

# CLIMATOLOGIE

Synthèse effectuée par :

**RABEFITIA Zoaharimalala**  
**RAHOLIJAO Nirivololona**  
**RALISON Andriambola**  
**RAKOTONDRA SOA Jean-Claude**  
**RANDRIANASOLO Léon**  
**RANDRIANARISON Elie**  
**RASOAVELOARIMIZA Samuëline**  
**RAZAFINDRAKOTO Benjamin**

## A. ASSISTANCE CLIMATOLOGIQUE

- I. NATURE DES RENSEIGNEMENTS
- II. LES USAGERS
- III. UTILISATION DES RENSEIGNEMENTS

## B. TRAVAUX ET RECHERCHE EFFECTUES EN CLIMATOLOGIE

### I. PERIODE ANTERIEURE A 1975

1. NOTE SUR LES PLUIES A TANANARIVE
2. SUR LA VARIABILITE DES PLUIES A TANANARIVE
3. ATLAS CLIMATOLOGIQUE DE MADAGASCAR
4. INDICE D'ARIDITE A MADAGASCAR
5. LES PLUIES A MADAGASCAR
6. LES PLUIES EN 24 HEURES
7. LIMITE DES QUINTILES A MADAGASCAR

### II. PERIODE POSTERIEURE A 1975

1. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ET BILAN HYDRIQUE A MADAGASCAR
2. MISE A JOUR DE L'ETUDE PLUVIOMETRIQUE DE LA PLAINE D'ANTANANARIVO
3. CONTRIBUTION A LA RÉALISATION D'UNE CHAINE DE TRAITEMENT POUR LE CONTROLE AUTOMATIQUE DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

4. HOMOGENÉISATION DES DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES
5. ETUDE PLUVIOMÉTRIQUE DE LA PLAINE D'ANTANANARIVO AVEC L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
6. RÉGIONALISATION AU SUD DE MADAGASCAR PAR LES MÉTHODES DE L'ANALYSE FACTORIELLE
7. RÉGIONALISATION DES HAUTS-PLATEAUX PAR LE BILAN HYDRIQUE
8. ESSAI DE MODELE À FILTRE LINÉAIRE POUR UNE PRÉVISION MENSUELLE ET SAISONNIERE DE LA PLUVIOMÉTRIE À MADAGASCAR
9. RÉGIME PLUVIOMÉTRIQUE DU LAC ALAOTRA
10. ETUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE PAR LES CHAINES DE MARKOV
  - 10.1. Etude de l'occurrence et de la non occurrence des précipitations dans la région du Lac Alaotra
  - 10.2. Etude des épisodes pluvieux dans la plaine d'Antananarivo
  - 10.3. Représentation markovienne des précipitations quotidiennes et leurs simulations : "Exemple d'ANNABA"
  - 10.4. Etudes des épisodes pluvieux de saison chaude sur les Hauts-Plateaux
11. QUELQUES VARIATIONS RÉGIONALES ET TEMPORELLES DU CLIMAT ACTUEL DE MADAGASCAR
12. CONTRIBUTION À LA PRÉVISION QUANTITATIVE DES PRÉCIPITATIONS À MADAGASCAR
13. TYPISATION DES SITUATIONS MÉTÉOROLOGIQUES ASSOCIÉES À DE LONGUES SÉQUENCES SECHES DANS LE SUD DE MADAGASCAR
14. ANALYSE DU CHAMP DE VENT À IVATO
15. THE CLIMATE OF MADAGASCAR AND RELATIONSHIPS TO SOUTHERN AFRICA

## INTRODUCTION

En guise d'introduction, il convient de souligner l'importance grandissante que prend la climatologie depuis qu'on a pris conscience que, d'une part toutes les activités humaines subissent l'influence du climat, et d'autre part, ces mêmes activités peuvent tirer profit de la ressource naturelle essentielle qu'est le climat.

Les participants à "la Deuxième conférence mondiale sur le climat (Genève, 1990)" ont fait observer que "les variations climatiques ont de profondes répercussions sur les systèmes naturels et aménagés, sur les économies nationales et sur la qualité de la vie dans le monde entier". Les chefs d'Etat et de gouvernement réunis cette année à Rio de Janeiro ont signé la convention sur les changements climatiques.

Pour Madagascar, parmi tous les éléments du climat, la pluie occupe une place prépondérante, car elle est à l'origine de toute l'eau douce disponible et que dans certaines régions, elle devient souvent une question de vie ou de mort, son excès et son absence apportant également la mort et la désolation. La pluviométrie mérite donc d'être examinée en priorité. Cela ne signifie pas que les autres éléments du climat seront négligés pour autant car ils influent aussi sur nos disponibilités en eau.

Pour étudier la pluviométrie, c'est-à-dire tout ce qui se rapporte à la pluie, la quantité recueillie dans l'unité de temps, la répartition temporaire et spatiale, la variabilité et même la prévision, les météorologistes du monde entier et plus particulièrement ceux de Madagascar, firent appel à toutes les techniques offertes par la méthodologie mathématique et statistique.

Ceci a été facilité par le fait que le Service de la Météorologie Nationale s'est doté d'un ordinateur gros systèmes IBM 4331 de 1204 K mémoire réelle extensible à 16 M de mémoire virtuelle au 1er janvier 1981. Les moyens de calcul de la Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie ont été renforcés depuis par l'acquisition d'un certain nombre de micro-ordinateurs affectés soit à la Direction soit aux services, soit à certaines divisions.

En plus des moyens informatiques, on dispose également d'une banque de données climatologiques stockées dans 24 bandes magnétiques 1600 bpi, et classées selon huit fichiers :

- fichier "pluie" (mensuelle, décadaire, horaire)
- fichier "température" (mensuelle, journalière)
- fichier "insolation" (mensuelle, journalière)
- fichier "évaporation" (mensuelle)
- fichier "humidité" (mensuelle de 7h., 12h. 17h., moyenne mensuelle, minimale)
- fichier "pression" (mensuelle, horaire)
- fichier "vent au sol" (moyenne mensuelle et max)

Pour en revenir aux méthodologies d'étude utilisées, elles sont de plusieurs sortes, allant des simples calculs de moyennes jusqu'à la résolution de systèmes d'équations plus ou moins compliqués, et en faisant appel, depuis que cela nous est offert, aux immenses possibilités des ordinateurs. Parmi les principaux outils, nous citerons :

- les lois de distribution statistique,
- la régression, la corrélation, l'autocorrélation...,
- les différents tests d'adéquation, de vraisemblance, de cohérence, d'homogénéité,
- la transposition de processus stationnaires, auto-régressifs ou de moyennes mouvantes,
- les procédés d'analyse de champ,
- les chaînes de Markov,
- les méthodes de classification automatique,
- l'analyse harmonique et spectrale.

A cet égard, les travaux de recherche correspondants sont menés, non seulement au sein des services de la météorologie, mais également de concert avec les Universités et notamment avec l'Ecole Supérieure Polytechnique, l'Ecole Nationale d'Informatique, l'Etablissement d'Enseignement Supérieur des Lettres. Des centres nationaux de recherche collaborent aussi avec la météorologie dans plusieurs domaines. Par ailleurs, on compte actuellement près d'une dizaine d'ingénieurs de la Météorologie qui ont soutenu une thèse de doctorat

Dans les travaux effectués, plusieurs thèmes ou sujets sont abordés au point de vue de la pluviométrie, et dans les lignes suivantes, nous essaierons d'en donner un aperçu avec les méthodes utilisées et les résultats obtenus.

Cette longue introduction était nécessaire pour situer les résultats acquis dans le domaine de la climatologie. Ces derniers seront disposés en deux rubriques :

- l'assistance climatologique
- les travaux et recherches.

## **A. ASSISTANCE CLIMATOLOGIQUE**

L'assistance climatologique constitue une des principales attributions confiées à la charge du Service Météorologique. Cette branche s'occupe particulièrement du temps passé, ou en d'autres termes elle gère toute la documentation qui se rapporte au temps qu'il a fait depuis voilà près de cent ans que des observations météorologiques sont effectuées dans notre pays. Suivant la nature des besoins exprimés par les demandeurs de renseignements, les données que l'on met à leur disposition peuvent subir des transformations plus ou moins élaborées.

Dans ce paragraphe, on distinguera :

- la nature des renseignements les plus demandés
- les usagers
- l'utilisation des renseignements

## **I. NATURE DES RENSEIGNEMENTS**

Les renseignements concernant les précipitations sont de loin les plus demandés. C'est d'une logique indiscutable que l'eau et la pluie sont inséparables et l'eau c'est la vie. La préférence sur le choix d'un site par rapport à un autre est axée essentiellement sur la pluviométrie. Par ailleurs il est aussi nécessaire d'avoir des renseignements sur le régime des précipitations, la quantité de pluie tombée, leur nature, la durée. Selon les besoins et les résultats escomptés on utilise : les pluies journalières, les pluies décadaires, les pluies mensuelles, les pluies annuelles ou saisonnières. Pour des exigences plus rigoureuses on utilise les pluies de 5', 10', 15', 60', 90' et on raisonne en terme d'intensité.

Sur le plan quantitatif, la climatologie fournit des valeurs ponctuelles, des valeurs moyennes, des valeurs normales, des valeurs extrêmes, de nombre de jours de pluie ou les fréquences. Pour notre pays les renseignements sur les cyclones sont également d'une importance capitale, car, en plus des dégâts causés par le vent, un excès d'eau à la suite d'une inondation est également à prendre en compte. Ainsi donc, il faut connaître les régions les plus exposées, la fréquence, la quantité de pluies car, il faut le dire après tout qu'un cyclone tropical est un réservoir d'eau, qui de ce fait peut influencer énormément le bilan pluviométrique annuel d'une ville ou d'une région.

Il est également de grand intérêt de signaler les renseignements sur les orages et les chutes de grêle surtout que l'on connaît l'effet dévastateur de la grêle sur l'agriculture. C'est la climatologie qui exploite en premier lieu ces données sur les précipitations pour élaborer toute une gamme de renseignements depuis les hauteurs de pluie journalières jusqu'aux prévisions saisonnières en passant par la régionalisation de Madagascar avec le critère "pluie".

## **II. LES USAGERS**

Les échanges internes à la Météorologie mis à part, presque tous les secteurs d'activité ont eu recours aux renseignements météorologiques. Ce sont les agriculteurs qui viennent en tête par le truchement du Ministère de l'Agriculture. Voici une liste énumérative, qui est loin d'être complète, des principaux utilisateurs des renseignements :

- Organismes du genre ORSTOM, BCEOM, ASECNA
- Ministère de l'Agriculture et tous les départements sous tutelle
- Eaux et Forêts
- Travaux publics
- Santé
- Département de l'Elevage
- FTM et Géographie
- Tourisme
- Les Services portuaires
- Etudiant (mémoire et thèse)
- Chercheur à l'Université
- Les Assureurs
- Les particuliers

### **III - UTILISATION DES RENSEIGNEMENTS**

A l'origine, ces renseignements ont été destinés à la protection aérienne et civile mais aussi à la navigation maritime. Par la suite, c'est l'agriculture qui a tiré plus d'avantages en utilisant les données pluviométriques;

En effet, choix du site, besoin en eau d'une plante, irrigation, choix et adaptation d'espèces ou de variétés, rendement font tous référence aux précipitations et dépendent fortement du régime pluviométrique. La climatologie dispose des moyens et des données nécessaires pour fournir une prévision saisonnière (début de saison et prévision de quantité).

L'aménagement du territoire est également un secteur qui utilise beaucoup les données pluviométriques. En voici quelques exemples : dimensionnement des ouvrages d'évacuation, protection d'une ville contre les inondations, barrage et rétention d'eau, construction de routes : en général tout projet d'urbanisation doit tenir compte de l'élément "précipitation".

D'autres branches, telles que médecine, hydrologie, hydraulique, hydrogéologie ont besoin d'informations et de données pluviométriques pour des applications spécifiques.

Pour le tourisme et surtout l'environnement dont le climat fait partie, les éléments météorologiques et surtout la pluviométrie constituent le "poumon".

On peut citer à titre d'exemple le rôle de la pluie dans l'alimentation de nappe phréatique, dans la régénération des forêts, dans l'approvisionnement en eau des lacs. En résumé, les précipitations interviennent dans l'environnement par le cycle de l'eau.

## *Climatologie*

Pour les étudiants et chercheurs, les renseignements pluviométriques sont souvent utilisés dans de nombreux domaines pour servir de données de base ou d'appui à leurs études. Il s'agit là des mémoires ou thèses qui mettent en valeur l'importance de la pluie et ses conséquences dans leurs travaux. Voici quelques exemples de ces études :

- Filière Eaux et Forêts (ESSA) : possibilité d'amélioration de la production piscicole au lac Mantasoa
- BTP (EESP) : problème d'assainissement au PK 80 sur le MLA
- Géographie (EESRL) : érosion urbaine à travers la ville d'Antananarivo
- Médecine (EESanté) : relation entre le climat et les maladies
- Génie chimique (EESP) : traitement des eaux usées
- IMATEP : problème d'approvisionnement en eau potable dans les fivondronana de Toliara I et périphérie.

Ces études ont fait l'objet d'une coopération entre ces étudiants et la division climatologie de la DMH surtout en ce qui concerne :

- les types de données à utiliser
- les méthodes de traitement
- l'interprétation des résultats.

Les demandes de renseignements sur l'eau et la pluie ne cessent d'augmenter et les statistiques le prouvent.

En 1950	on a enregistré	110	demandes par an.
1960		325	
1970		690	
1980		1000	
1990		1250	

## **B. TRAVAUX ET RECHERCHE EFFECTUES EN CLIMATOLOGIE**

Les premiers travaux sur la climatologie de Madagascar remontent à 1932 et les recherches se poursuivent sans discontinuer, autant pour essayer de mieux connaître davantage le climat que pour pouvoir mettre à la disposition des usagers, non seulement des données de base utilisables, mais aussi des données de plus en plus élaborées et des prévisions transcrites sous forme de modèle. Sans minimiser l'importance des études antérieures à 1975 que l'on peut qualifier d'avant-garde, un nouvel élan est donné aux travaux de recherche avec la création de l'Etablissement d'Enseignement Supérieur Polytechnique de la Grande Université de Madagascar où les enseignants de la filière

Météorologie sont en partie les Ingénieurs du service de la Météorologie. En 1982, un autre bond en avant est marqué par l'installation au sein de ce même Service d'un ordinateur de moyenne puissance et actuellement comme il est décrit plus avant, les moyens de travail ne manquent pas, bien que de nouveaux efforts doivent encore être entrepris. Aussi, au titre des travaux, peut-on distinguer deux catégories : celle effectuée avant 1975 et celle après cette date.

## **I. PERIODE ANTERIEURE A 1975**

### **I.1. NOTE SUR LES PLUIES A TANANARIVE (R.P, ch. POISSON, 1932)**

La note dresse les statistiques sans lacunes couvrant la période 1882-1932. Des remarques particulières portent sur les orages, les grains orageux, quelques averses et les valeurs extrêmes mensuelles et journalières.

### **I.2. SUR LA VARIABILITE DES PLUIES A TANANARIVE (R.P, POISSON, 1934)**

L'étude statistique concerne les pluies annuelles sur Tananarive pendant 52 ans dans trois stations :

- Andohalo (1882, 1888, 1889, 1896-1898)
- Faravohitra (1883-1887)
- Ambohidempona.

Il a trouvé qu'il n'existe pas d'écart significatif entre les relevés des trois stations, distantes les unes des autres de 2,500 Km. La saison 1923-1924 est marquée par une sécheresse exceptionnelle (869,2 mm pour une valeur normale de 1338,1 mm).

### **I.3. ATLAS CLIMATOLOGIQUE DE MADAGASCAR (Jacques RAVET, 1948)**

Cet ouvrage est resté pendant longtemps l'Atlas de référence pour Madagascar. Il a utilisé les données de 119 stations sur la période 1937-1944. On y trouve particulièrement les courbes,

- des isothermes
- des humidités relatives
- de nébulosité
- des isohyètes
- de vent (vitesse et direction au sol).

#### **I.4. INDICE D'ARIDITE A MADAGASCAR (Pierre DUVERGE, 1949)**

On a utilisé ici l'indice de SWAIN qui considère 4 catégories, dont chacune est divisée en deux, selon que le mois le plus sec se produit soit en hiver (H) ou au printemps (P) (indices impairs), soit en été (E) ou en automne(A) (indices pairs). Un mois est sec lorsque la quantité de pluie est inférieure ou égale à 50 mm.

- 0 à 1 mois sec : indices 1 (H ou P) et 2 (E ou A)
- 2 à 4 mois sec : indices 3 (H ou P) et 4 (E ou A)
- 5 à 7 mois sec : indices 5 (H ou P) et 6 (E ou A)
- 8 à 12 mois sec : indices 7 (H ou P) et 8 (E ou A)

Chaque catégorie est en outre subdivisée en 10 groupes correspondants à diverses spécifications portant sur la température.

#### **I.5 - LES PLUIES A MADAGASCAR (Jacques RAVET, 1950)**

Ce fut un autre ouvrage de référence à l'époque de sa publication. Il donne pour Madagascar, Les Comores et La Réunion, dans 57 stations et sur 15 ans (1931-1945),

- la moyenne des pluies mensuelles
- les isohyètes mensuelles
- les coefficients pluviométriques  $k = 12 \frac{\text{pluie mensuelle}}{\text{pluie annuelle}}$
- la variabilité des pluies mensuelles et annuelles
- la variabilité des pluies décadaires
- la variation diurne et le maximum horaire.

#### **I.6. LES PLUIES EN 24 HEURES**

(Projet PNUD/OMM pour l'établissement d'un système de prévision des Cyclones à Madagascar, 1972)

Cette étude avait pour but d'attirer l'attention des responsables de la protection civile sur les risques de fortes précipitations dans certaines localités en cas de cyclones. Les valeurs  $q$  des pluies journalières en 24 heures égales ou supérieures à 100 mm pour les stations côtières et 50 mm pour les stations continentales ont été classées par valeur décroissante de manière à connaître,

- le nombre de fois  $N$  où  $q$  a été atteinte ou dépassée au cours de la période  $P$  années des observations
- le nombre d'années  $P/N$  au cours desquelles la quantité  $q$  a été atteinte.

Dans un système à échelle linéaire pour  $q$  et à échelle logarithmique pour  $P/N$ , on obtient en général une droite qui ajuste les points figuratifs. On détermine l'occurrence de pluie annuelle, l'estimation des pluies de 10, 20, 50, 100 ans... On donne également les 10 pluies les plus fortes pour chaque station.

### **I.7. LIMITES DES QUINTILES A MADAGASCAR**

(Service Météorologique, 1974)

Les 30 valeurs de pluies mensuelles sur une période normale de 30 ans sont divisées en cinq groupes constituant les quintiles. Le premier groupe contient les six valeurs les plus basses pour le mois qui ont été observées au cours de la période tandis que le 5ème quintile contient les six valeurs les plus élevées. Comme limite entre deux quintiles successifs, on choisit la demi-somme de la plus haute valeur du quintile inférieur et la première valeur du quintile supérieur. Le numéro du quintile dans lequel est comprise la hauteur mensuelle de pluie est le chiffre transmis dans le message CLIMAT.

## **II. PERIODE POSTERIEURE A 1975**

### **II.1. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ET BILAN HYDRIQUE A MADAGASCAR** (Service de la Météorologie, 1976)

Partant de l'évapotranspiration potentielle obtenue à l'aide de la relation de THORNTHWAITE, on en a déduit une estimation des paramètres agrométéorologiques. Les calculs portent sur des données de base relevées sur plusieurs années, ce qui attribue aux chiffres présentés la qualité de valeur moyenne et ceux-ci sur 154 stations.

L'évapotranspiration potentielle moyenne ou le besoin en eau de la végétation est présentée sous forme d'un tableau associé à un graphique permettant au lecteur de se rendre compte mois par mois de l'état hydrique du sol en un lieu donné, et des isolignes correspondant à chaque paramètre matérialisent un essai de régionalisation de Madagascar au point de vue agrométéorologie.

### **II.2. MISE A JOUR DE L'ETUDE PLUVIOMETRIQUE DE LA PLAINE D'ANTANANARIVO** (Division climatologie) (équipe dirigée par M. Randrianasolo Léon et Ratovoharison V., 1982)

On peut diviser l'étude en quatre parties :

- II.2.1. Dans un premier temps, l'homogénéisation des données :**  
détection des anomalies et erreurs par la vraisemblance et la cohérence des données, détection des anomalies d'homogénéité par simple et double

cumuls, redressement des valeurs, complétion des données manquantes (ajustement suivant une surface du  $Z^{\circ}$  degré), réduction des séries à une même période aux niveaux mois et années.

### **II.2.2. Constitution des fichiers de travail et premiers traitements**

- . fichiers par pluviométrie, par bassin
- . fichiers des pluies décadaires, mensuelles, saisonnières et annuelles
- . fichier des pluies maximales en 30', 1 jour, 3 jours, 8 jours
- . fichier des données sur la variabilité mensuelle et saisonnière.

### **II.2.3. Loi de contribution (Gauss, Galton, Gumbel,...) :**

- adéquation des différentes lois à l'aide du test du  $\chi^2$
- calcul des fonctions inverses (ou valeurs correspondant à des fréquences données).

### **II.2.4. Traitements**

- corrélation ou régression entre les données du bassin et celles des bassins partiels (pluies annuelles, pluies maximales de 1 jour, 3 jours, 8 jours)
- fréquence de dépassement des pluies journalières et mensuelles par rapport à différents seuils
- étude des variabilités
- étude séquentielle et fréquentielle des pluies de 1 jour, 2 jours, 3 jours, ... 10 jours.

## **II.3. CONTRIBUTION A LA REALISATION D'UNE CHAÎNE DE TRAITEMENTS POUR LE CONTRÔLE AUTOMATIQUE DES DONNEES METEOROLOGIQUES**

(Randrianarisoa Joachim - Razafindrakoto Benjamin 1981, 1988)

Ce travail représente une amélioration de celui effectué quelques années auparavant sur le même sujet et constitué par un ensemble de programmes écrits en COBOL dont les principales fonctions sont :

- d'extraire le fichier portant sur une station déterminée
- de décorer les caractères alphanumériques et de détecter les erreurs en testant les incohérences et les incompatibilités
- de corriger les erreurs grossières dues aux mauvaises perforations des cartes
- de mettre en forme les données selon une nouvelle structure de fichier.

Quant à la chaîne, elle utilise à la fois le COBOL et le FORTRAN et comporte d'autres caractéristiques :

- elle reprend les données à la source, c'est-à-dire, à partir des documents de base (feuille de relevé, carnet d'observation,...)
- les saisies sont effectuées sur disquette puis transférées sur bande magnétique
- le contrôle est plus performant et utilise les différentes méthodes de cohérence, de vraisemblance et d'homogénéité
- les données manquantes sont estimées à l'aide des enregistrements continus, de la régression et de l'analyse factorielle
- les programmes sont enchaînés et se déroulent en sortant à chaque étape les résultats partiels.

#### II.4.HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES (Razafimahazo Alain, 1981)

Outre l'utilisation de test de signification, on relève particulièrement le comblement des valeurs incomplètes à l'aide de deux méthodes :

a. méthode de régression entre totaux annuels

$$Y_x = Y_{ok} + R * S_{ky} (X - X_{ok})$$

---

$$S_{ks}$$

$Y_x$  moyenne conditionnelle de Y lié à X

$Y_{ok}, X_{ok}$  moyennes

R coefficient de corrélation entre X et Y

$S_{ky}, S_{kx}$  écarts-type.

b. méthode par pondération

$$P(A) = \frac{1}{n} \sum_j \frac{N(A)}{N(j)} P(j)$$

N(A) normale à la station A

N(j) normale à la station j

P(j) normale à la station j

n nombre de stations

P(A) pluie théorique

$$P_{\text{estimée}}(A) = \sum c_i K_i P(A)$$

$C_i$  = pluie théorique/pluie réelle

$K_i$  = facteur de pondération.

## **II.5. ETUDE PLUVIOMETRIQUE DE LA PLAINE D'ANTANANARIVOAVEC L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (Randrianaivalona Félix, 1988)**

On dispose de données statistiques dans un espace de dimension élevée ou encore d'un nombre important de variables et d'observations. L'étude consiste à représenter ces valeurs dans un espace de faible dimension avec le minimum de perte d'information, espace caractérisé par la notion de facteur. On a extrait cinq facteurs mais on s'est limité aux trois premiers qui représentent les 93 % de l'information pluviométrique :

- Toutes les variables sont corrélées positivement avec la première composante principale que l'on suppose être la convection thermique d'été;
- le deuxième axe ou facteur traduit l'effet de foehn car il manque une opposition entre les variables (stations) situées au vent et les variables (stations) situées sous le vent (situation d'hiver austral);
- le troisième axe ou la 3<sup>ème</sup> composante principale traduit l'effet de vent de N-W, car il (elle) divise la zone en deux parties Nord et Sud en saison chaude, où l'anticyclone de l'Océan Indien s'affaiblit et c'est la dorsale de l'anticyclone d'Arabie qui intéresse le Nord du canal du Mozambique par intermittence et tel que la ZCIT étend son influence sur Madagascar.

## **II.6. REGIONALISATION AU SUD DE MADAGASCAR PAR LES METHODES DE L'ANALYSE FACTORIELLE (Olivier Rakotovazaha, 1982)**

Considérant le tableau RRJJ (I, J, K) des précipitations journalières de la station  $i$  ( $i$  appartient à l'ensemble I des stations pluviométriques) pour les jours  $j$  ( $j$  élément de l'ensemble des jours de l'année) pendant une période de  $k$  années ( $k$  éléments de l'ensemble des années d'observation).

En fixant  $k$ , on a une représentation spatiotemporelle de la pluviométrie, et une coupe engendre des images plus concrètes,

- soit perpendiculairement à l'axe temporel donnant ainsi la répartition spatiale de la pluviométrie pour un jour donné;

- soit perpendiculairement au plan des stations données, ce qui représentera l'évolution temporelle de la pluviométrie pour une station donnée.

L'analyse factorielle consiste à définir deux formes quadratiques  $m$  et  $G$  où  $m$  est supposée définie positive et  $G$  une forme quelconque dont leur composition formera une application linéaire ayant pour matrice des variances et covariances des données de pluie. La diagonalisation de cette matrice donnera les valeurs propres qui sont les variances des données projetées sur un axe factoriel et des vecteurs propres qui forment les facteurs qu'il faut interpréter. L'orthonormalisation par la méthode de Schmidt et de Hilbert permet d'obtenir la base orthonormée de l'hyperplan de faible dimension pouvant contenir les données pluviométriques. La reconstitution des données manquantes s'effectue par ajustement linéaire au sens des moindres carrés et l'analyse discriminante est introduite pour la classification automatique.

En résultat, si on utilise 45 stations du Sud de Madagascar :

- 36 sont classées dans la zone aride
- 9 sont classées dans la zone non aride

Le premier axe porte 61,4 % des informations, le 2<sup>ème</sup> : 7,2 % le 3<sup>ème</sup> : 5,2 % et le 4<sup>ème</sup> : 1,1 %

## II.7. REGIONALISATION DES HAUTS PLATEAUX PAR LE BILAN HYDRIQUE (Randrianarimanana Alfred, 1981)

Les différentes parties de ce travail sont les suivantes :

- régionalisation au point de vue précipitation mensuelle  $P$  qui représente l'actif ou les recettes (minimum de pluie de 100 mm à l'Ouest d'Ambalavao et maximum de 300 mm le long du versant est)
- régionalisation au point de vue débit spécifique qui forme le passif ou les dépenses  $q_s = Q/S$

On retrouve que le versant est a beaucoup d'eau avec une quantité diminuant vers l'Ouest

- régionalisation au point de vue coefficient d'écoulement

$C_e = V_e / V_p$  où  $V_e$  = volume écoulé pendant la saison et  $V_p$  = volume précipité

$V_e = Q \times 60 \times 60 \times 24 \times 30 \times 6$

$V_p = P \times S$  et tel que  $V_e$  et  $V_p$  sont corrélés linéairement.

La conclusion logique sera que :

- le versant est des plateaux est fortement humide et excédentaire
- le versant ouest a un manque d'eau avec un déficit plus ou moins variable.

## II.8. ESSAI DE MODELE A FILTRE LINEAIRE POUR UNE PREVISION MENSUELLE ET SAISONNIERE DE LA PLUVIOMETRIE A MADAGASCAR (Razafindrakoto Léon Guy, 1988)

On utilise ici le modèle de BOX-Jenkins. Dans une première partie, il rappelle le régime pluviométrique de Madagascar et donne la loi de distribution pour les stations principales. Ensuite, il donne le modèle proprement dit : on considère une série chronologique dans laquelle les observations successives peuvent être représentées par une combinaison linéaire de variable aléatoires indépendantes

$\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}$  de moyenne nulle et de variance  $G \varepsilon^2$ . On suppose  $(\varepsilon_j)$  normale.

$$x_t = \mu \sum_{j=0}^{\infty} \Psi_j \varepsilon_{t-j} \quad (\Psi_j = \text{masses})$$

Les observations successives de  $(x_t)$  sont dépendantes entre elles parce qu'elles sont déterminées à partir de réalisations antérieures de  $e_j$ . Dans la pratique, on considère divers processus et le travail étudie :

- les processus auto-régressifs ;
- les processus de moyennes mouvantes ;
- les processus mixtes autorégressifs et à moyennes mouvantes ;
- les processus stationnaires.

L'adoption d'un processus dépend de la fonction d'autocorrélation. On a calculé les différents coefficients pour les pluies mensuelles et saisonnières aux principales villes de Madagascar.

La droite simulant les données prévues par rapport aux données réelles montre une variance minimale.

## **II.9. REGIME PLUVIOMETRIQUE DU LAC ALAOTRA** (Randrianoro Désiré, 1982)

L'étude comporte trois étapes :

- estimation des valeurs manquantes
- calcul des principaux paramètres caractérisant la pluviométrie de la région : moyennes, coefficients pluviométriques mensuels et décennaux.

. On rapporte la valeur moyenne observée à ce que serait la hauteur mensuelle si les pluies étaient distribuées de façon égale pour chaque jour de l'année ;  
. ou on considère la répartition des pluies moyennes entre les décades pour un mois donné.

- et enfin un essai d'interprétation tel que :

. la répartition temporelle des précipitations moyennes mensuelles justifie le contraste entre saison sèche et saison pluvieuse  
. la répartition spatiale amène à une conclusion selon laquelle la région la moins arrosée se trouve sur le Sud Ouest avec 2000 mm (pour un maximum mensuel supérieur à 400 mm) ;  
. la variabilité interannuelle donne des fluctuations autour d'une valeur centrale avec une grande dispersion autour de 30 % de module annuel,  
. le climat est du type semi-humide pour une température moyenne mensuelle de 20°.

## **II.10. ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE PAR LES CHAÎNES DE MARKOV**

### **II.10.1. Etude de l'occurrence et de la non occurrence des précipitations dans la région du Lac Alaotra (Raholijao Nirivololona, 1982)**

Un modèle markovien à deux états est utilisé pour déterminer les probabilités d'occurrence de jours "pluvieux" ou de jours "secs" sur la région du lac Alaotra, ainsi que les probabilités de transition correspondantes. Les résultats montrent que sous l'influence de l'orographie, le bassin de l'Alaotra est subdivisé en deux zones bien distinctes ou terme de probabilité d'occurrence de jours "pluvieux" : une zone de faible occurrence comprenant la partie nord et Nord - Ouest du bassin ainsi que la partie Sud- Est et une zone de forte occurrence concentrée sur la partie sud- ouest du bassin.

### **II.10.2. Etude des épisodes pluvieux dans la plaine d'Antananarivo (Ranivoarisoa Sahondra, 1982)**

La chaîne de Markov à deux états est utilisée pour étudier :

- la distribution et la probabilité des jours pluvieux et des jours secs dans la plaine d'Antananarivo;
- les probabilités de transition d'un état à un autre pour chaque mois de l'année;
- les probabilités d'une séquence pluvieuse de longueur K;

### **II.10.3. Représentation Markovienne des précipitations quotidiennes et leurs simulations. "Exemple d'ANNABA" (Rabefila Zoaharimalala, 1986)**

Sur la base des données de la station d'ANNABA, les chaînes de Markov d'ordre 1 et 2 sont utilisées pour la représentation des séquences sèches et pluvieuses et pour la simulation. Ce type de modèle s'est avéré être un outil adapté pour la représentation de la distribution des longueurs de séquences. Mise à part la variabilité des pluies interannuelles, la simulation a donné de bons résultats.

### **II.10.4. Etudes des épisodes pluvieux de saison chaude sur les Hauts-Plateaux (Rakotoarimanana Nirison, 1992)**

En considérant la région des Hauts-Plateaux suivant la délimitation de Williams J.B (1990), deux modèles markoviens sont utilisés pour étudier le comportement des précipitations de saison chaude. Le premier modèle qui est un modèle markovien de type exponentiel a donné des résultats satisfaisants par le calcul des probabilités du nombre de jours pluvieux dans un mois et des probabilités pour que la précipitation maximale journalière soit inférieure à un seuil donné. Les probabilités des épisodes pluvieux de longueur K sont étudiées à l'aide d'un modèle markovien d'ordre deux.

Les résultats ont montré que ces deux modèles simples à utiliser sont capables de décrire, d'une manière satisfaisante les caractéristiques des précipitations journalières.

## **II.11. QUELQUES VARIATIONS REGIONALES ET TEMPORELLES DU CLIMAT ACTUEL DE MADAGASCAR (Williams J.B, 1990)**

On analyse en détail les variations spatiales et temporelles de la pluie et de la température avec les variations spatiales de l'insolation et de l'évaporation afin de

déterminer à quelle échelle et à quel degré on peut considérer les différentes régions comme homogènes. Les causes physiques qui différencient les régions traduisent les interactions terre-mer-air. En fonction de cette régionalisation de la Grande Ile, il est proposé un développement du réseau de stations, une prévision du rendement des cultures et une réorganisation du travail agrométéorologique.

Le résultat donne :

- 4 régions climatiques
- 20 régions pluviométriques
- 97 sous-régions pluviométriques.

## **II.12. CONTRIBUTION A LA PREVISION QUANTITATIVE DES PRECIPITATIONS A MADAGASCAR (Rakotondriana Jérôme, 1992)**

Le travail porte respectivement sur la prévision des précipitations en 24 heures, du mois et de l'année.

- A partir des données de sondage à une station, on utilise les températures à des niveaux variant de plus ou moins 75 mb autour de 850 mb et de plus ou moins 87,5 mb autour de 700 mb lorsque des nuages existent. Ces températures servent au calcul des variations de l'humidité spécifique en utilisant la formule de TETEN. On applique ensuite une relation linéaire entre la précipitation et les variations de l'humidité spécifique aux surfaces 850 mb et 700 mb pour estimer une prévision de précipitation en 24 heures ;
- Le développement en séries de FOURIER est utilisé pour la prévision mensuelle;
- Au niveau annuel, on considère la régression linéaire des précipitation cumulées.

## **II.13. TYPISATION DES SITUATIONS METEOROLOGIQUES ASSOCIEES A DE LONGUES SEQUENCES SECHES DANS LE SUD DE MADAGASCAR (Raoliniaina William, 1992)**

Il s'agit ici d'une investigation des causes et des effets de la sécheresse qui sévit fréquemment sur le Sud de Madagascar. L'étude commence par la recherche des longues séquences sèches qui sont une suite de jours pendant lesquels il est recueilli une quantité de pluie inférieure à un seuil donné pour une durée supérieure à un nombre de jours déterminé à l'avance. Puisqu'il s'agit de sécheresse d'ordre climatique, le seuil dépend essentiellement des cultures pratiquées dans la région, du besoin en eau des cultures et enfin du bilan hydrique. La méthode utilisée pour détecter les situations météorologiques typiques est la classification automatique qui comporte deux processus d'exécution, l'un

ascendant comme la méthode de Van der Driersche et l'autre descendant comme la méthode du Centre Mobile et des Nuées Dynamiques. Tous les deux fournissent à partir d'un ensemble de situations météorologiques associées à de longues séquences sèches dans le Sud de Madagascar, une suite de partitions de plus en plus fines en classes aussi homogènes que possible et telles que deux classes différentes soient dissemblables.

Pour la mesure interclasse, on utilise la distance euclidienne.

#### **II.14. ANALYSE DU CHAMP DE VENT A IVATO**

(Ramaroson Radiela Andrianaina, 1982)

Les séries de Fourier, l'analyse harmonique et les méthodes de séparation des composantes sont utilisées pour l'analyse des vents en surface à Ivato. La méthode est transportable pour étudier tous les paramètres climatiques et en particulier pour déterminer les contributions fréquentielles en matière de pluviométrie.

#### **II.15. THE CLIMATE OF MADAGASCAR AND RELATIONSHIPS TO SOUTHERN AFRICA**

8<sup>e</sup> Conférence Annuelle de la South African Society for Atmospheric Science  
(M.R. Jury, N. Raholijao, 1991)

Afin de mieux comprendre et prévoir la variabilité annuelle des précipitations estivales à Madagascar, les corrélations entre les indices de précipitations (rainfall index) et le champ de vent en altitude/en surface, entre les indices de précipitations et le champ de température à la surface de la mer.

Les résultats montrent que les précipitations sont d'autant plus abondantes aux mois de janvier/février sur les Hauts-Plateaux lorsque :

- la température à la surface de la mer présente une anomalie positive (chaude) au Nord- Est de l'île et une anomalie négative (froide) au Sud;
- de même, des vents d'Est forts en altitude sur le Nord- Est et un thalweg en altitude sur la partie occidentale du canal de Mozambique tend à accroître les précipitations durant cette période;
- tout comme le renforcement de la mousson de Nord-Ouest dans les basses couches et le renforcement de l'alizé au Sud de l'île.

La variabilité interannuelle de ces précipitations estivales s'oppose à celle de l'Afrique australe.

### **III. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS**

La table ronde sur le thème "Climatologie" a réuni l'université, les organismes de recherche et la Direction de Météorologie et de l'Hydrologie (DMH).

La connaissance de l'organisation et du fonctionnement de la DMH permet de comprendre la situation actuelle dans le domaine de la climatologie. Des services régionaux de la Météorologie et de l'Hydrologie viennent d'être créés pour accentuer la décentralisation après la mise en place des brigades provinciales hydrologiques. La décentralisation budgétaire est devenue réalité depuis cette année. La politique de la DMH est orientée vers une gestion plus privatisée, grâce à l'utilisation d'un compte de commerce ouvert au trésor. Toutes ces dispositions facilitent le travail sur le terrain. Les travaux de bureaux quant à eux sont facilités par l'utilisation très poussée de l'informatique.

Les Journées de l'Eau ont permis la réalisation d'échange fructueux entre les usagers et les fournisseurs de services. D'une manière générale, les débats sur le thème Climatologie ont tourné autour des points suivants :

#### **III.1. LE RESEAU DES STATIONS CLIMATOLOGIQUES**

Pour la connaissance de climat et des changements climatiques, l'importance du réseau climatologique n'est plus à démontrer. Cependant à cause des possibilités limitées de la DMH, le nombre de stations du réseau n'a cessé de diminuer.

Les stations encore existantes sont mal réparties.

La question se pose donc sur l'avenir du réseau. Une étude de représentativité a été effectuée pour arrêter la liste des stations qui devraient être réhabilitées ou créées. En attendant des moments plus propices, les efforts sont axés sur le maintien du réseau actuel et la préservation de la qualité des données.

#### **III.2. QUALITE DES DONNEES**

La qualité des données dépend principalement de l'observateur. Le temps du bénévolat est révolu, et cette année les indemnités allouées aux observateurs ont été sérieusement révisées pour avoir plus de motivation.

Arrivées à la DMH, ces données sont soumises à des contrôles sévères à plusieurs étapes, quitte à éliminer ou corriger les valeurs erronées ou douteuses. L'homogénéité ou la non-homogénéité de la série est également vérifiée avant toute utilisation.

### **III.3. VALORISATION DE LA RECHERCHE ET VULGARISATION DES RESULTATS**

En climatologie, de nombreux travaux de recherches ont été effectués et il reste encore beaucoup à faire. Ces travaux ont largement contribué à l'amélioration de la connaissance du climat et des changements climatiques. Cependant la publication de ces travaux a été très limitée faute de moyens. Une plus large diffusion des résultats de ces travaux a été demandée pour que la communauté scientifique puisse bénéficier elle aussi de l'avancée de la climatologie. A cet effet, la mise en place actuellement d'une cellule de publication pourrait pallier progressivement à ce défaut.

### **III.4. ASSURANCE ET ASSISTANCE AUX PAYSANS**

La DMH dispose des informations pour l'assistance aux paysans, mais il appartient aux vulgarisateurs agricoles de les faire parvenir au sein même de la masse paysanne pour beaucoup plus d'efficacité.

En ce qui concerne les assurances, les informations climatologiques pourraient être disponibles mais l'absence de textes juridiques constitue un handicap.

### **III.5. COOPERATION ET COLLABORATION AVEC LES AUTRES DEPARTEMENTS**

Dans tous les domaines et surtout concernant l'environnement et l'eau, l'approche pluridisciplinaire est la méthode la plus efficace. Les comportements doivent changer. La libre circulation et des hommes et des informations succède aux rigidités des structures institutionnelles et on préfère maintenant la souplesse du réseau. Encore faut-il préciser les partenaires et les modalités de rapprochement pour plus d'efficacité.

### **III.6. CONCLUSIONS**

La table ronde sur la climatologie était une occasion d'exposer le rôle et l'apport de la climatologie dans le domaine de l'eau. Elle a été également une occasion de recevoir des suggestions ou de compléments d'informations de la part des autres spécialistes. Les multiples interventions et la grande qualité du débat le prouvent. En réalité le temps nous a manqué.

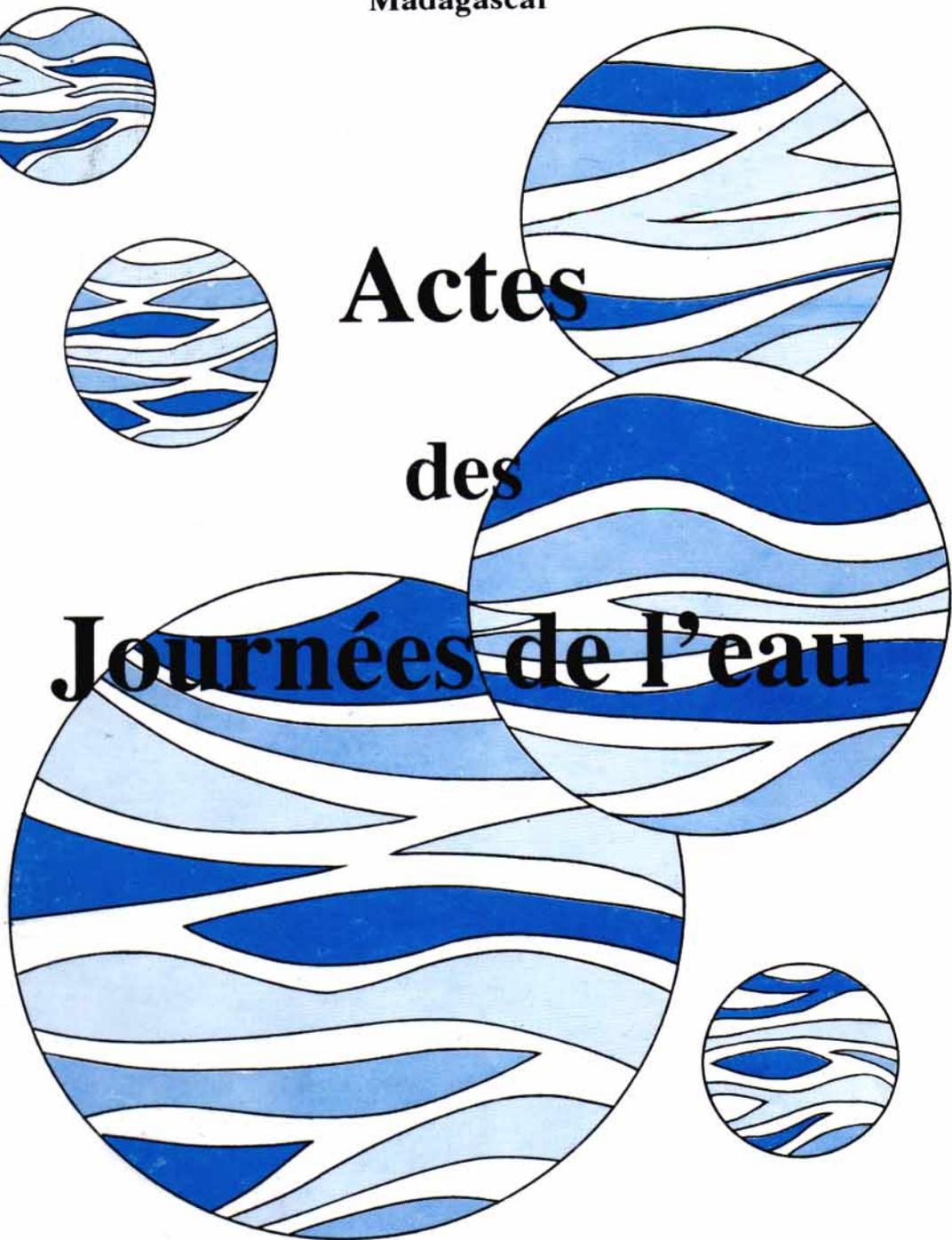
## *Climatologie*

A entendre les discussions qui s'y sont déroulées, la Météorologie et la Climatologie seraient impliquées dans beaucoup de disciplines.

LA DMH, malgré ses moyens limités, s'efforce toujours d'assurer son rôle.

D'autres actions seront engagées, une coopération pluridisciplinaire est toujours nécessaire ; c'est à cette condition que l'effort que nous avons entrepris pendant ces "Journées de l'Eau" pourra être poursuivi et amplifié.

16 - 20 novembre 1992 Antananarivo  
Madagascar



**Actes**  
**des**  
**Journées de l'eau**

Editeurs : Jean-Marc ELOUARD  
Marta ANDRIANTSIFERANA