

## **SOMMAIRE**

REMARCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE I : NOTION GENERALE SUR LA VARIABLE TEMPERATURE

CHAPITRE I : NOTION DE TEMPERATURE :

PARTIE II : CATASTROPHES CAUSEES PAR LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

CHAPITRE II : LES SECHERESSES

CHAPITRE III : LES CYCLONES

CHAPITRE IV : LES INONDATIONS

CHAPITRE V : MESURES ADOPTEES DANS LA GESTION ET REDUCTION DES RISQUES DE CATASTROPHES

PARTIE III : METHODES ET ANALYSE DES DONNEES

CHAPITRE VI : PRESENTATION DES DONNEES ET METHODES UTILISEES

CHAPITRE VII : RESULTAT ET INTERPRETATION

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES

TABLE DE MATIERE

RESUME

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aperçu de la composition de l'atmosphère .....	8
Figure 2 : Aperçu d'un cyclone tropical .....	14
Figure 3 : Aperçu d'un cyclone extratropical .....	15
Figure 4 : Image d'une inondation s'écoulant sur un pont.....	18
Figure 5 : Schéma illustrant la structure globale de la GRC .....	25
Figure 6 : Schéma illustrant la liaison de différentes phases de la GRC .....	28
Figure 7 : Localisation de la zone d'étude .....	29
Figure 8 : Les principales fenêtres du travail sur MATLAB .....	31
Figure 9 : Moyenne journalière de la température .....	34
Figure 10 : Moyenne mensuelle de la température .....	35
Figure 11 : Moyenne annuelle de la température .....	36
Figure 12 : Anomalie standardisée de la température .....	37
Figure 13 : Moyenne mensuelle climatologique .....	38

## **LISTE DES ACRONYMES**

**DYACO** : dynamique de l'atmosphère du climat et des océans

**GRC** : gestion de risque et de catastrophe

**SI** : système international

**CNGRC** : conseil national de gestion des risques et des catastrophes

**BNGRC** : bureau national de gestion des risques et des catastrophes

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I : Comparaison des échelles de température .....	2
Tableau II : Composition chimique de l'air sec.....	6
Tableau III : Tableau récapitulatif des valeurs observées dans la figure 13.....	39

## INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, l'augmentation de la température est devenue un problème majeur mondial surtout dans le domaine environnemental. A cause de l'évolution de la science et de la technologie, la planète terrestre est devenue quasi artificielle. A force de s'appuyer sur les produits technologiques et substances chimiques, l'environnement et l'air atmosphérique sont devenus presque nocifs, et cela touche toutes les régions mondiales. Durant cette dernière décennie, la température ne cesse de s'accroître, et les conséquences sont bien visibles car depuis le début de cette variation, de nombreuses maladies ont apparues sur terre. De ce fait, le réchauffement climatique est devenu une problématique planétaire car l'augmentation de la température ne fait que surprendre le monde à chaque année. Cette variation s'explique par de multiples causes, à savoir l'émission du dioxyde de carbone issue de l'industrie de la fabrication du ciment, et l'augmentation des gaz à effet de serre. D'autres phénomènes comme la déforestation ou les causes anthropiques jouent un très grand rôle dans le changement climatique. Ce dernier est devenu actuellement incontrôlable, et les saisons le sont aussi. A cause de cela, beaucoup de catastrophes naturelles à l'exemple des sécheresses ou des épidémies apparaissent presque de façon régulière dans tous les continents. Les risques qui peuvent être liés directement aux catastrophes climatiques forment un enjeu majeur pour la communauté internationale.

L'objectif de notre travail est d'étudier la variation de la température d'AMBATONDRAZAKA de 1979 à 2014 afin de mieux gérer les catastrophes causées par ce phénomène. AMBATONDRAZAKA est une ville de Madagascar située dans la province de Tamatave. Elle est le chef-lieu de la région d'Alaotra-Mangoro et du district d'AMBATONDRAZAKA . Cette dernière se situe géographiquement à la latitude 17°83'Sud et la longitude 48°4'Est, et se trouve à 835m d'altitude.

Notre étude comporte 3 grandes parties :

- Dans la première partie, nous allons décrire de façon générale la variable température.
- La deuxième partie se basera sur les catastrophes causées par le réchauffement climatique et les mesures à prendre pour mieux gérer ce phénomène.
- La dernière partie comprendra les méthodes et les données utilisées dans cet ouvrage pour accéder enfin à la conclusion.

# **PARTIE I : NOTION GENERALE SUR LA VARIABLE**

## **TEMPERATURE**

### **Chapitre I.NOTION DE TEMPERATURE :**

#### **I.1 définition de la température:**

La température se définit comme une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement. En physique, elle se définit de plusieurs manières : comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules (en théorie cinétique des gaz), par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou à partir de l'entropie (en thermodynamique et en physique statistique). La température est une variable importante dans d'autres disciplines : météorologie et climatologie, médecine, et chimie<sup>[1]</sup>.

#### **I.2 Mesure de la température :**

##### **I.2.1 Echelles de température :**

L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle la glace (formée d'eau) fond à 0 °C et l'eau bout à environ +100 °C dans les conditions standard de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit où la glace fond à +32 °F et l'eau bout à +212 °F. L'unité du système international d'unités (SI), d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu, est le kelvin<sup>1</sup> dont la graduation est presque identique à celle des degrés centigrades<sup>[2]</sup>.

**Tableau I : Tableau de comparaison des échelles de température<sup>[3]</sup>**

Echelle	°C	°F	k
Zéro absolu	-273,15	-459,67	0
Fusion	0	32	273,15
Ebullition	99,98	212	373,13

L'unité légale de température dans le système international est le kelvin de symbole K (noter l'absence du symbole ° car ce n'est pas une échelle de mesure). Il existe d'autres systèmes de mesures antérieurs et toujours utilisés : les échelles Celsius, centigrade, Fahrenheit et Rankine [4].

a) **Le kelvin**

Il est défini à partir du point triple de l'eau : un kelvin est égal à  $1/273,16$  fois la température du point triple de l'eau. Le zéro absolu, correspondrait à la limite à une absence totale d'agitation microscopique et à une température de  $-273,15$  °C ; mais on ne peut jamais l'atteindre (penser que l'entité physique est plutôt  $1/T$ , et on ne peut jamais atteindre l'infini). Cette unité permet de définir une échelle absolue des températures [5]

b) **Le degré Celsius**

C'est le kelvin auquel on retire  $273,15$  K<sup>7</sup>. Son unité est le °C. Elle est une simple translation de l'échelle absolue (voir ci-après). La température du point triple de l'eau y a donc pour valeur  $0,01$  °C [6].

c) **Les échelles centigrades**

L'échelle de mesure est telle que 0 et 100 sont fixés. Elle est appelée centigrade car les deux points de référence sont distants de  $100^\circ$ . Entre les deux, c'est la dilatation du mercure qui définit l'échelle. Par exemple dans l'échelle centigrade, le zéro correspond à la température de la glace fondante et 100 degrés centigrades correspond à la température d'ébullition de l'eau sous une pression de 1 atmosphère [7].

d) **L'échelle fahrenheit**

Son symbole est °F. Elle attribue une plage de  $180$  °F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition. On la déduit de l'échelle Celsius par une fonction affine (voir ci-après). Elle fixe le point de solidification de l'eau à  $+32$  °F et le point d'ébullition à  $+212$  °F [8].

### **I.3. Température atmosphérique :**

#### **I.3.1. Structure de l'atmosphère :**

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la Terre que l'on appelle air.

L'atmosphère protège la vie sur Terre en absorbant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par la rétention de chaleur (effet de serre) et en réduisant les écarts de température entre le jour et la nuit.

Les nuages qui sont liquides, parfois solides, ne sont pas considérés comme des constituants de l'atmosphère. En revanche la vapeur d'eau contenue dans l'air humide représente en moyenne 0,25% de masse totale de l'atmosphère. La vapeur d'eau dispose de la particularité notable d'être le seul gaz de l'atmosphère susceptible de changer de phase, et dont la concentration est très variable dans le temps et dans l'espace.

Il n'y a pas de frontière définie entre l'atmosphère et l'espace. Elle devient de plus en plus ténue et s'évanouit peu à peu dans l'espace. L'altitude de 120 km marque la limite où les effets atmosphériques deviennent notables durant la rentrée atmosphérique. La ligne de Kármán, à 100 km, est aussi fréquemment considérée comme la frontière entre l'atmosphère et l'espace [9].

#### **I.3.2. Description de l'atmosphère :**

La limite entre l'atmosphère terrestre et l'atmosphère solaire n'est pas définie précisément : la limite externe de l'atmosphère correspond à la distance où les molécules de gaz atmosphérique ne subissent presque plus l'attraction terrestre et les interactions de son champ magnétique. Ces conditions se vérifient à une altitude qui varie avec la latitude - environ 60 km au-dessus de l'équateur, et 30 km au-dessus des pôles. Ces valeurs ne sont toutefois qu'indicatives : le champ magnétique terrestre, en effet, est continuellement déformé par le vent solaire. L'épaisseur de l'atmosphère varie donc notablement. En outre, comme l'eau des océans, l'atmosphère subit l'influence de la rotation du système Terre-Lune et les interférences gravitationnelles de la Lune et du Soleil. Comme les molécules de gaz, plus légères et moins liées entre elles que les molécules de l'eau de mer, ont de grandes possibilités de mouvement, les marées atmosphériques sont des phénomènes beaucoup plus considérables que les marées océaniques.

La plus grande partie de la masse atmosphérique est proche de la surface : l'air se raréfie en altitude et la pression diminue ; celle-ci peut être mesurée au moyen d'un altimètre ou d'un baromètre.

L'atmosphère est responsable d'un effet de serre qui réchauffe la surface de la Terre. Sans elle, la température moyenne sur Terre serait de  $-18\text{ °C}$ , contre  $15\text{ °C}$  actuellement. Cet effet de serre découle des propriétés des gaz vis-à-vis des ondes électromagnétiques <sup>[10]</sup>.

### **I.3.3. 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) <sup>[11]</sup>.

**Tableau II : Composition chimique de l'air sec <sup>[12]</sup>**

Gaz de l'air sec	constituants Volumes (en %)	Masses molaires (O = 16,000)
Azote (N <sub>2</sub> )	78,09	28,016
Oxygène (O <sub>2</sub> )	20,95	32,000
Argon (A)	0,93	39,944
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0,035	44,010
Néon (Ne)	1,8 10 <sup>-3</sup>	20,183
Hélium (He)	5,24 10 <sup>-4</sup>	4,003
Krypton (Kr)	1,0 10 <sup>-4</sup>	83,07
Hydrogene (H <sub>2</sub> )	5,0 10 <sup>-5</sup>	2,016
Xénon (Xe)	8,0 10 <sup>-6</sup>	131,3
Ozone (O <sub>3</sub> )	1,0 10 <sup>-6</sup>	48,000
Radon (Rn)	6,0 10 <sup>-18</sup>	222,00

Masse molaire totale de l'air sec : **M = 28,966**

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 <sup>[13]</sup>.

### **I.3.4. Température et Altitude :**

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches (troposphère, stratosphère, mésosphère, thermosphère) d'importance variable : leurs limites ont été fixées selon les discontinuités dans les variations de la température, en fonction de l'altitude. De bas en haut, nous avons les quatre principales enveloppes atmosphériques :

#### **a) La troposphère :**

La température décroît avec l'altitude (de la surface du globe à 8-15 km d'altitude) ; l'épaisseur de cette couche varie entre 13 et 16 km à l'équateur, mais entre 7 et 8 km aux pôles. Elle contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est la couche où se produisent les phénomènes météorologiques (nuages, pluies, etc.) et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux (convection thermique, vents) <sup>[14]</sup>;

#### **b) La stratosphère :**

La température croît avec l'altitude jusqu'à 0 °C (de 8-15 km d'altitude à 50 km d'altitude) ; elle abrite une bonne partie de la couche d'ozone <sup>[15]</sup> ;

#### **c) La mésosphère :**

La température décroît avec l'altitude (de 50 km d'altitude à 80 km d'altitude) jusqu'à -80 °C <sup>[16]</sup> ;

#### **d) La thermosphère :**

La température croît avec l'altitude (de 80 km d'altitude à 350-800 km d'altitude) <sup>[17]</sup>.

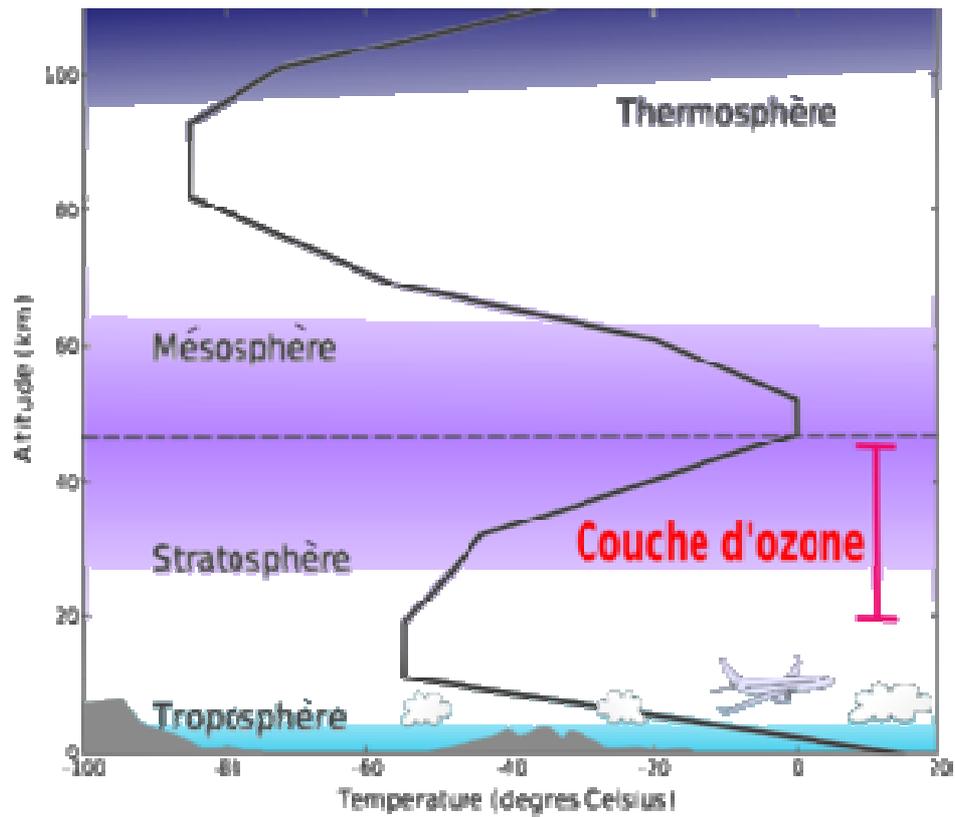


Figure 1 : Image de la composition atmosphérique <sup>[18]</sup>

## **PARTIE II : CATASTROPHES CAUSEES PAR LE** **RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE**

Les sécheresses font plus de victimes et provoquent plus de déplacements de populations que cyclones, inondations et séismes réunis. Ces catastrophes naturelles, moins spectaculaires, sont pourtant moins médiatisées.

### **CHAPITRE II : LA SECHERESSE**

#### **II.1.DEFINTION :**

D'après la définition des climatologues, on parle de sécheresse lorsqu'il n'y a pas eu de précipitations sur une zone pendant une longue période. La sécheresse ne sera pas déclarée de la même façon selon les pays et leur climat. Elle ne doit pas être confondue avec l'aridité. En effet, une région aride peut connaître des épisodes de sécheresse. Le manque de pluie sera une caractéristique permanente du climat de la zone aride. Il s'agit généralement de régions où la pluie est rare et les températures sont élevées. La sécheresse sera donc un phénomène ponctuel sur une zone <sup>[19]</sup>.

#### **II.2. Les différents types de sécheresse :**

Il existe trois types de sécheresses :

a) **La sécheresse météorologique :**

Elle correspond à un déficit prolongé de précipitations <sup>[20]</sup>.

b) **La sécheresse agricole :**

Elle se caractérise par un déficit en eau dans les sols d'une profondeur maximale de 2 mètres, qui a un impact sur le développement de la végétation. Ce type de sécheresse va dépendre des précipitations reçues sur la zone, ainsi que de l'évapotranspiration des plantes. Cette sécheresse sera donc sensible au climat environnant, soit l'humidité, les précipitations, la température ambiante, le vent mais aussi le sol et les plantes.

c) **La sécheresse hydrologique :**

Elle se manifeste lorsque les cours d'eaux (nappes souterraines, lacs ou rivières) montrent un niveau anormalement bas. Les précipitations vont être un facteur clé, mais aussi du type de sol contenant les cours d'eau, selon s'il est perméable ou non ce qui va jouer sur l'infiltration et le ruissellement de l'eau

### **II.2.1. Les causes de la sécheresse :**

Le manque d'eau est la principale cause de la sécheresse. Lorsque l'hiver ou le printemps n'a pas été suffisamment pluvieux, les réserves d'eau ne sont pas assez remplies. Le manque d'eau accompagné de températures élevées va accentuer le phénomène de sécheresse car il y aura davantage d'évaporation et de transpiration des plantes (évapotranspiration) ce qui assèche les sols. Pour être dans des configurations de sécheresse, il faut donc qu'un certain type de temps persiste. Les dépressions sont des phénomènes climatiques (des masses d'air froides et humides ascendantes) qui engendrent des précipitations. Les anticyclones (masses d'air descendantes) vont favoriser l'apport d'air chaud et sec, donc pas de précipitations. Ainsi, pour être dans un état de sécheresse, il faut qu'un anticyclone soit présent pendant une certaine période de temps.

Le manque d'eau et les températures élevées sont donc des causes naturelles de la sécheresse. Les activités humaines vont accentuer la sécheresse. En effet, le manque d'eau va créer un déficit dans les réserves et si ces dernières sont mal gérées, alors la sécheresse sera d'autant plus marquée. L'agriculture, les usines, et les habitations nécessitent un apport important en eau. Seulement, tout n'est pas "nécessaire" à l'homme et parfois, les consommations sont excessives. Ainsi, des restrictions d'eau doivent être mises en place pour ne pas abaisser encore plus le niveau des nappes phréatiques et les cours d'eau qui étaient déjà déficitaires <sup>[21]</sup>.

### **II.2.2. Les mesures à mettre en place en cas de sécheresse :**

Les risques encourus en cas de sécheresse sont principalement le manque d'eau pour la population, mais aussi pour l'agriculture, les animaux et la flore environnante. Ainsi, pour lutter contre ces risques, quelques mesures peuvent être mises en place :

- Constructions de puits, aqueducs ou barrages.
- Transvasements de provisions d'eau pour augmenter l'offre de ressources existantes.
- Epurations des eaux usées, surexploitation des aquifères
- Dessalage de l'eau de mer ou des eaux saumâtres continentales.
- Augmentation artificielle des précipitations (relargage de différents aérosols dans les nuages afin de condenser la vapeur d'eau en eau liquide disponible pour avoir plus de gouttes de pluie).
- Quelques mesures d'exploitation durable :

- Adaptation des cultures et pratiques agricoles afin de diminuer leur consommation en eau.
- Optimisation de l'usage de l'eau en zone urbaine.
- Education environnementale, communication et prévention pour un usage rationnel de l'eau chez les particuliers <sup>[22]</sup>.

### **II .3. Les conséquences des sécheresses :**

Bien que prévisible, la sécheresse est la catastrophe naturelle la plus coûteuse et la plus meurtrière de notre époque. La décision d'en atténuer les effets relève en dernier ressort du pouvoir politique. Il appartient aux gouvernements de tous les pays exposés à ce fléau d'élaborer et de mettre en œuvre, en les adaptant au contexte national, des politiques de lutte contre la sécheresse.

Les principales conséquences de la sécheresse sont :

***Sur la population***, la santé des enfants et des personnes âgées est très fragile et sensibles aux fortes chaleurs car ils n'ont pas le réflexe, ni l'envie de boire pour lutter contre leur déshydratation qui peut tuer ;

***Sur la faune***, de même que pour la population, un manque d'eau affecte les poissons vivant dans l'eau, mais aussi les animaux qui s'abreuvent aux points d'eau ;

***Sur les forêts***, la sécheresse va rendre les arbres plus secs et déshydratés ce qui peut causer leur mort. De plus, une végétation très sèche sera propice aux départs de feux ;

***Sur l'agriculture***, l'irrigation des cultures est affectée par la sécheresse car les réserves d'eau sont faibles ;

***Sur les sols***, en automne, les sols asséchés, qui ont pourtant besoin de se recharger en eau, ne vont plus pouvoir absorber les précipitations, créant des inondations et glissement de terrain ;

***Sur les réserves d'eau potable***, l'alimentation et l'évacuation des eaux ménagères ne se font pas correctement, car le niveau des rivières, des fleuves et des nappes est très bas. Dans certaines zones rurales, l'eau est rationnée ou coupée ;

***Sur la production d'électricité***, l'eau est utilisée pour refroidir certaines centrales nucléaires, elles sont donc coupées pendant les sécheresses et périodes de canicule alors que la demande

en électricité augmente : climatisation, ventilateur, réfrigérateur qui nécessitent beaucoup d'électricité.

Les conséquences de la sécheresse peuvent perdurer longtemps après le retour des pluies : denrées alimentaires rares et chères, ressources en eau peu abondantes, sols érodés et bétail affaibli, sans parler des conflits juridiques et sociaux qui peuvent persister des années durant. Les sécheresses sont souvent suivies d'inondations de grande ampleur qui surprennent les populations au moment où elles sont les plus vulnérables, entraînant un surcroît de souffrances.

Enfin, la sécheresse assèche les sols et altère le bon développement de la faune et de la flore. Ainsi, les incendies sont souvent nombreux en période de sécheresse, et vont émettre des gaz nocifs qui vont polluer l'atmosphère et accentuer l'effet de serre. Avec le changement climatique planétaire, les phénomènes de sécheresse sont de plus en plus récurrents, il est donc important de savoir comment gérer les réserves dans ce cas et surtout, comment s'adapter à un climat qui change extrêmement vite <sup>[23]</sup>.

## **CHAPITRE III : LES CYCLONES**

### **III.1.Définition :**

Un cyclone (du grec *kyklos*, cercle) est un terme météorologique qui désigne une grande zone où l'air atmosphérique est en rotation autour d'un centre de basse pression local. Il s'agit également de « dépression » et de « système cyclonique ». Par extension, la circulation cyclonique est la direction que prendra le flux d'air autour d'une dépression ou d'un creux barométrique, soit antihoraire dans l'hémisphère nord et horaire dans celui du sud <sup>[24]</sup>.

### **III.2. Caractéristiques générales :**

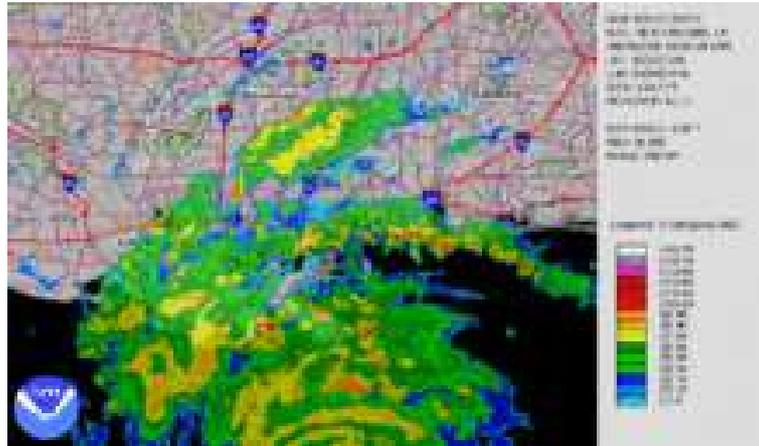
Le cœur du cyclone est une région de basse pression. Le gradient de pression entre le système et les zones de plus haute pression environnantes, engendre un déplacement d'air vers le centre. Plus la différence de pression est importante, plus les vents sont forts. Sous l'effet de la force de Coriolis, ces vents sont déviés vers la droite dans l'hémisphère nord (gauche dans celle du sud) ce qui donne une rotation de l'air autour du centre de basse pression. Ainsi les cyclones auront des sens de rotation différents selon l'hémisphère : dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens horaire dans l'hémisphère sud. Comme la force de Coriolis est nulle à l'équateur et augmente en se dirigeant vers les pôles, la rotation ne peut être induite en général qu'à des latitudes de plus de 5 à 10 degrés. On ne retrouve donc pas de cyclones près de l'équateur.

Finalement, la trajectoire qu'empruntent les cyclones au cours de leur vie dépend de l'endroit où ils se trouvent. Les cyclones tropicaux vont suivre leur source d'énergie, les eaux chaudes, et le cisaillement des vents que leur imposent les systèmes météorologiques environnants. Les dépressions des latitudes moyennes et supérieures vont elles suivre en général le flux des vents d'altitudes, en particulier le courant-jet <sup>[25]</sup>.

#### **III.2.1.Les types de cyclones :**

Il existe plusieurs types de cyclones suivant le lieu où ils se forment, leur source d'énergie et leur structure interne.

### III.2.2. Cyclones tropicaux :



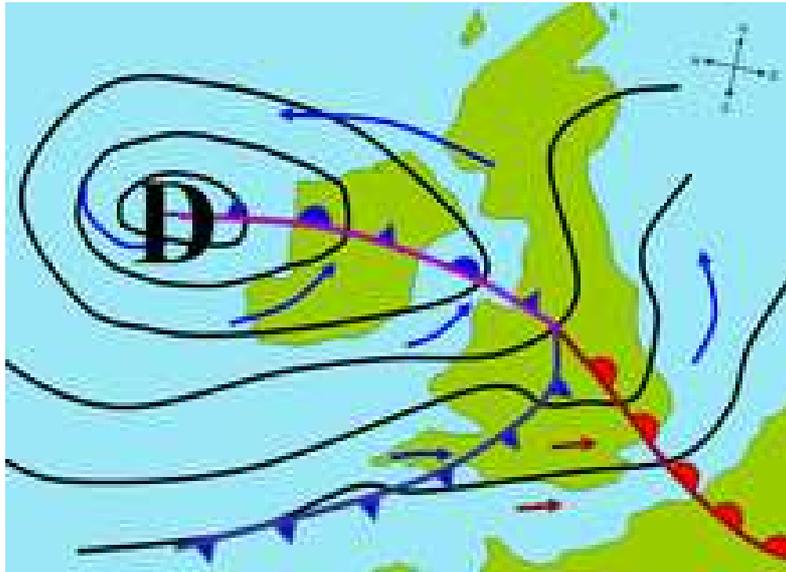
*Figure 2 : Aperçu d'un cyclone tropical* <sup>[26]</sup>

Les cyclones tropicaux, aussi nommés « ouragans » dans l'Atlantique nord, le golfe du Mexique et l'est du Pacifique nord ou « typhons » dans l'ouest du Pacifique nord et la Mer de Chine méridionale, se forment au-dessus des eaux chaudes des mers tropicales et puisent leur énergie dans la chaleur latente de condensation de l'eau <sup>[27]</sup>.

#### **Plusieurs conditions sont nécessaires à la formation d'un tel cyclone:**

- ✚ La température de la mer doit être supérieure à 26 °C, sur une profondeur d'au moins 50 mètres, à l'endroit de la formation de la dépression qui deviendra cyclone.
- ✚ Être suffisamment éloigné de l'équateur pour que la force de Coriolis puisse agir (5 à 10° de latitude).
- ✚ Les vents aux différents niveaux de l'atmosphère doivent être de direction et de force homogènes dans la zone de formation du cyclone. Si les vents de haute altitude soufflent de manière très différente des vents de basse altitude, la formation du cyclone sera contrariée.

### III.3. Les cyclones extratropicaux :



*Figure 3 : Aperçu d'un cyclone extratropical* <sup>[28]</sup>

Un cyclone extratropical, parfois nommé cyclone des latitudes moyennes, est un système météorologique de basse pression, d'échelle synoptique, qui se forme entre la ligne des tropiques et le cercle polaire. Il est associé à des fronts, soit des zones de gradients horizontaux de la température et du point de rosée, que l'on nomme aussi « zones baroclines ». Pour cette raison, ils sont dits à « noyau froid » car le centre du système se situe du côté froid des fronts et la tropopause plus basse (froide) que les régions à l'extérieur du système.

Les cyclones extratropicaux ont donc des caractéristiques différentes des cyclones tropicaux, et des polaires plus au nord, qui sont alimentés par la convection. Ils sont en fait les dépressions météorologiques qui passent quotidiennement sur la majorité du globe. Avec les anticyclones, ils régissent le temps sur la terre, produisant nuages, pluie, vents et orages <sup>[29]</sup>.

#### III.3.1. Cyclones subtropicaux :

Les cyclones subtropicaux sont des cyclones extratropicaux qui présentent certaines des caractéristiques des cyclones tropicaux, comme un cœur devenant chaud. Ils se forment généralement au-delà des tropiques, jusqu'à une latitude de 50° (nord et sud). En effet, on y retrouve une activité orageuse autour de son centre qui tend à lui former un cœur chaud mais

on le retrouve dans une zone frontale faible. Avec le temps, la tempête subtropicale peut devenir tropicale <sup>[30]</sup>.

### **III.3.2. Cyclones polaires :**

Un cyclone polaire est un système dépressionnaire de large envergure passant dans les régions arctiques et antarctiques. Ce sont des systèmes de 1 000 à 2 000 km qui prennent naissance dans les hautes latitudes, zones où les contrastes thermiques sont importants le long du front arctique <sup>[31]</sup>.

## **CHAPITRE IV : Les inondations :**

### **IV.1.Introduction :**

Les inondations sont des catastrophes naturelles qui constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également en Europe et dans le monde entier (environ 20 000 morts par an). En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des hommes et des biens. Pour remédier à cette situation, la prévention reste l'outil essentiel, notamment à travers la maîtrise de l'urbanisation en zone inondable <sup>[32]</sup>.

### **IV.2.Les types d'inondation <sup>[33]</sup> :**

Les inondations résultent d'un certain nombre de conditions météorologiques avec une origine, des caractéristiques et une durée différentes. On en distingue trois grands types :

#### **IV.2.1.Inondations lentes (inondation étendue) :**

Comme les crues du Rhône en 2003, faisant suite à une longue période pluvieuse.

#### **IV.2.2.Inondations brutales (crue-éclair) :**

Ces inondations, après un orage violent ou un ou deux jours de fortes pluies sur sol sec, certaines inondations peuvent violemment endommager les champs, villages et villes, ainsi que de nombreuses infrastructures, comme à Florence en 1966 où l'eau a envahi de nombreux quartiers de la ville, des édifices prestigieux et détruit de nombreuses œuvres d'art entreposées dans les sous-sols des Offices.

#### **IV.2.3.Inondations (ou submersions) marines :**

Ces inondations peuvent être dues à un tsunami, une rupture de digue ou d'écluse, ou à des conditions météorologiques exceptionnelles (exemple : tempête venant de la mer combinée à une dépression importante et une grande marée comme ce fut le cas avec la tempête Xynthia en 2010).

Exemple :



*Figure 4 : Inondation s'écoulant sur un pont* <sup>[34]</sup>.

Certaines crues éclair sont brèves et très localisées. Elles sont généralement dues à des pluies orageuses courtes mais intenses, qui ne parviennent pas à se disperser par infiltration, ruissellement ou écoulement. La cause la plus fréquente de ces inondations est un orage qui se déplace lentement et peut déverser d'énormes quantités d'eau sur une zone limitée en très peu de temps. Les orages qui se déplacent plus rapidement sont moins gênants à cet égard, car ils donnent de la pluie sur une zone plus étendue. Les crues éclair envoient souvent des vallées ou des gorges. Quand l'air humide est poussé vers la montagne, il s'élève, et peut provoquer un orage accompagné de pluies torrentielles. Si le vent maintient l'orage stationnaire, l'eau peut ruisseler sur les pentes de la montagne et descendre jusqu'au fond de la vallée. Les gorges sont comme des entonnoirs qui accélèrent le débit de l'eau, dont la force emporte tout sur son passage.

#### **IV .2.3.1. Conséquences des inondations :**

Les inondations touchent tous les pays du globe mais avec des effets très diversifiés. Ces catastrophes naturelles ont un impact important sur notre société. En 2011, elles ont causé 57,1% du total de victimes de catastrophes naturelles dans le monde. Il est donc primordial d'analyser leurs impacts sur la vie et la santé, sur l'économie, mais aussi sur l'environnement et l'écologie. Les politiques pour enrayer ce phénomène sont nombreuses et ne cessent de se multiplier car la fréquence des inondations est en hausse <sup>[35]</sup>.

#### **IV.2.3.2.Vie et Santé :**

Les désastres hydrologiques sont le type de catastrophe qui a causé en moyenne le plus de victimes (morts et blessés) dans le monde entre 2001 et 2010. Les inondations sont

responsables de plus de 50 000 morts et affectent en moyenne 75 millions de personnes chaque année dans le monde.

Les conséquences des inondations sur la santé sont multiples : elles concernent les maladies, les blessures physiques et la malnutrition. Les maladies infectieuses (choléra, malaria, dengue, leptospirose, fièvre jaune, infections cutanées ou respiratoires, etc.) peuvent être provoquées directement après la catastrophe ou à la suite d'un manque d'hygiène. Ce manque d'hygiène et l'incapacité de se rendre dans un centre de soins ou une pharmacie peuvent conduire à une augmentation du nombre de cas d'autres maladies tel que le VIH. Les maladies psychologiques résultent d'une aggravation mentale qui peut être observée au sein d'une population, des suites de divers événements causés par les inondations (perte de proches, de leur maison, etc.). Ces maladies se caractérisent de multiples façons (perte de la réalité, cauchemar, etc.) et peuvent jouer un rôle prépondérant dans la dégradation de l'état physique de la personne. Les blessures physiques sont essentiellement des membres brisés ou des amputations. Enfin, la malnutrition est causée par les pertes de cultures et la contamination des réserves d'eau potable. En effet, si l'on prend comme exemple le passage d'un tsunami au-dessus d'un puits, cela aura pour conséquence d'augmenter la concentration en sel de l'eau, avec aussi un impact important au niveau de la végétation. De nombreuses pertes humaines résultent soit directement de l'inondation, soit des éléments développés ci-dessus, à divers niveaux d'intensité (voir schéma).

Le fait de vivre dans de telles conditions a aussi un impact considérable sur la santé des habitants, surtout celle des enfants. Il faut savoir que dans les pays en voie de développement la plupart des personnes ne sont pas raccordés à un réseau d'égouts. Cela a pour conséquence que lorsque la ville est frappée par une inondation, tous ces déchets se mélangent à l'eau et la contaminent. Cette eau toxique cause alors de nombreuses maladies tel que la diarrhée, la malaria, la dengue, l'amibiase, le choléra, la giardia, la shigellose et la fièvre typhoïde. Ces eaux infectées contaminent les hommes par le contact direct, mais aussi indirectement en s'infiltrant dans des zones d'approvisionnement d'eau douce. L'eau douce peut aussi être contaminée par des inondations dues à la montée du niveau de la mer. Dans certaines régions du globe, les inondations sont causées par de fortes précipitations. De l'eau salée entre dans les réserves d'eau douce, mais aussi dans les rivières et rend ces eaux non potables et impropres à l'usage agricole <sup>[36]</sup>.

### **IV.3.Économie :**

Deuxièmement, les inondations ont de nombreuses conséquences pour le secteur socio-économique. Lors d'une inondation, les répercussions sociales sont nombreuses. L'inondation paralyse l'ensemble de la région affectée. La majorité des routes sont inondées empêchant les gens d'aller travailler, la plupart des habitations sont privées d'eau et d'électricité. De ce fait, ils ne peuvent plus cuisiner, se laver, ni nettoyer leurs vêtements... Dans certains pays du Sud, la situation est aggravée par la pauvreté et le manque de connaissances en gestion des inondations, empêchant donc les habitants de protéger leurs maisons ou de les réparer après les dégâts occasionnés par la catastrophe. Ils sont donc contraints à migrer vers d'autres hébergement temporaires qui souvent difficile à trouver. De plus, dans certaines régions du globe, ces catastrophes naturelles ont un impact considérable sur l'emploi ; des milliers de personnes se retrouvent alors sans emploi.

Du point de vue de la solidarité, ce type de catastrophe peut se révéler à la fois négatif au sujet de la dépendance des pays touchés, vis-à-vis des dons et de l'aide internationale (forme d'assistance prolongée), mais elle peut également se révéler bénéfique dans l'amélioration des relations sociales, entre membres d'une même communauté villageoise (par exemple, unis dans la reconstruction). Cependant, divers problèmes entrent en ligne de compte dans la solidarité mondiale. En effet, les états totalitaires et/ou ébranlés par des attentats terroristes entraînent une diminution, voire une interdiction des aides pour ces pays. Ceci a pour conséquence un effet boule de neige, avec une aggravation des différents impacts causés par les inondations.

Les migrations de populations sont une autre conséquence dramatique, souvent provoquées par la destruction massive des infrastructures, des récoltes, mais aussi des filets à poissons ou encore par l'inondation de tunnels miniers. Cette destruction engendre très souvent d'importantes pertes financières pour le pays, une forte perte d'emploi à long terme (destruction des entreprises) ainsi qu'une détresse psychologique chez certaines personnes. Cependant, à l'échelle locale et une fois les premières semaines écoulées, la reconstruction engendrée par les inondations est source d'emploi sur le moyen terme.

Enfin, les inondations peuvent être une menace au développement des villes et des villages. En effet, les submersions marines affaissent les terrains et la zone d'habitat se retrouve sous le niveau de la mer. Après l'inondation de la marée, l'eau s'étend sur le terrain et endommage les infrastructures.

Il est également à noter que les individus les plus faibles (personnes marginalisées, handicapées, âgées) présentent souvent le plus de risques lors de telles catastrophes, de par leur vulnérabilité et leur faible résilience, car ils disposent de peu de fonds, de peu de moyens et de peu d'information leur permettant de faire face aux inondations.

Le niveau d'étude des populations touchées peut lui aussi jouer un rôle sur l'ampleur des impacts causés par les inondations (voir ci-dessus). Les populations rurales au parcours scolaire plus limité subissent davantage les conséquences des inondations que les populations urbaines. Ces impacts auront dès lors une incidence sur le long terme pour ces habitants. De plus, dans les pays du Sud, les connaissances et les moyens mis en place pour combattre les inondations sont souvent inégalement répartis, ce qui rend les zones pauvres et marginales encore plus désavantagées et démunies face à ces catastrophes.

Lors d'inondation, on fait donc aussi face à des perturbations et à des pertes dans la production de nourriture, augmentant considérablement le nombre de personnes sous-alimentées et entravant le progrès contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire.

De plus, il a été estimé que le niveau de la mer s'élèverait de 80 cm d'ici 2100, augmentant de manière considérable le nombre annuel de personnes victimes d'inondations. Ce phénomène aura des conséquences économiques dramatiques pour la planète toute entière. En effet, la majorité de la population, des infrastructures industrielles et des terres agricoles se trouvent à proximité des rivières ou des mers. Les effets se sont déjà fait ressentir dans de nombreuses régions. En effet, la montée des eaux de mers a augmenté la salinisation des terres et étangs affectant l'agriculture et la production de poisson d'eau douce. Il sera donc difficile de répondre à la demande alimentaire surtout dans les pays en voie de développement <sup>[37]</sup>.

#### **IV.3.1. Environnement :**

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, et engendrent des pertes financières, des problèmes de malnutrition et de migration (lien avec les conséquences décrites précédemment). 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. De plus, ce

processus joue un rôle important dans l'évolution géomorphologique du. Finalement, les inondations causées par la montée du niveau de la mer ont aussi un impact néfaste sur les forêts de mangroves. En réduisant la taille de ces forêts, l'environnement ainsi que la population sont mis en danger car ces forêts permettent de réduire la force des tempêtes et l'érosion côtières. Enfin, ces inondations d'eau de mer causent l'intrusion d'eau salée dans les nappes aquifères profondes et peu profondes. Ce problème est aggravé par la surexploitation des eaux souterraines qui cause l'affaissement du sol, rendant les régions encore plus vulnérables aux inondations <sup>[38]</sup>.

# **Chapitre V : Mesures adoptées dans la gestion et réduction des risques de catastrophes**

## **V.1.Définition :**

La gestion des risques et de catastrophes est un processus de recours systématique aux directives, compétences opérationnelles, capacités et organisation administratives pour mettre en œuvre les politiques, stratégies et capacités de réponse appropriées en vue d'atténuer l'impact des aléas naturels et risques de catastrophes environnementales et technologiques qui leur sont liées. Ce terme est une extension du terme plus général de "gestion des risques" pour traiter de la question particulière des risques de catastrophe. Elle (gestion des risques de catastrophes) a pour but d'éviter, d'atténuer ou de transférer les effets néfastes des risques par le biais d'activités et de mesures de prévention, d'atténuation et de préparation.

Cette partie comprend plusieurs phases :

- La phase d'atténuation ou Mitigation.
- La phase de Préparation.
- La phase de Réponse.
- La phase de Réhabilitation.
- La phase de Reconstruction.

Les deux premières phases, Atténuation et Préparation sont classées dans l'étape avant catastrophe tandis que les trois autres figurent dans les étapes pendant et post-catastrophe.

## **V.2. La phase d'Atténuation ou de la Réduction des Risques :**

Cette phase, appelée encore phase de Mitigation, inclut toutes les actions à long terme afin d'éviter la transformation des risques en catastrophes, ou au moins pour réduire leurs impacts. Une politique de réduction des risques y est envisagée dans le but de diminuer les impacts probables d'un événement pressenti ou bien avant même qu'on détecte l'arrivée d'un aléa.

Les principaux objectifs de cette phase sont :

- Création de barrages anti inondations
- Renforcement des constructions, des digues, des brise-lames, des bâtiments résistant aux aléas

- l'estimation du risque
- Réduire les graves perturbations économiques
- Accroître l'aptitude à résister aux catastrophes

Les entités qui jouent un rôle important dans la phase de Mitigation sont entre autres :

- Observatoire météorologique.
- Observatoire de séismologie.
- Service du génie civil.

A savoir que, toutes les dispositions prises dans le cadre de la gestion des risques et des catastrophes sont en général à la base de la Stratégie Nationale de Gestion des Risque et des Catastrophes - Madagascar (SNGRC\_MADAGASCAR), conçu par le conseil national de Gestion des Risques et des Catastrophes C.N.G.R.C dont l'institution principale est, le Bureau National de Gestion des Risques et Catastrophes ou BNGRC.

Notons que la structure de GRC existe à tous les niveaux décentralisés de l'administration publique tels que : les Régions, les Districts, les Communes, et les Fokontany. Le but sera d'avoir une approche rapide de la population concernée en cas d'urgence.

Ainsi, la structure globale de GRC est décrite par le schéma suivant :

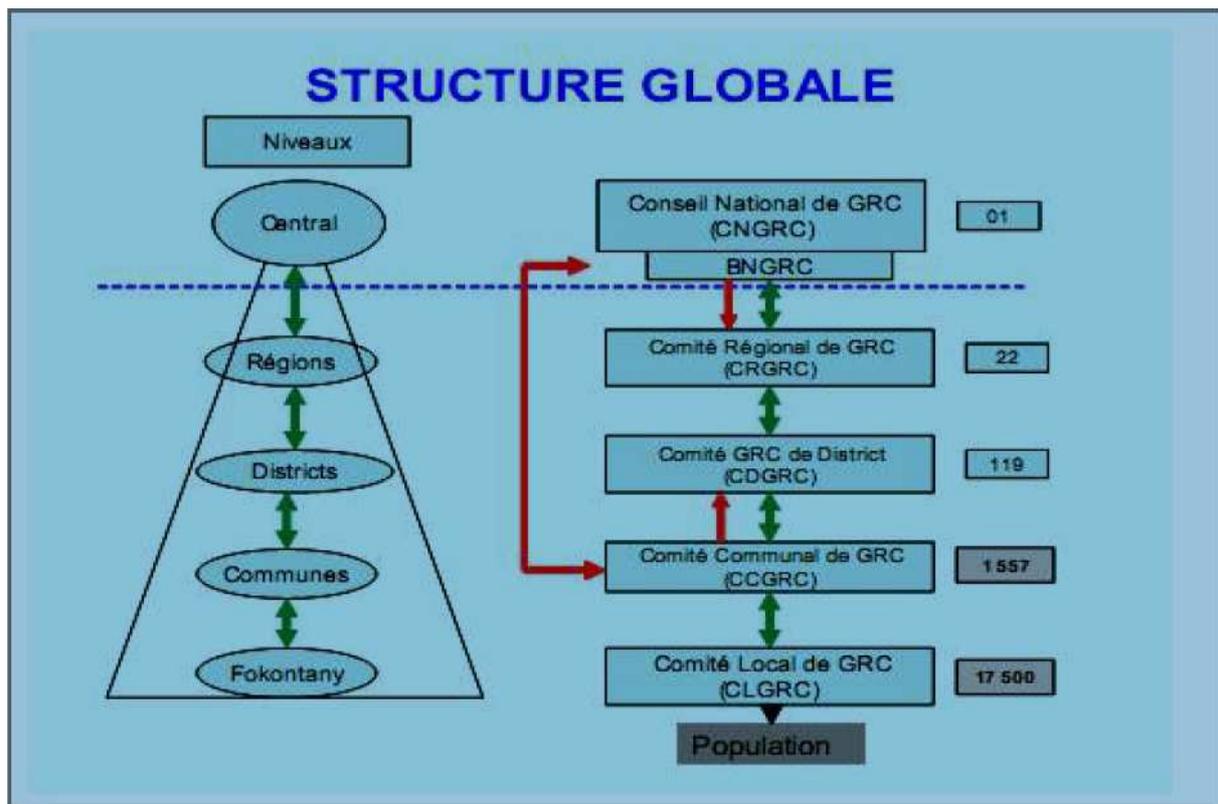


Figure 5 ; Source : Direction des opérations du BNGRC [39].

### V.2.1. La phase de Préparation :

Si dans la phase d'atténuation, la prévention des gros dommages à l'arrivée des catastrophes est une préoccupation majeure, la phase de préparation par contre, engage une planification préalable à la catastrophe. Cette phase implique notamment l'élaboration des stratégies de communication, de systèmes d'alerte rapide, et la constitution de stocks d'urgence et de biens de secours. Il s'agit de préparation des plans nationaux, régionaux et locaux de GRC. Il s'agit en fait, d'action de l'administration, de l'individu et de la communauté visant à rendre minimales les pertes de vie et les dommages, ainsi qu'à faciliter des secours efficaces et des réhabilitations. Il faut aussi prévoir les phénomènes imminents, potentiellement destructeurs et déclencher l'alerte.

Les principaux objectifs sont :

- ✚ Minimiser les effets négatifs d'un aléa en prenant des mesures de précaution/avertissement efficaces.
- ✚ Assurer que l'organisation et la mise en place d'une réponse d'urgence à la suite d'une

catastrophe seront appropriées, efficaces, et en temps voulu.

Plusieurs supports techniques doivent être utilisés dans cette phase à savoir :

- Système d'avertissement et de communication
- Mécanismes de Réponse
- Education et sensibilisation du Public
- Outils de collecte et de gestion d'information, pour développer et renforcer les systèmes en place.

### **V.2.2. La phase de Réponse ou de Secours :**

La phase de réponse, appelée encore phase de secours, est une étape où des mesures exceptionnelles doivent être prises. Ces mesures doivent être prises au moment suivant immédiatement l'arrivée d'une catastrophe et aussi pendant la catastrophe. Elle engage la mise en œuvre d'un plan d'urgence après la catastrophe. Notamment la mobilisation des services d'urgence, la coordination de la recherche et des secours, et cartographie de l'ampleur des dégâts.

Les principaux objectifs sont :

- ✓ Rechercher et trouver les survivants.
- ✓ Assurer la survie du plus grand nombre possible de victimes, en les maintenant dans le meilleur état de santé possible, vu les circonstances.
- ✓ Répondre à leurs besoins élémentaires en abris, eau, nourriture, et soins médicaux.
- ✓ Rétablir l'autonomie individuelle et les services essentiels aussi rapidement que possible pour tous les groupes de la population, en portant une attention spéciale à ceux dont les besoins sont les plus grands c'est-à-dire, les plus vulnérables et les moins privilégiés.

Les principaux aspects techniques nécessaires à mettre en œuvre sont, l'évacuation, la recherche, le sauvetage et les secours, l'évaluation après catastrophe, la gestion de la logistique et de l'approvisionnement, la communication, la gestion de l'information et des médias, la sécurité, la gestion des opérations d'urgence.

### **V.3. La phase de Réhabilitation :**

Après la phase de réponse qui, comme son nom l'indique, est une réponse immédiate aux effets des catastrophes par des mesures exceptionnelles, une étape permettant le retour à la

situation antérieure est nécessaire. C'est ce qu'on appelle phase de réhabilitation. La réhabilitation a pour objectif central de permettre aux populations affectées (familles et communautés locales) de reprendre un mode de vie plus ou moins normal, comme celui avant catastrophe. On peut la considérer comme une phase de transition entre les secours immédiats, et une action majeure de reconstruction visant le long terme, ainsi que la poursuite du développement en cours. Il s'agit en effet d'un ensemble de réparations matérielles et de mesures provisoires comme la remise en fonction des routes, la réhabilitation des écoles, la distribution des semences, l'aménagement des bâtiments endommagés... Ces actions seront établies au niveau de chaque ménage, ou de l'ensemble de la population locale, et au profit de tout un chacun, afin de retourner petit à petit au courant précédent de la vie quotidienne.

### **V.3.1. La phase de Reconstruction :**

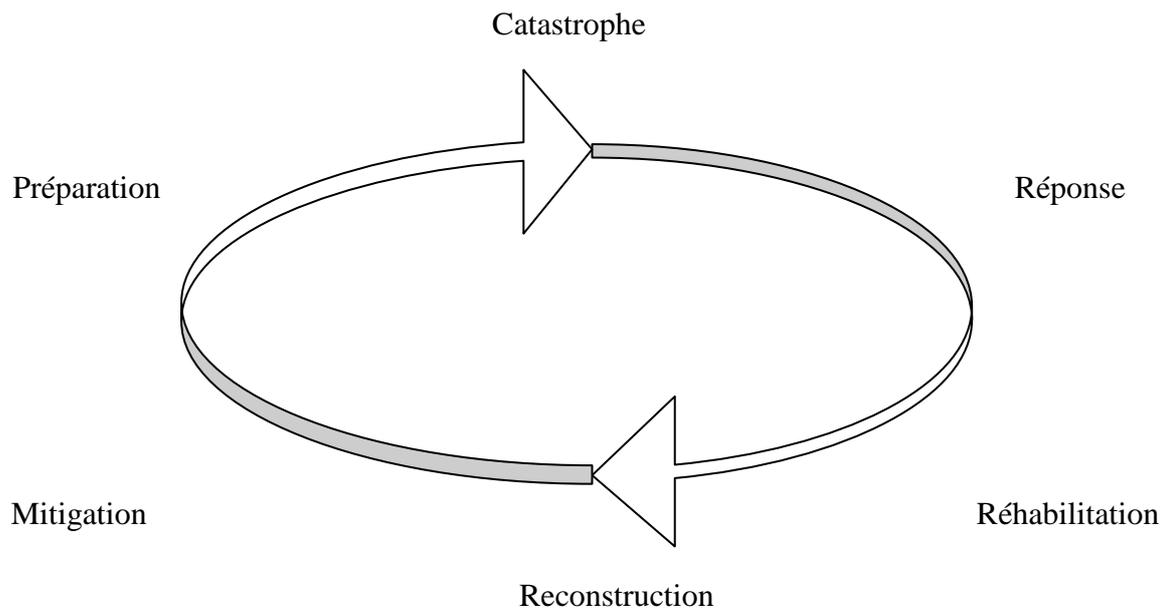
Après les mesures provisoires prises dans la phase de réhabilitation, des projets à long terme doivent être établis. Le but est d'assurer le retour à l'ordre normal de la vie quotidienne de la région affectée, ainsi que d'instaurer une politique de développement local de cette dernière an d'améliorer le bien-être de toute la population. La reconstruction est la construction définitive ou le remplacement permanent de structures physiques sévèrement endommagées, la restauration complète de tous les services et de l'infrastructure locale, ainsi que la revitalisation de l'économie (y compris l'agriculture).

Cette phase devrait être conçue pour :

- Atténuer les contraintes économiques et diminuer le coût de la reconstruction.
- Soutenir et renforcer les entreprises économiques existantes.

### **V.3.2. Le cycle de gestion des catastrophes :**

Bien que les étapes de la GRC soient spécifiques selon le moment (avant catastrophe ou après catastrophe), ainsi que le contexte auquel on est confronté, ces différentes phases sont en effet en parfaite liaison comme le montre le schéma suivant :

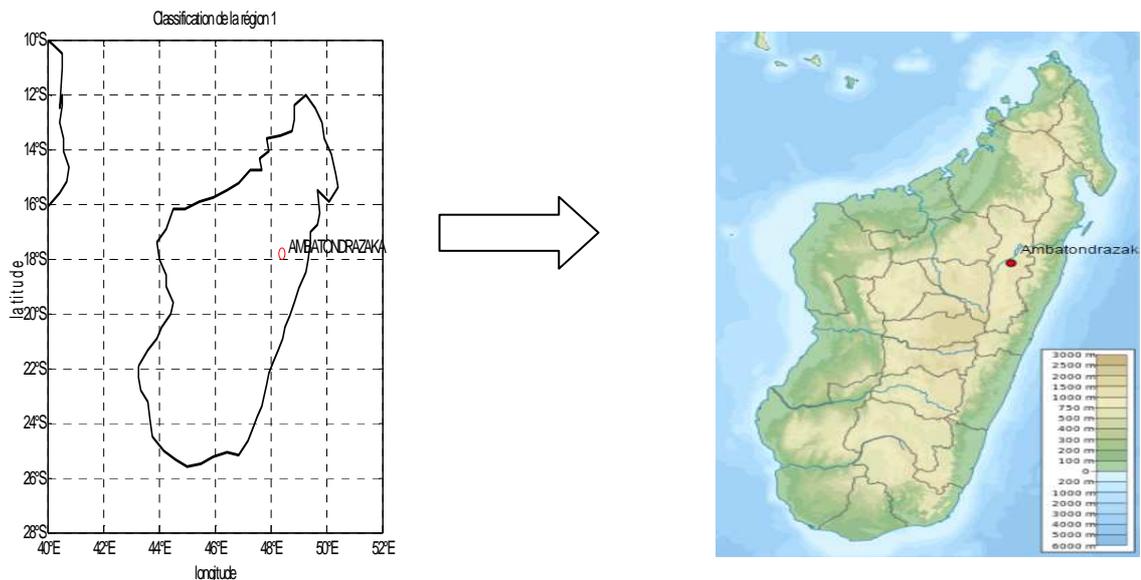


**FIGURE 6 : cycle de gestion des catastrophes [Source : Programme de Formation à la Gestion des Catastrophes des Nation unies (DMTP)]<sup>[40]</sup>**

## **PARTIE III : METHODES ET ANALYSE DES DONNEES**

### **CHAPITRE VI : PRESENTATION DES DONNEES ET METHODES UTILISEES**

#### **VI.1. Localisation de la zone d'Etude :**



#### **VI.2. Données de la température :**

Les données que nous avons utilisées sont des données de température de la ville d'Ambatondrazaka se trouvant à la latitude de 17°83'Sud et à la longitude 48°4'Est. Elles proviennent de l'ECMWF (The European Centre for medium-rang Weather Forcasts), entre la période de 1979 à 2014, exprimées en kelvin.

#### **VI.3. Matériels et Méthodes utilisés :**

##### **VI.3.1. Matériels :**

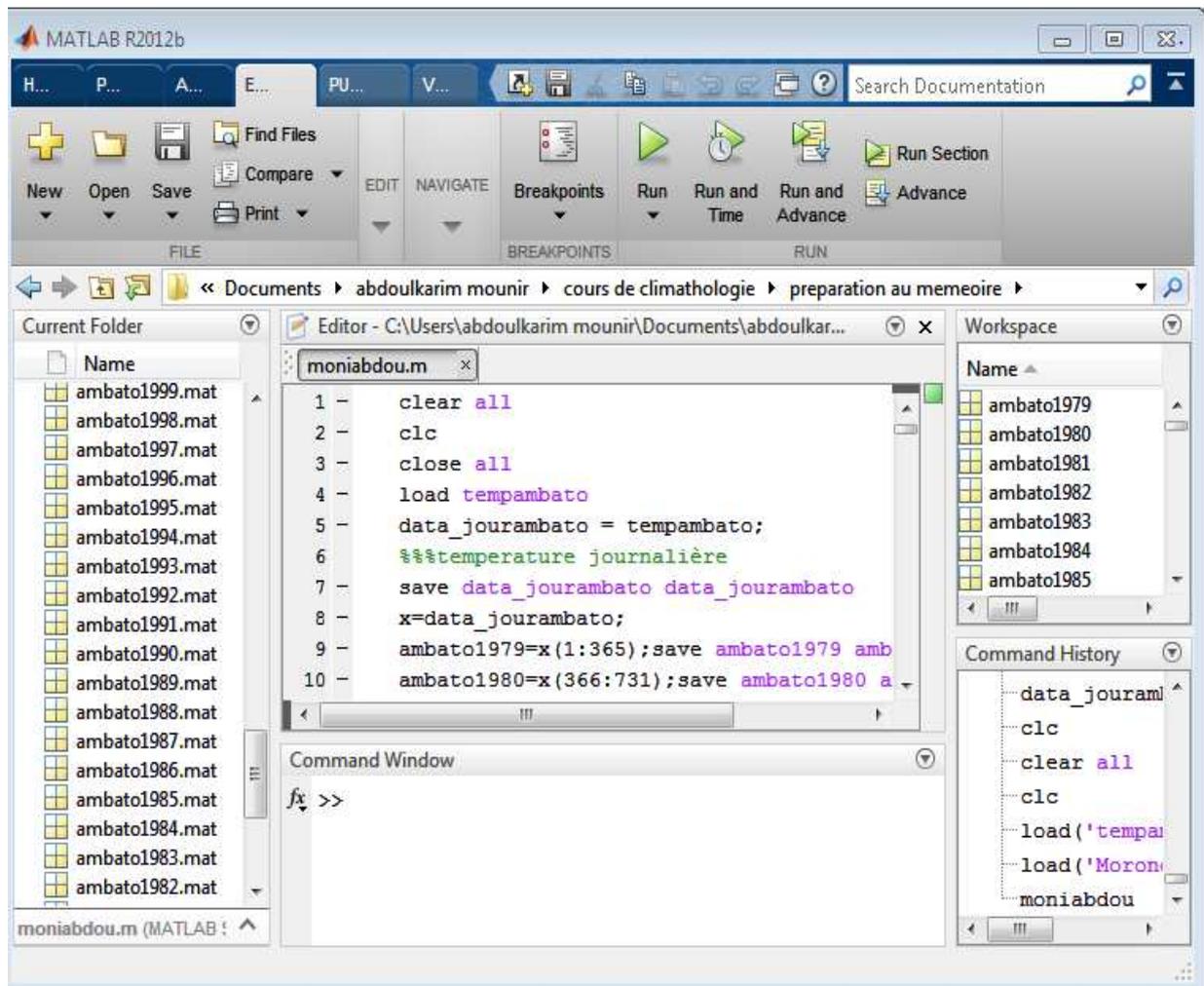
Nous avons utilisé le logiciel Matlab

## **MATLAB :**

MATLAB est un système interactif de programmation scientifique, pour le calcul numérique et la visualisation graphique. Développé à l'origine pour le calcul matriciel (le nom MatLab est dérivée de cette représentation MatLab = Matrix Laboratory), il offre aujourd'hui bien d'autres possibilités, dont certaines seront décrites dans la suite. Il contient des bibliothèques spécialisées (toolbox) qui répondent à des besoins spécifiques : analyse numérique, traitement du signal, traitement de l'image, etc. MatLab est un logiciel qui permet de faire des calculs mathématiques et numérique, et non un logiciel de calcul formel et symbolique comme Maple.. Matlab connaît un grand nombre d'opérations ou de fonctions mathématiques : fonctions usuelles, calcul matriciel, fonctions plus spécifiques du signal (FFT, etc).

## **Accès à MatLab :**

MATLAB est disponible sur différentes plateformes (unix, pc, mac, etc). On accède au logiciel en lançant l'exécutable MATLAB suivant la procédure habituelle de l'environnement concerné. On se retrouve alors dans la fenêtre de commande où on peut écrire des commandes ou exécuter des fonctions. On sort du logiciel en tapant **quit** ou **exit**



*Figure 8 : Les principales fenêtres de travail sur MATLAB*

### **VI.3.2.Méthodes utilisées :**

### **VI.3.3.Moyenne :**

La moyenne est une mesure statistique caractérisant les éléments d'un ensemble de quantités :

Elle exprime la grandeur qu'aurait chacun des membres de l'ensemble s'ils étaient tous identiques sans changer la dimension globale de l'ensemble. Il y a plusieurs façons de calculer la moyenne d'un ensemble de valeurs, choisies en fonction de la grandeur physique que représentent ces nombres. Dans le langage courant, le terme « moyenne » réfère généralement à la moyenne arithmétique.

La moyenne climatologique est donc une mesure importante qui permet de caractériser la quantité des pluies journalières, mensuelles, ou annuelles et elle est définie par <sup>[42]</sup> :

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t$$

Avec :

**T** : Nombre total de valeurs de la température

**X<sub>t</sub>** : Valeurs de la température

**$\bar{X}$**  : Moyenne des valeurs de la température

#### **VI.4.Moyenne globale :**

La moyenne globale est la moyenne de toutes les observations, par opposition à la moyenne de groupes individuels.

#### **VI.4.1.Moyenne climatologique :**

La moyenne climatologique est l'ensemble de toutes les valeurs moyennes de tous les mois ou années observés pendant une période donnée

#### **VI.4.2.Anomalie de la température :**

Une anomalie désigne tout phénomène qui s'éloigne de ce qui est considéré comme normal. L'anomalie de température est à son tour la différence entre la température d'un lieu et la moyenne de la température en ce même lieu. Cette anomalie permet de mettre en évidence la variation de la température dans une période donnée par rapport à la moyenne. Dans notre étude on a utilisé l'anomalie standardisée pour avoir des données centrées réduites.

Elle se définit comme telle :

$$An(i) = \frac{X(i) - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec :

**i** : jour/ mois/ année

**An** : anomalie standardisée pour **i**

**σ** : écartype

Et  $\bar{X}$  la moyenne de la variable température.

### **VI.4.3. Moyenne mobile :**

La moyenne glissante, ou moyenne mobile, est un type de moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées de données, le plus souvent des séries temporelles, en supprimant les fluctuations transitoires de façon à en souligner les tendances à plus long terme. 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<sup>[9]</sup>. Elle est définie comme suit :

$$\bar{x}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{n-k} \quad \text{ou} \quad \bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \frac{x_n - x_{n-N}}{N}$$

**N** : valeurs successives à prendre en compte

**X<sub>n</sub>** : la valeur de référence

**K** : le rang

### **VI.4.4. Equation de régression linéaire**

C'est une équation de régression linéaire de la forme :

$$Y = aX + b$$

Cette équation nous oriente dans une observation à la hausse ou baisse de température sur une période assez longue. Ainsi, une équation de régression à pente positive affirme une tendance à la hausse tandis qu'une pente négative illustre une régression ou tendance à la baisse.

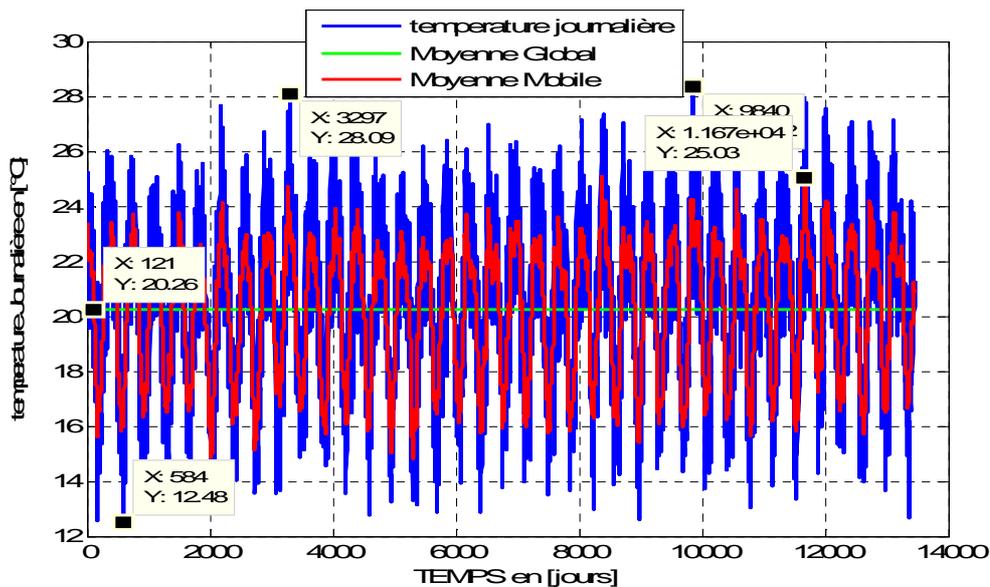
Dans notre étude, **X** représente les années et **Y** les anomalies standardisées de température

## Chapitre VII : Résultats et interprétations

### VII.2.Moyenne Climatologique de la température

#### d'AMBATONDRAZAKA :

##### VII.2.1.Température Journalière :

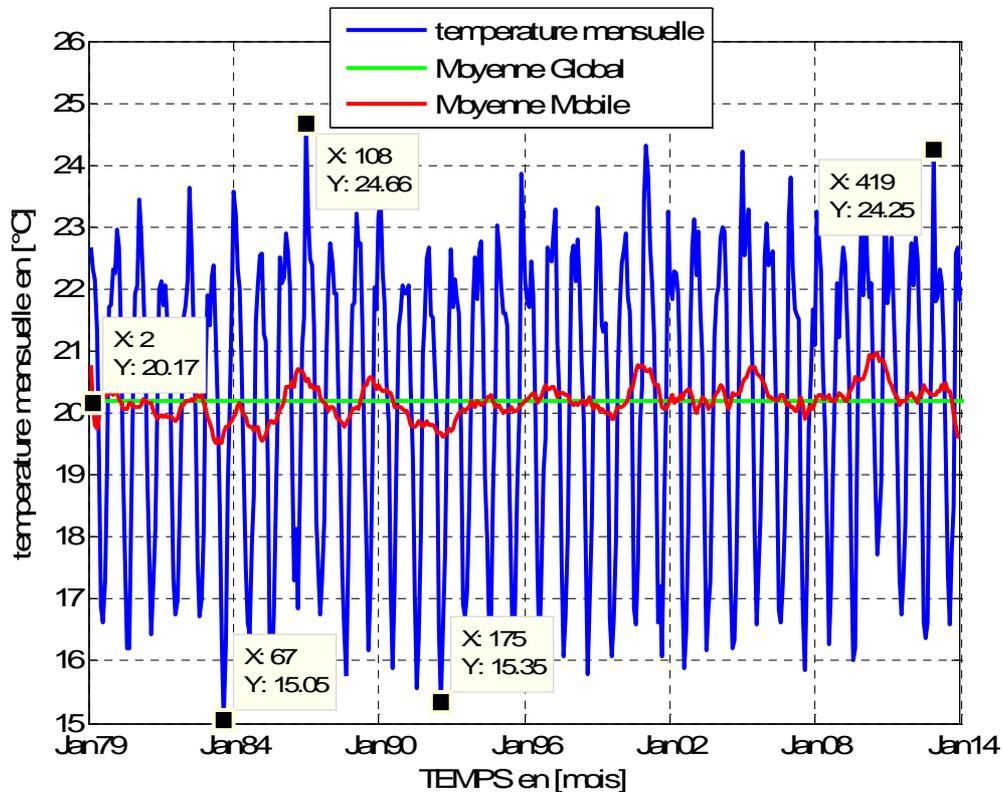


*Figure 9 : Moyenne journalière de la température de 1979 à 2014*

Cette figure représente la variation de la température de la ville d'AMBATONDRAZAKA de 1979 à 2014. La courbe en bleu représente la température moyenne journalière, celle en rouge la moyenne mobile (ce sont des données moyennées de 31 jours) et la droite en vert indique la moyenne globale.

Une valeur minimale de température est observée au 584<sup>ème</sup> jour, qui correspond à la date 27 Août 1980. Elle est de l'ordre de 12,48°C. D'autre part, deux valeurs maximales de température (28,09°C et 28,39°C), sont observées respectivement aux 3297<sup>ème</sup> et au 9840<sup>ème</sup> jours correspondant aux dates 10 janvier 1988 et 18 décembre 2005. L'intervalle de temps qui sépare ces deux valeurs est de 6543 jours soit à peu près 18 ans. En général, durant la période de 1979 à 2014, la température de la ville d'AMBATONDRAZAKA varie entre 12°C et 28°C

## VII.2.2. Température mensuelle :



*Figure 10 : Moyenne mensuelle de la température de 1979 à 2014*

*La courbe en bleue représente la variation de la température, et celle en rouge la moyenne mobile. La droite en vert indique la moyenne de la température que doit posséder chaque mois. Cette moyenne est de 20,17°C.*

D'après la figure 10, la température mensuelle a varié entre 15°C et 24°C de 1979 à 2014.

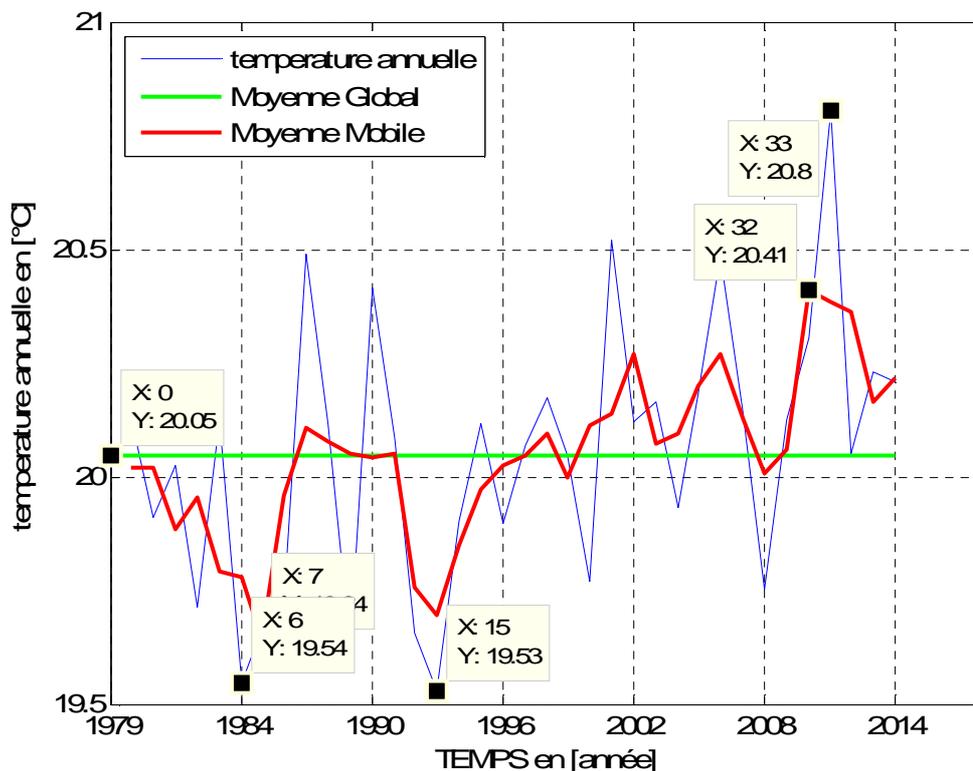
Les températures maximales qui sont 15,05°C et 15,35°C, sont observées et enregistrées respectivement aux 67<sup>ème</sup> et 175<sup>ème</sup> jours correspondant aux dates du 8 mars 1979 et du 24 juin 1979. 108 jours, soit un peu plus de trois mois séparent l'observation de ces deux températures minimales durant la période allant de 1979 à 2014.

Entre autre, les températures maximales sont observées au 108<sup>ème</sup> jour et au 419<sup>ème</sup> jour. La température la plus élevée (24,66°C) durant cette période (1979 à 2014) dans la ville d'AMBATONDRAZAKA est observée le 18 avril 1979 tandis que celle de 24,25°C est

enregistrée le 23 février 1980. 311 jours séparent l'observation de ces deux températures maximales.

### VII.3. Température Annuelle :

*La courbe en bleu représente l'évolution de la moyenne annuelle de la température de 1979 à 2014. La droite en vert indique la moyenne globale de la température qui vaut 20,05°C, et la courbe en rouge représente la moyenne mobile*

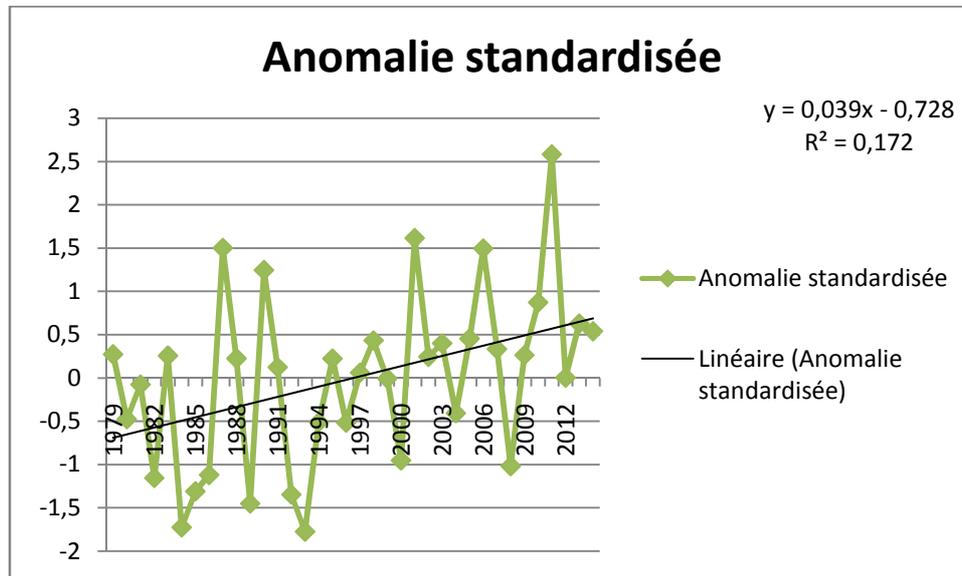


**Figure 11 : Moyenne annuelle de la température de 1979 à 2014**

De janvier à décembre, la température climatologique annuelle varie entre 19°C et 21°C. D'après cette figure, on a deux températures minimales 19,54°C et 19,53°C, observées respectivement au 6<sup>ème</sup> (le 6 janvier 1979) et au 15<sup>ème</sup> (le 15 janvier 1979) jour, distancées de 9 jours. De 1979 à 2014 la moyenne mobile a varié entre 19,64°C et 20,41°C, observées successivement le 7 janvier 1979 et le 1 février 1979. D'autre part, la température la plus élevée qui vaut 20,8°C, a été observée au 33<sup>ème</sup> jour, le 2 février 1979.

### VII.3.1. Anomalie standardisée de la température :

La figure 12 représente l'anomalie standardisée de la température. Comme on l'a expliqué précédemment, une anomalie est définie comme tout phénomène s'éloignant de ce qui est considéré comme normal.

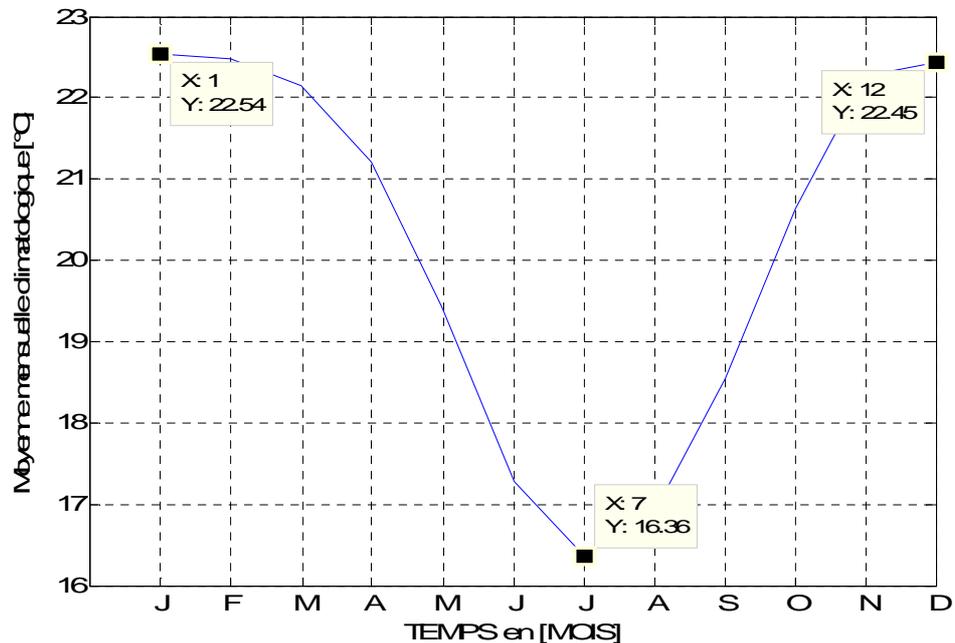


*Figure 12 : Anomalie standardisée de la température*

Cette figure représente la tendance de l'anomalie annuelle de la température d'AMBATONDRAZAKA de 1979 à 2014.

La tendance d'anomalie est représentée par la courbe en vert, et la ligne droite en noir représente la tendance linéaire. Durant cette période, deux anomalies minimales,  $-0,50^{\circ}\text{C}$  et  $-0,51^{\circ}\text{C}$  sont observées respectivement en 1984 et en 1993, distancées de 9 années. D'autre part, l'anomalie maximale de cette tendance,  $0,75^{\circ}\text{C}$ , est observée en 2011. Selon la figure pendant les 36ans, 20 années étaient en excès de température tandis que 16 années étaient en déficits. D'après l'équation de régression de cette tendance, la température est en hausse car la pente de cette équation de droite est positive. Soit une augmentation de  $0,0115^{\circ}\text{C}$  par an. Durant toute la période de 1979 à 2014, la température a augmenté de  $0,414^{\circ}\text{C}$

### VII.3.2.Moyenne mensuelle climatologique :



*Figure 13 : moyenne mensuelle climatologique de 1979 à 2014*

D'après cette figure, la moyenne climatologique mensuelle varie entre 16°C et 23°C. De janvier à février, la courbe reste quasi constante avant de décroître vers la température minimale (16,36°C). Entre autre, la courbe croit depuis juillet jusqu'au mois de décembre pour atteindre sa température maximale (22,27°C). Cette courbe nous montre exactement qu'il existe deux types de saisons à Ambatondrazaka : La saison chaude qui débute au mois de novembre et se termine au mois d'avril. La valeur des températures pendant cette saison est supérieure à 22°C. Par contre la saison froide commence au mois de mai et s'achève au mois d'octobre. La valeur de la température pendant cette saison est inférieure à 21°C. Le minimum sur le graphe représente le mois le plus froid de l'année, c'est-à-dire le mois de juillet (16,36°C). D'ailleurs les valeurs que nous avons trouvées sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III : Tableau récapitulant les valeurs observées dans la figure 13**

Mois	Température en °C	Mois	Température en °C
Janvier	22,54	Juillet	16,36
Février	22,47	Aout	16,9
Mars	22,15	Septembre	18,5
Avril	21,22	Octobre	20,64
Mai	19,42	Novembre	22,27
Juin	17,27	Décembre	22,45

## CONCLUSION GENERALE :

Durant notre travail, on a étudié la variation de la température pendant 36ans dans la ville d'AMBATONDRAZAKA. Cette dernière se situe géographiquement à la latitude  $17^{\circ}83'$  Sud et la longitude  $48^{\circ}4'$  Est. Nous avons utilisé des données provenant de l'ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Pour pouvoir réaliser ce travail, nous avons eu recours à des outils mathématiques, à savoir la moyenne climatologique (journalière, mensuelle, annuelle) et l'anomalie de la température, qui ont été effectués avec le logiciel MATLAB.

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence la variation de la température d'AMBATONDRAZAKA de 1979 à 2014, tout en nous appuyant sur l'anomalie de température afin de pouvoir prévoir et gérer les risques sur l'impact du réchauffement climatique.

En procédant à l'analyse des données, on a obtenu les courbes climatologiques qui nous ont permis d'aboutir à notre étude qui est la variation de la température pendant 36ans à AMBATONDRAZAKA (1979-2014). Nous avons pu voir par la suite que durant cette période, les températures minimales ( $12,48^{\circ}\text{C}$ ) et maximales ( $28,39^{\circ}\text{C}$ ) sont observées respectivement en 1980 et en 2005. En calculant la tendance de l'anomalie de température, nous avons vu que, pendant les 36ans (1979-2014), 20 années étaient en excès (années chaudes) de température tandis que 16 années étaient en déficits (années froides). La tendance de l'anomalie de température nous a montré que durant les 36ans la température augmentait en moyenne de  $0,0115^{\circ}\text{C}$  chaque année, soit une augmentation totale de  $0,414^{\circ}\text{C}$  pendant cet intervalle d'étude (1979 à 2014).

Finalement, AMBATONDRAZAKA a connu une hausse de température de 1979 à 2014, et peut en connaitre d'avantage. Une augmentation de  $0,828^{\circ}\text{C}$  est projetée d'ici 36ans (année 2050) si le réchauffement climatique poursuit sa croissance.

L'aboutissement de ce travail a été fondé par les calculs de la moyenne climatologique et de l'anomalie standardisée de la température. Ces dernières nous ont permis de mettre en évidence la variation de la température, de calculer les déficits et les excès de la température d'AMBATONDRAZAKA (1979 à 2014), afin de pouvoir déduire le nombre d'années chaudes et froides durant cette période.

## REFERENCES

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [5] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [6] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [7] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [8] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature>, consulté le 02-04-2016
- [9] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20 06 -2016
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le- 20 -06- 2016
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06- 2016
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20 -06- 2016
- [13] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06 -2016
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06- 2016
- [15] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06 -2016
- [16] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06- 2016
- [17] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06- 2016
- [18] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) consulté le 20- 06- 2016
- [19] [http://www.notre-planete.info/terre/risques\\_naturels/secheresse.php](http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php) consulté le 19- 04-20016
- [20] [http://www.notre-planete.info/terre/risques\\_naturels/secheresse.php](http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php) consulté le 19- 04-20016
- [21] [http://www.notre-planete.info/terre/risques\\_naturels/secheresse.php](http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php) consulté le 19- 04-20016
- [22] [http://www.notre-planete.info/terre/risques\\_naturels/secheresse.php](http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php) consulté le 19- 04-20016
- [23] [http://www.notre-planete.info/terre/risques\\_naturels/secheresse.php](http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/secheresse.php) consulté le 19- 04-20016

- [24] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [25] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [26] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [27] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [28] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [29] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [30] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [31] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclone> consulté le 19-04-2016
- [32] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [33] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [34] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [35] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [36] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [37] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 0 2- 04-2016
- [38] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation> consulté le 02- 04-2016
- [39] DIRECTION DES OPERATIONS DU BNGRC
- [40] Programme de Formation à la Gestion des Catastrophes des Nation unies (DMTP)
- [41] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ambatondrazaka>, consulté le 07-04-2016
- [42] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne\\_glissante](https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne_glissante) , consulté le 20- 05- 2016

# TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS</b> -----	i
<b>SOMMAIRE</b> -----	ii
<b>LISTE DES FIGURES</b> -----	iii
<b>LISTE DES ACRONYMES</b> -----	iv
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> -----	v
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> -----	1
<b>PARTIE I : NOTION GENERALE SUR LA VARIABLE TEMPERATURE</b> -----	2
<b>Chapitre I. NOTION DE TEMPERATURE :</b> -----	2
<b>I.1 définition de la température:</b> -----	2
<b>I.2 Mesure de la température :</b> -----	2
<b>I.2.1 Echelles de température :</b> -----	2
a) <b>Le kelvin</b> -----	3
b) <b>Le degré Celsius</b> -----	3
c) <b>Les échelles centigrades</b> -----	3
d) <b>L'échelle fahrenheit</b> -----	3
<b>I.3. Température atmosphérique :</b> -----	4
<b>I.3.1. Structure de l'atmosphère :</b> -----	4
<b>I.3.2. Description de l'atmosphère :</b> -----	4
<b>I.3.3. Composition de l'atmosphère :</b> -----	5
<b>I.3.4. Température et Altitude :</b> -----	7
a) <b>La troposphère :</b> -----	7
b) <b>La stratosphère :</b> -----	7
c) <b>La mésosphère :</b> -----	7
d) <b>La thermosphère :</b> -----	7
<b>PARTIE II : CATASTROPHES CAUSEES PAR LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE</b> -----	9
<b>CHAPITRE II : LA SECHERESSE</b> -----	9
<b>II.1. DEFINITION :</b> -----	9
<b>II.2. Les différents types de sécheresse :</b> -----	9
a) <b>La sécheresse météorologique :</b> -----	9
b) <b>La sécheresse agricole :</b> -----	9
c) <b>La sécheresse hydrologique :</b> -----	9

II.2.1. Les causes de la sécheresse :-----	10
II.2.2. Les mesures à mettre en place en cas de sécheresse : -----	10
II .3. Les conséquences des sécheresses :-----	11
<b>CHAPITRE III : LES CYCLONES-----</b>	<b>13</b>
III.1.Définition : -----	13
III.2. Caractéristiques générales : -----	13
III.2.1.Les types de cyclones :-----	13
III.2.2. Cyclones tropicaux :-----	14
III.3. Les cyclones extratropicaux : -----	15
III.3.1. Cyclones subtropicaux :-----	15
III.3.2. Cyclones polaires : -----	16
<b>CHAPITRE IV : Les inondations :-----</b>	<b>17</b>
IV.1.Introduction :-----	17
IV.2.Les types d'inondation <sup>[33]</sup> :-----	17
IV.2.1.Inondations lentes (inondation étendue) : -----	17
IV.2.2.Inondations brutales (crue-éclair) :-----	17
IV.2.3.Inondations (ou submersions) marines : -----	17
IV .2.3.1. Conséquences des inondations :-----	18
IV.2.3.2.Vie et Santé : -----	18
IV.3.Économie :-----	20
IV.3.1.Environnement :-----	21
<b>Chapitre V : Mesure adoptée dans la gestion et réduction des risques de catastrophes-----</b>	<b>23</b>
V.1.Définition :-----	23
V.2. La phase d'Atténuation ou de la Réduction des Risques :-----	23
V.2.1. La phase de Préparation :-----	25
V.2.2. La phase de Réponse ou de Secours :-----	26
V.3. La phase de Réhabilitation : -----	26
V.3.1. La phase de Reconstruction : -----	27
V.3.2. Le cycle de gestion des catastrophes : -----	27
<b>PARTIE III : METHODES ET ANALYSE DES DONNEES -----</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE VI : PRESENTATION DES DONNEES ET METHODES UTILISEES -----</b>	<b>29</b>
VI.1. Localisation de la zone d'Etude :-----	29
VI.2.Données de la température :-----	29
VI.3.Matériels et Méthodes utilisés :-----	29

VI.3.1. Matériels : .....	29
MATLAB : .....	30
Accès à MatLab : .....	30
VI.3.2. Méthodes utilisées : .....	31
VI.3.3. Moyenne : .....	31
VI.4. Moyenne globale : .....	32
VI.4.1. Moyenne climatologique : .....	32
VI.4.2. Anomalie de la température : .....	32
VI.4.3. Moyenne mobile : .....	33
VI.4.4. Equation de régression linéaire .....	33
Chapitre VII : Résultats et interprétations .....	34
VII.2. Moyenne Climatologique de la température d'AMBATONDRAZAKA : .....	34
VII.2.1. Température Journalière : .....	34
VII.2.2. Température mensuelle : .....	35
VII.3. Température Annuelle : .....	36
VII.3.1. Anomalie standardisée de la température : .....	37
VII.3.2. Moyenne mensuelle climatologique : .....	38
CONCLUSION GENERALE : .....	40
REFERENCES .....	I
TABLE DES MATIERES .....	III
RESUME	
SUMMARY	