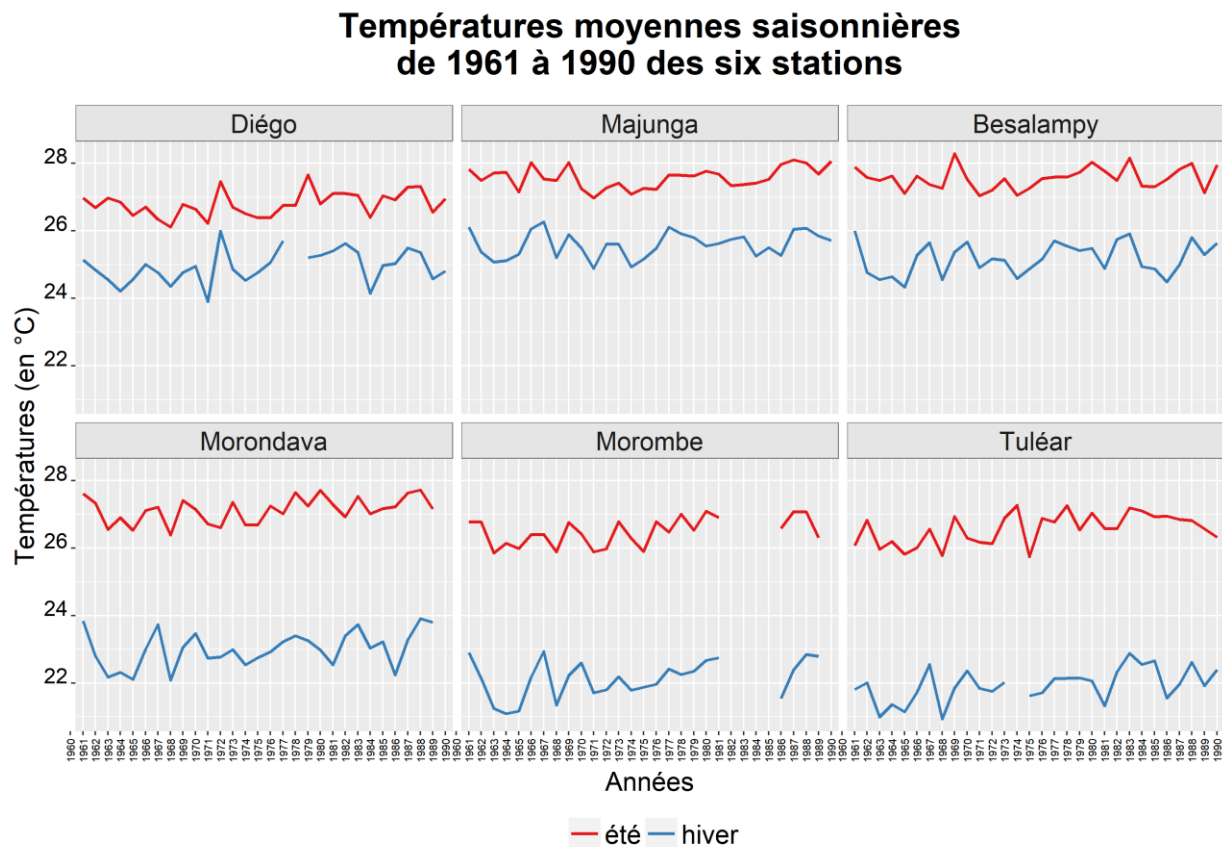


Figure 25 : Température moyenne saisonnière de chaque station
(source : auteur)

Selon la figure précédente, on peut voir dans les stations que la température moyenne en été est toujours supérieure à celle en hiver, c'est pourquoi on rencontre toujours le maximum de la température durant l'été alors que le minimum est toujours en hiver.

De plus, la différence entre la température moyenne en été et en hiver dans les trois stations situées au Nord est plus faible par rapport à celles qui sont au Sud. Ceci explique l'accentuation de l'amplitude thermique qu'on a constaté dans les classifications climatiques

II.2.2. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions

Tableau 7 :Températures maximum et minimum absolues

Stations	Txa		Tna	
	Valeur (en°C)	Date	Valeur (en°C)	Date
Diégo	35.4	22 Nov 1988	12.2	30 Mar 1967
Majunga	37.4	01 Nov 1988	12.4	08 Jui 1975
Besalampy	39.5	25 Avr 1961	10.1	27 Jul 1974
Morondava	39.4	02 Jan 1965	6.5	21 Jul 1964
Morombe	42.2	19 Jan 1968	5.8	10 Jul 1968
Tuléar	40.4	10 Fev 1962	7.2	27 Jul 1966

Tableau 8 : Caractéristiques statistiques des températures moyennes annuelles

	Moyenne (en °C)	Me (en °C)	Ecart-type	Max (en °C)	Min (en °C)	CV(%)
Diégo	25.88	25.82	0.43	26.97	25.05	0.02
Majunga	26.59	26.57	0.31	27.08	25.93	0.01
Besalampy	26.37	26.39	0.38	27.02	25.70	0.01
Morondava	25.06	25.10	0.42	25.81	24.23	0.02
Morombe	24.36	24.42	0.58	26.06	23.47	0.02
Tuléar	24.30	24.35	0.75	27.27	22.64	0.03

On en tire des deux tableaux ci-dessus que les maximums de la température sont tous vue en été, tandis que les minimums sont en hiver ; les écart-type sont un peu faible pour les cinq stations par rapport à celui de Tuléar qui est un peu élevé ; les coefficients sont très faibles qui marquent les températures moyennes annuelles varient peu sur cette partie de Madagascar et que la différence entre la médiane et la moyenne des températures annuelles n'est pas trop élevée.

II.2.3. Températures moyennes annuelles

Températures moyennes annuelles de chaque station de 1961 à 1990

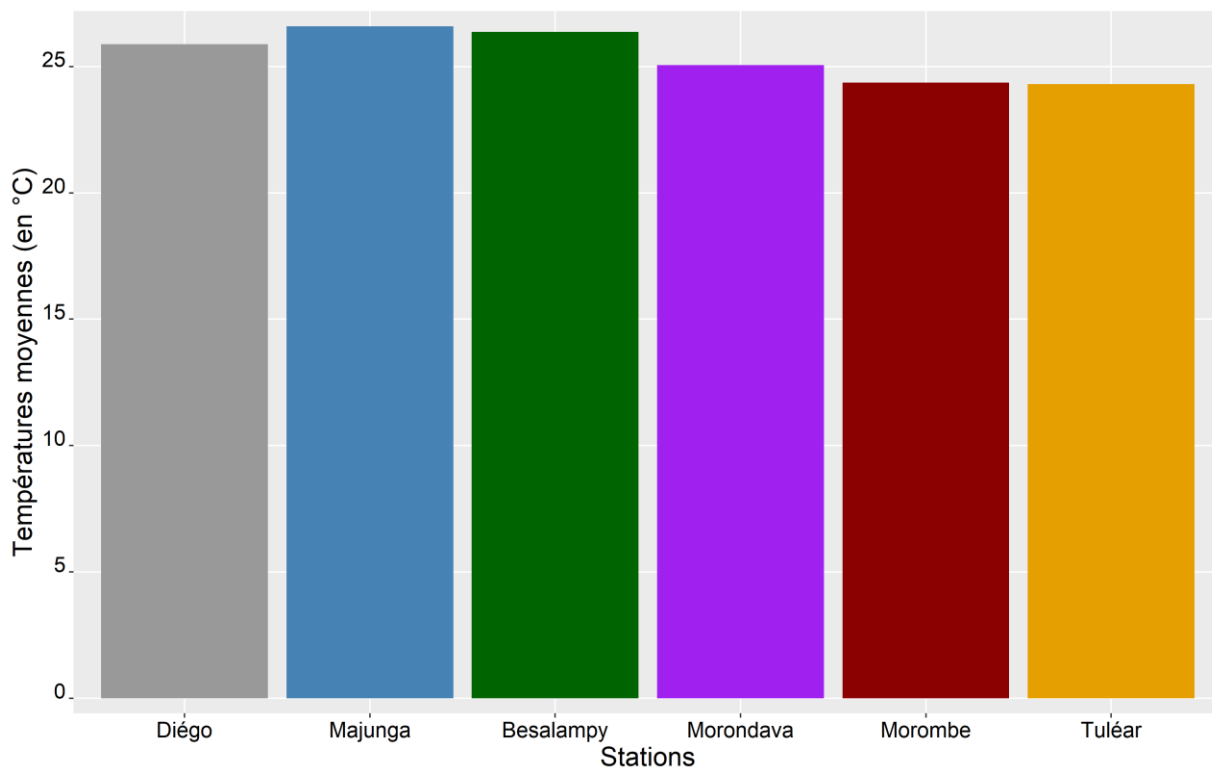


Figure 26 : Température moyenne annuelle de chaque station
(source : auteur)

Comme dans les précipitations moyennes annuelles, on a aussi testé les températures moyennes. On a ainsi obtenu que la différence entre toutes les populations est significative même si les moyennes sont proches car les risques de refus de ces différences sont très faibles à 5%.

Les températures moyennes sur la cote-ouest de Madagascar varie entre 24.30 et 26.59 et que cela vérifie la diminution de la température moyenne annuelle du Nord au sud que l'on a vu précédemment.

Chapitre III : Autres caractéristiques des précipitations

III.1. Durées de saisons de pluies de chaque station

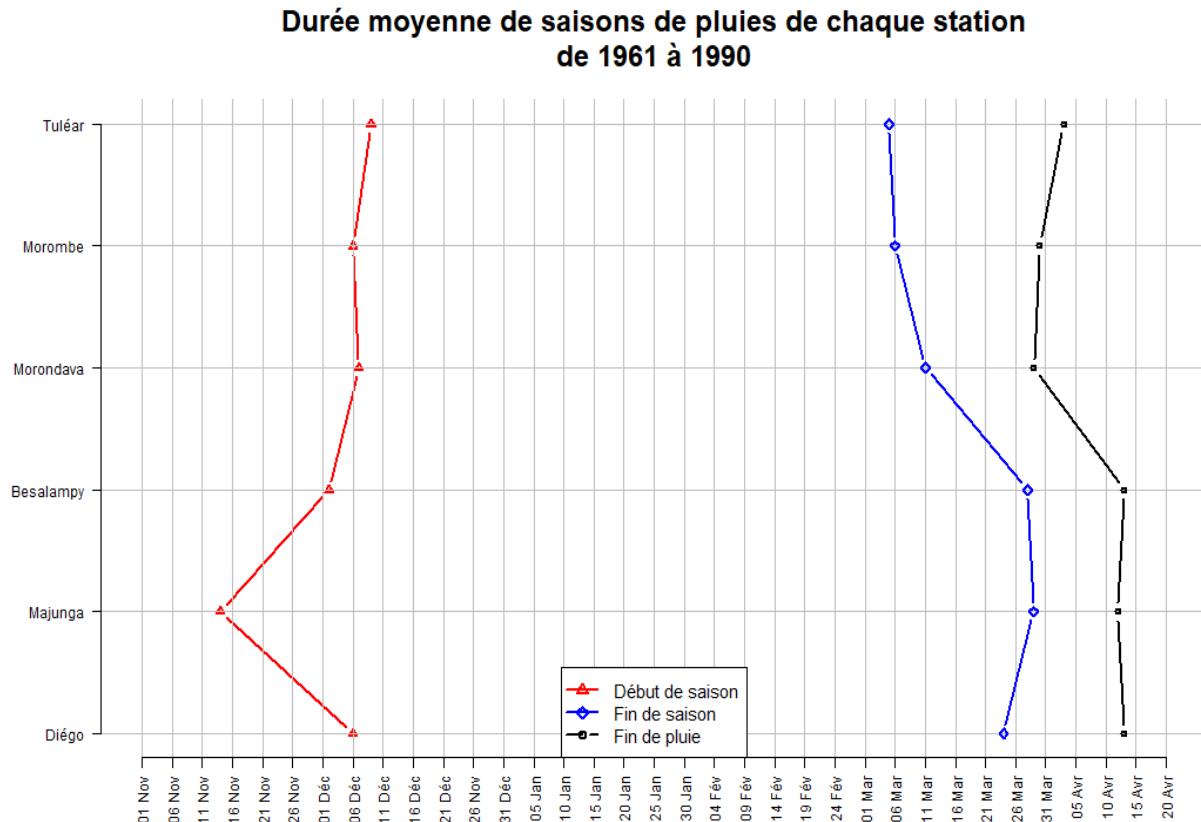


Figure 27 : Durée moyenne de saison de pluie
(source : auteur)

Selon le figure ci-dessus, on peut tirer que le début de saison de Majunga commence plutôt par rapport aux autres tandis qu'à Tuléar, il est un peu retardé. Pour la fin de saison, c'est l'inverse car elle arrive beaucoup plutôt à Tuléar, et un peu en retard à Majunga. Cependant, les jours pluvieux ne s'arrêtent qu'un peu plus après la fin de saison à Tuléar.

La durée de saison de pluie est l'intervalle du temps entre le début de saison et la fin de saison. A cela, d'après la figure ci-dessus la durée de saison de pluie, le plus long, est celle de Majunga. D'un simple regard, on peut constater que cette durée de saison diminue plus on va vers le sud.

Ceci explique la diminution du nombre de mois humide et l'augmentation du nombre de mois sec du Nord au Sud que l'on a vu dans le premier chapitre parce que plus la saison de pluie est faible, plus le nombre de mois sec devient important.

III.2. Effets des phénomènes El Niño et La Niña

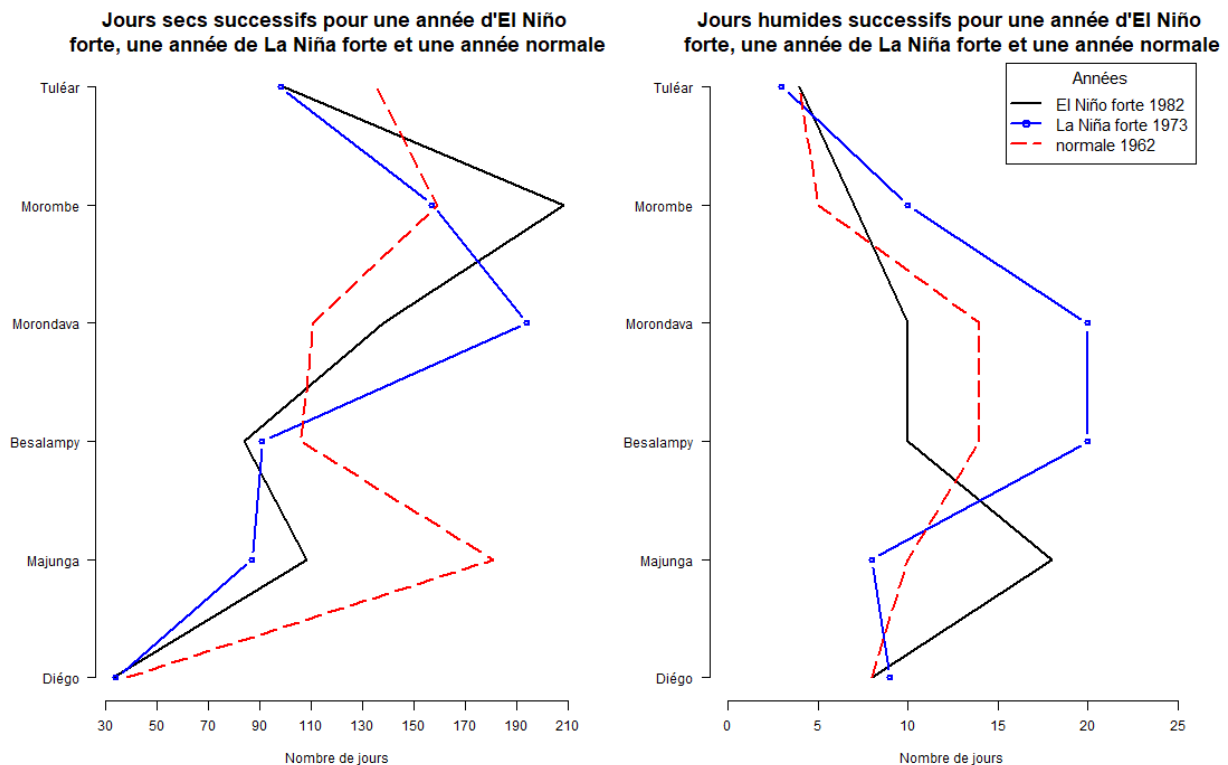


Figure 28 : Représentation des jours secs et humides successifs pour une année de El Niño forte, La Niña forte et une année simple
(source : auteur)

D'après la figure 28, on peut dire que par rapport à une année normale :

- Pour Diégo, les deux phénomènes El Niño et La Niña n'ont aucun effet sur son climat
- Pour Majunga, le phénomène El Niño augmente le nombre de jours humides successifs tandis que le La Niña abaisse le nombre de jours secs et humides successifs à la fois. Le phénomène La Niña balance alors la précipitation de cette station
- Pour Besalamy, l'effet de ses deux phénomènes est contraire à celui de Majunga
- Pour Morondava, le phénomène La Niña intensifie le nombre de jours sec et humides successifs à la fois ; tandis que El Niño diminue le nombre de jours secs successifs
- Pour Morombe, l'effet du phénomène El Niño est comme celui de Majunga, tandis que là La Niña augmente en même temps le nombre de jours secs et jours humides successifs
- Pour Tuléar, les deux phénomènes n'ont presque pas des effets sur son climat

CONCLUSION GENERALE

En guise de conclusion, on peut dire que nombreux sont les méthodes utilisées pour caractériser et comparer le climat d'une région à une autre. Dans notre cas, nous avons comparé la variabilité climatique existant sur la côte Ouest de Madagascar, qui est représentée par les stations de Diégo, Majunga, Besalampy, Morondava, Morombe et Tuléar, pour la période de 1961 à 1990. Les paramètres que l'on a étudiés sont les hauteurs de la précipitation et les températures.

Ainsi, pour cette étude, nous avons utilisé le diagramme ombrothermique afin de caractériser le climat de chacun des six stations étudiées. Ensuite, nous avons caractérisés et comparé statistiquement le climat de chacun de ses stations.

Après avoir fait ces différentes analyses et calculs, on a obtenu que le climat des trois stations situées au nord qui sont les stations de Diégo, Majunga et Besalampy est le même : un climat tropical humide, tandis que les trois autres stations au Sud qui sont Morondava, Morombe et Tuléar ont un climat tropical à saisons contrasté. Cependant, les caractéristiques statistiques nous a permis de distinguer ses caractéristiques climatiques données par les diagrammes ombrothermiques.

Pour les variations saisonnières, on a vu que même en hiver la précipitation à Tuléar est plus ou moins remarquable alors que Besalampy ne reçoit que quelque pluie. Pour la température, les moyennes saisonnières ont une différence importante pour les trois stations au sud malgré l'écart des températures de chaque saison pour les autres stations n'est pas trop importante.

Pour les variations interannuelles, si bien que pour la précipitation que pour la température, Majunga a toujours la moyenne la plus élevée par rapport aux autres stations mais celle qui détient la plus basse et Tuléar.

Face à cela, on peut dire que températures et précipitations, elles diminuent toujours du Nord vers le Sud, sauf pour la station de Diégo qui est un cas exceptionnel car dans toutes les comparaisons on a vu qu'elle ne suit pas cette règle, elle est toujours entre Besalampy et Morondava.

Malgré ces résultats obtenus, elles ne tiennent pas compte du réchauffement global qui est l'une des études les plus courants.

Bibliographie

1. **Pierre Chaperon, Joël Danloux et Luc Ferry.** *Fleuves et rivières de Madagascar*. Paris : Orstom, 1993.
2. **Météorologie Nationale (MN).** *Notice sur la climatologie de Madagascar*. Antananarivo : s.n., 1970. 551.582.3 (691).
3. **Météo Malagasy.** *Atlas Climatologique de Madagascar*. Antananarivo : s.n., Mars 2014.
4. **Organisation météorologique mondiale.** *Guide des pratiques climatologiques* . 2014. OMM-N°100.
5. **Vincent Goulet.** *Introduction à la programmation en R*. 2014.
6. **Julien Barnier, et al.** *Analyse_R*. 2018.
7. **Introductory Tutorial : Part 1 Describing Data.**
8. **Lucie Vincent et Enric Aguilar.** *Le calcul des indices de changement climatiques - théorie*. Vacoas : s.n., 2009.
9. **Lucie Vincent et Enric Aguilar.** *Le calcul des indices de changement climatiques - théorie*. Vacoas : s.n., 2009.
10. **GEO/FGS - Fiches techniques.** Comment créer un diagramme embrothermique? Fiche technique 4.
11. **CÉAS de la Mayenne .** Comprendre la statistique descriptive. 2011.
12. **Aziz HIRCHE, Abdelmadjid BOUGHANI et Mostefa SALAMI.** Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides Algériennes. *Sècheresse*. 2007, Vol. 18, 4.
13. **Organisation Météorologique Mondiale.** *Prévoir El Niño au XXIème siècle : La science en oeuvre*. s.l. : M.H. Glantz, 2004.

ANNEXES

Annexe 1 : Statistiques des données

Tableau 9 : Effectifs des valeurs manquantes

Stations	P	tx	tn	Total
Diégo	0	803	814	1617
Majunga	31	97	101	229
Besalampy	0	592	595	1187
Morondava	0	397	394	791
Morombe	0	2317	2313	4630
Tuléar	0	546	539	1085
Total	31	4752	4756	9539

Tableau 10 : Pourcentage des données présentes

Stations	P	Tx	tn
Diégo	100.00	92.67	92.57
Majunga	99.72	99.11	99.08
Besalampy	100.00	94.60	94.57
Morondava	100.00	96.38	96.40
Morombe	100.00	78.85	78.89
Tuléar	100.00	95.02	95.08

Annexe 2 : les précipitations journalières $P \geq 200 \text{ mm}$

Tableau 11 : Les précipitations journalières $P \geq 200 \text{ mm}$

Stations	Jours	Mois	Années	P (en mm)
Diégo	18	Jan	1962	330.1
	16	Fev	1973	230.4
	12	Dec	1975	200.7
	29	Nov	1976	380.0
Majunga	27	Nov	1961	234.0
	17	Dec	1961	205.0
	11	Fev	1969	245.2
	25	Fev	1977	253.9
	7	Mar	1980	259.1
	19	Mar	1982	286.7
	11	Avr	1984	235.4
Besalampy	13	Jan	1965	223.4
	14	Jan	1965	378.1
	28	Dec	1965	205.5
	6	Jan	1968	206.3
	7	Fev	1969	202.5
	11	Fev	1969	295.3
	4	Fev	1977	297.3
	7	Fev	1977	462.0
	27	Jan	1978	244.6
	20	Fev	1981	213.3
	22	Jan	1982	206.8
Morondava	17	Fev	1968	233.6
	27	Dec	1969	244.0
	15	Jan	1970	268.1
	12	Jan	1973	241.3
	21	Jan	1977	559.1
	16	Mar	1986	200.6
	14	Jan	1989	243.1
Morombe	25	Fev	1989	323.3
Tuléar	11	Fev	1966	225.4

Annexe 3 : Un exemple de programme lancé sur R

```
ggplot(morombe) +  
  geom_bar( aes(x = aa , y = pr ), stat = "identity", fill = "blue",  
width=1,col="black") +  
  scale_y_continuous(name = "Précipitations (en mm)",  
  sec.axis = sec_axis(trans = ~./2, name ="Températures (en °C)",  
    expand = c(0,0)) +  
  
  geom_line(aes(x = mm, y = 2*tp), size = 1,col="red") +  
theme_minimal() +  
  
  ggtitle("Diagramme ombrothermique de Morombe") +  
  labs(x = "") +  
  
theme(axis.text.x = element_text(colour="black",size=14,angle=90,hjust=.5,vjust=.5,face="plain"),  
  axis.text.y = element_text(colour="black",size=14,angle=0,hjust=1,vjust=0,face="plain"),  
  axis.title.x = element_text(colour="black",size=17,angle=0,hjust=.5,vjust=0,face="plain"),  
  axis.title.y = element_text(colour="black",size=17,angle=90,hjust=.5,vjust=.5,face="plain"),  
  legend.position = "bottom",  
  legend.title = element_text(size = 19),  
  legend.text = element_text(size=17),  
  legend.key.size = unit(1.5, 'lines'),  
  plot.title = element_text(margin=margin(20,0,20), size = 22,colour="black",  
    face="bold",hjust=.5,vjust=0),  
  strip.background = element_rect(fill = "grey90", color = "grey50"),  
  strip.text = element_text(size = rel(1.5)) +  
  geom_text(aes(x=mm,y=pr+6,label=njp), vjust=1.6, color="black", size=3)  
  
ggsave("morombe.png", width = 11, height = 8)
```

Annexe 4 : Extrait des erreurs détectées par RClimdex

Tableau 12 : Erreurs des températures

year	month	day	prcp	tmax		tmin	tmax-tmin
1966	4	9	1.2	99.9		23.8	76.1
1973	10	6	1.1	30.8		99.9	-69.1
1984	4	9	0	99.9		99.9	0
1984	4	10	0	99.9		99.9	0
1984	4	11	0	99.9		99.9	0
1984	4	12	20.9	99.9		99.9	0
1984	4	13	0	99.9		99.9	0
1984	4	14	0	99.9		99.9	0
1984	4	15	0	99.9		99.9	0
1984	4	16	0	99.9		99.9	0
1984	4	17	0	31		99.9	-68.9
1990	7	16	0	19.1	29.1	19.3	-0.1999999999999999

Tableau 13 : Saut significatives des températures

year	month	day	tmaxlow	tmax	tmaxup	tminlow	tmin	tminup	dtrlow	dtr	dtrup
1962	1	18	25.12	24.8	35.13	19.35	23.8	26.14	1.19	1	13.57
1963	2	21	24.61	24.3	36.04	19.38	22.4	25.72	1.24	1.9	14.31
1963	3	14	26.01	25.8	35.25	21.15	22.8	24.89	2.93	3	12.29
1963	4	20	27.48	31.4	34.08	21.28	24.7	24.51	3.94	6.7	11.83
1963	6	23	22.71	22.2	34.5	15.78	21.4	23.91	1.13	0.8	16.39
1964	4	19	24.79	24.7	36.37	19.63	22.8	25.61	1.58	1.9	14.34
1964	5	4	27.59	28.7	33.99	18.1	17.5	26.42	4.64	11.2	12.42
1964	5	5	27.29	30.9	34.32	19.15	18.5	25.54	3.79	12.4	13.13
1964	5	16	27.24	29.7	33.73	17.84	17.8	25.36	3.71	11.9	14.05
1964	11	25	28.19	31.2	34.72	19.8	19.6	25.85	4.29	11.6	12.96
1965	4	9	26.9	26	34.66	20.96	22.2	25.07	-30	3.8	50.08
1965	5	18	27.33	29.8	33.18	18.29	18.2	25	4.7	11.6	12.51
1965	5	20	26.98	30.9	33.44	17.92	18	25.38	4.68	12.9	12.45
1965	7	2	25.29	28.8	32.13	16.1	15.6	23.53	5.16	13.2	12.63
1965	7	3	25.14	28.6	32.08	15.21	15	24.79	3.71	13.6	13.5
1965	12	23	25.98	25.8	36.45	20.13	23.5	25.72	2.26	2.3	14.31
1966	4	27	26.18	25.2	35.55	18.55	22.9	25.95	2.49	2.3	14.75
1967	1	6	26.01	25.9	35.13	19.71	22.8	25.59	2.41	3.1	13.43
1967	3	17	25.27	24.7	35.75	19.55	22.5	25.41	1.53	2.2	14.53
1967	3	30	25.73	31.8	35.31	15.92	12.2	29.2	-0.79	19.6	16.71
1967	5	17	27.75	30.7	33.13	17.5	17.4	25.24	4.7	13.3	13.44
1967	8	8	24.4	29.7	32.52	14.79	14.7	23.84	3.07	15	15.23
1967	8	25	25.63	28.5	31.45	15.58	14.6	23.52	4.78	13.9	13.21
1968	1	30	25.62	31.5	34.49	19.59	19.4	26.01	1.37	12.1	13.14

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES ABBREVIATIONS	iv
ACRONYMES	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie I : GENERALITES.....	2
Chapitre I : Le climat de Madagascar	2
I.1. Les principaux facteurs du climat à Madagascar	2
I.1.1. Effet de la latitude	2
I.1.2. Effet orographique (ou effet de FOEHN)	4
I.2. Les variations régionales	7
I.2.1. Selon l'ouvrage antérieure	7
a- COTE-EST	7
b- PLATEAUX	7
c- NOSSI-BE – SAMBIRANO.....	8
d- COTE OUEST ET PLAINE BASSE DE L'OUEST	8
e- EXTREME SUD.....	8
I.2.2. Selon une ouvrage plus récente	10
a- Zones très humides	10
b- Zones humides	10
c- Zones semi humides	10
d- Zone semi-aride.....	11
I.3. Variations saisonnières (ou saisons)	12
I.3.1. L'hiver austral	12
I.3.2. L'été	13
I.3.3. Les intersaisons.....	14
I.4. Les variations des paramètres météorologiques.....	14

I.4.1. Précipitations	14
I.4.2. Températures	15
I.4.3. Humidité relative	15
I.4.4. Insolation	16
I.4.5. Vent.....	16
Chapitre II : Généralité sur la zone d'étude	17
II.1. Localisation de la zone d'étude	17
II.1.1. Délimitation administrative	17
II.1.2. Délimitation de la zone d'étude	18
II.2. Le climat de la côte-Ouest de Madagascar.....	20
II.2.1. Température	20
II.2.2. Précipitations	20
II.2.3. Humidité relative	21
II.2.4. Insolation	21
II.3. Facteurs influant le climat de la cote-ouest	22
II.3.1. Brises de terre et brises de mer.....	22
II.3.2. Les courants d'ouest.....	22
II.3.3. Vent de nord-ouest.....	23
II.4. Les paramètres météorologiques étudiés	24
II.4.1. La température	24
a- Définition.....	24
b- Appareils de mesure.....	24
II.4.2. Les précipitations.....	24
a- Définition.....	24
b- Appareils de mesure.....	25
Partie II : DONNEES, OUTILS ET METHODOLOGIES	27
Chapitre I : Données et Outils	27
I.1. Données	27
I.2. Outils	29
I.2.1. Le logiciel de programmation R.....	29
I.2.2. R-instat.....	30
I.2.3. Rclimindex (6)	31

a- Le menu « Load Data and Run QC ».....	32
b- Le menu « Indices Calculation ».....	33
c- Le menu « Exit »	33
Chapitre II : Méthodologies	36
II.1. Préparation des données.....	36
II.1.1. Uniformisation des données.....	36
II.1.2. Correction des données.....	36
II.1.3. Insertion de nouvelles colonnes de données	37
II.2. Détermination de la climatologie de chaque station à partir du diagramme ombrothermique.....	38
II.3. Analyses statistiques des données	40
II.3.1. Caractéristiques saisonnières	40
a- Précipitations saisonnières	40
b- Températures saisonnières	41
II.3.2. Pourcentage des précipitations tombantes sur chaque station	41
II.3.3. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions	41
II.3.4. Test de comparaison de deux moyennes	44
II.4. Autres comparaisons des précipitations	46
I.4.1. Comparaison des durées de saisons de pluies de chacun des stations.....	46
I.4.2. Comparaison des effets des phénomènes El Niño et La Niña	47
Partie III : RESULTATS et INTERPRETATIONS	48
Chapitre I : Classifications du climat de chaque station	48
I.1. Diégo	48
I.2. Majunga	49
I.3. Besalampy	50
I.4. Morondava.....	51
I.5. Morombe	53
I.6. Tuléar	54
Chapitre II : Caractéristiques statistiques	56
II.1. Précipitations	56
II.1.1. Précipitations saisonnières	56
II.1.2. Précipitations régionales	57

II.1.3. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions	59
II.1.4. Précipitations moyennes annuelles.....	59
II.2. Température	61
II.2.1. Températures saisonnières	61
II.2.2. Les extrêmes, les tendances centrales et les dispersions	62
II.2.3. Températures moyennes annuelles	63
Chapitre III : Autres caractéristiques des précipitations.....	64
III.1. Durées de saisons de pluies de chaque station	64
III.2. Effets des phénomènes El Niño et La Niña	65
CONCLUSION GENERALE	66
Bibliographie	67
ANNEXES.....	a
Table des matières	e

Titre :

ETUDE COMPARATIVE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE DE LA COTE OUEST DE MADAGASCAR POUR PERIODE 1961 – 1990

Auteur : RANDRIAMANANTSOA Sariaka

Nombre de pages : 66

Nombre de figures : 28

Nombre de tableaux : 13

Nombre d'annexes : 04



RESUME

Cette étude nous a permis de caractériser le climat des six stations sur la côte Ouest de Madagascar par des diagrammes ombrothermiques dont les stations de Diègo, Majunga et Besalampy ont un climat tropical humide et un climat tropical à saison contrasté pour Tuléar, Morombe et Morondava. Cependant, après avoir fait des comparaisons statistiques, on a obtenu que du Nord au Sud, la précipitation et la température moyenne annuelle diminue peu à peu. Ces résultats nous permettent de gérer les ressources naturelles que le climat offre.

Mots clés : variabilités climatiques, côte-Ouest de Madagascar, période de référence, comparaisons.

ABSTRACT

This study is focused on the Madagascar West cost climate analyses. Our target es to characterize the climate of the six stations along the west cost, therefore we use statistics. The « ombrothermics diagrams » of the divers stations show us that Diègo, Majunga and Besalampy have an humide tropical climate and a tropical climate with contrasted season for Tuléar, Morombe et Morondava. However, the statistics comparaisons indicate that in the North to the South the annual meaning of precipitation and temperature decrease progressively. The managment of the natural ressources that the climat gave us.

Keys words : climates variabilities, Madagascar west cost, comparaisons, references period

Directeur de mémoire : Monsieur Zo RABEFITIA

Adresse de l'auteur : Lot VS 99DEZ Ravitoto Ambolokandrina