



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



MEMOIRE

Pour l'obtention du :

Licence d'Ingénierie en Gestion des Catastrophes et Réduction des Risques

Sur le :

**ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA PRECIPITATION ET LA
TEMPERATURE DE 1983 A 2012 : CAS DU DISTRICT DE MAHAJANGA**

Présenté par :

DAHMANI Ahamada

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Mr RAKOTONIAINA Solofoarisoa

Professeur

Rapporteur : Mr RATIARISON Andriamanga Adolphe

Professeur Titulaire

Examineurs : Mr RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien

Professeur Titulaire

Mardi 16 février 2016

REMERCIEMENTS

Cet œuvre est le fruit des recherches réalisées au laboratoire de Dynamique de l'Atmosphère, du Climat et de l'Océan (DyACO) de la faculté des Science de l'Université d'Antananarivo sous la direction de Monsieur Adolphe Andriamanga RATIARSON.

Ce serait ingrat et blâmable de ma part de ne glorifier le nom d'ALLAH, mon seigneur, qui rien de ma vie ne lui échappe sans qu'il soit le réalisateur et le témoin.

Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à :

- *Mr le Président de l'Université d'Antananarivo*
- *Mr le Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo*
- *Le Chef du Département de Physique de l'Université d'Antananarivo*
- *Au Professeur RAKOTONIAINA Solofoarisoa, responsable de la formation LIGCRR, et qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire*
- *Au Professeur Adolphe Andriamanga RATIARISON, qui a accepté d'être mon encadreur, m'a proposé ce sujet de mémoire et qui a donné à ma disposition les ressources nécessaires à l'achèvement du présent travail. Vos recommandations et vos remarques m'ont été d'une aide précieuse.*
- *Au Professeur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien, créateur de cette formation, qui nous a enseigné et d'avoir accepté d'examiner ce présent mémoire.*
- *A tous les Professeurs de la formation LIGCRR qui nous ont fait bénéficier de leurs précieux enseignements*

Et pour terminer, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont entouré tout au long de ce travail en particulier :

- *l'équipe du laboratoire DyACO,*
- *mes amis et toute ma famille en particulier Mme Fatima, Mme Nadjatte et Mr Halifa pour m'avoir soutenu et encouragé en me comblant d'espoir dans les moments les plus difficiles de ma vie, mes sincères remerciements.*

Dahmani Ahamada

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
ACRONYMES.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I : GENERALITES SUR LA PRECIPITATION ET LA TEMPERATURE.....	3
CHAPITRE I : LES PRECIPITATIONS	4
I.1 Définition	4
I.2 Formation des précipitations	4
I.2.1 Condensation.....	4
I.2.2 Coalescence.....	5
I.2.3 Effet Bergeron.....	5
I.3 Différents types de précipitations.....	5
I.4 Mesures des précipitations	6
I.5 La pluie.....	6
I.5.1 Formation des pluies	6
I.5.2 Mesure quantitative de la pluie	7
I.5.3 Les radars météorologiques	7
CHAPITRE II : LA TEMPERATURE	8
II.1 Définition	8
II.2 Mesures de température	8
II.2.1 La thermométrie.....	8
II.2.2 Echelles de température	8
a) Echelle Kelvin	8
b) Echelle centésimale et échelle Celsius	9
c) Echelle Fahrenheit	9
d) Echelle Rankine	9
e) Echelle centigrade.....	9
II.3 Température atmosphérique.....	10
II.3.1 Structure de l'atmosphère.....	10
II.3.2 Composition de l'atmosphère	11

II.3.3	Température et Altitude	12
PARTIE II : GENERALITES SUR LA GESTION DES RISQUES ET CATASTROPHES		14
INTRODUCTION.....		15
CHAPITRE III : LES CYCLONES		15
III.1	Introduction	15
III.2	Définition	15
III.3	Caractéristiques des cyclones.....	16
III.4	Conditions de formation d'un cyclone.....	16
III.4.1	La force de Coriolis	17
III.4.2	Le processus Barocline	17
III.5	Types des cyclones.....	18
III.5.1	Les cyclones tropicaux.....	18
III.5.2	Cyclone extra tropical	19
III.5.3	Cyclone subtropical	19
III.5.4	Cyclone polaire	20
CHAPITRE IV : LES INONDATIONS		21
IV.1	Introduction	21
IV.2	Définition	21
IV.3	Les origines d'une inondation.....	21
IV.4	Les différents types d'inondations	21
IV.4.1	L'inondation a montée lente	22
IV.4.2	L'inondation a montée rapide.....	22
IV.4.3	Les inondations par ruissellement.....	22
IV.4.4	L'inondation par submersion marine.....	22
IV.5	Dégâts et conséquences des inondations	23
IV.5.1	Les dommages matériels.....	23
IV.5.2	Les dégâts humains	23
IV.5.3	Les dégâts environnementaux.....	24
IV.6	Comment se préparer contre les inondations?.....	24
IV.6.1	Instructions de ce qu'il faut préparer	24
IV.6.2	Mesures à prendre en cas d'alerte, pendant et après une inondation.....	25
a)	Pendant les inondations	25
b)	Après les inondations.....	25

CHAPITRE V : LA SECHERESSE.....	26
V.1 Introduction	26
V.2 Définition	26
V.3 Différent types de sécheresse	26
V.4 Conséquences de la sécheresse.....	27
V.5 Les causes possibles de sécheresse	27
CHAPITRE VI : METHODES PRISES POUR GERER ET REDUIRE LES CATASTROPHES	28
VI.1 Introduction	28
VI.2 La chronologie du risque.....	28
VI.3 Les grands principes de la gestion des risques et des catastrophes.....	28
VI.3.1 La phase préventive : L'avant-crise.....	28
a) La préparation de l'organisation et de son personnel.....	29
b) La mise en place d'une stratégie de communication.....	29
VI.3.2 La phase réactive : Pendant la crise	29
a) L'entrée en crise : La phase déterminante.....	30
b) La conduite de la crise	30
VI.3.3 La phase d'apprentissage : L'après-crise	30
a) Analyser la catastrophe.....	30
b) Rester en situation d'alerte	31
VI.4 Réduction des risques de catastrophe.....	31
VI.4.1 Introduction.....	31
VI.4.2 Déroulement de la réduction des risques de catastrophe	31
a) Préparation : préparer les gens à bien réagir face aux menaces	31
b) Mitigation	32
c) Prévention : prévenir les catastrophes	32
VI.5 Collaborer à tous les niveaux	32
PARTIE III : METHODOLOGIE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	33
CHAPITRE VII : DONNEES ET METHODES UTILISEES	34
VII.1 Localisation de la zone d'étude.....	34
VII.2 Données utilisées	34
VII.3 Les matériels utilisés.....	35
VII.3.1 MATLAB.....	35
VII.3.2 Microsoft Office Excel.....	35

VII.4	Méthodes utilisés	35
VII.4.1	Moyenne arithmétique	35
VII.4.2	Moyenne mobile	35
VII.4.3	Anomalie.....	36
VII.4.4	Test de Pettitt	36
CHAPITRE VIII : INTERPRETATIONS DES RESULTATS.....		38
VIII.1	Analyse quantitative de la pluviométrie	38
a)	Etude de la variabilité de la précipitation journalière.....	38
b)	Etude de la variabilité de la précipitation mensuelle.....	39
c)	Etude de la variabilité de la précipitation annuelle.....	40
VIII.1.1	Cumul de pluie.....	40
VIII.1.2	Anomalie annuelle de précipitation à Mahajanga.....	41
VIII.1.3	Détection de l'année de rupture.....	42
VIII.2	Moyenne climatologique de la température à Mahajanga.....	43
a)	Température journalière.....	43
b)	Température annuelle.....	44
VIII.2.1	Anomalie de température	44
a)	Anomalie annuelle de température	44
b)	Anomalie de la température annuelle avec moyenne mobile	45
c)	Anomalie avec tendance	46
VIII.3	Diagramme ombrothermique.....	46
Définition	46	
CONCLUSION GENERALE.....		48
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE		50

ACRONYMES

OMM :	Organisation Météorologique Mondiale
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
IOGA :	Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo
APIPA :	Autorité pour la Protection contre l'Inondation de la Plaine d'Antananarivo
BNGRC :	Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes
GRC :	Gestion des Risques et Catastrophes
RRC :	Réduction des Risques et Catastrophes
ONG:	Organisation Non Gouvernementale
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ECMWF:	European Center for Medium range Weather Forecast
NOAA:	National Oceanic and Atmospheric Administration
MATLAB:	Matrix Laboratory

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Mécanisme de formation des précipitations</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2 : Stratification de l'atmosphère.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 3 : Mécanisme de formation d'un cyclone</i>	<i>17</i>
<i>Figure 4: Aperçu d'un cyclone tropical</i>	<i>18</i>
<i>Figure 5: Aperçu d'un cyclone extra tropical</i>	<i>19</i>
<i>Figure 6: Localisation de la zone d'étude (Mahajanga).....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 7 : Variabilités de la précipitation journalière</i>	<i>38</i>
<i>Figure 8 : Variation mensuelle de la précipitation</i>	<i>39</i>
<i>Figure 9 : Variation interannuelle pluviométrique, de la moyenne globale et de la moyenne mobile de 1983 à 2012</i>	<i>40</i>
<i>Figure 10: Pluie cumulée de 1983 à 2012</i>	<i>40</i>
<i>Figure 11 : Anomalie de précipitation</i>	<i>41</i>
<i>Figure 12: Année de rupture</i>	<i>42</i>
<i>Figure 13: Fluctuation de la température journalière.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 14 : Température annuelle</i>	<i>44</i>
<i>Figure 15: Anomalie annuelle de température</i>	<i>44</i>
<i>Figure 16: Anomalie avec moyenne mobile de la température annuelle.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 17: Anomalie de la température annuelle avec tendance.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 18 : Diagramme ombrothermique</i>	<i>47</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Différents types de pluie</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 2: Comparaison des échelles de température :</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 3: Composition chimique de l'air sec</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 4: Classification des années humides et sèches.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 5: Analyse de la variabilité pluviométrique après test de pettitt.....</i>	<i>43</i>

INTRODUCTION GENERALE

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde. La température étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ces changements sur les régimes pluviométriques sont importantes. Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes.

Actuellement, la prévision de la précipitation et la variation de la température occupe un rôle important dans la vie quotidienne. Elles permettent de déterminer le changement du climat dans une région donnée à un intervalle d'un temps donnée. Ce changement climatique a des impacts sur la nature humaine tels que la sécheresse provoqué par le manque de pluie, l'invasion acridien, l'augmentation du niveau de la mer, l'abondance des pluies qui entraîne les inondations...

Elles sont faciles à mesurer et tiennent un rôle important sur le plan socio-économique des pays en voie de développement comme Madagascar. Pour la majorité des malgaches, les pluies occupent une place incontournable dans la vie quotidienne. Elles sont à l'origine de toute eau douce disponible.

Les risques liés au changement climatique (période très chaude et les saisons de très forte pluie) constituent un enjeu pour notre communauté. Ce mémoire a pour objectif de poursuivre les études engagées sur l'évolution de la précipitation et de la température de 1983 à 2012 dans la région du Nord-Ouest de Madagascar plus précisément à Mahajanga comprise entre la latitude 15°43' Sud et de la longitude 46°19' Est.

Notre travail consiste à déterminer le début et la fin de la période de pluie, les jours pluvieux, les déplacements du phénomène de pluie ainsi que les variations des températures (saison chaude et saison froide) de cette même région.

Pour cela, nous avons scindé ce travail en quatre parties:

- Dans la première partie, nous allons rappeler le phénomène de précipitation et température.
- La deuxième partie décrira la généralité sur la gestion des risques et catastrophes précisément les catastrophes causées par le changement climatique et la stratégie

adoptée pour mieux gérer et réduire les risques de catastrophe sur la population et ses biens.

- La présentation des données sera exposée en troisième partie tout en présentant brièvement les matériels utilisés et les méthodes utilisés.
- Et dans la dernière partie, il sera question de l'analyse des données et interprétation des résultats. Enfin une synthèse des analyses effectuées et des résultats obtenus sera établie comme guise de conclusion générale.

**PARTIE I : GENERALITES SUR LA
PRECIPITATION ET LA TEMPERATURE**

CHAPITRE I : LES PRECIPITATIONS

I.1 Définition

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), les précipitations sont les produits solides ou liquides résultant de la condensation de la vapeur d'eau qui tombent des nuages ou qui passent directement de l'air au sol sur lequel ils se déposent. Les précipitations comprennent la pluie, la grêle, la neige, le grésil, la bruine, le givre, la rosée, la gelée blanche et les précipitations de brouillard. Elles peuvent entraîner des catastrophes plus au moins grave telle que l'inondation. Ce terme météorologique est toujours au pluriel [1] [2]

I.2 Formation des précipitations

La formation des précipitations appartiennent à une partie du cycle de l'eau dans l'atmosphère: la figure n°1 montre la place de la précipitation dans le cycle de l'eau [3].

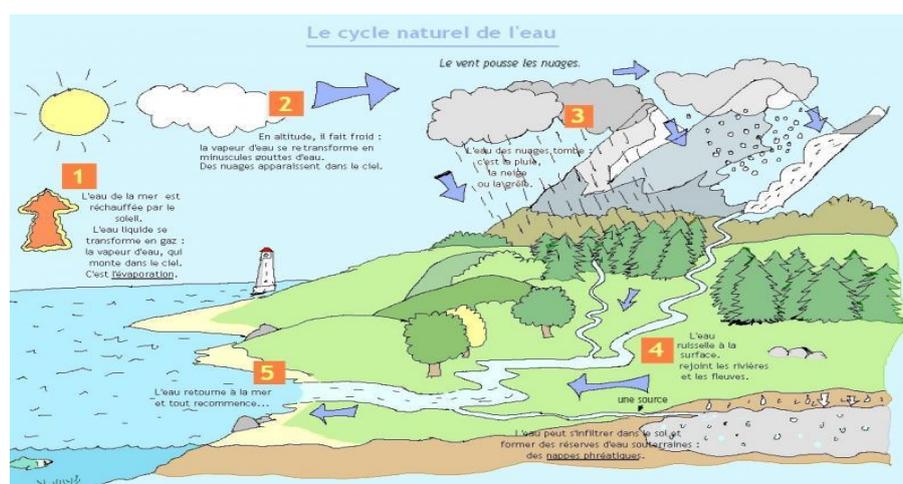


Figure 1 : Mécanisme de formation des précipitations

<http://commons.wikimedia.org>

La formation de la précipitation s'accompagne toujours au phénomène de condensation, de coalescence et à l'effet Bergeron

I.2.1 Condensation

Les gouttes commencent à se former dans de l'air généralement au-dessus du point de congélation quand l'air soulevé devient légèrement sursaturé par rapport à la température environnante.

Pour cela il faut cependant des noyaux de condensation, poussières ou grains de sel, sur lesquels la vapeur d'eau se dépose. La solution chimique obtenue abaisse la tension de surface nécessaire pour former une goutte [4].

1.2.2 Coalescence

La coalescence est l'amalgamation de deux ou plusieurs gouttelettes par collision pour en former une plus grosse. Les gouttelettes se déplacent à une vitesse différente qui est reliée à leur diamètre et au courant ascendant. Les plus grosses bougeant plus lentement captureront les plus petites en montant puis lorsqu'elles ne peuvent plus être soutenues par le courant, elles redescendront et poursuivront leur croissance de la même façon [5].

1.2.3 Effet Bergeron

L'effet Bergeron, de son découvreur Tor Bergeron en 1933, est le plus efficace des processus de formation des gouttes de pluie ou de neige. Lorsque des cristaux de glace se forment finalement par congélation de gouttelettes, ils ont une pression de saturation moindre que celle des gouttelettes environnantes. Les gouttelettes s'évaporent donc et la vapeur d'eau va se déposer sur les cristaux [6]. Ces cristaux finiront également par tomber et entreront en coalescence avec d'autres pour former des flocons de neige. Ils captureront également par coalescence des gouttes ce qui les givrera si la température est sous zéro degré Celsius. Si la température de l'atmosphère est partout sous zéro au-dessus du sol, on aura de la neige. Par contre, si le niveau de congélation n'est pas au sol ou s'il y a des couches au-dessus du zéro en altitude, on aura une variété de types de précipitations : pluie, pluie verglaçante, grésil, etc.

Remarque: 97% des précipitations à nos latitudes provient des nuages dont le sommet est à température négative.

I.3 Différents types de précipitations

Selon les modes de formation des précipitations ; on distingue quelques types de précipitations:

- **précipitation convective:** qui couvre des petites surfaces, qui ne dure pas mais qui est intense, qui est très localisée et produite par l'instabilité convective de l'air, et enfin qui est associée à des nuages de types "cumulus".
- **Les précipitations orographiques :** elles proviennent de la rencontre entre une masse d'air chaude et humide et une barrière topologique particulière.

- **Les précipitations frontales ou de type cyclonique :** elles sont associées aux surfaces de contact entre deux masses d'air de température, de gradient thermique vertical d'humidité et de vitesse de déplacement différents que l'on nomme fronts.

I.4 Mesures des précipitations

La pluviométrie est l'étude des cumuls de pluie, de neige ou de toute autre forme d'eau grâce à des instruments de mesure *in situ* ou par télémétrie. Les accumulations à l'état solide viennent s'ajouter par alimentation à un glacier ou à un champ de neige ; le contraire est l'ablation [7]. Différents instruments permettent de mesurer la précipitation. Les deux appareils de mesures fondamentaux sont :

- **Le pluviomètre:** instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés. [8] [9]
- **Le pluviographe :** instrument captant la précipitation de la même manière que le pluviomètre mais avec un dispositif permettant de connaître, outre la hauteur d'eau totale, leur répartition dans le temps, autrement dit les intensités. [8] [10]

I.5 La pluie

La pluie désigne une précipitation d'eau à l'état liquide tombant de nuages vers le sol.

I.5.1 Formation des pluies

La pluie se forme à partir de la condensation de la vapeur d'eau qui a été évaporée par le soleil ; s'est condensée dans le nuage par refroidissement adiabatique dû au mouvement ascendant de l'air. L'eau qui forme la pluie provient de l'évaporation de l'humidité qui existe dans la nature et plus particulièrement des étendues d'eau comme les lacs, mers.... [11]

Tableau 1: Différents types de pluie

Types de pluie	Diamètre des gouttes	Vitesse de la précipitation
Bruine	0.006 à 0.06 mm	0.10 à 20 cm/sec
Pluie fine	0.06 à 0.6 mm	20 à 100 cm/sec
Pluie continue (modérée)	1 à 3 mm	150 à 400 cm/sec
Averse	4 à 6 mm	500 à 800 cm/sec

<http://www.meteonature.com/index>

I.5.2 Mesure quantitative de la pluie

La mesure quantitative des pluies nous permet de connaître le volume d'eau de pluie qui tombe sur une surface pendant une période bien déterminée ; dans ce cas : on utilise des instruments de mesures comme [12]:

- **Les pluviographes** : elles permettent de mesurer la hauteur des précipitations sur des intervalles de temps régulier ou non.
- **Les d'isomètres et les spectropluviomètres** : ils permettent d'atteindre les caractéristiques des gouttes d'eau indisponibles à la calibration des radars
- **Le pluviomètre** : la valeur donnée par le pluviomètre correspond à la hauteur d'eau recueillie sur une surface plane. Elle s'exprime en millimètre et parfois en litre par mètre carré (1litre/m²=1mm). Les valeurs obtenues à l'aide d'un pluviomètre ne sont que des valeurs dans une petite surface ; mais pour obtenir des données pluviométrique dans une région ; on utilise le radar météorologique.

I.5.3 Les radars météorologiques

Un radar émet des ondes électromagnétiques dont une petite partie va revenir après avoir touché une cible. Les radars météorologiques sont utilisés dans le domaine de la détection à distance des zones de précipitations. Ces « radars précipitations » fournissent des informations sur l'intensité mais aussi sur la quantité des précipitations sur une zone donnée.

CHAPITRE II : LA TEMPERATURE

II.1 Définition

Température (physique), grandeur physique qui mesure le degré de chaleur d'un corps ou d'un milieu. Lorsque deux corps sont placés dans une enceinte adiabatique, le corps le plus chaud cède de la chaleur au corps le plus froid, jusqu'à ce que les deux corps aient la même température (équilibre thermique). Les termes température et chaleur désignent deux notions distinctes : la température est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation microscopique de la matière ; la chaleur est une forme d'énergie qui peut être échangée entre deux corps.

II.2 Mesures de température

II.2.1 La thermométrie

La thermométrie est le domaine de la physique concernant la mesure de la température. Parmi les grandeurs physiques, la température est l'une des plus délicates à mesurer de façon rigoureuse pour deux raisons :

- il faut bien définir le système dont on mesure la température. Par exemple, laisser quelques instants une cuillère dans un plat très chaud, avec le manche qui dépasse. Le manche peut être saisi à la main tandis que la partie bombée sera brûlante; la cuillère est-elle chaude ou froide ?
- la définition même du concept de température et de son échelle de mesure nécessitent de connaître un certain nombre de concepts thermodynamiques qui sont loin d'être intuitifs.

II.2.2 Echelles de température

On distingue plusieurs types d'échelle de mesure de température. Parmi lesquels on peut citer:

a) Echelle Kelvin

Inventée par le mathématicien et physicien britannique sir William Thomson Kelvin au XIX^e siècle, l'échelle Kelvin est l'échelle de température couramment employée dans les

domaines scientifiques. Le kelvin (K), unité SI de température. La température théorique la plus basse que l'on puisse approcher est le zéro absolu, à savoir 0 K, ou - 273.16 °C.

"Température (physique)." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008.

b) Echelle centésimale et échelle Celsius

L'échelle centésimale a été inventée en 1743. Sur cette échelle, la température de congélation de l'eau est de 0 °C et sa température d'ébullition est de 100 °C sous pression atmosphérique. Parallèlement, l'échelle Celsius est introduite par l'astronome suédois Anders Celsius, et correspond pratiquement à l'échelle centésimale. L'échelle Celsius est l'échelle de température utilisée dans la vie courante. Le Celsius (°C) est défini par la relation suivante :

$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273.15$ Par conséquent, les écarts de température sont identiques à ceux de l'échelle Kelvin : par exemple, une variation de 5 K correspond à une différence de 5 °C.

"Température (physique)." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008.

c) Echelle Fahrenheit

L'une des plus anciennes échelles de température a été imaginée en 1720 par le physicien allemand Gabriel Daniel Fahrenheit. Sur cette échelle, à la pression de 1 atm, la température de congélation de l'eau est de 32 °F et sa température d'ébullition est de 212 °F. La température en Celsius est liée à la température exprimée en Fahrenheit par la relation :

$$T (\text{F}) = 32 + 1.8 T (^{\circ}\text{C})$$

"Température (physique)." Microsoft® Encarta® 2009 [DVD]. Microsoft Corporation, 2008.

d) Echelle Rankine

L'échelle Rankine est une échelle de température nommée en l'honneur de l'ingénieur et physicien écossais William John Macquorn Rankine, qui la proposa en 1859. La valeur du zéro Rankine est la même que celle du zéro Kelvin. Donc 0 kelvin = 0° Rankine = zéro absolu. Par contre les graduations des degrés Rankine sont celles des degrés Fahrenheit. Par conséquent, une différence d'un degré Ra est égale à une différence d'un degré F.

https://fr.wikipedia.org/wiki/chelle_Rankine

e) Echelle centigrade

L'échelle de température centigrade est une échelle de température relative, inventée en 1742 par l'astronome et physicien suédois Anders Celsius. L'échelle centigrade fait correspondre

son zéro avec la température de la glace fondante et 100 avec la température d'ébullition de l'eau sous une pression atmosphérique normale (1 013.25 hPa). Elle est légèrement différente de l'échelle de température Celsius

https://fr.wikipedia.org/wiki/Degré_centigrade

Tableau 2: Comparaison des échelles de température :

Zéro absolu, fusion de la glace et ébullition de l'eau dans les conditions de pression standard

Echelle	°C	°F	K
Zéro absolu	-273.15	-459.67	0
Fusion	0	32	273.15
Ebullition	99.98	212	373.13

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Température>

II.3 Température atmosphérique

II.3.1 Structure de l'atmosphère

On appelle « atmosphère » l'enveloppe gazeuse qui entoure certains corps célestes comme, par exemple, la Terre, Vénus ou Mars. Les gaz sont maintenus autour de ces corps célestes par la force gravitationnelle qui les retient et les empêche de s'échapper vers l'espace.

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse la plus externe de notre planète. Bien que dans la vie de tous les jours elle soit oubliée et parfois ignorée, elle est pourtant indispensable. Elle est transparente aux rayons lumineux dans le domaine visible, ce qui nous permet de voir le monde qui nous entoure. Sa présence est tout de même révélée par la couleur bleue du ciel. Ses propriétés de transparence sélective sont dues à la capacité des molécules qui la composent d'absorber une partie du rayonnement électromagnétique et d'émettre un rayonnement du même type dans une autre longueur d'onde. Une partie seulement de l'énergie solaire atteint donc la surface de la Terre et cela contrôle tous les processus physiques et biologiques photosensibles. De même, une partie seulement du rayonnement tellurique infrarouge s'échappe vers l'espace. L'atmosphère joue un rôle de filtre dans les deux sens. L'atmosphère est le siège d'une activité importante ou tous les phénomènes observés ont des durées caractéristiques très courtes : les constantes de temps atmosphériques sont comprises entre le jour et tout au plus une dizaine d'années, suivant le phénomène que l'on observe. Ils sont contrôlés par les temps de mélange entre différentes régions atmosphériques plus ou

moins isolées les unes des autres ; les échanges les plus lents ont lieu entre troposphère et stratosphère, ou entre hémisphères.

II.3.2 Composition de l'atmosphère

La composition chimique de l'atmosphère comprend pour l'essentiel, de l'azote (78%), de l'oxygène (21%), des gaz rares (Argon, Néon, Hélium...) et dans les basses couches, de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Les constituants de l'air atmosphérique peuvent être classés en deux catégories :

- les constituants comme l'azote, les gaz rares, dont la concentration est constante, tout au moins dans les basses couches de l'atmosphère.
- les constituants dont la teneur varie dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone et surtout la vapeur d'eau.

L'ensemble des gaz, dont les proportions restent constantes, forme l'air sec considéré comme un gaz parfait. La composition de l'air sec ainsi que sa masse molaire ont été, pour les besoins de la météorologie, arrêtées internationalement aux valeurs indiquées ci-dessous. Le dioxyde de carbone et l'ozone sont des constituants pouvant subir quelques variations selon le lieu et l'époque. Cependant leur concentration étant faible dans l'atmosphère, ces variations ne modifient pas notablement la composition chimique de l'air sec, ni sa masse molaire (variations considérées donc comme négligeables). L'eau, par contre, joue un rôle particulier dans l'atmosphère où elle existe sous trois états : solide, liquide, gazeux. A l'état gazeux, la vapeur d'eau intervient dans des proportions pouvant atteindre 0,1% en Sibérie à 5% dans les régions maritimes équatoriales. D'un point de vue thermodynamique, l'air atmosphérique peut être considéré comme un mélange de deux gaz : l'air sec et la vapeur d'eau.

Tableau 3: Composition chimique de l'air sec

Gaz constituants de l'air sec	Volumes (en %)	Masses molaires
Azote (N ₂)	78,09	28,016
Oxygène (O ₂)	20,95	32,000
Argon (A)	0,93	39,944
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,035	44,010
Néon (Ne)	1,8 10 ⁻³	20,183
Hélium (He)	5,24 10 ⁻⁴	4,003
Krypton (Kr)	1,0 10 ⁻⁴	83,07
Hydrogene (H ₂)	5,0 10 ⁻⁵	2,016
Xénon (Xe)	8,0 10 ⁻⁶	131,3
Ozone (O ₃)	1,0 10 ⁻⁶	48,000
Radon (Rn)	6,0 10 ⁻¹⁸	222,00

<http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos22.htm>

Masse molaire totale de l'air sec : **M = 28.966**

On trouve également des quantités proportionnellement infimes, d'hélium, de méthane, de monoxyde de carbone, des composés organiques, ...

II.3.3 Température et Altitude

Il est vrai que la température de l'air diminue avec l'altitude dans la couche de l'atmosphère la plus proche de la terre (la troposphère) : il fait plus froid au sommet d'une montagne. Mais on ne peut en faire une loi générale car la température augmente dans la couche suivante (la stratosphère) puis "rediminue" dans la mésosphère et enfin augmente de nouveau dans la thermosphère jusqu'à des valeurs très élevées (plus de 1 500°)... Ce sont donc les couches les plus proches du soleil qui sont les plus chaudes. Dans la troposphère ou nous vivons la température décroît généralement avec l'altitude (mais ce n'est pas toujours très régulier : il peut y avoir des inversions de température qui empêchent le renouvellement de l'air et provoquent l'accumulation de la pollution au-dessus des villes). Dans la troposphère la vapeur d'eau joue un rôle très important dans la régulation de la température car elle absorbe le rayonnement solaire ainsi que le rayonnement thermique émit par la surface de la terre. La

température diminue parce que la pression de vapeur d'eau décroît avec l'altitude. Dans la couche suivante, la stratosphère (de 10 à 50 km au-dessus de la surface de la Terre) la température est d'abord constante puis augmente. Là c'est l'ozone, qui joue le rôle principal. L'énergie solaire est convertie en chaleur lorsque les molécules d'ozone absorbent les rayonnements ultra-violet du Soleil.

Deux facteurs expliquent la baisse des températures avec l'altitude :

- La densité de l'air diminue avec l'altitude ce qui entraîne une détente (= augmentation du volume pour une masse unitaire)
- La troposphère est principalement chauffée par la surface terrestre, donc par le bas.

L'atmosphère absorbe assez mal le rayonnement solaire qui vient du haut (20% contre 50% pour la surface terrestre)

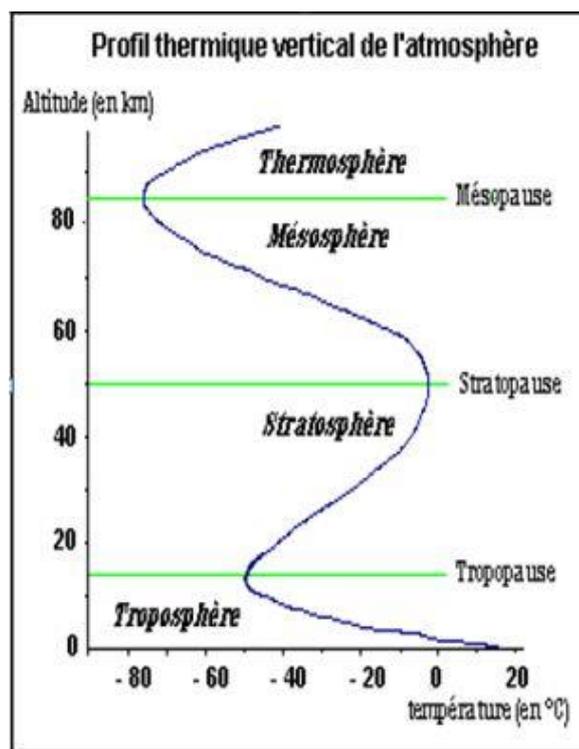


Figure 2 : Stratification de l'atmosphère

[Cours de climatologie 3^{ème} année LIGCRR par le Pr RATIARISON Adolphe, Chapitre VB, Rayonnement Solaire et Température, Page 20](#)

**PARTIE II : GENERALITES SUR LA
GESTION DES RISQUES ET CATASTROPHES**

INTRODUCTION

L'intérêt porté aux risques naturels et aux catastrophes naturelles ne cesse de croître. Par catastrophes naturelles, on entend les sinistres provoqués par les forces de la nature. Ces catastrophes sont très divers tant par leur étendue géographique que par leur échelle de temps. D'après les responsables de la Veille Météorologique Mondiale, notre planète subit d'innombrables assauts au cours d'une année : de l'ordre de 100 000 orages, 10 000 inondations, des milliers de séismes, d'incendies de forêts, de glissements de terrain, d'avalanches et de tornades, et des centaines d'éruptions volcaniques, de cyclones tropicaux, d'épisodes de sécheresse et d'infestations acridiennes. Seules les plus dramatiques de ces catastrophes font les gros titres de la presse internationale, mais toutes causent des pertes en vies humaines et des dégâts matériels.

CHAPITRE III : LES CYCLONES

III.1 Introduction

Parmi les phénomènes météorologiques terrestres observés, les cyclones, du grec « *kuklos* » qui signifie « *cercle* », sont probablement les plus violents et les plus spectaculaires qui créent le plus de victimes avec ses vents forts, ses précipitations très fortes et sa lenteur pour traverser une région. Ces phénomènes tourbillonnaires, de pression centrale très basse, tournent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud et dans le sens contraire dans l'hémisphère nord. Ils mesurent de 500 à 1000 km de diamètre et sont pourvus d'un centre visible sur les images satellitaires : l'œil du cyclone. D'un diamètre de 30 à 60 km en général (parfois jusqu'à 150 km), cet œil est une zone d'accalmie : pas de pluie, vent faible. Ces phénomènes naturels instables sont néanmoins encore très difficiles à prévoir bien que les conditions de formations soient aujourd'hui assez bien connues.

III.2 Définition

C'est une très forte dépression qui prend naissance au-dessus des eaux chaudes des océans de la zone intertropicale et qui s'accompagne de vents très violents et de pluies torrentielles. Ces dépressions sont appelées ouragan ou hurricane dans la mer des Antilles et dans le golfe du

Mexique et typhons dans l'ouest du Pacifique et dans l'Océan Indien. Ce sont des perturbations atmosphériques ayant l'aspect de grosses masses nuageuses en bandes spirales, associés à une forte dépression dont les vents tourbillonnent à plus 120 km/h

III.3 Caractéristiques des cyclones

Les cyclones se caractérisent par des vents très violents soufflant de façon circulaire autour d'un centre appelé œil. Des bords de la dépression vers son centre, la pression atmosphérique tombe brutalement et la vitesse du vent augmente. Sous les cyclones on observe aussi des pluies diluviennes qui entraînent des crues. La pression extrêmement basse entraîne une montée du niveau de la mer qui peut atteindre plus de 5m. Des tornades peuvent aussi faire leur apparition quand un cyclone atteint une terre.

III.4 Conditions de formation d'un cyclone

Pour qu'un cyclone puisse se former, il faut tout d'abord qu'une dépression passe au-dessus de l'océan à une température de plus de 26°C sur une dizaine de mètres de profondeur (cela équivaut à une température de surface de 28°C) ainsi qu'à une distance de plus de 550km de l'équateur. En effet, c'est à partir de l'équateur que la force de Coriolis peut agir sur le déclenchement du mouvement tourbillonnaire initial car cette force est nulle au niveau de l'équateur. (. Cela explique pourquoi les ouragans ne prennent généralement pas naissance à proximité immédiate de l'équateur [13]). Cette force permet à l'air chaud et humide de s'élever jusqu'à 15 000m d'altitude. La pression baisse alors et grâce à la force de Coriolis, l'air chaud et humide se met à tourbillonner, la vapeur d'eau est ainsi aspirée et forme des nuages. En outre, plus l'écart de température entre haute et basse altitude est important plus l'atmosphère est instable, créant des violents orages. Ensuite l'air froid, redescend en spirale tout en se réchauffant et remonte de nouveau. Lorsqu'un cyclone pénètre sur la terre, ou dans les eaux froides (exemple : Océan Glacial Arctique, Océan Glacial Antarctique) les vents s'affaiblissent car le cyclone n'est plus alimenté par la vapeur des eaux chaudes. C'est comme cela qu'ils disparaissent. Cela s'applique surtout aux cyclones tropicaux. Ce n'est pas tout à fait le même cas pour les cyclones extratropicaux car ils tirent leur puissance des eaux froides ainsi que du processus barocline, qui désigne la variation de pression avec l'altitude par atmosphère calme, liée à la diminution de densité de l'air. L'autre grande cause de la mort des cyclones est l'apparition d'un "cisaillement" vertical du vent au-dessus du tourbillon de surface qui contribue à désactiver le phénomène.

III.5 Types des cyclones

Il existe différents types de cyclones, chacun ayant une particularité propre à lui-même, cela peut être une particularité, comme par exemple leur taille, leur puissance, leur lieu d'action; etc...:

III.5.1 Les cyclones tropicaux



Figure 4: Aperçu d'un cyclone tropical

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone>,

Les cyclones tropicaux se forment sur l'eau chaude des mers tropicales et puisent leur énergie dans la chaleur latente de condensation de l'eau, par exemple le cyclone Gamède qui s'est formé sur l'océan Indien donc au-dessus du tropique du Capricorne en 2007 et qui a frappé l'île de La Réunion. Pour que les conditions soient favorables à la formation d'un cyclone tropical il faut qu'une dépression passe au-dessus de l'océan à plus de 26° , (donc il faut vraiment que l'eau soit plus chaude que la moyenne) sur au moins 60m de profondeur à une distance supérieure à 550km de l'équateur. Il faut être éloigné de l'équateur car c'est à partir de 5° de latitude que la force de Coriolis peut agir et permettre le déclenchement du mouvement tourbillonnant initial, si l'on est trop proche de l'équateur la force devient nulle et le cyclone ne pourra pas prendre forme. Cette force, donc, qui est engendrée par la rotation terrestre, cause une déviation du vent vers l'est dans l'hémisphère nord. En faisant cela, elle permet à l'air chaud et humide de s'élever jusqu'à une hauteur de 9 000m. Plus l'altitude augmente et plus la pression atmosphérique baisse. La force de Coriolis va donc agir sur l'air chaud et humide et va commencer à le faire tourner. La vapeur d'eau va former des nuages. Plus la différence de température de l'air entre une basse et une haute altitude sera importante, plus l'air sera instable, et de cela résulteront de violents orages. L'air froid va redescendre en spirale, se réchauffer et va remonter de nouveau. Dès qu'un cyclone tropical entre en terre ou

dans des eaux froides les vents s'affaiblissent car il n'est plus alimenté par la vapeur des eaux chaudes et donc il va mourir. Les cyclones tropicaux sont classés parmi les risques naturels les plus courants s'accompagnant souvent de pluies torrentielles, inondations côtières et vents violents.

III.5.2 Cyclone extra tropical

Un cyclone extra tropical (ou tempêtes d'hiver) prend naissance dans les latitudes moyennes et puise son énergie dans les zones de fortes différences de températures entre les tropiques et les pôles, donc dans les zones où la température est plus froide. Les cyclones extra tropicaux sont assez différents des cyclones tropicaux, ils se forment l'hiver entre octobre et mars alors que leurs frères se forment en été. Les cyclones tropicaux ont pour source d'énergie la condensation de l'eau due à la forte température de celle-ci alors que les extra tropicaux se forment grâce à la différence de température de l'eau quand elle est très grande. La majorité de leur puissance est dû au processus barocline qui désigne la variation de pression avec l'altitude par atmosphère calme, liée à la diminution de densité de l'air. En météorologie une perturbation barocline est une perturbation du champ de pression caractérisée par un fort gradient horizontal de température et un fort vent thermique. Leur champ de température et d'humidité est asymétrique.

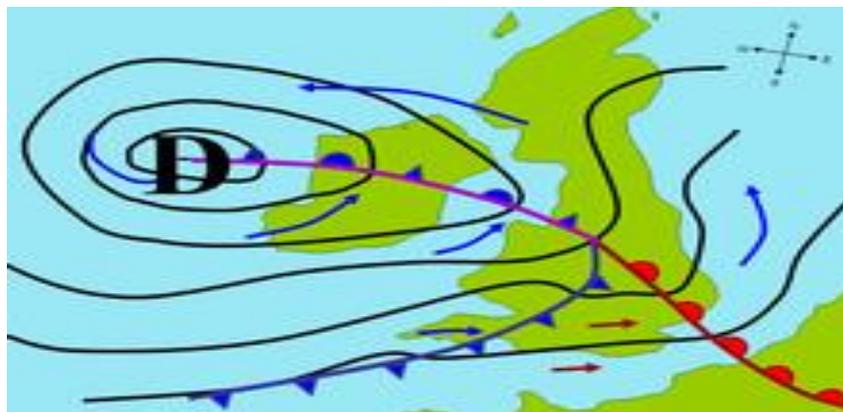


Figure 5: Aperçu d'un cyclone extra tropical

[Image: Uk-cyclone-2.png](#)

III.5.3 Cyclone subtropical

Ces cyclones sont appelés subtropicaux car ils se forment aux latitudes subtropicales. Les cyclones subtropicaux sont un mélange entre les cyclones tropicaux et les extra tropicaux. En effet il présente des caractéristiques communes aux deux types précédents de cyclones.

III.5.4 Cyclone polaire

Un cyclone polaire est un système de basse pression, il s'étend habituellement sur une zone qui couvre de 1000 à 2000kilomètres. Il est identique aux cyclones extra tropicaux, ou dépressions des latitudes moyennes qui se forment dans des zones où l'écart de températures entre les tropiques et les pôles est grand, mais le cyclone polaire quant à lui se développe uniquement dans les latitudes arctiques et antarctiques (d'où son nom). Les cyclones polaires se forment le long du front polaire, une bande de contraste thermique entre l'air venant des Pôles et celle venant des latitudes moyennes du globe.

CHAPITRE IV : LES INONDATIONS

IV.1 Introduction

Une inondation est un fléau naturel, l'un des plus récurrents dans le monde et qui affecte de nombreuses populations. Des milliers des personnes sont tuées par des inondations. Elles sont responsables de plus de 50 000 morts et affectent en moyenne 75 millions de personnes chaque année dans le monde [14].

IV.2 Définition

Une inondation est une submersion [15] temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace [16] avec de l'eau liquide. Elle est le résultat du débordement d'un plan d'eau. Par extension, on parle également d'inondation quand de fortes pluies font rompre des barrages hydrauliques.

IV.3 Les origines d'une inondation

Les causes d'une inondation sont nombreuses et diverses selon l'endroit où elle se produit.

Phénomène naturel, les inondations sont surtout les fruits des phénomènes climatiques saisonniers dans le monde tels la mousson, les cyclones ou la neige.

Les fortes précipitations apportées par les cyclones sont également à l'origine des inondations notamment dans les régions intertropicales et subtropicales. Il s'agit de perturbation atmosphérique dont la formation diffère suivant les types. Les plus virulents, les cyclones tropicaux en l'occurrence, se forment par condensation d'eau durant les saisons estivales et automnales dans les régions tropicales. Amenant de fortes rafales et pluies, les dégâts occasionnés par les cyclones ne sont pas que les inondations.

Quant à la neige, elle peut constituer une cause d'inondation dans les pays du nord. Lorsque la neige atteint le sol, une partie s'évapore ou est aspirée par la végétation. L'excédent formera les eaux de ruissellement qui, en atteignant les cours d'eau sont à l'origine des crues ou des inondations par élévation des lits des rivières.

IV.4 Les différents types d'inondations

Les inondations peuvent être la conséquence de crues ou simplement de fortes averses.

L'inondation des zones urbanisées n'est pas toujours liée à la proximité d'un cours d'eau. Les principaux facteurs qui influencent la durée et l'intensité des inondations sont la quantité de

pluie qui tombent, l'état des sols : le degré d'imperméabilisation, les pratiques culturelles, l'aménagement et l'entretien du réseau hydrographique c'est-à-dire l'ensemble des milieux aquatiques présents. Les inondations sont presque toutes différentes.

IV.4.1 L'inondation a montée lente

Cette inondation concerne la montée progressive du niveau de l'eau dans les cours d'eau qui, au bout d'une période relativement longue sort de son lit mineur et inonde les plaines environnantes. Cette inondation concerne les terrains bas.

IV.4.2 L'inondation a montée rapide

On appelle inondation à monter rapide un phénomène pluvial intense tombant sur un bassin versant. L'eau de ruissellement remplit le cours d'eau et occasionne des crues rapides, brutales et violentes. Elles se produisent sur une période inférieure à 12 h, ce qui rend la prévention très difficile. Le cours d'eau peut transporter de grandes quantités de flottants comme des branches, des feuilles, ou des déchets. L'amalgame de ces flottants peut former un barrage qui, lors de sa rupture libère une vague très dangereuse voire meurtrière : la rupture d'embâcle.

IV.4.3 Les inondations par ruissellement

Ce sont les inondations qui peuvent se produire principalement en zone urbanisée lorsque l'imperméabilisation des sols c'est-à-dire la capacité du sol à faire passer l'eau et la conception de la ville font obstacle au bon écoulement des "grosses" pluies (dues par exemple aux orages) ou bien parce que la capacité des systèmes de drainage ou d'évacuation des sols est insuffisante.

IV.4.4 L'inondation par submersion marine

Cette inondation concerne le niveau de la mer qui, lors de conditions météorologiques extrêmes (associant dépressions atmosphériques, vents violents, fortes houles, phénomènes marégraphiques et tempêtes) s'élève considérablement et inonde les zones côtières. Cette inondation peut aussi être déclenchée par des séismes sous-marins qui peuvent entraîner un tsunami selon sa magnitude.

IV.5 Dégâts et conséquences des inondations

Lors des inondations, il peut y avoir des dégâts très importants et de très lourdes conséquences sur notre vie, il y a différents types de conséquences : les dommages matériels, les dégâts humains et les dégâts environnementaux.

IV.5.1 Les dommages matériels

Tout d'abord, les principales conséquences des inondations sont les dégâts matériels. Les inondations peuvent être très dévastatrices, en effet suite à une inondation, les habitations, les immeubles, les ponts, sont très souvent dégradés. Les habitations qui sont touchées doivent être évacuées à partir de la montée des eaux jusqu'à la décrue. Ces habitations sont alors inhabitables car les dégradations sont irrémédiables, il faut alors tout reconstruire car l'habitation est complètement détruite. Mais la plupart du temps, les dégâts sont plutôt bénins et les habitants peuvent donc résoudre le problème eux-mêmes, l'habitation nécessite juste quelques réparations et travaux de consolidation.

Ensuite, les inondations entraînent très souvent des pannes d'électricité. A la suite d'une inondation, de très nombreux foyers situés dans la zone de l'inondation se retrouvent sans électricité suite à l'endommagement des pylônes électriques, lignes à haute tension. Les appareils électriques de la maison (électroménagers, appareils de communication,...) sont alors trempés et se retrouvent hors circuit. A la suite d'une inondation, l'accès à l'eau potable devient très difficile, il n'y en a plus beaucoup.

Enfin, les petits commerces et agriculteurs sont très touchés après une inondation. Les commerces peuvent être détruits et les commerçants ruinés car ils ont beaucoup de mal à se relancer. Le matériel devient hors d'usage et les commerçants doivent fermer boutique. Les agriculteurs sont aussi très affectés par les inondations. Car la dévastation de leurs cultures les plonge vers la ruine car ces cultures représentent la quasi-totalité de leurs revenus annuels.

IV.5.2 Les dégâts humains

Deuxièmement, les inondations ont pour conséquences de nombreux dégâts humains, beaucoup de personnes périssent au cours des inondations. Elles peuvent mourir noyées ou bien frappées par des décombres emportés par le courant. On ne retrouve d'ailleurs pas toutes les personnes car certaines disparaissent sous les eaux, entraînées par la puissance de l'eau. Il est aussi difficile d'évacuer les blessés

De plus, les inondations ne facilitent pas la vie des habitants des maisons inondées, car ceux-ci doivent alors s'occuper de la réparation des dégâts de la maison ainsi que du ravitaillement en nourriture qui devient très difficile lors des inondations. Certaines personnes doivent quitter leur maison vers un autre logement ce qui est la plupart du temps très difficile à trouver. Puis, le manque d'eau potable entraîne un manque d'hygiène qui peut être favorable à l'eau propagation des épidémies.

Sur le plan moral, les inondations peuvent être très douloureuses. Car elles peuvent entraîner la destruction d'objets sentimentaux très importants pour une personne et donc entraîner des traumatismes importants chez certaines de ces personnes.

IV.5.3 Les dégâts environnementaux

Troisièmement, on observe des dégâts au niveau environnemental; ceux-ci se répercutent directement sur la population, notamment au niveau de l'agriculture. La destruction des cultures et les pertes animales sont presque inévitables [17], [18], et engendrent des pertes financières, des problèmes de malnutrition et de migration.

Mais les impacts des inondations ne sont pas tous négatifs et destructeurs. Une inondation constitue un processus naturel qui permet le maintien des écosystèmes et le support de la vie dans les estuaires des côtes, dans les lacs et les zones humides [19].

De plus, ce processus joue un rôle important dans l'évolution géomorphologique du paysage [20].

IV.6 Comment se préparer contre les inondations?

Dans la vie de tous les jours, il est important de savoir comment réagir face à une inondation rapide. Pour cela, il faut planifier à l'avance toutes les étapes de réalisation de "sauvetage".

IV.6.1 Instructions de ce qu'il faut préparer

1. Consulter la mairie de la commune afin de connaître l'ampleur du risque dont l'habitation est exposée.
2. Préparer un kit de survie. Celui-ci est très important. Il doit disposer de lampes torches, de radios avec batterie, de trousse de premiers soins, de vêtements chauds et de pluie, de sacs de couchage, plusieurs jours de nourriture sous forme de conserves ainsi que de l'eau en bouteille, et de tout autre objet personnel qu'il est nécessaire d'avoir sous la main pour la sécurité.

3. Elever le chauffe-eau, le panneau électrique ainsi que tous les appareils électriques ou craignant l'eau afin de limiter au maximum l'ampleur des dégâts matériels.
4. Consulter un agent ou un professionnel afin de se renseigner de la disponibilité d'assurance inondations.

IV.6.2 Mesures à prendre en cas d'alerte, pendant et après une inondation

1. Abritez-vous: restez à votre domicile ou sur votre lieu de travail
2. Informez-vous: écoutez la radio avec un poste à piles
3. Prévoyez une réserve d'eau potable, de nourriture, une lampe torche à pile
4. Rassemblez médicaments d'urgence, vêtements, argent...

a) Pendant les inondations

1. Fermez toutes les issues
2. Coupez les alimentations en gaz et en électricité
3. Réfugiez-vous, si possible, dans les étages
4. Ne quittez pas votre abri sauf sur ordre des autorités

b) Après les inondations

1. Ventilez les pièces
2. Ne rétablissez l'électricité et autres réseaux qu'après un contrôle complet des circuits
3. Ne consommez pas l'eau du robinet ni celles des forages
4. Faites sécher vos locaux et chauffer dès que possible

CHAPITRE V : LA SECHERESSE

V.1 Introduction

La sécheresse est un phénomène naturel dangereux de caractère insidieux, qui résulte d'une insuffisance des précipitations par rapport aux valeurs prévues ou normales; lorsqu'elle persiste durant une saison entière ou plus, cette insuffisance empêche de répondre comme il convient aux besoins des sociétés humaines et de l'environnement. La sécheresse est donc une anomalie temporaire, à la différence de l'aridité, qui est une caractéristique permanente du climat. Il faut aussi distinguer l'aridité saisonnière (c'est-à-dire une saison sèche bien définie) de la sécheresse. On confond souvent ces différents termes, ou on les emploie de façon interchangeable. Or il importe de bien comprendre leurs différences de signification et d'en tenir dûment compte dans les systèmes de suivi et d'annonce précoce des situations de sécheresse et dans les plans de préparation connexes.

V.2 Définition

La sécheresse est un épisode de manque d'eau plus ou moins long mais suffisant pour que les sols et la flore soient affectés. Ce phénomène peut être cyclique ou bien exceptionnel et peut affecter une zone localisée comme un sous-continent entier.

V.3 Différent types de sécheresse

On distingue trois types de sécheresse suivant les situations :

- La sécheresse météorologique ou atmosphérique, liée à la pénurie de précipitations sur une période donnée ;
- La sécheresse agricole, qui est fonction du taux d'humidité du sol à un mètre de profondeur. Cette sécheresse dépend des précipitations, mais aussi de la nature du sol, des pratiques culturales et du type de plante. Ce type de sécheresse a des effets marquants sur la végétation ;
- La sécheresse hydrologique se produit quand les réserves en eau des sols (aquifères) et les cours d'eau tombent en dessous de la moyenne. Cela peut être dû à une sécheresse

météorologique particulièrement longue et intense, mais aussi à une surexploitation des ressources en eau.

V.4 Conséquences de la sécheresse

Quand la sécheresse se prolonge, elle cause beaucoup d'effets négatifs :

- le niveau des nappes phréatiques baisse
- le niveau des lacs et rivières s'épuise ce qui perturbe la circulation fluviale
- les restrictions d'eau peuvent concerner l'irrigation des cultures, les usages domestiques de l'eau, comme l'arrosage des jardins ou encore les prélèvements industriels.
- une baisse voir même des pertes de récoltes
- les feux de forêts sont plus courants et plus importants
- on constate l'érosion des sols

Une sécheresse persistante peut ruiner la production agricole d'une région, réduire la production d'électricité[21], entraîner des incendies de prairies ou de forêts [22], stopper la navigation fluviale, provoquer des pénuries d'eau potable et même, dans les cas extrêmes, déclencher un exode, entraîner des problèmes avec certaines espèces comme des invasions ou l'augmentation des morsures de serpent[23]

V.5 Les causes possibles de sécheresse

La sécheresse peut résulter d'un manque de pluie. Elle survient lorsque la quantité de pluie est nettement inférieure aux normales saisonnières et cela, sur une assez longue période. Lorsque le manque de pluie survient en hiver ou au printemps, il empêche le bon remplissage des nappes phréatiques (« réserves » d'eau) qui s'effectue à cette période de l'année. Au-delà du mois d'avril, l'eau de pluie est essentiellement absorbée par les plantes, en pleine croissance, ou s'évapore à cause de la chaleur. La sécheresse peut être accentuée par des températures élevées, notamment en été qui provoquent un assèchement des sols et l'évaporation plus importante de l'eau disponible.

Le manque d'eau peut donc apparaître à tout moment dans l'année.

CHAPITRE VI : METHODES PRISES POUR GERER ET REDUIRE LES CATASTROPHES

VI.1 Introduction

Les notions du risque et de catastrophe représentent un thème des plus controversé qui soit. Elles désignent une réalité bien évidente associée au désordre et au chaos mettant en cause ce qui est établi dans son ordre normal. Le rapport du PNUD de 2004 montre que des milliards de personnes dans plus de 100 pays sont périodiquement victime d'un phénomène de type catastrophe. Ce même rapport démontre que le risque et la catastrophe reste inévitable pour l'humanité, d'où la nécessité pour les pays et les organisations d'établir un plan efficace et objectif en vue de maîtriser les crises.

Ainsi, la gestion des risques et des catastrophes peut se faire selon un modèle en trois phases : La phase préventive (l'avant-crise), la phase réactive (pendant la crise) et la phase d'apprentissage (l'après-crise)

VI.2 La chronologie du risque

Généralement, le risque passe par trois phases importantes :

La phase latente, discrète, qui se caractérise par la présence des signes invisibles qui débouchent sur un élément déclencheur profitant de la fragilité de l'organisation pour déclencher la catastrophe. La phase critique dont les anomalies se repèrent, se combinent et s'amplifient créant un déséquilibre flagrant dans l'organisation. La phase de l'apaisement où on assiste à un retour à la situation normale et à l'équilibre.

VI.3 Les grands principes de la gestion des risques et des catastrophes

La gestion des risques et des catastrophes peut se faire selon un modèle en trois phases : La phase préventive (l'avant-crise), la phase réactive (pendant la crise) et la phase d'apprentissage (l'après-crise).

VI.3.1 La phase préventive : L'avant-crise

La phase préventive est nécessaire pour parer d'avance à toute éventualité de crises. Ces dernières sont comme des virus contagieux et virulents, elles frappent sans prévoir, se

développent rapidement et déstabilisent l'appareil étatique ou organisationnel. Cette préparation passe par plusieurs actions :

a) La préparation de l'organisation et de son personnel

L'organisation doit adopter un comportement de veille qui va consister à détecter les premiers signes avant-coureurs annonciateur de la crise, qui s'installent et s'accumulent progressivement au sein du système.

b) La mise en place d'une stratégie de communication

Dans une situation où un risque plane sur l'organisation, la mise en place par les autorités compétentes, d'une stratégie visant à élaborer un plan de gestion de crise et des supports pour faciliter la communication devient une nécessité absolue. La stratégie de communication est aussi un ensemble organisé de ressource comme de matériels, logiciels, personnels, données et procédure qui permet de collecter, regrouper, classifier, traiter et diffuser de l'information sur un environnement donné.

Pour le cas de Madagascar, chaque type de risque, il y a une autorité spécifique chargée du système d'alerte. L'IOGA pour les glissements des terrains et les tremblements de terre, l'APIPA pour les inondations et la Météorologie Malagasy pour les cyclones et les phénomènes climatologiques. Le bureau national de gestion des risques et catastrophes (BNGRC) diffuse les systèmes d'alerte au niveau des acteurs humanitaires, aux divisions de l'Etat et à la population par mail, téléphone...

Avis d'avertissement: si une perturbation de risque évolue dans une zone; elle présente un danger sans pour autant qu'un délai prise être indiqué de façon précise pour le district concerné. Dans ce cas-là, les organismes qui s'occupent de la GRC utilisent le drapeau jaune pour informer la population d'être avertie à la catastrophe.

Avis de menace: Cet avis désigne qu'il y a de danger pour les districts concernés dans les jours qui viennent. Le drapeau utilisé est de la couleur verte.

VI.3.2 La phase réactive : Pendant la crise

La phase réactive constitue la deuxième phase dans la gestion de la catastrophe. L'arrivée à ce stade indique que l'institution est devant une situation de crise, que l'incident a été inévitable et que la première phase préventive avait échoué.

Quel que soit le degré de préparation de l'institution à un événement venant à l'improviste, elle sera entachée aux effets de surprise et de panique.

a) L'entrée en crise : La phase déterminante

C'est une phase déterminante pour les responsables qui doivent se ressaisir rapidement et sortir du déphasage causé par le choc. Au niveau de cette phase, l'organisation doit compter sur trois types de moyens pour sortir de la crise : les moyens techniques, les capacités organisationnelles et les aptitudes du personnel.

b) La conduite de la crise

C'est une étape aussi importante que la première, elle est étroitement liée à la première. Une bonne conduite de la crise suppose que l'entrée est passée dans des conditions normales, les moyens sont disponibles et le personnel a été bien responsabilisé. L'issue de la crise va être déterminée au niveau de cette étape où le responsable de la gestion devra prendre une décision et nommer la crise pour déterminer l'objet du sujet. Il lui revient aussi de tracer les grandes lignes de la crise et déterminer les stratégies et les orientations.

Danger imminent : Cette partie montre que la catastrophe est effective dans une certaine zone. Le drapeau utilisé est de la couleur rouge.

VI.3.3 La phase d'apprentissage : L'après-crise

La phase d'apprentissage est aussi importante que les deux premières phases (préventive et réactive), elle suppose que l'organisation est sortie de la crise, les dégâts ont été recensés, les victimes hospitalisées et suivies, l'ambiance d'anxiété s'est calmée, la pression des médias s'est éteinte graduellement, et l'organisation commence ainsi à cicatiser ses plaies et reprendre ses anciennes activités.

a) Analyser la catastrophe

L'organisation effectue à travers la cellule de crise une autre lecture de la catastrophe, différente de celle qui a été adoptée par les responsables pendant la crise. C'est un travail qui doit être engagé juste après que l'organisation sorte de la crise, pendant que la mémoire de l'ensemble du staff est encore fraîche et avant que le retour à la normale impose une nouvelle gestion du temps, du travail et du personnel. Les conséquences de la catastrophe sur les

secteurs de l'organisation doivent être déterminées avec précision pour faire sortir les décisions à prendre par les responsables. Une étude de la mesure de l'impact s'avère ainsi nécessaire et doit être observée à travers plusieurs critères (politique, socioéconomique et psychologique).

b) Rester en situation d'alerte

L'organisation doit rester en situation de veille, intensifier les mesures préventives et laisser la cellule de crise opérationnelle. La cellule de crise représente une organisation d'urgence qui permet aux responsables de service d'identifier un problème, de déployer un plan de secours et de revenir le plus rapidement possible à une situation normale. Elle doit évaluer le sinistre, prendre les mesures immédiates de protection des personnes et des installations affectées, informer la Direction et les autorités locales, assurer la communication et déterminer une stratégie de retour au fonctionnement normal.

VI.4 Réduction des risques de catastrophe

VI.4.1 Introduction

La réduction des risques de catastrophe (RRC) vise à réduire la vulnérabilité de la population en la préparant mieux aux menaces, en prenant des mesures pour réduire l'impact des catastrophes et en travaillant sur la prévention. Il s'agit donc d'aller au-delà de l'apport de nourriture, d'eau ou de tentes sur les lieux d'une catastrophe. L'aide humanitaire vise ici à travailler en amont des menaces afin qu'il y ait moins de victimes et de dégâts matériels.

VI.4.2 Déroulement de la réduction des risques de catastrophe

a) Préparation : préparer les gens à bien réagir face aux menaces

Ceci implique une analyse approfondie de la vulnérabilité de la population et de tous les risques potentiels. Cette préparation passe par la mise en place de systèmes d'alerte, de brigades et de comités de protection, de centres d'accueil, de routes d'évacuation, ainsi que par l'organisation de formations à la législation sur la prévention et la gestion des risques.

b) Mitigation

Ces actions, entreprises avant et/ou après une catastrophe, sont habituellement de petite envergure, simples et peu coûteuses. Il s'agit par exemple de construire des routes d'évacuation avec de vieux pneus ou encore de creuser des canaux pour diriger les flux d'eau lors de pluies abondantes.

c) Prévention : prévenir les catastrophes

Par le biais de projets à long terme et de réglementations. Ce volet de la RRC repose surtout sur les autorités. Il leur revient en effet de s'attaquer aux causes physiques, sociales, économiques et politiques de la vulnérabilité des populations : violations des droits fondamentaux, discriminations, mauvaise gestion environnementale, difficulté d'accès au crédit, etc.

VI.5 Collaborer à tous les niveaux

Une collaboration optimale entre les acteurs nationaux et internationaux est cruciale pour réduire les risques :

Les personnes concernées qui s'organisent en comités de voisins, en comités de protection civile, en brigades ou équipes de sauvetage locales...

Les ONG et institutions locales et internationales. Exemple : l'Institut national de météorologie.

Les autorités : protection civile, systèmes et comités nationaux et communaux de gestion des risques...

La communauté internationale: les gouvernements et leurs services de coopération au développement et d'aide humanitaire, les instances internationales et les ONG. Exemples: les institutions des Nations Unies (PNUD, FAO).

**PARTIE III : METHODOLOGIE ET
INTERPRETATION DES RESULTATS**

CHAPITRE VII : DONNEES ET METHODES UTILISEES

VII.1 Localisation de la zone d'étude

Mahajanga est une ville portuaire de la côte nord-ouest de Madagascar. Elle se trouve sur le canal de Mozambique, à l'embouchure du fleuve Betsiboka et à 550 km au nord-ouest de Tananarive. Son aire urbaine est estimée à 244 279 habitants en 2014.

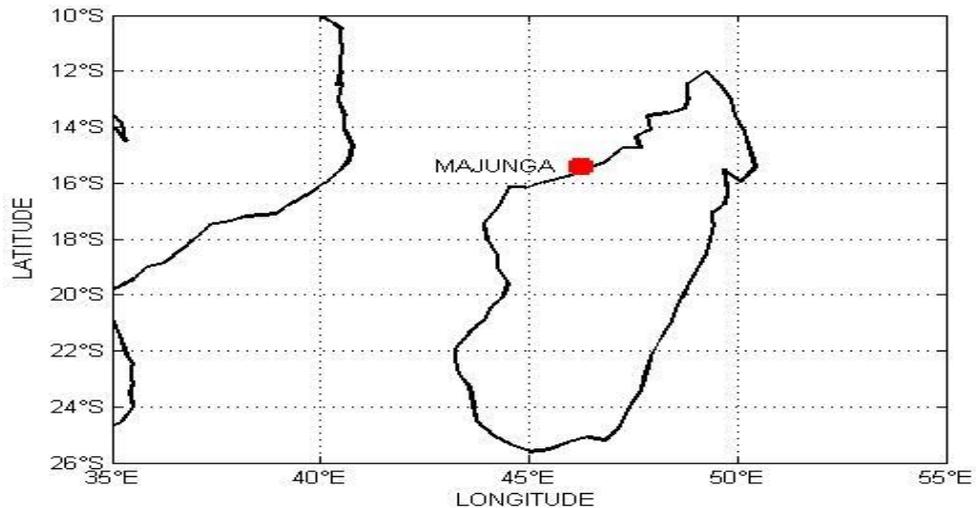


Figure 6: Localisation de la zone d'étude (Mahajanga)

Elle se situe à la latitude $15^{\circ}43'00''$ Sud et à la longitude $46^{\circ}19'00''$ Est. L'altitude au niveau de la mer est de 20m.

VII.2 Données utilisées

Avant de commencer le traitement des données; rappelons brièvement les sources de ces dernières et ses caractéristiques. Les données utilisées sont issues de deux sources différentes: D'une part, celles issues du centre européen ECMWF (European Centre Medium range Weather Forecaster) ou post-traitement des modèles numériques [24].

D'autre part, celles issues des données satellitaires NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) [25].

Les données brutes sont des matrices à trois dimensions spatiaux-temporelle (latitudes, longitudes, jours).

VII.3 Les matériels utilisées

VII.3.1 MATLAB

Le logiciel Matlab constitue un système interactif et convivial de calcul numérique et de visualisation graphique. Destiné aux ingénieurs, aux techniciens et aux scientifiques, c'est un outil très utilisé, dans les universités comme dans le monde industriel, qui intègre des centaines de fonctions mathématiques et d'analyse numérique (calcul matriciel - le MAT de Matlab -, traitement de signal, traitement d'images, visualisations graphiques, etc.).

VII.3.2 Microsoft Office Excel

Microsoft Excel est un logiciel tableur de la suite bureautique Microsoft Office, développée et distribuée par l'éditeur Microsoft.

On l'a utilisé pour certaines opérations.

VII.4 Méthodes utilisés

VII.4.1 Moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique d'une série statistique est la moyenne ordinaire, c'est-à-dire le rapport de la somme d'une distribution d'un caractère statistique quantitatif discret par le nombre de valeurs dans la distribution. Sa formule mathématique se fait comme suit :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=6001

VII.4.2 Moyenne mobile

La moyenne mobile ou moyenne glissante est une notion statistique, où la moyenne au lieu d'être calculée sur n valeurs fixes, est calculée sur n valeurs consécutives « glissantes ». Ce type de calcul est aussi utilisé en informatique pour minimiser la taille mémoire nécessaire au stockage des valeurs intermédiaires. Cette moyenne est dite mobile parce qu'elle est recalculée de façon continue, en utilisant à chaque calcul un sous-ensemble d'éléments dans lequel un nouvel élément remplace le plus ancien ou s'ajoute au sous-ensemble. Différentes formules de moyennes glissantes existent, par exemple pour une moyenne glissante de période n :

$\bar{x}_0 = x_0$ (Une moyenne mobile de période 0 ne prend qu'un terme)

$$\bar{x}_n = \frac{\bar{x}_{n-1}(n-1) + x_n}{n} \quad (\text{Formule de récurrence})$$

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne>

VII.4.3 Anomalie

Le paramètre étudié présente une anomalie lorsqu'il marque une différence par rapport à la moyenne ou aux régions alentour. Ici la moyenne étant définie sur une période de 30 ans (de 1983 à 2012). Par exemple, l'anomalie de température est donc la différence entre la température moyenne à long terme (parfois appelé une valeur de référence) et la température qui se passe réellement. En d'autres termes, la température moyenne à long terme est celle qui serait attendue; l'anomalie est la différence entre ce que vous attendez et ce qui se passe. Une anomalie positive signifie que la température est plus chaude que la normale; une anomalie négative indique que la température est plus froide que la normale. L'anomalie se définit comme suit:

$$A = x_i - \bar{x}$$

A : Anomalie x_i : Valeur de l'année i \bar{x} : Moyenne de la série 1983 – 2012

<http://www.climat-quebec.qc.ca/htdocs/map/help/fr/archives/definition.html>

VII.4.4 Test de Pettitt

Le test de Pettitt est un test non-paramétrique et libre. Ce test ne nécessite aucune hypothèse quant à la distribution des données. Le test de Pettitt est une adaptation du test de Mann-Whitney, permettant d'identifier le temps auquel se produit un changement. Ce test est réputé robuste et ses performances en terme de puissance sont supérieures à celle du test de Mann-Whitney connu également sous l'appellation <<test de Wilcoxon>>. L'absence d'une rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N , les séries chronologiques $(X_i)_{i=1}^t$ et $(X_i)_{i=t+1}^N$ appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

$$\text{Ou } D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \begin{cases} \text{sgn} = 1 \text{ si } X > 0 \\ \text{sgn} = 0 \text{ si } X = 0 \\ \text{sgn} = -1 \text{ si } X < 0 \end{cases}$$

Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de U_t , N pour t variant de 1 à $N-1$. Si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, probabilité de dépassement la valeur K est donnée approximativement par :

$$\text{prob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

[Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28, n°2, pp 126-135.](#)

CHAPITRE VIII : INTERPRETATIONS DES RESULTATS

VIII.1 Analyse quantitative de la pluviométrie

a) Etude de la variabilité de la précipitation journalière

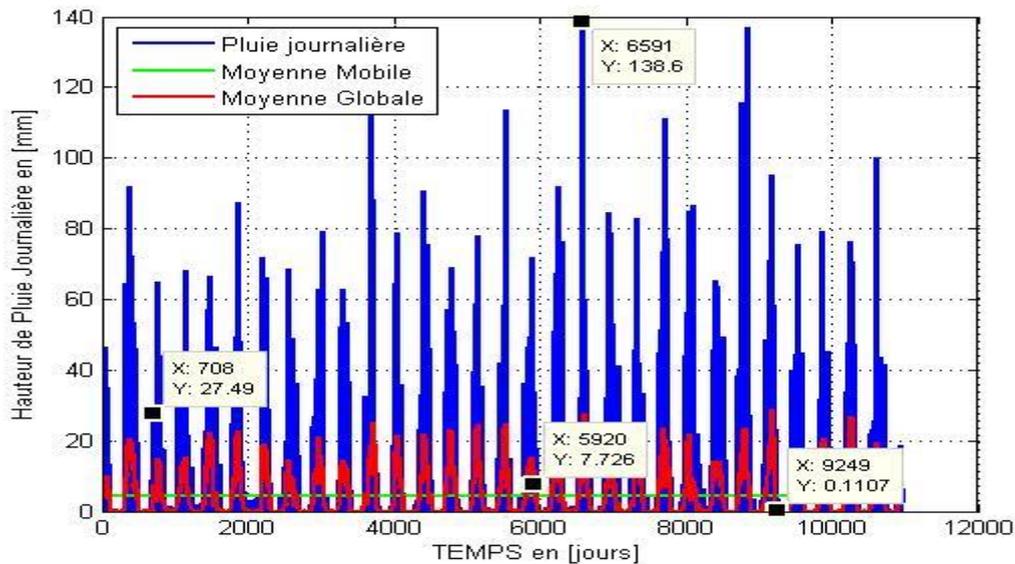


Figure 7 : Variabilités de la précipitation journalière

Cette figure représente la variation de la pluie journalière, de la moyenne globale [courbe en vert] et de la moyenne mobile [courbe en rouge] de 1983 jusqu'en 2012.

En tenant compte de toute la période d'observation, nous remarquons qu'il y a des parties dont la hauteur de pluie journalière est bel et bien importante ce qui fait qu'il y a des précipitations abondantes. La pluie maximale est celle du 6591^{ème} jour qui correspond au 16 janvier 2001. A cette date, il y a eu une totalité pluviométrique fortement importante de 138.6mm. Ces fortes précipitations se situent dans la période cyclonique du mois d'octobre au mois de mars; ce qui déduit que les parties légèrement déficitaires de cette figure marquent la période non cyclonique du mois de mai au mois d'octobre et caractérisent la saison sèche.

La courbe en rouge représente la moyenne mobile et la droite en verte la moyenne globale. Si la courbe en rouge est au-dessus de la droite en verte cela signifie les jours humides par exemple le 5920^{ème} jour (17/03/1999), avec une hauteur de pluie 7.726 et dans le cas contraire c'est la sécheresse, exemple le 27/04/2008 (9249^{ème} jour) avec une hauteur de pluie de 0.857mm.

b) Etude de la variabilité de la précipitation mensuelle

La figure ci-dessous nous montre la variation de la pluie mensuelle, de la moyenne globale [courbe en vert] et de la moyenne mobile [courbe en rouge] de 1983 à 2012 soit 30 années.

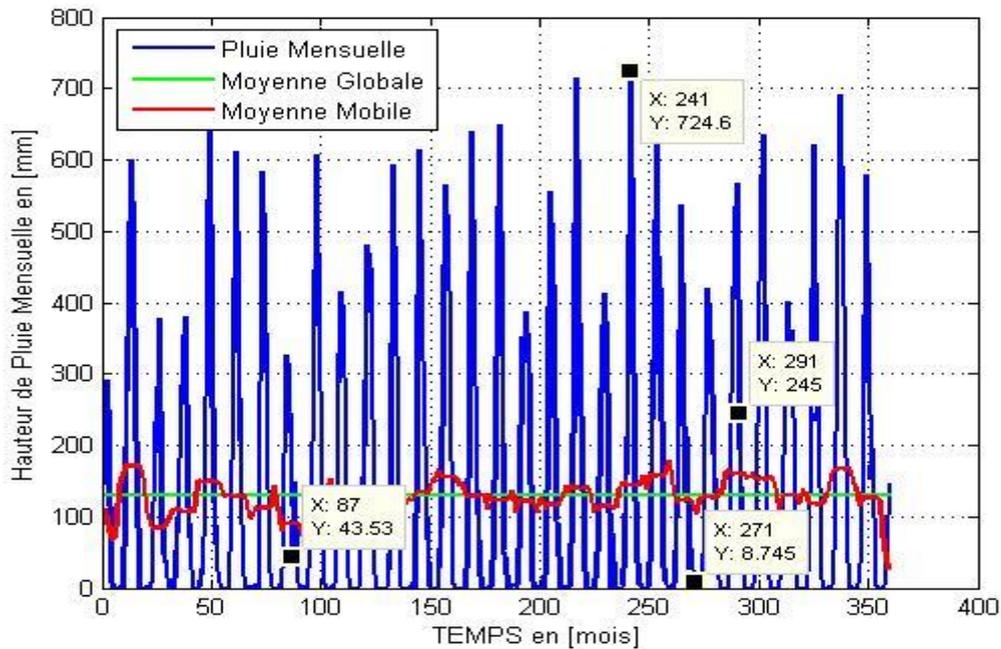


Figure 8 : Variation mensuelle de la précipitation

On observe des précipitations importantes de 724.6mm de hauteur de la pluie au 241^{ème} mois qui correspond en janvier 2003 : c'est la hauteur la plus élevée de la pluie. On observe aussi une répétition de quantité de pluie élevée qui signifie l'existence de période de pluie. Avec des hauteurs de pluie élevée comme février 1985, janvier 1987, janvier 2003, décembre 2005 permettent d'expliquer que généralement les saisons humide reste constante pour chaque année à cause des forte tempête qui frappent la province. La moyenne globale mensuelle est encore constante de même que le graphe précédent [figure 7] avec une hauteur de pluie de 128.7mm. Et la moyenne mobile varie de 1mm à 178,5mm de hauteur de pluie.

Les mois dont la moyenne mobile [courbe en rouge] est au-dessus de la moyenne globale [droite en verte] représente les périodes pluvieuses comme en témoignent le mois de mars 2007 (245mm), dans le cas contraire ce sont les périodes sèches qu'on peut les illustrer par le mois de juillet 2005 (8.745mm)

c) Etude de la variabilité de la précipitation annuelle

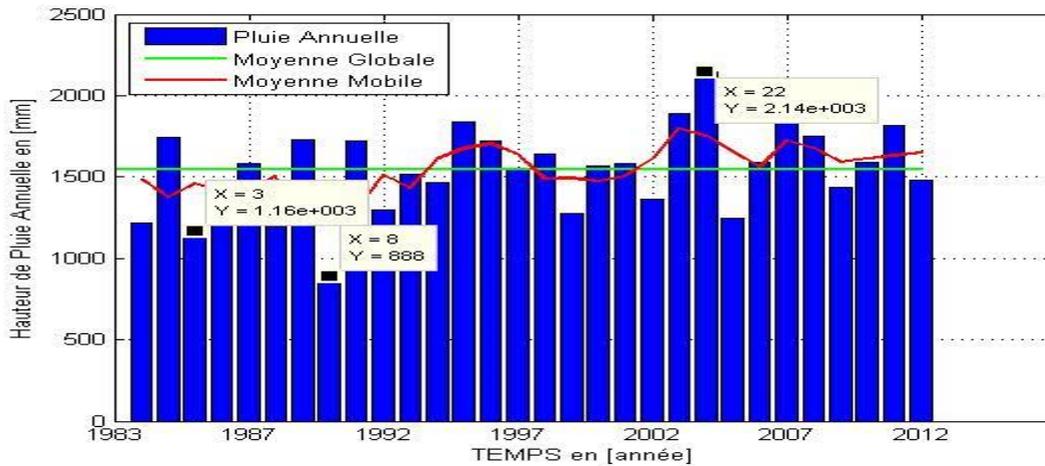


Figure 9 : Variation interannuelle pluviométrique, de la moyenne globale et de la moyenne mobile de 1983 à 2012

Dans chaque année, la pluie subit des variations diverses. La figure 9 représente ces variations. A première vue on s'aperçoit que les variations en question ne sont pas identiques d'une année à l'autre. On peut illustrer ceci par l'année 2004 qui était une année pluvieuse avec une hauteur de pluie de 2140mm. Cette forte précipitation a été causée par un fort cyclone tropical (Gafilo en 2004) ayant touchant le Nord-Ouest de l'île (district de Mahajanga). Les années comme 1985, 1990 avec une quantité de pluie de 1160mm, 888mm sont marquées par des légères précipitations provoquées par le changement climatique.

VIII.1.1 Cumul de pluie

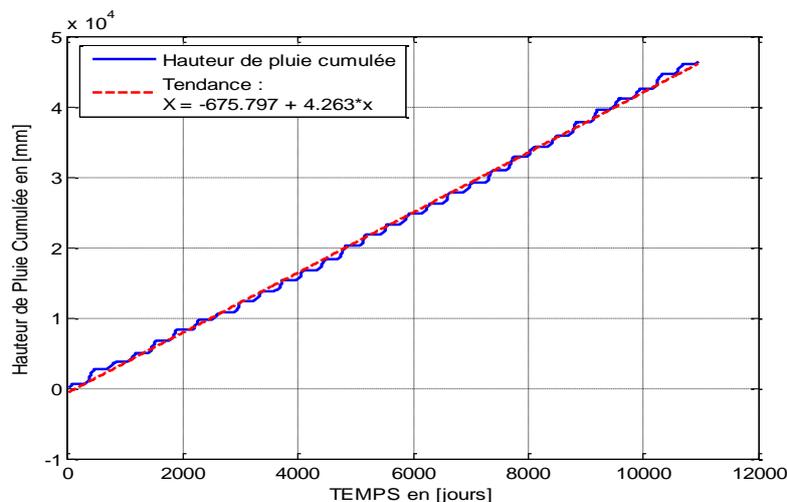


Figure 10: Pluie cumulée de 1983 à 2012

On constate dans cette dernière qu'il n'y a pas de changement dynamique de pluie durant ces 30 années (de 1983 à 2012). La pluie cumulée [Courbe bleu] pendant cette période est presque constante. On constate aussi des petites croissances qui représentent la saison humide et des petites décroissances qui représentent la saison sèche. On constate aussi que chaque pic représente la fin d'une saison et le début d'une autre saison. La droite en rouge représente la tendance d'équation $X = -675.797 + 4.263 * X$.

VIII.1.2 Anomalie annuelle de précipitation à Mahajanga

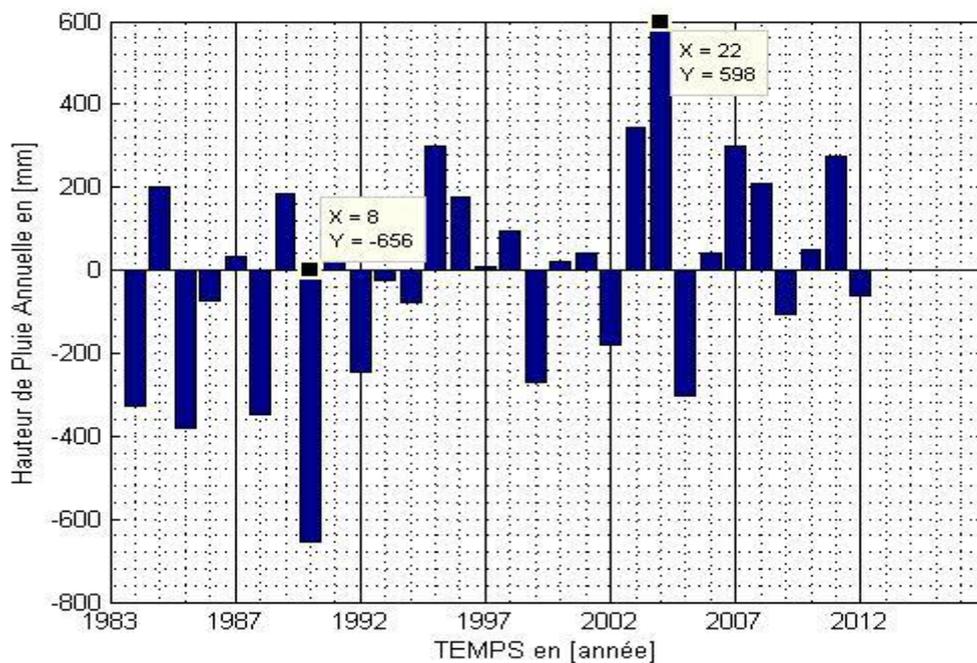


Figure 11 : Anomalie de précipitation

Le paramètre étudié présente une anomalie lorsqu'il marque une différence par rapport à la moyenne. Ici le paramètre étudié est la précipitation. L'origine de l'axe des ordonnées correspond à la moyenne. Par conséquent, si le diagramme est en dessus de l'origine on parle d'excès. Dans le cas contraire on parle de déficit. Par exemple en 1990, la précipitation connaît un déficit car l'anomalie de pluie est négative (-656). Et en 2004 elle excède de 598mm de hauteur de pluie. On remarque que les années bissextiles connaissent des excès de pluie : ce sont des années pluvieuses. A l'exception des années 1988, 1992 et 2012 qui ont connu des déficits d'où des années sèches.

Tableau 4: Classification des années humides et sèches

Année	Anomalie de pluie annuelle	Observation (saison)	Année	Anomalie de pluie annuelle	Observation (saison)	Année	Anomalie de pluie annuelle	Observation (saison)
1983	-326	Sèche	1993	-24.5	Sèche	2003	342	Humide
1984	201	Humide	1994	-76.1	Sèche	2004	598	Humide
1985	-381	Sèche	1995	297	Humide	2005	-301	Sèche
1986	-73	Sèche	1996	175	Humide	2006	43.1	Humide
1987	35	Humide	1997	10.5	Humide	2007	300	Humide
1988	-347	Sèche	1998	95.8	Humide	2008	207	Humide
1989	186	Humide	1999	-269	Sèche	2009	-108	Sèche
1990	-656	Sèche	2000	22.4	Humide	2010	47.8	Humide
1991	177	Humide	2001	40.2	Humide	2011	273	Humide
1992	-244	Sèche	2002	-182	Sèche	2012	-63.1	Sèche

VIII.1.3 Détection de l'année de rupture

Une rupture désigne une modification subite dans les propriétés d'un processus aléatoire.

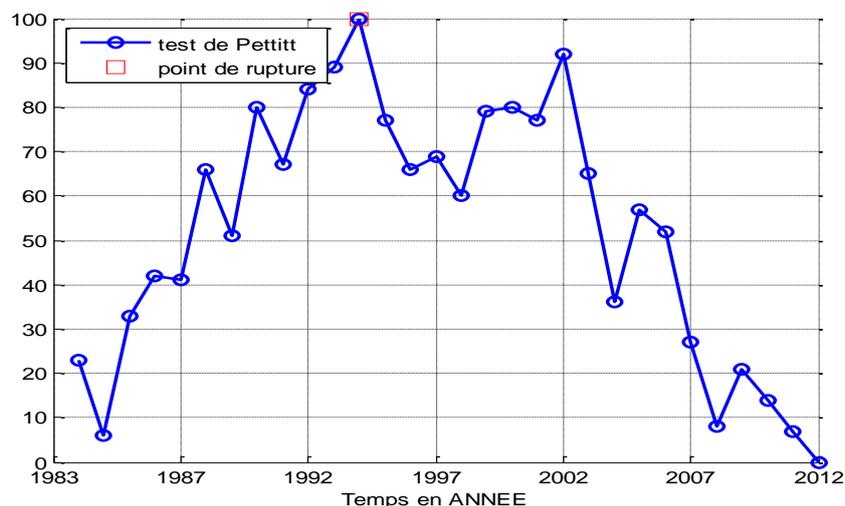


Figure 12: Année de rupture

L'application du test de Pettitt a permis d'identifier l'année de rupture pluviométrique de Mahajanga durant 30 ans [Tableau 5]. La quantité de pluie est importante de 1983 à 1994. A partir de cette année la quantité de pluie commence à régresser jusqu'en 2012.

Tableau 5: Analyse de la variabilité pluviométrique après test de pettitt

Période	Année de rupture	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture
1983 à 2012	1994	1417	1620

VIII.2 Moyenne climatologique de la température à Mahajanga

a) Température journalière

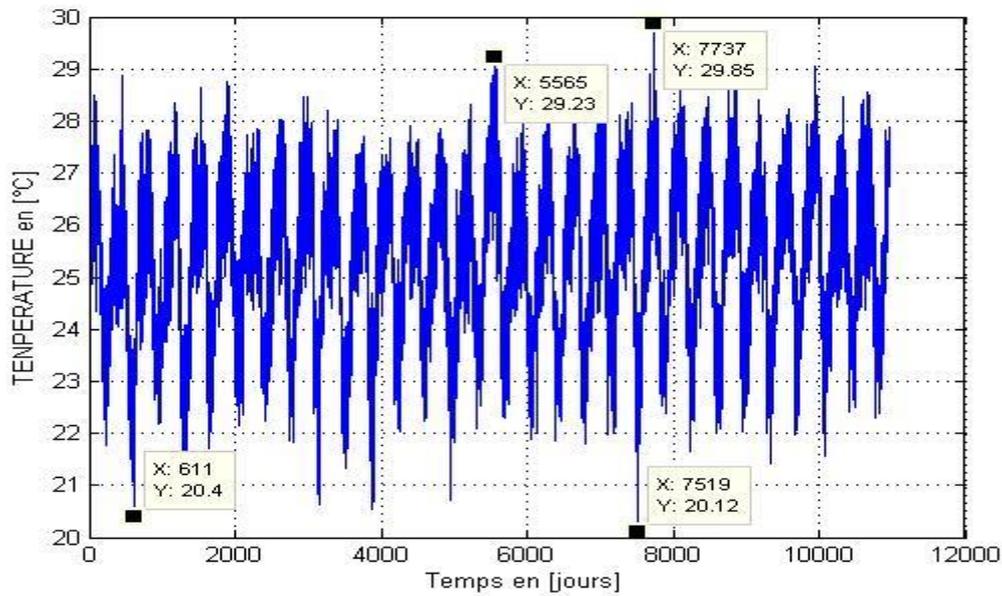


Figure 13: Fluctuation de la température journalière

Cette figure représente la fluctuation journalière de la température durant la période d'étude de 1983 à 2012 soit 10 958 jours. Un signal pseudopériodique est enregistré. On observe une alternance des pics et des creux. Entre les valeurs maximales ou les valeurs minimales, les intervalles de temps ne sont pas réguliers. Par exemple entre le premier et le deuxième pic, Le nombre de jour enregistré est de 399 jours, tandis qu'entre le deuxième et le troisième le nombre de jours est de 255. On observe aussi deux températures minimales 20.4°C observé au 611^{ème} jour date du 07 septembre 1984 et 20.12°C au 7519^{ème} jour qui correspond à la date 02 Aout 2003. Ces deux températures sont distantes de 6 908 jours soit 19 ans et 2 mois. D'autre part, aux amplitudes du 7737^{ème} jour date du 07mars 2004 et du 5565^{ème} jour (27 mars 1998) la température atteint les valeurs maximales qui sont respectivement 29.85°C et 29.23°. Ainsi la température journalière varie de 20.12°C à 29.85°C.

b) Température annuelle

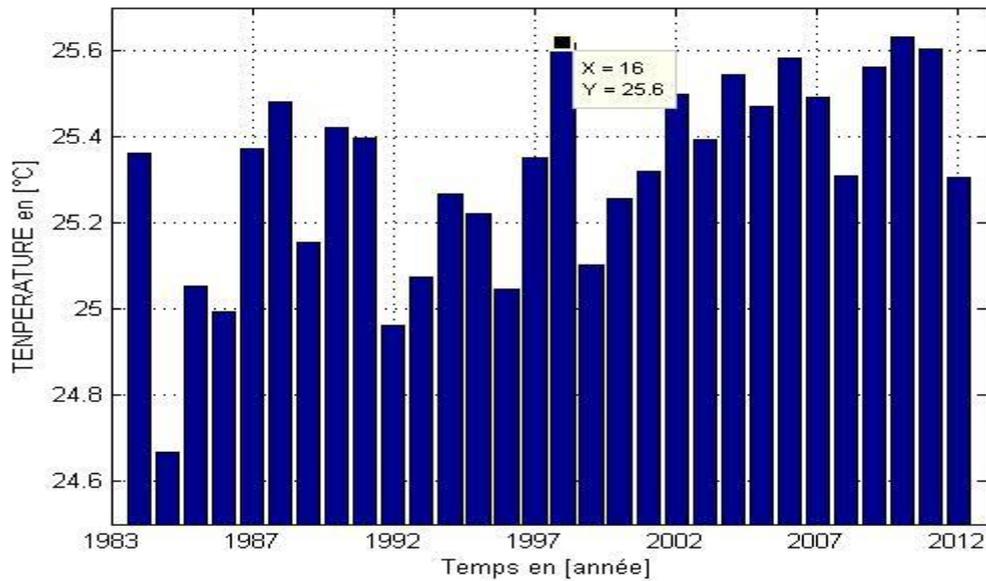


Figure 14 : Température annuelle

La figure 14 illustre la moyenne annuelle de la température au district de Mahajanga de 1983 à 2012. L'axe des abscisses représente le temps en année et celle des ordonnées représente la température en °C. La température annuelle varie entre 24.7°C à 25.6 °C. On observe une variation aléatoire de 1983 à 1997 et une augmentation à partir de 1998 (température égale à 25.6°).

VIII.2.1 Anomalie de température

a) Anomalie annuelle de température

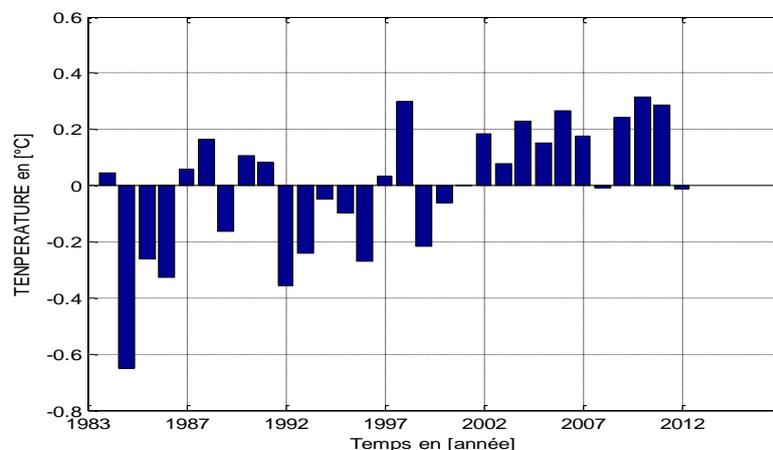


Figure 15: Anomalie annuelle de température

Cette figure montre l'évolution de l'anomalie annuelle de température de 1983 à 2012. L'anomalie varie entre -0.8°C et 0.6°C . Le zéro de l'axe des ordonnées correspond à la moyenne de la température annuelle. Cette moyenne est égale à 25.3168 . On remarque que l'anomalie est en déficit de 1983 à 1997. Cela signifie que c'est la saison fraîche qui prédomine durant cette période. Et à partir de 1998 on remarque une augmentation de la température d'où l'anomalie annuelle de température connaît un excès. On remarque aussi que toutes les années bissextiles connaissent un déficit. Cela signifie qu'elles sont classées comme étant des années froides excepté les années 1988 et 2004 qui ont connu un excès de température. Et à partir de 2001 les années non bissextiles connaissent des excès, elles sont donc toutes des années chaudes.

b) Anomalie de la température annuelle avec moyenne mobile

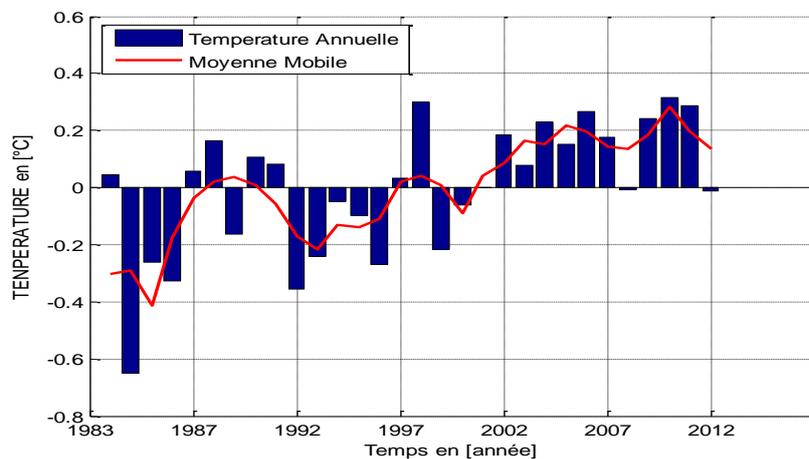


Figure 16: Anomalie avec moyenne mobile de la température annuelle

La courbe en rouge représente la moyenne mobile. Cette moyenne a une allure pseudo périodique. On observe que de 1983 jusqu'à 2000 la moyenne mobile est en dessous de l'origine de l'axe des ordonnées c'est à dire de la moyenne annuelle de température. Cela signifie qu'en moyenne cette période connaît un déficit de température donc une période froide. Et à partir de 2001 jusqu' 2012, cette période connaît un excès de température car la moyenne mobile est en dessus de la température moyenne annuelle. C'est une période chaude.

c) Anomalie avec tendance

Une tendance est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire.

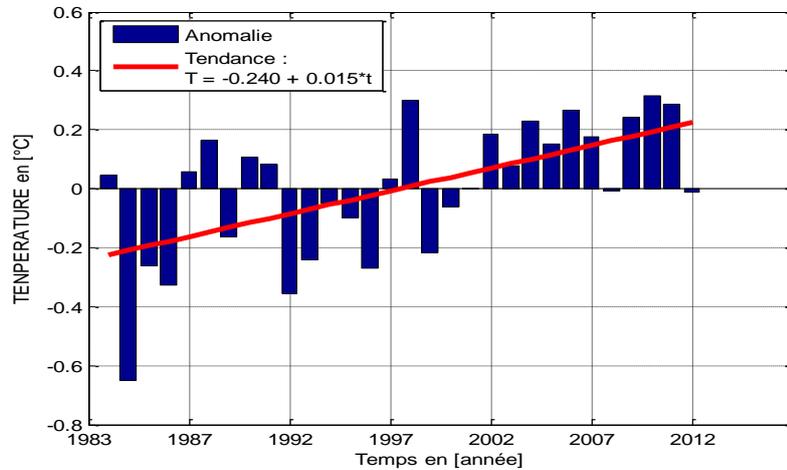


Figure 17: Anomalie de la température annuelle avec tendance

L'analyse statistique des anomalies de températures annuelles montre que durant la période étudiée (1983 à 2012), les températures ont connu une tendance nette à la hausse. Les résultats de l'application du calcul des anomalies par rapport à la moyenne de périodes étudiées, confirment ces anomalies positives à partir de l'année 1997. Le coefficient est positif (0.015), donc il y a une tendance vers la hausse d'équation : $T = -0.240 + 0.015 \cdot t$

VIII.3 Diagramme ombrothermique

Définition

Le diagramme ombrothermique est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles en un lieu donné. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures. Les précipitations mensuelles sont représentées par une courbe bleue et les températures mensuelles par une courbe rouge. L'intérêt du diagramme ombrothermique est qu'il permet d'un seul coup d'œil de caractériser un climat.

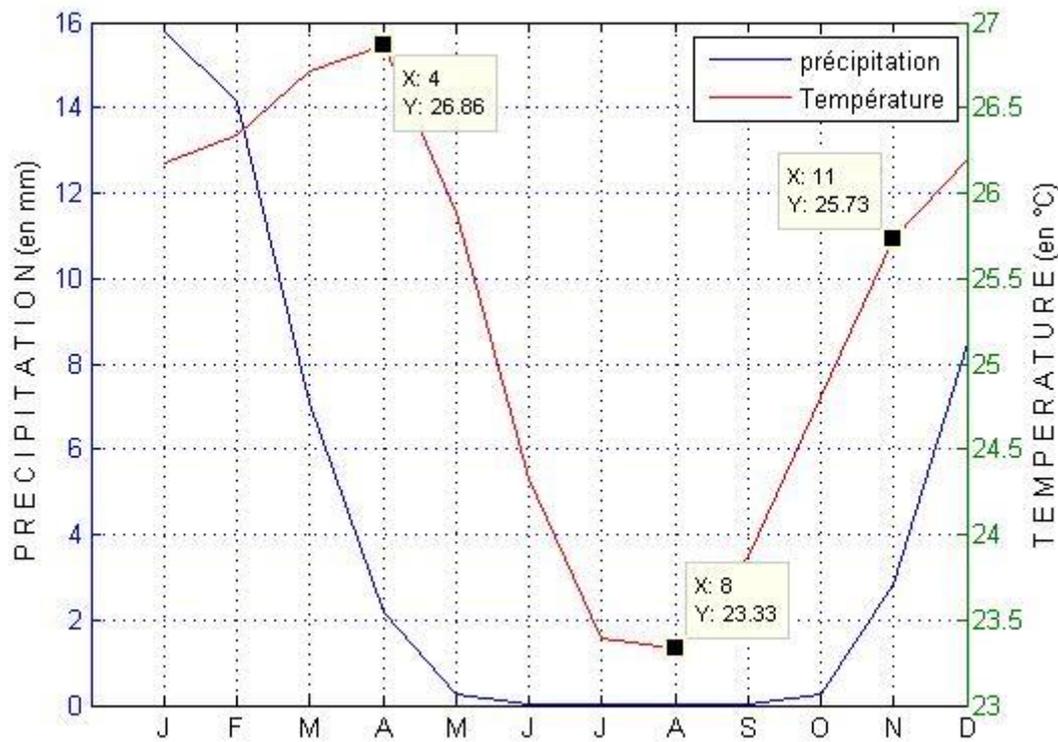


Figure 18 : Diagramme ombrothermique

La température est de 25.73°C au mois de novembre et de 26.86°C au mois d'avril qui correspond au mois le plus chaud de l'année: c'est la saison chaude. La température du mois le plus froid est de 23.33°C au mois d'août. La saison sèche dite saison fraîche commence au mois de mai pour s'achever au mois d'octobre.

C'est la saison des pluies qui commence au mois de novembre (précipitation 2.825mm) jusqu'au mois d'avril (précipitation 2.164 mm). Et de mai à Octobre les précipitations sont très faibles quasiment nulles.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons analysé l'évolution de la précipitation et de la température pendant 30 ans à compter du 1^{er} janvier 1983 jusqu'au 31 décembre 2012 dans la province de Mahajanga. Notre zone d'étude se situe à la latitude 15°43' Sud et à la longitude 46°19' Est sur la partie de la côte Nord-Ouest de Madagascar. Pour faire la prévisibilité de ces paramètres à l'échelle intra saisonnière, nous avons utilisé plusieurs méthodes : traitement des données par le logiciel Matlab, calcul de la moyenne climatologique et moyenne mobile, calcul de l'anomalie de précipitation et de température, détection de l'année de rupture par l'application du test de Pettitt, et la construction du diagramme ombrothermique. L'application de ces méthodes nous a permis de mettre en évidence la variation des précipitations et de la température afin de prévoir les risques sur l'impact du changement climatique. Les résultats de l'analyse montre que :

La température journalière de Mahajanga durant les 30 années d'étude varie dans l'intervalle de 20 à 30°C et est pseudopériodique. Le jour le plus froid est le 02 août 2003 avec une température de 20.12°C et les années 1998 et 2010 correspondent aux années les plus chaudes avec une température de 25.6°C. Le diagramme de la moyenne climatologique annuelle nous montre que pendant toutes les années bissextiles, les températures sont en déficit excepté les années 1988 et 2004.

La moyenne climatologique et la moyenne mobile, ont permis de faire la répartition temporelle des saisons : saison pluvieuse (ou saison chaude) et saison sèche (ou saison fraîche). La saison pluvieuse durant l'été austral étant rencontrée aux mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars tandis que la saison sèche durant l'hiver commence au mois de Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre. Les mois d'avril et Octobre appartiennent à la fois en partie dans la saison pluvieuse et à la saison sèche. La quantité de pluie varie chaque année et ne présente aucune tendance. L'analyse quantitative de la pluviométrie de notre zone d'étude nous montre que la hausse de quantité de pluie se situe dans les deux ou trois premiers mois de l'année et dans les deux derniers mois de l'année. Et les autres mois ont une quantité pluviométrique relativement faible. La quantité de pluie est quasiment nulle au mois d'août.

Finalement, on peut donc dire que notre analyse dépend essentiellement du calcul de la moyenne climatologique, de l'anomalie et du test de Pettitt. Ces derniers ont permis de détecter l'année de rupture de pluie et de calculer les excès et les déficits de la température et

de la pluie. La quantité de pluie et la variation de la température sont pseudopériodiques. Mahajanga est une ville chaude. Il n'y a pas de brusque changement de température sauf en 1984. La connaissance des caractéristiques pluviométriques et de la température permet de savoir les mois les plus vulnérables aux catastrophes.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- [1] « Précipitations », *Grand dictionnaire*, sur *Office québécois de la langue française* (consulté le 30 octobre 2014)
- [2] « Précipitations », *Lexicographie*, sur *Centre national de ressources textuelles et lexicales* (consulté le 30 octobre 2014)
- [3] [fr.wikipedia.org/wiki/précipitation](http://fr.wikipedia.org/wiki/pr%C3%A9cipitation)
- [4] « Condensation », *Glossaire*, Météo-France (consulté le 30 juillet 2014)
- [5] « Coalescence », *Glossaire*, Météo-France (consulté le 30 juillet 2014)
- [6] « Effet Bergeron », *Comprendre la météo*, Météo-France (consulté le 30 juillet 2014)
- [7] Organisation météorologique mondiale, « Accumulation », *Glossaire de la météorologie*, sur *Eumetcal* (consulté le 17 octobre 2013)
- [8] Gille Moline : « Mesures de la précipitation », Octobre 2004
- [9] SAIFOU-DINE Aliane Toiha : « Prévision à court et moyen terme de la pluviométrie à la Grande Comores » mémoire de DEA en physique de l'Université d'Antananarivo, 13 Octobre 2007
- [10] Ch.P. PEGUY : « Précis de Climatologie » 2eme Edition revue et remaniée, Masson & Cie, 1970.
- [11] Klein-Tank AMG and all. 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology* 22: 1441-1453.
- [12] fr.wikipedia.org/wiki/pluviométrie.2013
- [13] <http://www.passion-meteo.net/decouverte/cyclone.htm>(consulté le 05 / 03 / 15)
- [14] NOTT J. (2006). *Extreme Events: a physical reconstruction and risk assessment*. Cambridge, Cambridge University Press, 297 pages

[15] Patrice Melé et Corinne Larrue, Territoires d'action : Aménagement, urbanisme, espace, le Harmattan, coll. « Itinéraires géographiques », 2008, 274 p. (ISBN 2296063047), p. 200

[16] Helga-Jane Scarwell et Richard Laganier, Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2004, 241 p. (ISBN 2859398708), p. 21

[17] DE GARINE, I. (1993) "Coping Strategies in Case of Hunger of the most Vulnerable Groups among the Massa and Mussey of Northern Cameroon ". *GeoJournal*, 30.2 :159-166. [En ligne, consulté le 06/03/13]

[18] COULOMBIER et al. (1998), Mission épidémiologique sur les conséquences sanitaires du passage de l'ouragan Mitch en Amérique Centrale. Institut National de Veille Sanitaire [en ligne, consulté le 26/10/12], 306 p

[19] *Zones Humides Infos* n°82-83, 2014, Zones humides, submersions et inondations

[20] NOTT J. (2006). *Extreme Events: a physical reconstruction and risk assessment*. Cambridge, Cambridge University Press, 297 pages

[21] Drought affecting US hydroelectric production = 35 & id- Sub = 175 & ID Article = 12286

[22] Texas Forêt - Texas Forest Service description of the Keetch-Byram Drought Index (KBDI) from 27 December 2002

[23] Australiens visage de serpent Invasion

[24] <http://iridl.ldeo.columbia.edu/source/.NOAA/.NCEP/.CPC/.FLEWS,2013>

[25] www.ecmwf.int/ data server for free data downloads

**TITRE : ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA PRECIPITATION ET DE LA
TEMPERATURE DE 1983 - 2012 DANS LE DISTRICT DE MAHAJANGA ET LES MESURE
A PRENDRE POUR GERER ET REDUIRE LES RISQUES CAUSEES PAR CES
PHENOMENE**

RESUME :

Ce travail consiste à analyser l'évolution de la température et de la quantité de pluie d'une saison de 1983 à 2012 à Mahajanga dans la partie Nord-Ouest de Madagascar qui est délimitée par la latitude 15°43'Sud et la longitude 46°19'Est. Le but de ce travail est de poursuivre des études engagées sur la variation de la température et de connaître l'évolution pluviométrique pour avoir une précision des différentes saisons, ainsi que l'évolution au fil du temps afin de pouvoir gérer et réduire les conséquences des catastrophes qui peuvent être causées par ces phénomènes et d'améliorer des systèmes d'alerte précoce. La variation de la température et la quantité de pluie de 1983 à 2012 ont été analysé suivant le calcul de la moyenne climatologique et de la moyenne mobile. Ces moyennes nous ont permis de différencier les saisons. C'est-à-dire la saison pluvieuse durant l'été australe de mi-octobre au mois d'Avril, et la saison sèche durant l'hiver du mois de Mai à mi-octobre. Le Diagramme ombrothermique nous a permis d'un seul coup d'œil de caractériser le climat de la province.

Mots clés : Température, moyenne climatologique, moyenne mobile, évolution pluviométrique, partie Nord-Ouest de Madagascar, diagramme ombrothermique

**TITLE: ANALYSIS OF EVOLUTION OF PRECIPITATION AND TEMPERATURE 1983 –
2012 IN THE DISTRICT MAHAJANGA AND MEASURE TO TAKE TO MANAGE AND
REDUCE THE RISK CAUSED BY THIS PHENOMENON**

SUMMARY:

This work is to analyze the evolution of the temperature and the amount of rain in a 1983 season in 2012 in Mahajanga in the northwestern part of Madagascar which is delimited by the 15 ° latitude and longitude 43'Sud 46 ° 19'Est. The purpose of this work is to pursue studies undertaken on the change in temperature and rainfall know the evolution to be accurate in different seasons, and changes over time in order to manage and reduce the impact of disasters that can be caused by these phenomena and to improve early warning systems. The variation of temperature and rainfall from 1983 to 2012 has been analyzed following the calculation of the climatological average and the moving average. These averages have allowed us to differentiate the seasons. That is to say the rainy season during the southern summer from mid-October to April, and the dry season during the winter months of May to mid-October. The ombrothermic diagram allowed us a glance to characterize the climate of the province.

Keywords: Temperature, climatological average, moving average, rainfall evolution, northwestern part of Madagascar, ombrothermic diagram

ENCADREUR: Professeur Titulaire RATIARISON Andriamanga Adolphe	IMPETRANT: DAHMANI Ahamada Tel : +261 34 96 075 51 E-mail : ahamada.dahmani@gmail.com Lot VS 54 FBF A Ambolokandrina Antananarivo-Madagascar
---	---