

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO

-----  
DEPARTEMENT : METEOROLOGIE  
-----

*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention  
du Diplôme d'Ingénieur de la Météorologie*

"CONTRIBUTION A L'ETUDE  
DE LA SECHERESSE ET DE L'ARIDITE  
DANS LE SUD DE MADAGASCAR"

*Présenté par : COULIBALY Abdouramane (MALI)*

Date de soutenance : 16 Mars 2005



## **REMERCIEMENTS**

Nous disons « ALHAMDOULI LAHI », louanges à DIEU qui nous a permis d'achever ce travail.

Nous voudrions très sincèrement exprimer toute notre **GRATITUDE**

- ☞ A l'Organisation Météorologique Mondiale ;
- ☞ Au Programme des Nations Unies pour le Développement ;
- ☞ Et au Service Météorologique National du Mali pour leurs efforts conjoints sans lesquels la présente formation ne serait pas.

Nos **REMERCIEMENTS** les **MEILLEURS** et les plus **SINCERES**, s'adressent à

☞ Monsieur **Benjamin RANDRIANOELINA, DIRECTEUR** de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'ANTANANARIVO pour nous avoir admis au sein de cette école qu'il a l'honneur et le privilège de diriger ;

☞ Monsieur le **CHEF DU DEPARTEMENT DE METEOROLOGIE**, Monsieur **RANDRIANASOLO Léon** également **DIRECTEUR de ce mémoire** dont les recommandations, conseils et orientations ont valu à ce document toute la représentativité ;

☞ Monsieur **RAHETINDRALAMBO Rakoto**, Chef de Département Base de données à l'Institut Cartographique et Hydrographique de Madagascar pour son encadrement précieux ;

☞ Monsieur le **DIRECTEUR GENERAL DE LA METEOROLOGIE MALAGASY** ;

☞ Monsieur le **DIRECTEUR DES EXPLOITATIONS DE LA METEOROLOGIE MALAGASY** ; pour les données météorologiques et climatologiques qu'ils ont bien voulu mettre à notre disposition ;

Monsieur et Madame **RANDRIANARISON** voudraient recevoir toute ma reconnaissance de même que :

☞ Monsieur le **REPRESENTANT RESIDENT DU PNUD-MADAGASCAR** ;

☞ **DOCTEUR Fatoumata NAFO TRAORE**, **WORLD HEALTH ORGANIZATION** et  
**GRAND MERCI aux AMIES :**

☞ **Clarisse ANDRIANANTENAINA**, Assistante de Programme **PNUD-MADAGASCAR** ;

☞ **Holy RABEARIMANANIAINA**, Assistante Administrative Principale, **PNUD-MADAGASCAR**;

☞ **Haingo RATIAHARIMANANA**, Agent de voyage **PNUD-MADAGASCAR**;

☞ **Willia ANDRIAMANANTSOA**, Secrétaire **PNUD-MADAGASCAR** pour leur

***précieuse collaboration.***

A tous ceux et à toutes celles que je n'ai pas nommés ici, je voudrais dire que nous leur sommes **REDEVABLES**

***NOUS NE SOMMES PAS ET NOUS NE SAURIONS ETRE DES INGRATS INCH'ALLAH !***

## TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS.....	iv
<u>INTRODUCTION.....</u>	<u>1</u>
<u>Chapitre I : GENERALITES.....</u>	<u>2</u>
<u>I.1. CONSIDERATIONS GENERALES.....</u>	<u>2</u>
<u>I.1.1. CONVENTIONS DE BASE.....</u>	<u>2</u>
<u>I.1.2. FACTEURS DE CONVERSION.....</u>	<u>2</u>
<u>I.1.3. NOMENCLATURE GENERALE.....</u>	<u>2</u>
<u>I.2. PRELIMINAIRES.....</u>	<u>2</u>
<u>Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....</u>	<u>3</u>
<u>II.1. TRAITIS PHYSIQUES.....</u>	<u>3</u>
<u>II.2. HYDROGRAPHIE.....</u>	<u>3</u>
<u>II.3. TRAITIS HUMAINS.....</u>	<u>4</u>
<u>Chapitre III : LES CAUSES.....</u>	<u>5</u>
<u>III.1. DEFINITION ET CONCEPTS DE BASE.....</u>	<u>5</u>
<u>III.2. CAUSES METEOROLOGIQUES.....</u>	<u>5</u>
<u>III.3. LES CAUSES CLIMATOLOGIQUES.....</u>	<u>6</u>
<u>III.3.1. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS.....</u>	<u>9</u>
<u>III.3.2. APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE.....</u>	<u>28</u>
<u>III.3.2.1. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS.....</u>	<u>28</u>
<u>III.3.2.2. INTERPRETATION OU DISCUSSIONS.....</u>	<u>32</u>
<u>III.3.2.3. CONTRASTES DU BILAN HYDRIQUE.....</u>	<u>34</u>
<u>III.3.3. ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE.....</u>	<u>34</u>
<u>III.4. INDICES DE SECHERESSE.....</u>	<u>36</u>
<u>III.4.1. INDICE DE L'ECART A LA MOYENNE (Em).....</u>	<u>36</u>
<u>III.4.1.1. DEFINITION.....</u>	<u>36</u>
<u>III.4.1.2. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS.....</u>	<u>36</u>
<u>III.5. INDICE DE PLUVIOSITE.....</u>	<u>39</u>
DEFINITION.....	39
METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS.....	39
<u>III.6. LE RAPPORT A LA NORMALE (RN).....</u>	<u>43</u>
DEFINITION.....	43
METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS.....	43
<u>III.7. INDICES DE SEVERITE.....</u>	<u>47</u>
INDICE DU NOMBRE D'ECARTS-TYPES.....	48
INDICE DE SEVERITE DE LA SECHERESSE DE PALMER.....	48
INDICE STANDARDISE DE PRECIPITATION.....	49
<u>Chapitre IV : ARIDITE.....</u>	<u>49</u>
<u>IV.1. GENERALITES ET DEFINITION.....</u>	<u>49</u>
<u>IV.2. CORRELATIONS.....</u>	<u>50</u>
CONCLUSION GENERALE.....	59

<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>61</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>63</u>
<u>ANNEXE I : TABLEAUX.....</u>	<u>63</u>
<u>ANNEXE II : TRAVAUX INFORMATIQUES.....</u>	<u>112</u>
<u>ANNEXE III : LISTES DE CONTACTS.....</u>	<u>120</u>

## LISTE DES ABREVIATIONS

GELOSE	Gestion locale sécurisée
PLAE	Programme de lutte antiérosive
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
FAO	Fonds des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
ONGs	Organisations non gouvernementales
CLIPS	Services climatologiques d'Information et de prévision
PAM	Programme alimentaire mondial
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance
CNS	Conseil National de secours.
Ha	Hectare
ETP	Evapotranspiration
RRR	Précipitation
TTT	Température
IAM	Indice d'aridité de MARTONNE
SPI	Indice standardisé de précipitation
PDSI	Indice de sévérité de sécheresse de Palmer
EM	Ecart à la moyenne
IP	Indice de pluviosité
RN	Rapport à la Normale
HH	Hyper humide
H	Humide
SH	Subhumide
SS	sub-sec
S	Sec
HS	Hyper sec
CS	Césium
DNM	Direction Nationale de la Météorologique
WMO	Organisation Météorologique Mondiale
WHO	Organisation Mondiale de la Santé

## INTRODUCTION

Les fluctuations climatiques et leurs corollaires, les sécheresses récurrentes qui, avec en toile de fond, des crises d'aridité, constituent des préoccupations assez majeures. Ces extrêmes climatiques au même titre que d'autres, mobilisent les opinions nationales et internationales.

Si l'homme a réussi dans maints domaines notamment agricoles par l'invention des techniques pour s'accommoder à son milieu (mise au point des variétés végétales et culturales améliorées, conception de méthodes appropriées d'utilisation de l'eau, des engrais et des pesticides...), il est cependant à noter que la menace de la sécheresse continue de peser sur son destin.

Dans un contexte de démographie galopante et eu égard à l'exiguïté des ressources hydriques suite aux aléas climatiques ci-dessus énoncés, le concept de sécheresse doit faire l'objet d'investigations sérieuses afin de pouvoir mieux planifier les activités dépendantes de l'eau.

Dans ces conditions, la nécessité d'étudier le climat s'impose afin d'élaborer des activités qui vont en harmonie avec ce climat. Ceci permet d'aider l'acteur humain par l'adaptation. La présente étude s'inscrit dans cette dynamique. Elle tente en premier lieu de mettre en évidence l'existence du fléau dans les régions Sud de Madagascar.

Dans la deuxième partie, elle s'intéresse à l'aridité dans lesdites régions et enfin identifie les impacts sur les activités et préconise des stratégies de parade.

Les impacts de ces cataclysmes (sécheresse et aridité) étant mesurables en termes financiers et étant également sources d'instabilité et de tensions, les projets de type CLIPS passant par la *météorologie opérationnelle* et la *météorologie appliquée* apparaissent des impératifs dans un monde où l'atteinte de la sécurité alimentaire est d'une absolue nécessité.

# Chapitre I : GENERALITES

## I.1. CONSIDERATIONS GENERALES

### I.1.1. CONVENTIONS DE BASE

RRR : pluviométrie (mm)

TTT : température (°C)

PPP : pression atmosphérique (Hpa)

RN : rapport à la normale (%)

EM : Ecart à la moyenne

Ip : Indice de pluviosité

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

$\sigma$  : Sigma (écart-type)

### I.1.2. FACTEURS DE CONVERSION

$$1 \text{ cal / cm}^2 \text{ / jour} = 0,017 \text{ mm/j}$$

### I.1.3. NOMENCLATURE GENERALE

Vent :

Léger	2m/s	< 175km/j
Modéré	2 – 5m/s	175 – 425km/j
Fort	5 – 8m/s	425 – 700km/j
Très fort	8m/s	> 700km.

## I.2. PRELIMINAIRES

Une étude aussi complète que parfaite de la sécheresse et de l'aridité, nécessitant la réunion de plusieurs paramètres météorologiques sur plusieurs années et caractérisant ces deux états, confère au présent thème un CARACTERE CLIMATOLOGIQUE

Les résultats paraissent intéressants surtout avec les *tableaux I.a ; I.b ; I.c ; I.d et I.e* et *XI.a ; XI.b, XI.c ; XI.d ; XI.e et XII* en **Annexe I** où les principaux les paramètres utilisés dans la présente étude, notent de bonnes corrélations (**0.87 à 0.99**) avec les données climatologiques d'archives de la Direction Générale de la Météorologie Malagasy pour les périodes **1951-1980** et **1961-1990**.

Ces résultats sont générés à partir d'une base de données créée pour l'occasion et dénommée « **BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE** » sous la plate forme ACCES et EXCEL dont un **descriptif** sera fait en **Annexe II**

## **Chapitre II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

Le sud de Madagascar, généralement objet de plusieurs qualificatifs : sud « sec », sud aride, désertique, vulnérable, etc. constitue notre zone d'étude. Aux traits physiques assez contrastés, il représente une vaste zone de *161 904 km<sup>2</sup>* [4] et correspond dans le nouveau contexte de découpage du pays, aux régions du **sud-ouest**, du **Menabe**, de l'**Androy** et de l'**Anosy** avec comme capitales régionales respectivement *Tuléar, Morondava, Ambovombe et Fort-Dauphin*. Avec une population de *2 459 438 habitants* [4], les Athées, les Luthériens et les Musulmans sont présents. Les activités sont principalement l'agriculture et l'élevage.

### **II.1. TRAITIS PHYSIQUES**

A l'exception de Fort-Dauphin, où l'on note une forêt pluviale à feuillage persistant et par endroits dans le Menabe le reste de la zone présente des caractères « africains » (présence de baobab et de jujubiers)

La tendance xérophile (principalement les cactus) joue un rôle prépondérant dans l'alimentation et l'abreuvement des troupeaux bovins de l'Androy. Un trait caractéristique commun non d'un moindre sur lequel d'ailleurs on se basera dans les stratégies de parade est l'immense population de *Tamarindus indica*. L'action des « tavy » fait payer un lourd tribut tant à la biodiversité qu'à l'alimentation du potentiel bovin de la région en général et en particulier dans l'Androy.

Les caractéristiques désertiques deviennent aiguës à Ambovombe et Ampanihy.

Des réserves animalières et aires protégées existent par endroits. A Ranohira, on note une présence lithosphérique jusqu'aux faubours de Ilakaka auxquels, on reconnaît des palmiers sur fond de tissu herbacé dense. Ce constat contraste avec l'existence de forêts et de terres cultivables fertiles propices à l'agriculture.

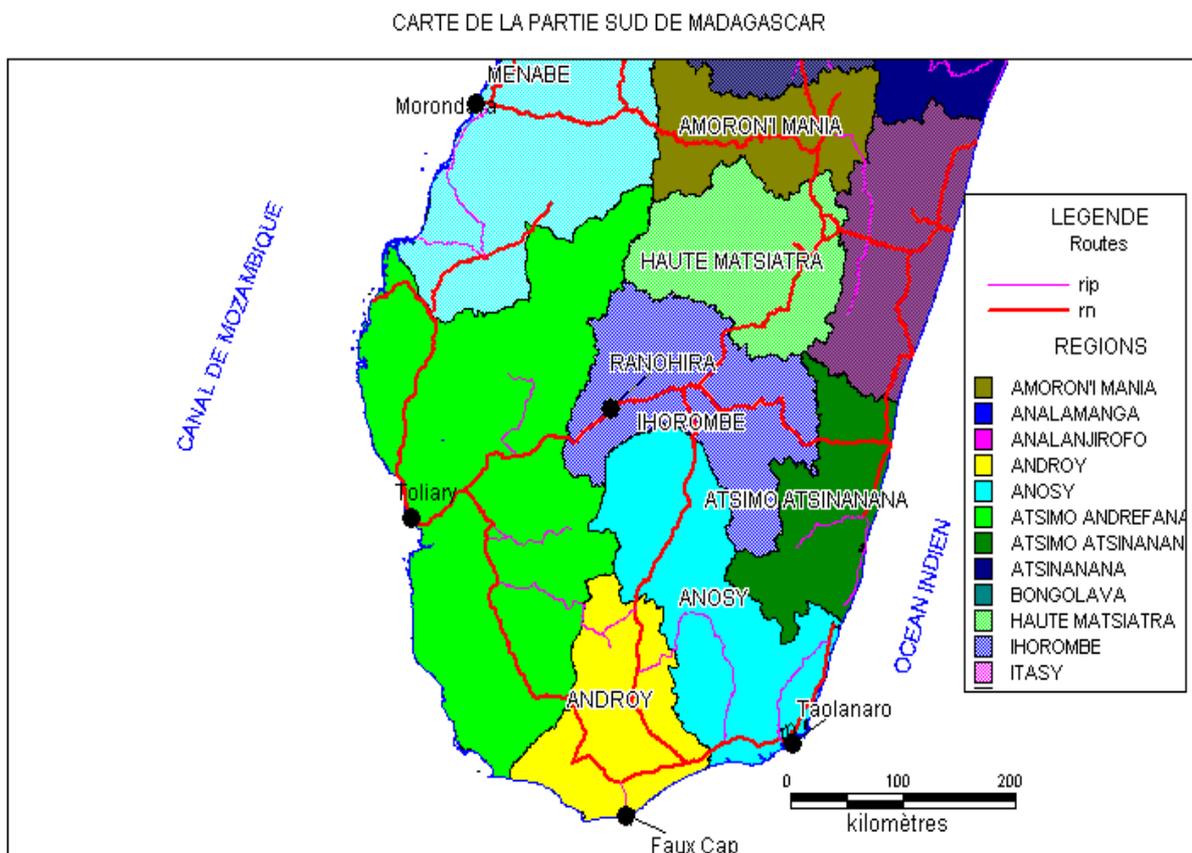
### **II.2. HYDROGRAPHIE**

Le réseau hydrographique est assez lâche. Les principaux fleuves sont le Mandrare (à l'entrée d'Amboasary) et le Menarandra qui ne sont pas pérennes et dont les débits s'amenuisent jusqu'à un maigre ruisseau.

### II.3. TRAITS HUMAINS

Le peuplement est divers, nous nous intéressons dans la présente étude aux « Sakalava<sup>1</sup> » et aux « Antadroy mahafaly<sup>2</sup> » et ce, en raison de leurs activités déterminantes sur la climatologie même de la région.

La carte ci-dessous intéresse la partie sud de Madagascar correspondant à notre zone d'étude.



Fond de carte issu du FTM (BD 500)  
Elaborée par M. A. COULIBALY  
Février 2005  
ANTANANARIVO

<sup>1</sup> Tribus de la région du Sud-Ouest.

<sup>2</sup> Appellation donnée aux tribus d'Ampanihy-Ouest

PARTIE I

SECHERESSE



## Chapitre III : LES CAUSES

### III.1. DEFINITION ET CONCEPTS DE BASE

La sécheresse correspond à un déficit hydrique prolongé dans le temps. C'est un phénomène climatique extrême assez **complexe**. La typologie est assez variée. On retient entre autres :

- ☞ la sécheresse météorologique ;
- ☞ la sécheresse hydrologique ;
- ☞ la sécheresse édaphique.

D'autres sécheresses telles la sécheresse conjoncturelle d' El NINO, la sécheresse agricole, politique, socio-économique etc. existent, elles ne seront pas examinées.

La définition ci-dessus énoncée correspond **mathématiquement** :

- *au rapport  $RRR < 2TTT$  (précipitations inférieures à deux fois les températures) ;*
- *au rapport  $RRR < ETP$  (précipitations inférieures à l'évapotranspiration) ;*
- *à un écart à la moyenne, écart négatif soit  $Pi - Pm < 0$  (précipitations annuelles moins précipitations moyennes annuelles) ;*
- *et en un rapport nul à faible de  $Pi$  (précipitations annuelles) par  $Pm$  (précipitations moyennes annuelles) soit  $(Pi/Pm) \leq 0$*

Nous ferons allusions à ces différentes correspondances mathématiques plus loin dans l'approche **statistique de la sécheresse, dans l'approche du bilan hydrique, et dans l'approche indiciaire (indice d'écart la moyenne, de pluviosité et du rapport à la normale).**

La sécheresse dans le sud de Madagascar tient principalement à la composante météorologique (causes déterminantes) ainsi qu'aux changements climatiques (causes prédisposantes ou adjuvantes) liés à l'activité humaine.

### III.2. CAUSES METEOROLOGIQUES

La pression atmosphérique et le vent sont pour une part non négligeable à la base du déficit pluviométrique dans le sud de Madagascar.

L'effet du premier paramètre se manifeste par ses valeurs élevées qui s'y règnent et ce, de façon quasi permanente toute l'année.

Le second, quant à lui, est fonction du premier. Le **tableau II (Annexe I)** inclut le champ de pression.

L'analyse synoptique utilisant la pression atmosphérique comme paramètre essentiel conduit à l'élaboration de structures auxquelles correspondent des types de temps bien définis.

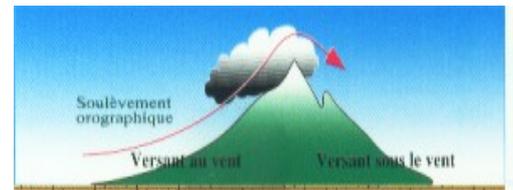
Dans notre cas, et ainsi qu'il découle du **tableau II**, les valeurs de pression montrent un beau temps quasi perpétuel qui règne dans le sud excepté à Fort-Dauphin et à Ranohira.

L'existence d'une cellule anticyclonique (anticyclone des Mascareignes) explique le régime barique élevé et ci-dessus énoncé.

Le vent dont la cause réside dans la différence de pression (confère **tableau III**, où ses valeurs sont assez fortes surtout à Faux-cap), s'oppose aux ascendances.

### CONCLUSION

A Madagascar, l'orographie [5] qui détermine la pluviosité est accusée dans le sud du pays à l'exception de Fort-Dauphin. Ceci permet de comprendre par ailleurs le déficit ou l'insuffisance de la pluviométrie.



### III.3. LES CAUSES CLIMATOLOGIQUES

La composante climatologique en est pour beaucoup dans la compréhension de la sécheresse dans le Sud de Madagascar. La variabilité naturelle du climat liée au cycle solaire et à l'activité humaine prédisposent la région à un déficit pluviométrique. L'insolation ne constitue pas non plus un facteur limitant dans la zone.

La durée moyenne d'insolation journalière peut atteindre 9-13 heures. L'importance de cette durée d'insolation réside dans le fait que sa connaissance est capitale dans l'étude du rayonnement global. On rappelle l'influence directe ou indirecte de cette dernière dans le développement des processus physiques se déroulant dans l'atmosphère.

L'approche PATTERSON [6] énonçant la possibilité d'alternance de période de circulation zonale rapide et lente et où en zone de circulation rapide, le jet circule à des basses latitudes correspondant aux *grandes zones* du climat peut, dans une autre acception, déterminer la sécheresse dans le sud de Madagascar.

Un autre aspect expliquant ce déficit serait l'émission de gaz à effet de serre ayant la conséquence d'un réchauffement planétaire.

Les températures observées pendant la période 1971-2000 dans la présente étude paraissent à cet effet éloquentes (confère **tableaux I.a ; I.b ; I.c ; I.d et I.e, annexe I**)

Les changements climatiques attribuables à l'activité humaine constituent un fait majeur qu'il importe de considérer également.

Les couches agricoles en général et les Antadroy mahafaly d'Ampanihy-Ouest et d'Ambvombe en particulier réputés pour leurs cultures arachidières, à la recherche de terres

fertiles font payer un lourd tribut à l'environnement forestier. Ceci associé à l'action des « tavy » et à la culture sur brûlis prennent part dans le mécanisme de sécheresse de même que les pratiques culturales et le prélèvement substantiel de ligneux pour des fins diverses. Ces raisons évoquées vont nous amener à étudier d'une part :

- le rôle et l'importance de l'élément ligneux dans le processus pluviométrique ;
- et d'autre part, l'activité agro-pastorale (défrichage, feux de brousse, mode d'élevage).

## ELEMENT LIGNEUX

La forêt influence le climat régional. L'influence de la forêt sur la pluviosité se reconnaît par une augmentation des quantités précipitées.

Des géographes et botanistes [7] ont fait admettre que cette augmentation atteignait 18%.

Quoi que difficile à mettre en évidence le lien entre forêt et pluviosité eu égard à la difficulté d'appréhension de la forêt par l'expérimentateur ainsi qu'aux ombres subsistant au tableau de nos connaissances, on peut néanmoins, avancer que la forêt contribue à la fertilité du sol (LA SECHERESSE EST AUSSI PEDOLOGIQUE)

Par ailleurs, l'évaporation notée au dessus d'une forêt peut-être considérée également comme un élément d'explication. Enfin, la forêt contribuerait à la turbulence.

## CONCLUSION

La FORET constitue un éco-système tout comme L'EAU et le SOL. L'adjonction de ces trois éléments influent le CYCLE DE L'EAU. Une rupture notée au niveau d'une composante se répercute sur les autres composantes d'où déséquilibre du système global.

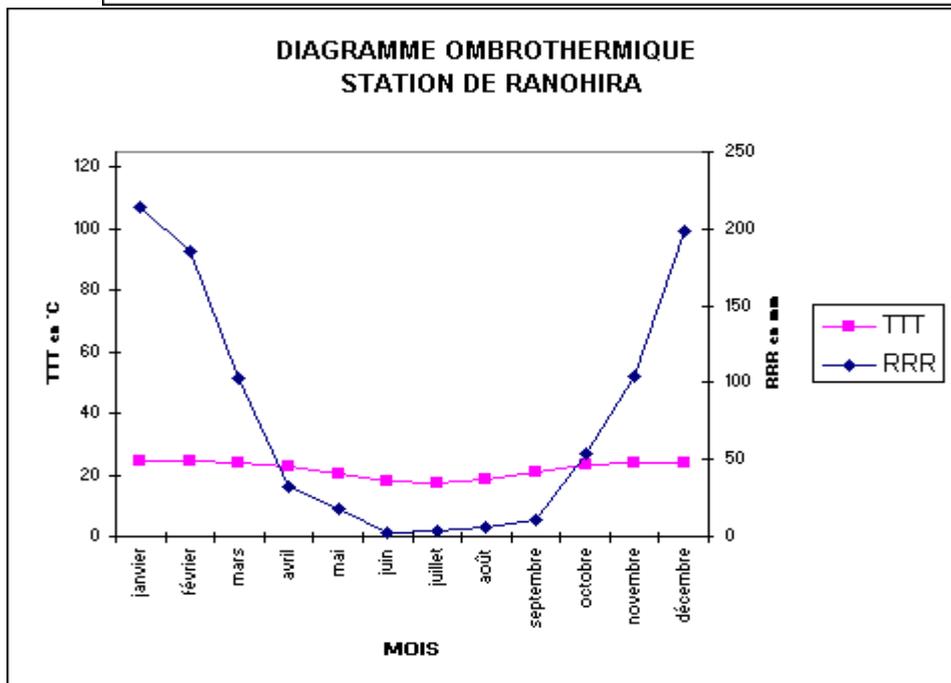
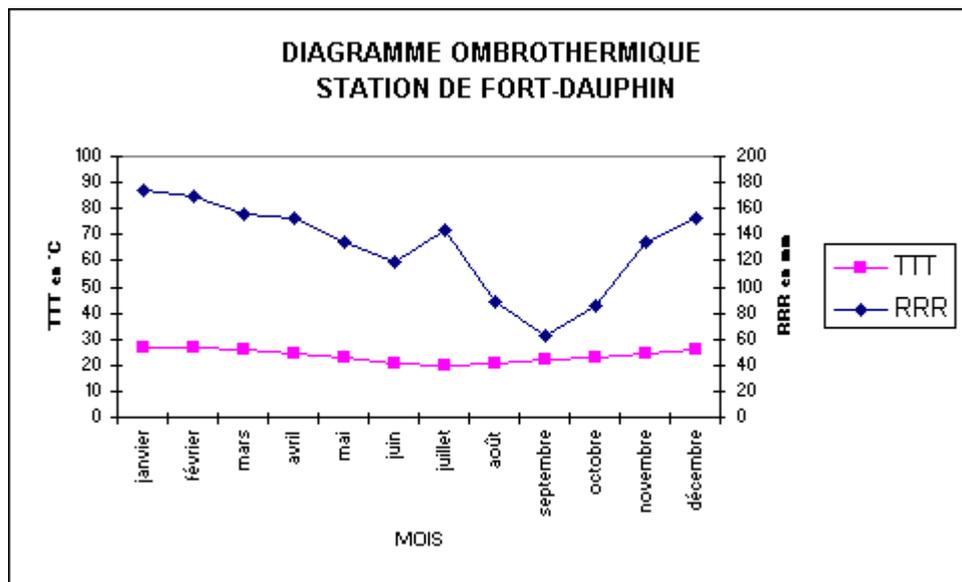
L'action des « tavy », celle des Antadroy mahafaly », les pratiques culturelles et le mode d'élevage basé sur le pastorat associé à la pression humaine sur les systèmes ligneux, hydro et pédo permettront à chacun de tirer des conclusions sur les sécheresses HYDROLOGIQUE, PEDOLOGIQUE voire METEOROLOGIQUE.

## APPROCHE STATISTIQUE DE LA SECHERESSE

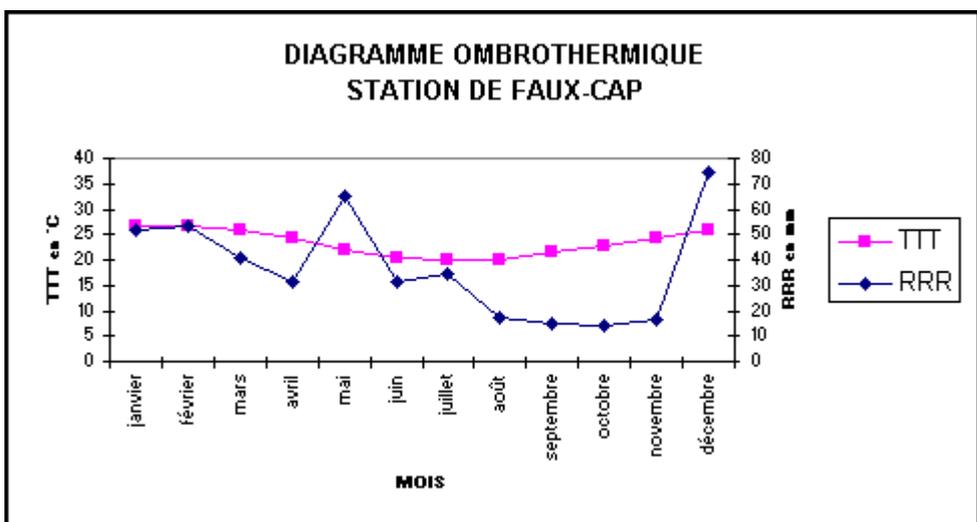
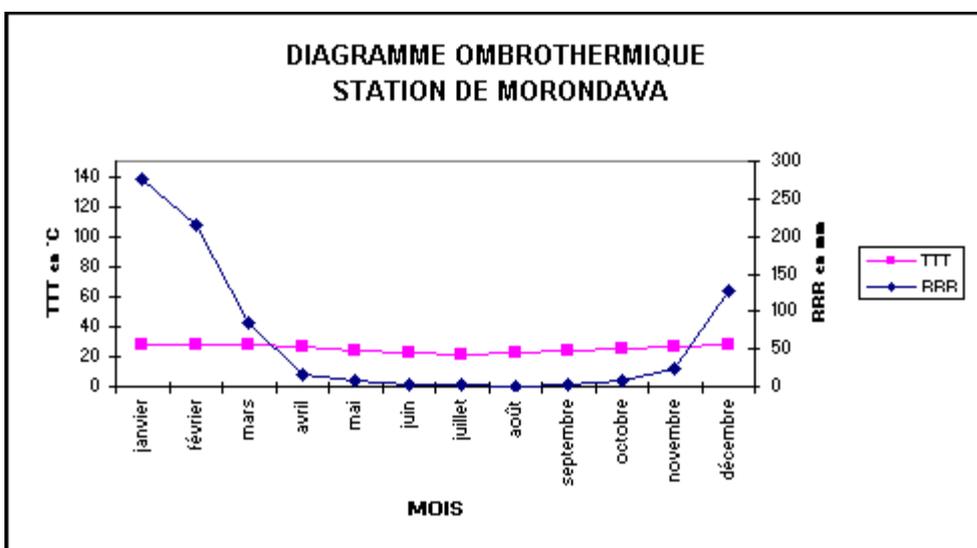
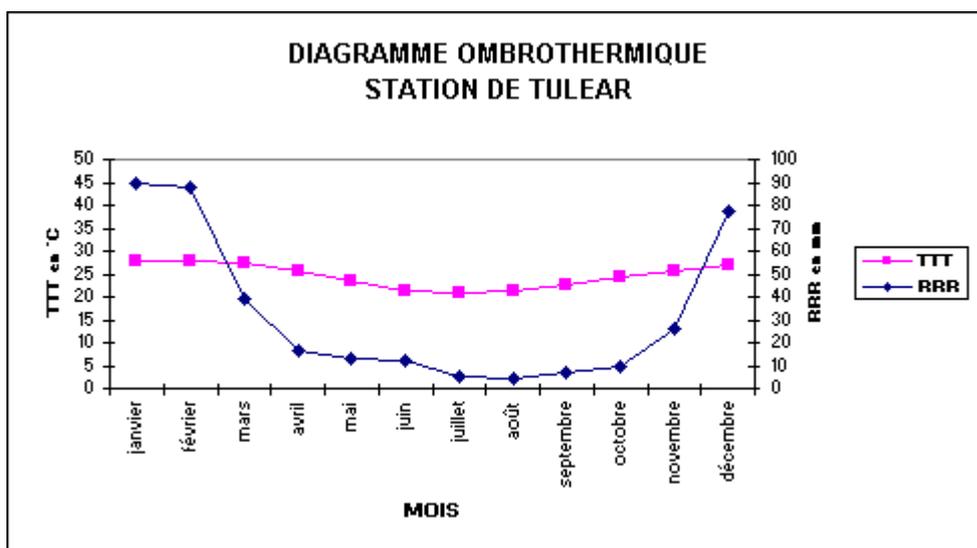
### III.3.1. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS

- FREQUENCES MENSUELLES

L'approche statistique de la sécheresse repose sur la comparaison des hauteurs de précipitations mensuelles aux températures mensuelles. Le seuil se place à  $RRR < 2TTT$ , c'est-à-dire, un mois est considéré comme sec, si pour ce mois, la hauteur de précipitation enregistrée est inférieure à 2 fois la température mensuelle moyenne enregistrée au cours du même mois comme l'indique les diagrammes ombrothermiques ci-dessous.







Ces diagrammes ombrothermiques permettent de mettre en exergue le phénomène de sécheresse.

L'interprétation repose sur deux courbes : la courbe TTT et la courbe RRR désignant respectivement la courbe de température et la courbe de précipitation. Les points situés au dessous de la courbe de température traduisent les **réurrences sèches** et les points situés au dessus traduisent **les réurrences humides**. L'examen au cas par cas fait ressortir :

#### TULEAR

Au niveau de cette station, les réurrences sèches concernent les mois de mars, avril, mai, juin, juillet août, septembre, octobre et novembre (mois pendant lesquels, la précipitation est inférieure à deux fois la température mensuelle moyenne). Les réurrences humides concernent les mois de décembre, janvier et février (mois pendant lesquels, les précipitations mensuelles moyennes dépassent deux fois les températures mensuelles moyennes).

#### MORONDAVA

Le constat à Tuléar est valable pour Morondava sauf que le mois de mars fait partie des réurrences humides.

#### FAUX-CAP

A l'exception des mois de décembre et de mai, le reste de la saison connaît des épisodes secs où la précipitation est en deçà de la courbe de température.

#### FORT-DAUPHIN

Ici, l'approche  $RRR < 2TTT$  ne fait pas ressortir d'épisodes secs. La courbe de précipitation est supérieure à celle de température. Une remarque, cependant est le rapprochement de cette courbe de précipitation à celle de température pendant les mois d'août, septembre et octobre. Ceci tient à l'activité anticyclonique.

#### RANOHIRA

On peut parler ici de situation équivalente c'est-à-dire que les réurrences sèches sont égales aux réurrences humides soit six mois de réurrences sèches et six mois de réurrences humides. Les réurrences sèches concernent les mois avril, mai, juin, juillet, août et septembre (saison sèche).

Le **tableau IV (Annexe I)** montre le régime mensuel de la sécheresse particulière à Faux-Cap, Tuléar, Morondava, Ranohira et Fort-Dauphin sur une période de trente (30) ans pour les quatre dernières stations et une période de 13 ans pour la station de Faux-cap. Alors que les mois d’avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre notent la sécheresse tous les ans de façon régulière, les mois de décembre, janvier, février et mars notent une manifestation sporadique du phénomène.

La démarche consiste, à partir de la base de données « **BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE** », à générer :

1. un ETAT comportant les champs NOMS\_STATIONS, ANNEES, MOIS, RRR, TTT (on rappelle que RRR et TTT désignent les précipitations et les températures moyennes mensuelles).

	A	B	C	D	E
1	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	RRR	TTT
2	FAUX-CAP	1971	janvier	52,7	27,0
3	FAUX-CAP	1971	fevrier	189,6	26,1
4	FAUX-CAP	1971	mars	9,4	25,5
5	FAUX-CAP	1971	avril	13,3	24,8
6	FAUX-CAP	1971	mai	154,3	22,4
7	FAUX-CAP	1971	juin	22,5	20,1
8	FAUX-CAP	1971	juillet	4,8	19,9
9	FAUX-CAP	1971	août	7,1	20,0

**NB:** cette fenêtre se rapporte à l’opération 1 ci-dessus décrite. Il est à noter par ailleurs, que les enregistrements atteignent **1597 lignes** avec un alignement chronologique de la série des **30 ans** pour les stations de Tuléar, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira et de **13 ans** pour la station de Faux-cap.

2. L’opération 2, consiste en l’ajout d’un nouveau champ que nous appellerons *champ critère* (critère de sécheresse c'est-à-dire  $RRR < 2TTT$ ). Il est à noter que ce critère repose sur un **test logique** dont les arguments renvoient à **1 et 0**, deux valeurs arbitraires que nous avons choisies et traduisant respectivement situation de sécheresse et de non sécheresse. Dans notre cas, on s’intéressera à la valeur **1**. L’opération 2 est illustrée comme suit :



Nous comprenons ici l'application d'un filtre sur la station de FORT-DAUPHIN du champ NOM\_STATION, également un filtre sur (Tous) du champ ANNEES et enfin un filtre sur janvier du champ MOIS. Ces trois filtres donnent le résultat ci-dessous.

	A	B	C	D	E	F	
	NOM_STATION ▼	ANNEES ▼	MOIS ▼	RRR ▼	TTT ▼	critères ▼	
3	FORT-DAUPHIN	1976	janvier	28,6	26,2		1
3	FORT-DAUPHIN	1981	janvier	54,6	28,5		1
2	FORT-DAUPHIN	1983	janvier	18,4	26,8		1
IR							

Comme interprétation, le phénomène de sécheresse pendant la série 1971-2000 a été enregistré pour le mois de janvier en **1976, 1981 et 1983**

En translatant cet exemple à Morondava pour le mois de mars par exemple, on obtient :

	A	B	C	D	E	F	G
	NOM_STATION ▼	ANNEES ▼	MOIS ▼	RRR ▼	TTT ▼	critères ▼	
8	MORONDAVA	1975	mars	52,4	27,1		1
0	MORONDAVA	1976	mars	50,2	27,8		1
2	MORONDAVA	1977	mars	50,2	26,9		1
6	MORONDAVA	1979	mars	44,0	28,2		1
8	MORONDAVA	1980	mars	26,6	28,2		1
4	MORONDAVA	1983	mars	56,4	28,3		1
8	MORONDAVA	1985	mars	15,4	27,3		1
8	MORONDAVA	1990	mars	0,1	27,0		1
2	MORONDAVA	1992	mars	28,1	27,7		1
8	MORONDAVA	1995	mars	17,9	28,2		1
4	MORONDAVA	1998	mars	10,7	27,4		1
6	MORONDAVA	1999	mars	28,5	27,4		1

Cette itération se poursuit à tous les mois de l'année et station par station. Les différentes intersections traduisent le régime mensuel de la sécheresse au niveau de telle ou telle station.

Les histogrammes ci-dessous parlent des fréquences mensuelles du nombre de mois secs dans la zone d'étude. Ils renvoient aux **tableaux V.a, V.b, V.c, V.d et V.e (Annexe I)**. Il s'agit là de la probabilité d'apparition de la sécheresse à l'échelle du mois dans les différentes stations. Notons par ailleurs, que le caractère étudié est quantitatif (il s'agit du nombre de mois secs). Les effectifs sont représentés par le nombre d'années c'est-à-dire la trentaine d'années pour les stations de Tuléar, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira et 13 ans pour la station de Faux-cap. La démarche utilisée est analogue à celle décrite ci-dessus concernant le régime mensuel de la sécheresse. En reprenant l'exemple de Fort-Dauphin,

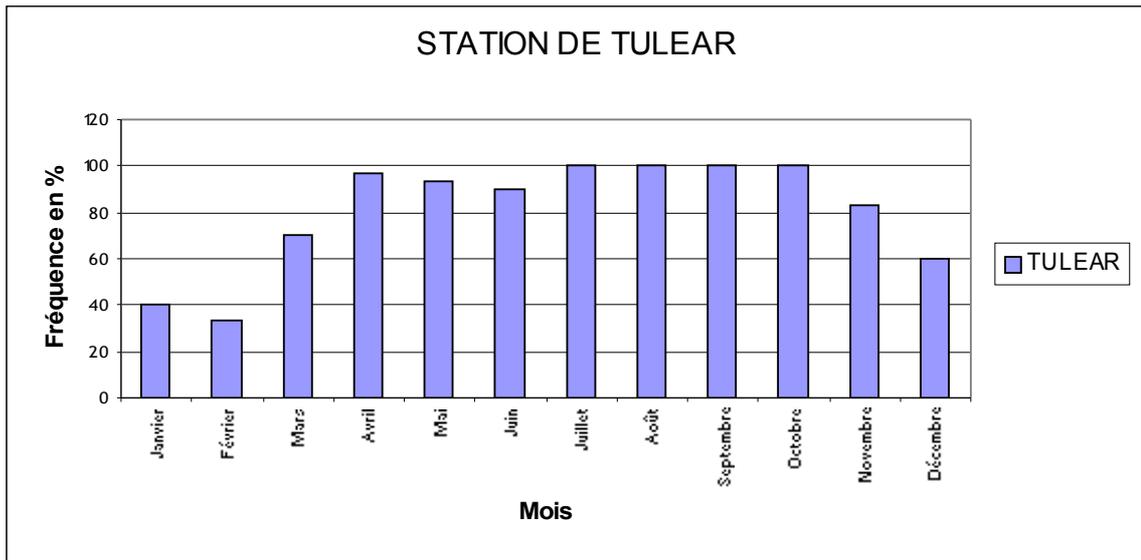
	A	B	C	D	E	F
	NOM_STATION ▼	ANNEES ▼	MOIS ▼	RRR ▼	TTT ▼	critères ▼
3	FORT-DAUPHIN	1976	janvier	28,6	26,2	1
3	FORT-DAUPHIN	1981	janvier	54,6	28,5	1
2	FORT-DAUPHIN	1983	janvier	18,4	26,8	1
IR						

la fréquence d'apparition de la sécheresse au mois de janvier consistera au rapport du nombre de cas à l'effectif total ce qui se met sous la forme :

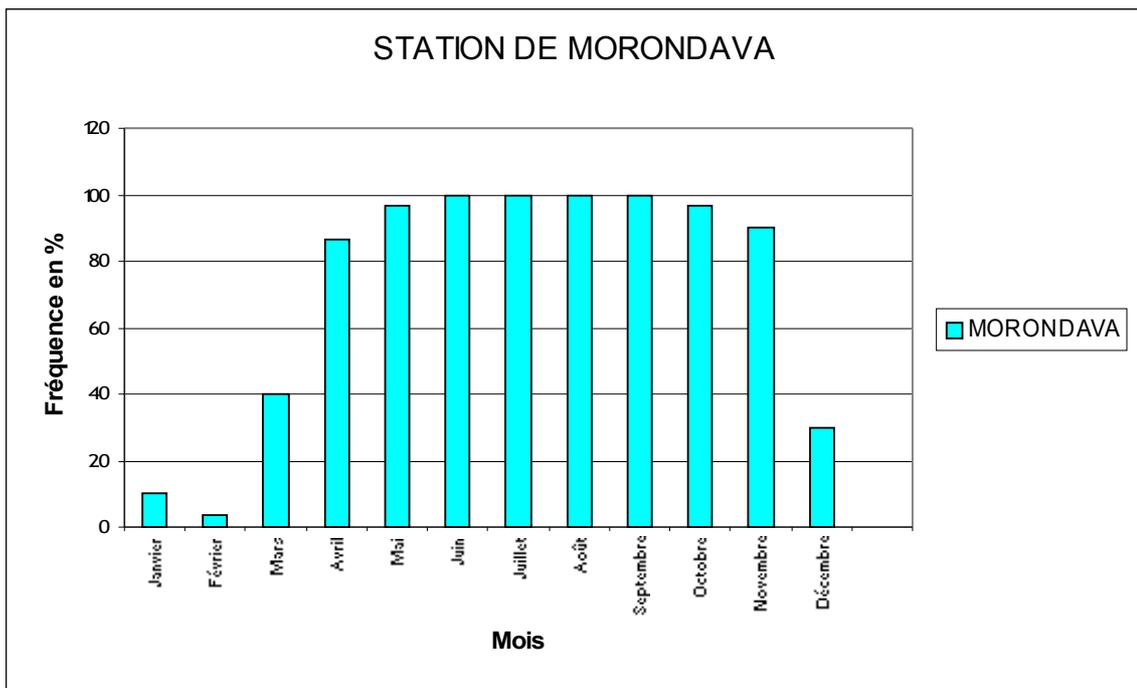
$$Fréquence\% \approx \frac{Nombre\ de\ cas}{Effectif\ Total}$$

Cette fréquence est alors de **10%** (Fort-Dauphin pour le mois de janvier) et **40%** (Morondava pour le mois de mars). Les différentes fréquences ont été déduites ainsi.

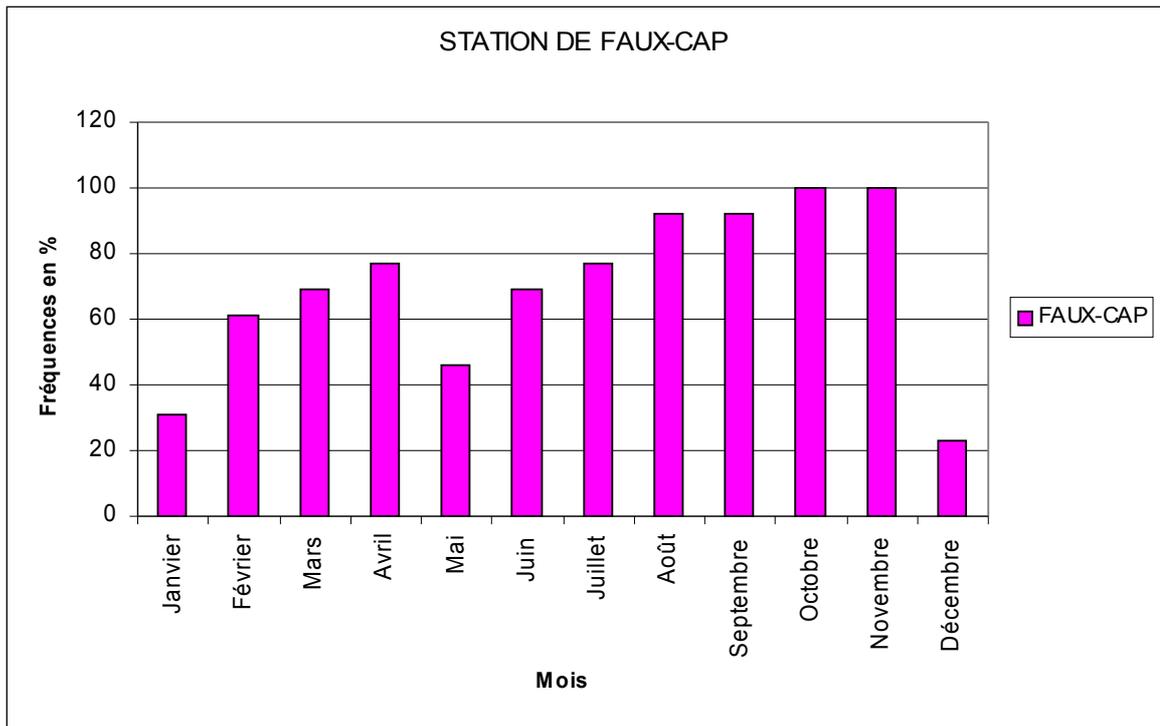
**FIGURE 1.a : HISTOGRAMME DE FREQUENCES MENSUELLES DE MOIS SECS**



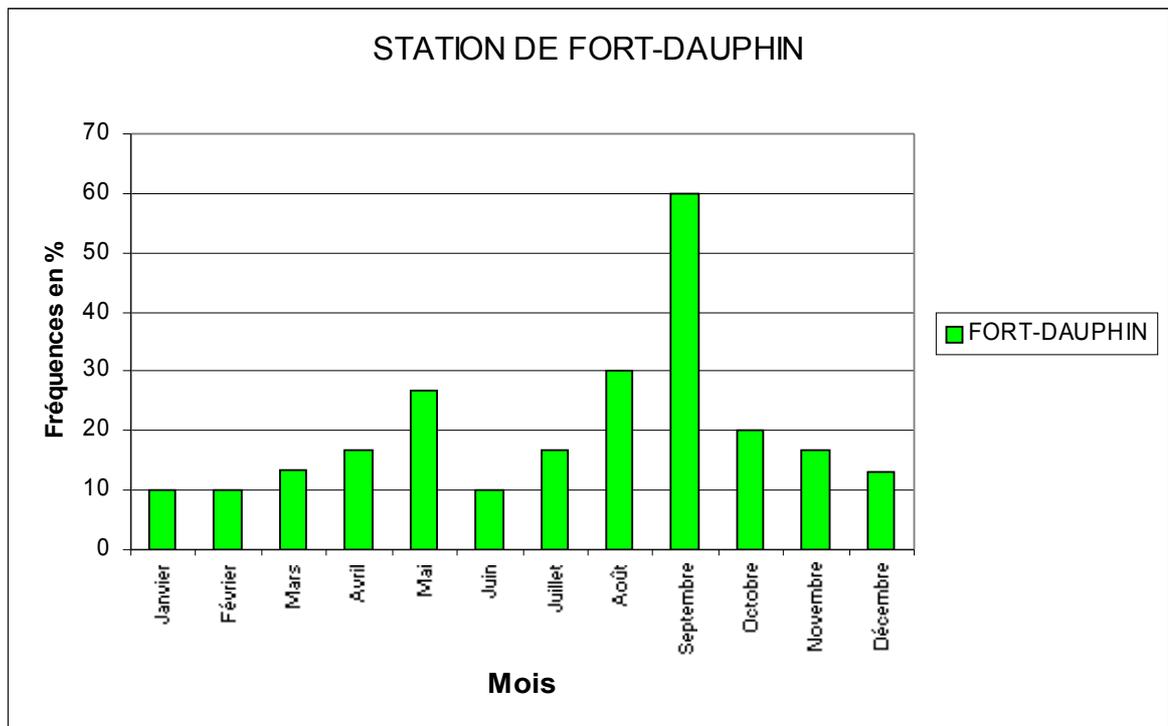
**FIGURE 1.b HISTOGRAMME DE FREQUENCES MENSUELLES DE MOIS SECS**



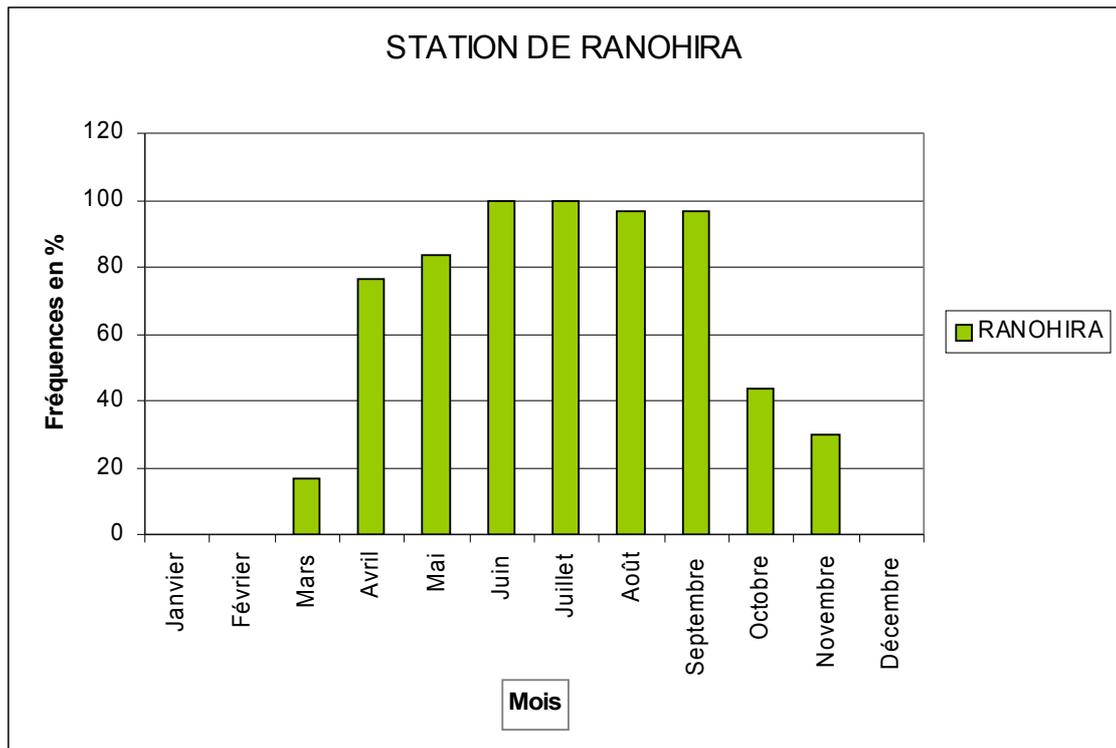
**FIGURE 1.c** HISTOGRAMME DE FREQUENCES MENSUELLES DE MOIS SECS



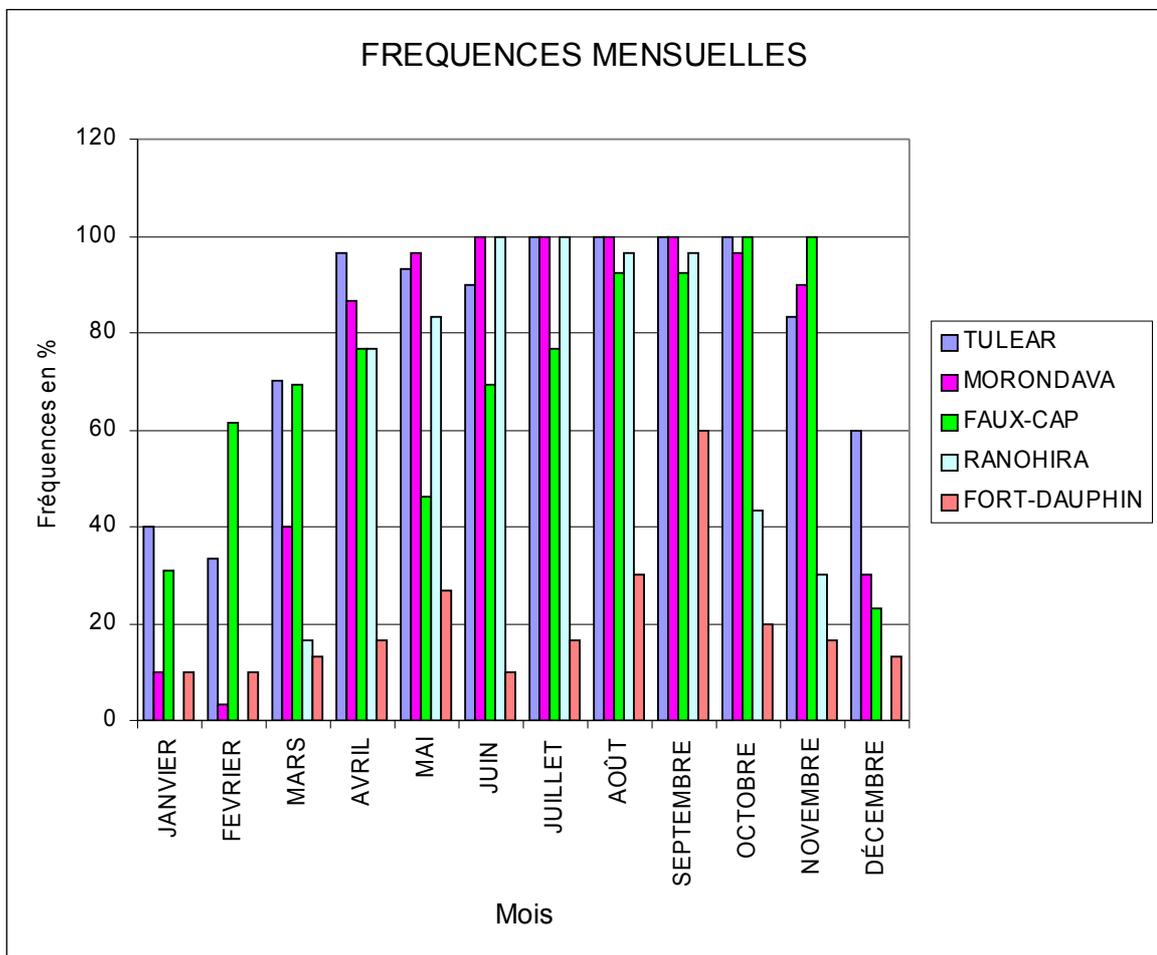
**FIGURE 1.d** HISTOGRAMME DE FREQUENCES MENSUELLES DE MOIS SECS



**FIGURE 1.e : HISTOGRAMME DE FREQUENCES MENSUELLES DE MOIS SECS**



**FIGURE 2 : HISTOGRAMME DE FREQUENCES RECAPITULATIF MENSUELLES DE MOIS SECS**



## ***INTERPRETATION***

A l'exception de Fort-Dauphin, les autres stations notent des fréquences élevées d'avril à Novembre. Dans le même ordre d'idée les pourcentages de mois secs toujours pour Fort-Dauphin (période Décembre à Mars) sont largement inférieurs (3 à 4 fois de moins) à ceux des quatre stations à l'exception de la station de Ranohira où ces pourcentages sont nuls pour les mois de décembre, janvier, février et 16,7% pour le mois de mars.

Ces pourcentages faibles à nuls, propres aux stations de Ranohira et Fort-Dauphin traduisent une forte humidité pour ces stations ainsi que le montreront plus loin les résultats du bilan hydrique (confère **figures 4.a ; 4.b ; 4.c ; 4.d et 4.e** et **tableaux IX.a ; IX.b ; IX.c ; IX.d et IX.e Annexe I**).

La variabilité inter-annuelle des précipitations apparaît nettement ainsi que le montrent les résultats des **tableaux I.a ; I.b ; I.c ; I.d et I.e, Annexe I**.

La tendance générale est à la constatation d'années à faible pluviométrie à l'exception de la station de Morondava où l'on assiste à une augmentation de la pluviométrie moyenne 1971-2000 de l'ordre de 6,4 mm par rapport aux trente précédentes années.

Les ordres de grandeur concernant cet affaiblissement des précipitations sont de **moins 56,6 mm ; moins 28,2mm ; moins 1,3mm et moins 105,7mm** respectivement pour Ranohira, Tuléar, Faux-cap et Fort-Dauphin.

Cette diminution de la pluviométrie est assortie d'une élévation de la température de l'ordre de **0,2 à 0,4°C** dans l'ensemble avec de fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

La question que nous nous posons est de savoir si cette réduction de la pluviométrie n'est pas imputable à l'éventuel réchauffement planétaire énoncé par certains chercheurs **[8-9-10]**.

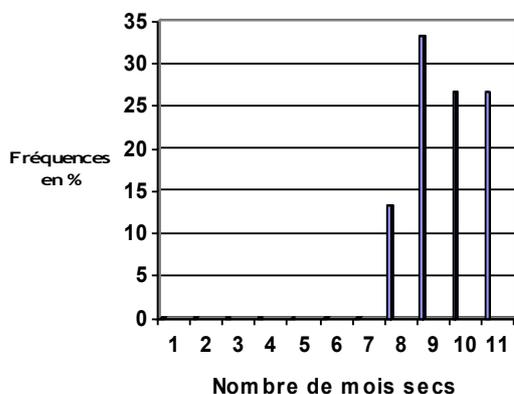
Une augmentation du nombre de mois secs tant à l'échelle de l'année toute entière qu'au niveau de la saison des pluies (novembre – Avril) se constate.

- *FREQUENCES ANNUELLES DU NOMBRE DE MOIS SECS*

Les figures 3.a, 3.b, 3.c, 3.d, et 3.e ci-dessous représentent les histogrammes de fréquences annuelles de mois secs à l'échelle de toute l'année (Janvier à Décembre). Elles utilisent les données des tableaux VI.a ; VI.b ; VI.c ; VI.d et VI.e, (Annexe I). Les figures 3.f et 3.g se rapportant aux tableaux VI.f et VI.g récapitulent les fréquences de mois secs pour toutes les stations respectivement dans toute la saison et en saison des pluies. Quant aux figures 3.aa, 3.bb, 3.cc, 3.dd, et 3.ee, elles se rapportent aux tableaux VI.aa ; VI.bb ; VI.cc ; VI.dd et VI.ee (Annexe I) et parlent de la fréquence de mois secs dans la saison des pluies.

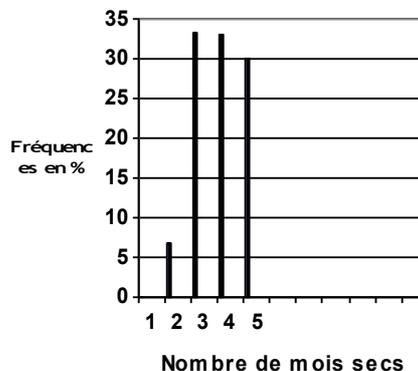
**FIGURE 3.a**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
TOUTE L'ANNEE  
STATION DE TULEAR**



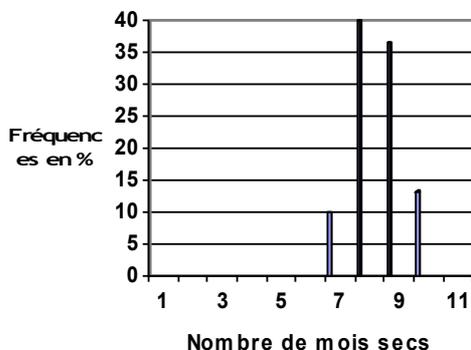
**FIGURE 3.aa**

**FREQUENCES DE MOIS SECS  
DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE TULEAR**



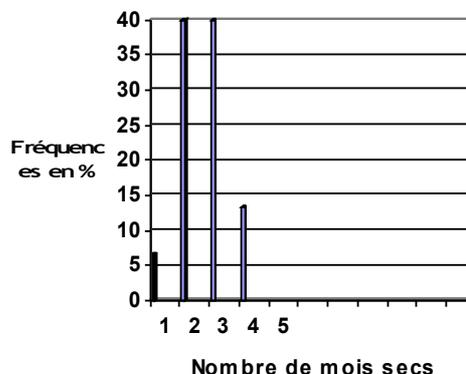
**FIGURE 3.b**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
TOUTE L'ANNEE  
STATION DE MORONDAVA**



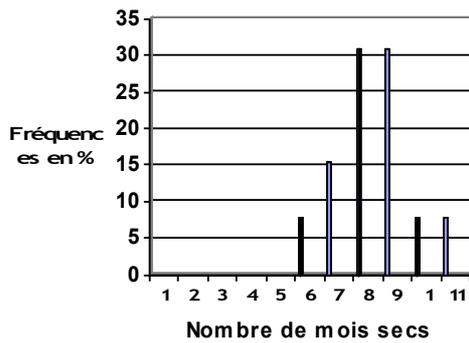
**FIGURE 3.bb**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE MORONDAVA**



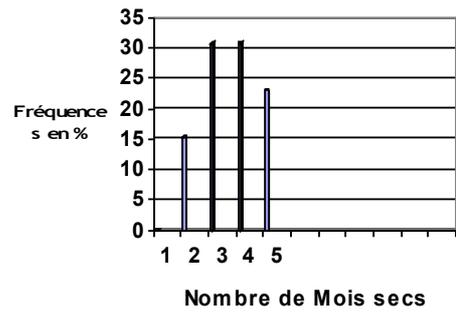
**FIGURE 3.c**

**FREQUENCES DE MOIS SECS  
DANS TOUTE L'ANNEE  
STATION DE FAUX-CAP**



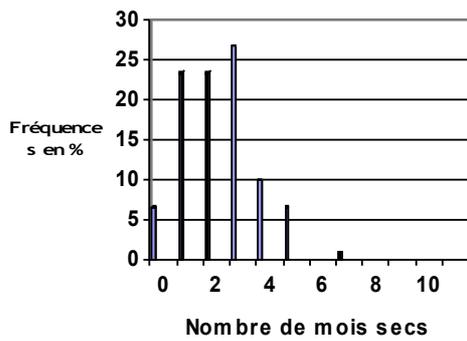
**FIGURE 3.cc**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE FAUX-CAP**



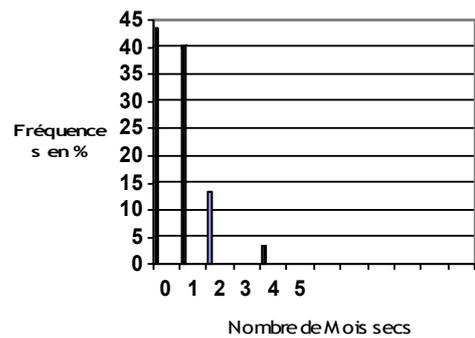
**FIGURE 3.d**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
TOUTE L'ANNEE  
STATION DE FORT-DAUPHIN**



**FIGURE 3.dd**

**FREQUENCES DE MOIS SECS DANS  
LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE FORT-DAUPHIN**





A		I		I	
NOM_STATION		ANNEES		MOIS	
1	(Tous)	(Tous)		(Tous)	
38	(10 premiers...)	(10 premiers...)		(10 premiers...)	
20	(Personnalisé...)	(Personnalisé...)		(Personnalisé...)	
32	FAUX-CAP	1975		août	
56	FORT-DAUPHIN	1976		avril	
38	MORONDAVA	1977		fevrier	
38	RANOHIRA	1979		janvier	
74	TULEAR	1980		juillet	
28	MORONDAVA	1983		juin	
		1985		mai	
		1990		mars	
		1992		novembre	
		1995		octobre	
		1998		septembre	
		1999			

5. la compilation de ceci renvoie au résultat 6

6.

	A	B	C	D	E	F
	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	RRR	TTT	critères
6	TULEAR	1980	janvier	23,6	27,4	1
7	TULEAR	1980	fevrier	6,7	27,3	1
8	TULEAR	1980	mars	3,0	27,6	1
9	TULEAR	1980	avril	33,6	25,7	1
0	TULEAR	1980	mai	7,5	22,9	1
1	TULEAR	1980	juin	5,0	20,1	1
2	TULEAR	1980	juillet	0,0	20,7	1
3	TULEAR	1980	août	6,2	21,6	1
4	TULEAR	1980	septembre	29,1	23,2	1
5	TULEAR	1980	octobre	0,0	24,0	1
6	TULEAR	1980	novembre	8,8	26,7	1
38						11

7. Nous comprendrons l'existence de **11 mois secs** en l'année 1980 à Tuléar. On procède par analogie à toutes les années de la série et on arrive ainsi à dénombrer tous les mois secs.

**La détermination** fréquentielle pour un nombre déterminé de mois secs consistera au rapport du nombre de cas satisfaisant au dit critère à l'effectif total.

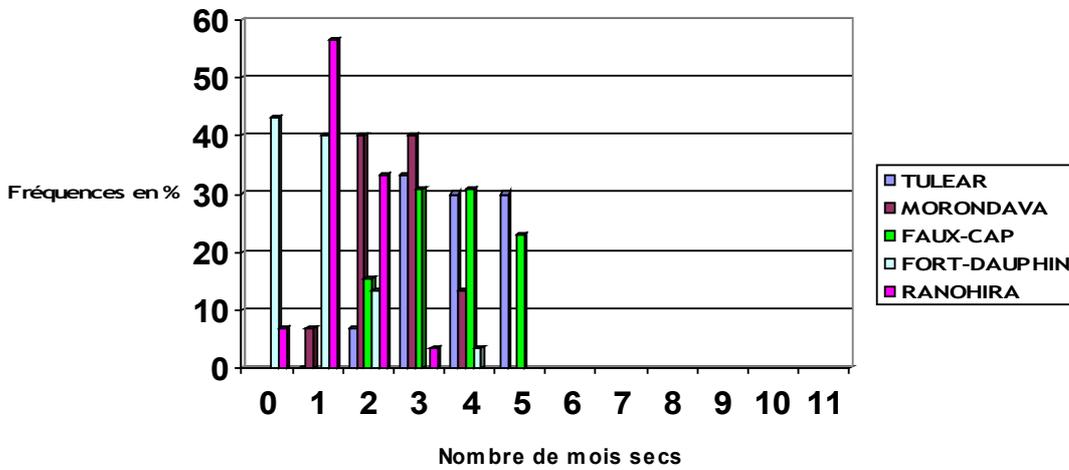
EXEMPLE QUELLE EST LA PROBABILITE POUR QU'IL Y AIT 11 MOIS SECS ?

REPONSE le nombre d'années satisfaisant à la condition est de **8 (1976, 1979, 1980, 1983, 1987, 1991, 1992 et 1994).**

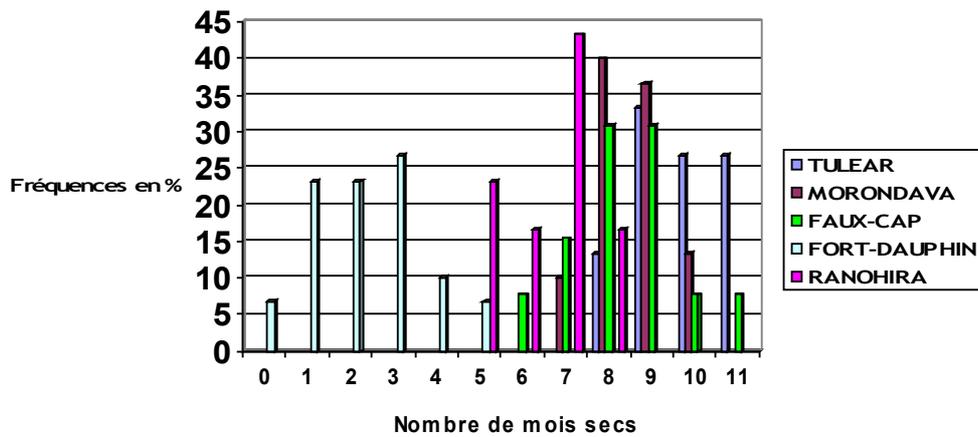
L'effectif étant 30 années

Alors cette fréquence à Tuléar est  $\approx \frac{8}{30} \approx 26.7\%$

**FIGURE 3.g:** HISTOGRAMME RECAPITULATIF DES MOIS SECS  
DANS LA SAISON DES PLUIES



**FIGURE 3.f** HISTOGRAMME RECAPITULATIF DES MOIS SECS - DANS  
TOUTE L'ANNEE.



Nous constatons un nombre de mois secs variant :

- A L'ECHELLE DE TOUTE L'ANNEE (JANVIER A DECEMBRE)
 

TULEAR	8 à 11 mois secs
MORONDAVA	7 à 10 mois secs
FAUX-CAP	6 à 11 mois secs
RANOHIRA	5 à 8 mois secs
FORT-DAUPHIN	0 à 7 mois secs
- A L'ECHELLE DE LA SAISON DES PLUIES
 

TULEAR	2 à 5 mois secs
MORONDAVA	1 à 4 mois secs
FAUX-CAP	2 à 5 mois secs
RANOHIRA	0 à 3 mois secs
FORT-DAUPHIN	0 à 2 mois secs.

Avec un tel nombre de «mois secs» est-il réellement possible pour les productions végétales de résister tout en achevant leur cycle ?

La réponse sera naturellement non si le rapport  $RRR < 2TTT$  traduit PARFAITEMENT le niveau de la sécheresse, ceci nous conduit à corrélérer les PRECIPITATIONS avec le NOMBRE DE MOIS SECS.

Les corrélations ainsi obtenues sont négatives pour l'ensemble des stations soit :

STATIONS	R2
TULEAR	- 0,55
MORONDAVA	- 0,39
FAUX-CAP	- 0,67
RANOHIRA	- 0,65
FORT-DAUPHIN	- 0,60

Ceci voudrait dire qu'une relation significative entre les hauteurs de pluies et le nombre de mois secs, ne saurait être établie. Ceci se démontrera par ailleurs par les tableaux VII.a ; VII.b ; VII.c ; VII.d et VII.e (Annexe I) où des mois secs de 8, 9 et 10 se rencontrent dans les troisième, quatrième et cinquième *quintiles* à Tuléar et Morondava. Dans le même ordre d'idée, des mois secs variant de 5 à 7 se rencontrent dans les 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> *quintiles* à Ranohira. Pour Fort-Dauphin également, cinq mois secs se rencontrent dans le 4<sup>e</sup> quintile.

Les quintiles désignent des groupes de six. On reconnaît 5 quintiles dans une série de trente ans Ils consistent en la classification suivant un ordre croissant des hauteurs annuelles de précipitations recueillies pendant la série des trente ans (1971-2000). Leur importance

réside dans le fait qu'ils permettent de **faire ressortir la sécheresse** dans le premier quintile c'est-à-dire le premier groupe de six.

La saison des pluies est celle à laquelle nous nous intéressons surtout dans la présente étude car c'est de cette saison que dépendent les productions agricoles.

L'identification de cette saison pluvieuse allant de novembre à avril avec des fréquences élevées de mois secs à l'exception de Ranohira et de Fort-Dauphin (confère **tableaux VI.g**) peut se révéler préjudiciable à la *croissance* et au *développement* des végétaux cultivés si l'on admet que le rapport  $RRR < 2TTT$  traduit réellement le niveau de la sécheresse.

Les tableaux **V.a ; V.b ; V.c ; V.d et V.e** (fréquence mensuelle de la sécheresse) notent le phénomène de sécheresse différemment pendant les deux saisons.

Les fréquences observées en période pluvieuse (Novembre – Avril) n'atteignent pas celles de la période Mai- octobre où les valeurs sont de 80 - 100 pour Morondava et Tuléar.

A Faux-cap, ces pourcentages sont moins accusés que dans les deux précédentes stations.

Les stations de Ranohira et Fort-Dauphin font dérogation à ce constat

Le rapport  $RRR < 2TTT$  se justifie (période pluvieuse) pour les mois de novembre, mars et avril à Tuléar.

Pour Morondava, ce rapport concerne les mois de novembre et d'avril. Pour Faux-cap, excepté le mois de Décembre, les autres mois de la période pluvieuse apparaissent secs.

A Fort-Dauphin et à Ranohira, la période pluvieuse n'accuse de mois secs sauf avril (Ranohira).

En définitive, Faux-cap et Tuléar connaissent plus de mois secs dans la saison des pluies.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, la plupart des stations avec **5, 7** voire plus de mois secs se retrouvent pourtant dans les 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> quintiles. Ceci suscite à nouveau le caractère imparfait de  $RRR < 2TTT$  pour estimer la sécheresse d'où le recours à une seconde approche dite *APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE* dont les résultats se heurtent à ceux du rapport  $RRR < 2TTT$  quoique quelques similitudes soient parfois communes aux deux approches.

## CONCLUSION

A notre avis, l'imperfection du rapport  $RRR < 2TTT$  pour décrire la sécheresse résiderait dans le fait que :

- la température ne contrôle que partiellement l'évaporation ;
- le rapport des deux grandeurs de dimensions différentes (températures en °C et précipitation en mm), paraissant illogique et ne s'appuie sur aucune base mathématique ;
- la non prise en compte de la réserve du sol.

### **III.3.2. APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE**

#### III.3.2.1. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS

Contrairement au rapport  $RRR < 2TTT$ , l'approche du bilan hydrique repose sur deux grandeurs comparables. (la précipitation et l'évapotranspiration potentielle). Ces deux grandeurs sont toutes exprimées en mm.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) [1], mesure climatique effectuée à partir des paramètres météorologiques, définit la quantité maximale d'eau que cède dans l'atmosphère par transpiration et par évaporation une culture de végétation abondante en pleine croissance couvrant totalement un sol largement pourvu en eau.

Le bilan hydrique [1] est la comparaison entre les apports, les réserves et les pertes d'eau d'un système.

La notion d'ETP [2] a été introduite par l'agronome américain THORNTHWAITE pour définir le niveau de la sécheresse et pour la délimitation et l'intensité de l'aridité ainsi que nous le verrons plus amplement dans le volet aridité.

Dans la présente étude, l'ETP a été calculée selon la formule de L.TURC. Les valeurs sont quelque peu élevées à celles de la période 1951-1980, Direction Générale de la météorologie malgache utilisant la formule de C.W. THORNTHWAITE. Cette différence réside dans l'approche. La formule de THORNTHWAITE intègre seulement la température et a le défaut de sous estimer l'ETP alors que celle de L.TURC intègre outre la température, l'ensoleillement, la radiation solaire et l'humidité de l'air.

Le programme ayant permis de déduire l'ETP sera présenté en **Annexe II**.

La formule de TURC utilisée dans la présente étude s'écrit :

$$ETP(\text{mensuelle}) = 0.4(I_g + 50).T / (T + 50).K$$

Où ETP en mm.

$I_g$ : radiation solaire globale du mois sur une surface horizontale exprimée en  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{j}$ .

$T$ = température moyenne mensuelle en  $^{\circ}\text{C}$

$K$ = facteur de correction

$K = 1$  si humidité  $> 50\%$  ;  $K = 1 + (50 - H/70)$ ,

si humidité  $< 50\%$

$$I_g = I_0(0.18 + 0.62.S_r/S_t)$$

Où  $S_r$ = durée réelle moyenne d'insolation

$S_t$ = durée astronomique mensuelle

$I_0$  = radiation solaire directe en l'absence de l'atmosphère.

$I_0$  et  $S_t$  dépendent de la latitude et sont données par des tables.

Dans notre cas  $I_0$  et  $S_t$  [3]

Les figures 4.a ; 4.b ; 4.c ; 4.d et 4.e ci-dessous représentent les bilans hydriques

1971 – 2000 pour Tuléar, Fort-Dauphin, Ranohira, Morondava et 1971 – 1983 pour Faux-cap.

FIGURE 4 a : BILAN HYDRIQUE

STATION DE TULEAR

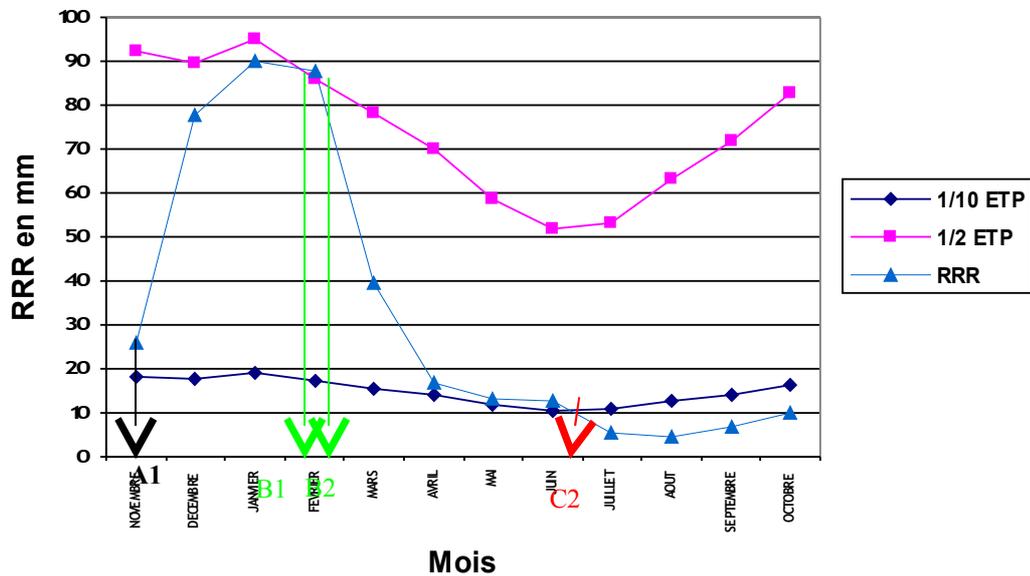


FIGURE 4 b BILAN HYDRIQUE

STATION DE MORONDAVA

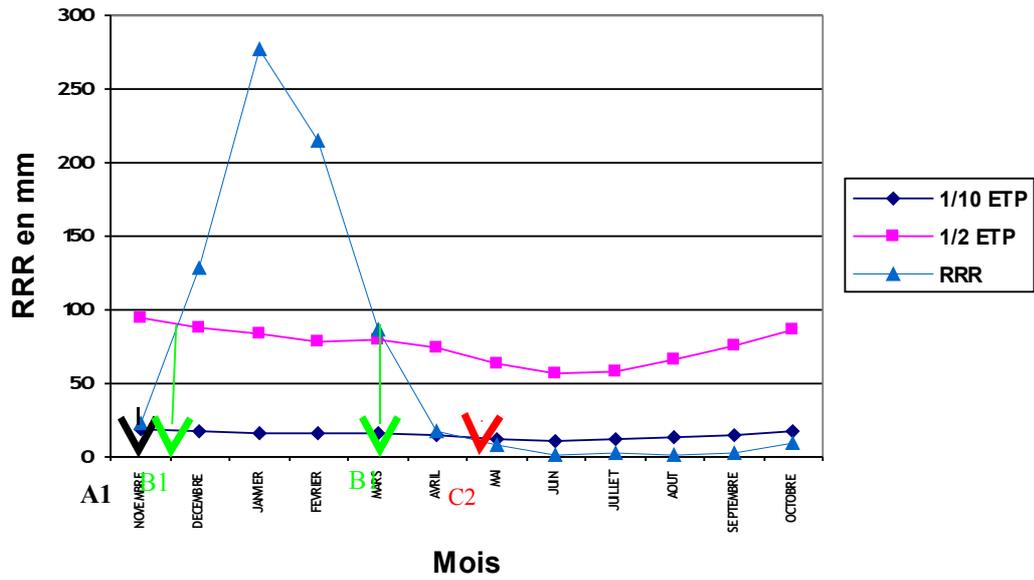


FIGURE 4 c : BILAN HYDRIQUE

STATION DE FAUX-CAP

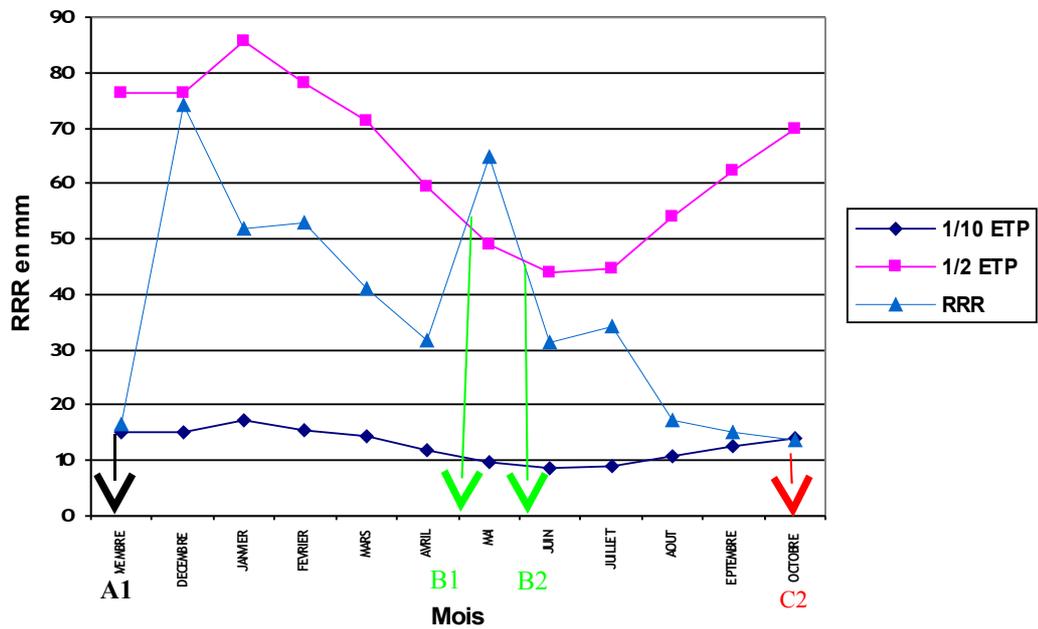


FIGURE 4 d : BILAN HYDRIQUE

STATION DE FORT-DAUPHIN

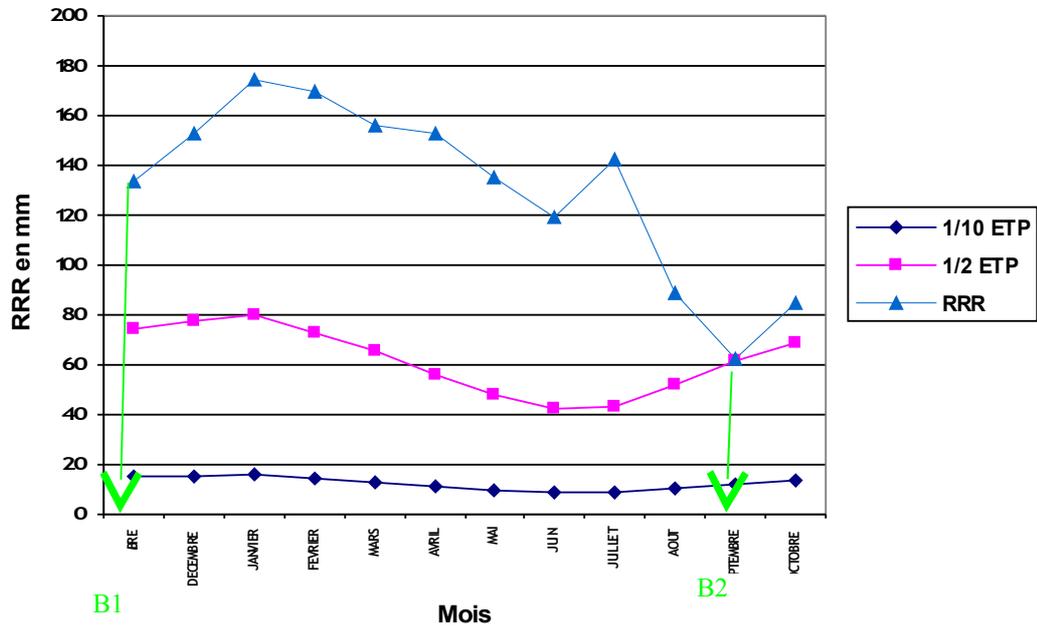
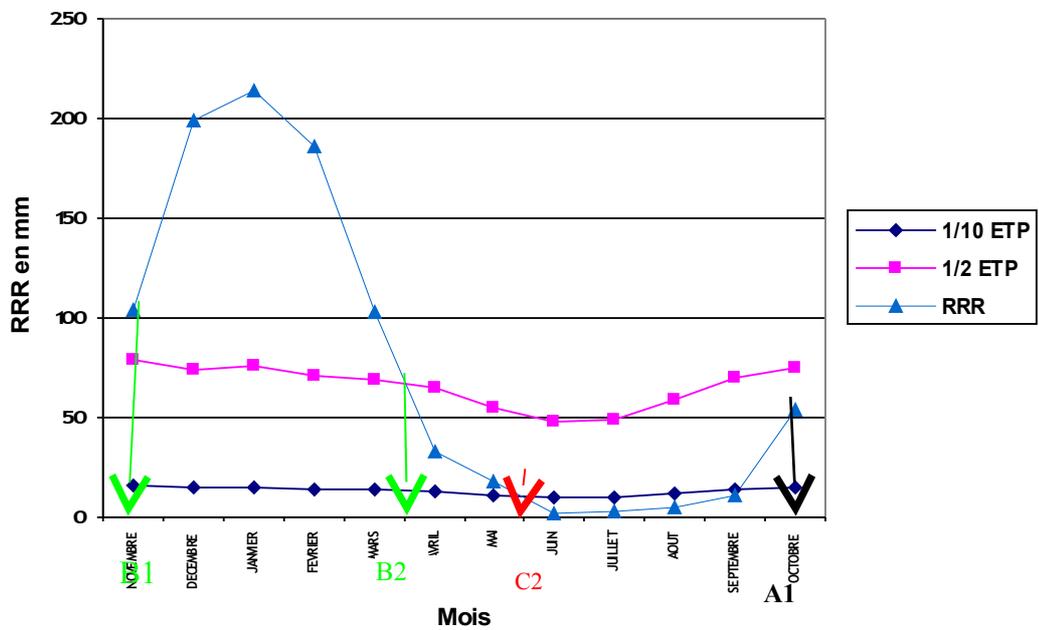


FIGURE 4 e : BILAN HYDRIQUE

STATION DE RANOHIRA



### III.3.2.2. INTERPRETATION OU DISCUSSIONS

#### TULEAR

Il découle ici :

- une diminution substantielle de la précipitation pendant les mois d'avril et mai tendant à s'annuler au mois de juin ;
- de juillet à Octobre, le rapport  $RRR/ETP$  devient inférieur à l'unité ce qui traduit l'importance de l'évapotranspiration d'où sécheresse au cours de ces mois. Ceci contraste avec les résultats de l'approche  $RRR < 2TTT$  (confère **tableaux IX .a ; IX.b ; IX.c ; IX.d et IX.e, Annexe I**) où à l'exception des mois de décembre, janvier et février tout le reste est sec.
- Au mois de février, le rapport  $RRR/ETP$  est supérieur à 1 ce qui veut dire que la précipitation l'emporte sur le  $\frac{1}{2}$  de l'ETP d'où l'existence du seul mois humide

#### MORONDAVA

La **figure 4.b** montre l'existence d'un mois de novembre sec suivi de décembre, janvier, février et mars fortement humides et où la précipitation dépasse largement l'évapotranspiration (plus de 3 fois)

On note une fin des pluies au mois d'avril. Au mois de mai, la réserve utile s'épuise et descend considérablement pendant les mois de juin, juillet, août et septembre. En octobre, elle augmente, tendant ainsi vers sa reconstitution. Ici, les résultats s'accommodent avec ceux de l'approche  $RRR < 2TTT$  sauf pour le mois de mars considéré comme sec.

#### FAUX-CAP

Le bilan hydrique met en exergue une saison des pluies, sèche bien apparente où l'évapotranspiration l'emporte sur les précipitations confère **figure 4.c**

Un seul mois humide, mai où la précipitation dépasse l'ETP de **15,75mm** et n'offrant guère de PERSPECTIVES pour la réussite des CULTURES PLUVIALES.

L'approche fréquentielle  $RRR < 2TTT$  reconnaît outre le mois de mai humide, celui de novembre.

Une sécheresse quasi permanente dans cette localité s'explique par le « règne » des hautes pressions avec une valeur moyenne annuelle de 1016 Hpa avec comme corollaire la présence de vent fort à très.

## FORT-DAUPHIN

Le bilan (**figure 4.d**) ne décèle pas à Fort-Dauphin d'épisodes secs. Le même constat *reste valable* avec l'approche  $RRR < 2TTT$  (**tableau IX.d**)

Dans le cas du bilan hydrique, septembre est le seul mois où la précipitation égale l'évapotranspiration. Ceci tiendrait à l'activité anticyclonique c'est à dire la persistance des hautes pressions.

L'absence d'épisodes secs ici, donc présence d'humidité se traduit par le régime de vent d'est auquel la localité est assujettie d'une part ainsi qu'à l'orographie favorisant les ascendances d'autre part.

Cette caractéristique constitue un fait majeur et importe beaucoup dans les stratégies de parade pour le développement de l'agriculture.

## RANOHIRA

La fin des pluies a lieu en mai. Juin, juillet, août et septembre constituent les mois secs (approche bilan) mois pendant lesquels l'évapotranspiration emporte sur la précipitation.

Le rapport  $RRR/ETP$  devenant inférieur à l'unité. Au mois d'octobre la réserve utile se reconstitue.

Si l'approche du bilan hydrique a permis en second lieu de faire ressortir l'existence de la sécheresse eu égard aux *imperfections de l'approche  $RRR < 2TTT$* , il est à noter qu'elle constitue par ailleurs une application évidente des CLIPS considérés comme alternatives dans le développement des régions du Sud-Ouest, du Menabe, de l'Androy et de l'Anosy. L'intérêt pratique de ces bilans réside en ce qu'ils constituent de précieux indicateurs dans la *planification des activités notamment agricoles*.

Les **figures 4.a, 4.b, 4.c, 4.d et 4.e** ci-dessus appellent par ailleurs comme remarque un découpage saisonnier. Ce découpage s'articule autour de trois niveaux :

1. **[A1 B1]** correspondant à une période pré-humide et où  $RRR$  est inférieure à l'ETP ;
2. **[B1 B2]** correspondant à une période humide et où  $RRR$  est supérieure à l'ETP ;
3. **[B2 C2]** correspondant à une période post humide et où  $RRR$  est inférieure à l'ETP.

La connaissance de ce découpage suppléera à la *question de calendrier cultural* laquelle constitue une préoccupation majeure exprimée lors de la visite de terrain par les services régionaux d'agriculture du Sud-Ouest, du Menabe, de l'Androy et des ONGs, CARE INTERNATIONAL et PAM dans l'Anosy et les associations paysannes (Maison des Paysans, **MDP**) du Sud-Ouest. L'utilisation pratique de ce découpage renvoie aux stratégies de parade dans lesquelles des variétés culturales propres aux différentes régions (Tuléar, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira) sont recommandées.

### III.3.2.3. CONTRASTES DU BILAN HYDRIQUE

Les **tableaux IX.a ; IX.b ; IX.c ; IX.d et IX.e (Annexe I)** font ressortir des contrastes avec l'approche **RRR<2TTT**. Ils expriment les bilans hydriques à l'échelle de l'année à Tuléar, Faux-cap, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira.

L'évapotranspiration potentielle est plus importante à Morondava **1813mm** contre **1484,8mm** à Fort-Dauphin. Dans l'ensemble, *le bilan climatique (BC) définissant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration* est négatif sauf à Fort-Dauphin où il est de **88,4 mm**.

Les bilans climatiques négatifs traduisent l'importance de l'évapotranspiration (les pertes d'eaux) devant la précipitation. Le prélèvement se faisant alors au détriment de la réserve utile.

Les résultats ( $RRR < 2TTT$ ) et ( $RRR < ETP$ ) s'opposent ainsi qu'on s'en aperçoit sur les tableaux.

Le rapport RRR/ETP fait ressortir une sécheresse permanente à Tuléar et à Faux-cap.

A Morondava, cette sécheresse s'étend de mars à décembre. Elle concerne mars à novembre pour Ranohira et s'étend enfin d'août à décembre (Fort-Dauphin). Ceci quoique constituant un fait majeur n'entrave pas sérieusement le développement agricole à Fort-Dauphin, Ranohira et Morondava. Néanmoins, cette situation pourra susciter des interrogations lorsque nous recommanderons la mise en place des cultures de contre saison dans les *stratégies de parade*.

### III.3.3. ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE

Comme énoncé au début, la présente étude revêtant un caractère climatologique devrait nous amener à ressortir cette caractéristique. C'est ainsi qu'une typologie hydro-climatique s'inspirant des travaux de J. MOUNIER [11-12], nous a permis de décrire les caractéristiques du Sud-Ouest, du Menabe, de l'Androy et de l'Anosy (*confère tableaux XI.a, XI.b, XI.c, XI.d et XI.e Annexe I*). Les critères de caractérisation sont donnés dans le **tableau XII, Annexe I**. Les paramètres utilisés sont les précipitations, l'évapotranspiration et températures moyennes mensuelles (*confère tableaux II, Annexe I*) générés à partir de la 'BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE'.

La première remarque qu'appelle cette typologie hydro-climatique est l'absence de mois hyper-humides aussi bien dans l'Anosy, l'Androy que dans le Sud-Ouest et le Menabe.

La région de l'Anosy (Fort-Dauphin) est concernée par l'humidité toute l'année.

Ranohira également est concernée par l'humidité pendant les mois de novembre – décembre – janvier – février et mars (saison qui nous intéresse surtout).

Les critères de secs (s) ; sub-sec (ss), sub-humide (sh) et hyper-sec (hs) concernent les stations de Tuléar, Morondava, Faux-cap et dans une certaine mesure Ranohira. Les pourcentages concernant ces critères sont les suivants :

STATIONS	POURCENTAGES %			
	s	ss	hs	sh
TULEAR	33,3	25	33,3	8,3
MORONDAVA	16,6	-	50	33,3
FAUX-CAP	25	58,3	8,3	8,3
RANOHIRA	16,6	8,3	33,3	-

Alors que Tuléar enregistre le plus grand pourcentage de **mois secs** soit 33.3% suivie de Faux-Cap avec 25%, les stations de Morondava et Ranohira n'enregistrent que 16.6% de mois secs.

Concernant le critère **sub-sec (ss)**, Morondava n'en note pas. La station de Ranohira a la plus grande probabilité de connaître les mois sub secs (58.3%).

La fréquence de mois **hyper-secs** est élevée à Morondava que partout ailleurs soit 50%.

## CONCLUSION

L'approche fréquentielle du rapport  $RRR < 2TTT$  permet de souligner le risque de sécheresse propre à chaque mois.

A l'exception de Fort-Dauphin, la période morte, Mai à Octobre en général apparaît sèche dans les autres localités. Cette sécheresse touche également la période pluvieuse dont les fréquences sont assez élevées dans l'ensemble

D'autre part, alors que le rapport  $RRR < 2TTT$  estime la sécheresse hydrologique, le bilan hydrique fait ressortir cette sécheresse en termes de déficit compromettant la croissance et le développement des végétaux.

Enfin, l'intensité de la sécheresse tend à s'aggraver quand le rapport  $RRR/ETP$  s'éloigne de **0,5** pour se rapprocher de 0.

### III.4. INDICES DE SECHERESSE

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs indices sont utilisés.

#### III.4.1. INDICE DE L'ECART A LA MOYENNE (*Em*)

##### III.4.1.1. DEFINITION

L'écart à la moyenne définit la différence entre la hauteur de précipitation ( $P_i$ ) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation ( $P_m$ ). Répondant à l'expression mathématique suivante :

$$Em = P_i - P_m$$

il représente l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année. Néanmoins, les agro-météorologistes utilisent l'écart à la médiane.

##### III.4.1.2. METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS

L'indice de l'écart à la moyenne met en jeu les précipitations annuelles et la précipitation moyenne. Dans la présente étude, les précipitations annuelles reposent sur la période 1971 – 2000 pour Tuléar, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira et 1971-1983 pour la station de Faux-Cap. La précipitation moyenne repose sur la normale actualisée de ces séries de 30 et 13 ans.

On reconnaît les ANNEES HUMIDES par les VALEURS POSITIVES d' $Em$  et les ANNEES SECHES par des VALEURS NEGATIVES. L'écart à la moyenne permet par ailleurs, de visualiser et de déterminer le nombre d'années déficitaires et leur succession comme l'indiquent les figures 5.a ;5.b ;5.c ;5.d et 5.e ci-dessous.

FIGURE 5.a : HISTOGRAMME D'ECART A LA MOYENNE

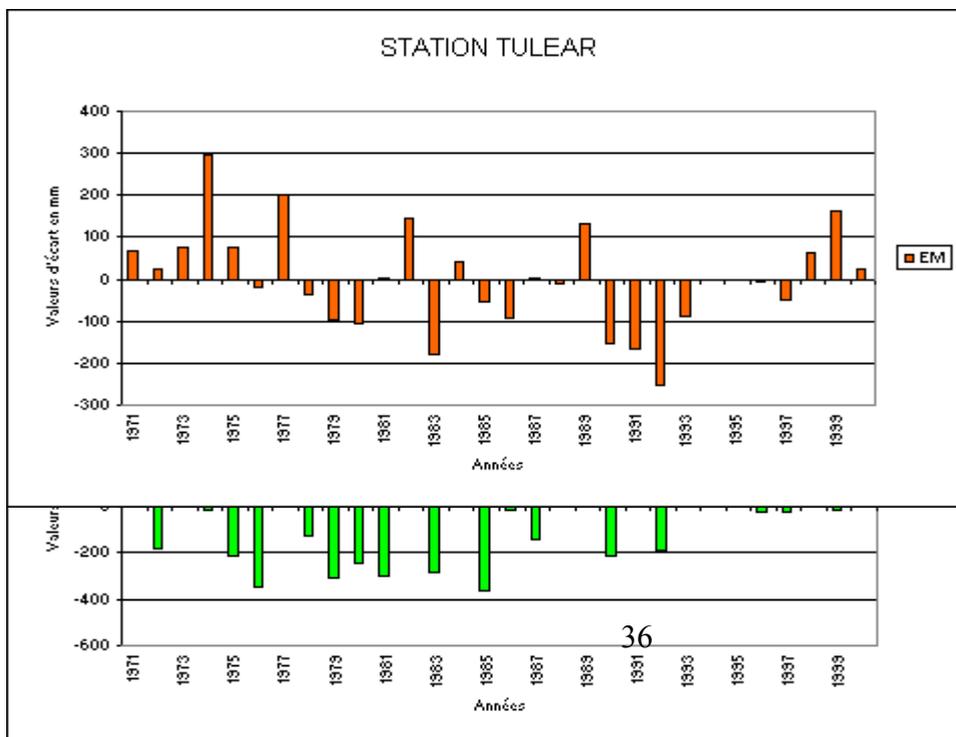
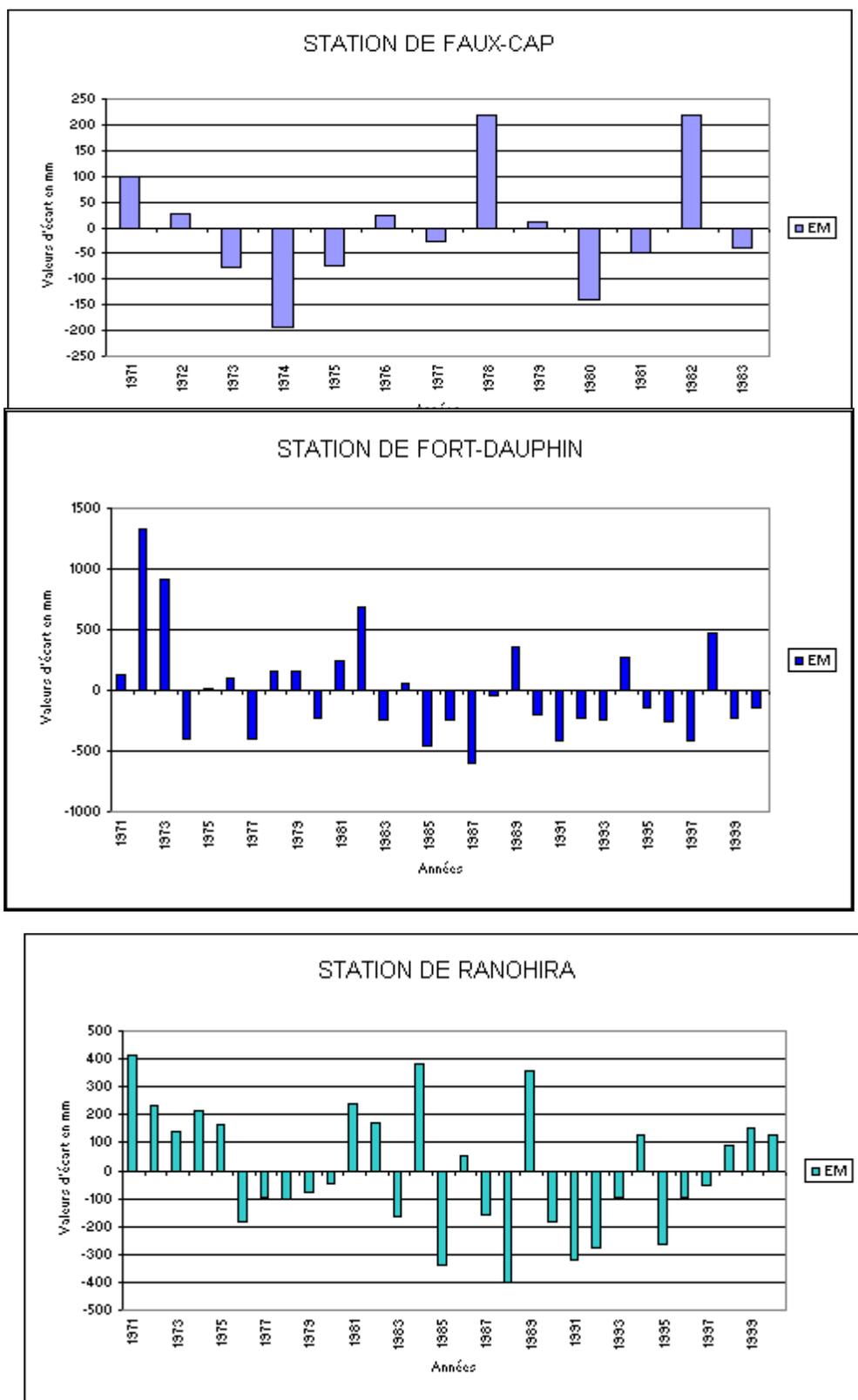


FIGURE 5.c : HISTOGRAMME D'ECART A LA MOYENNE



La tendance générale est au déficit c'est à dire à la sécheresse dans les stations de Tuléar, Fort-Dauphin et Ranohira (confère **tableaux XIII.a ; XIII.b ; XIII.c ; XIII.d et XIII.e, Annexe I** où les valeurs négatives d'Em l'emportent sur les valeurs positives).

A Morondava, les valeurs positives d'Em l'emportent sur les valeurs négatives à l'unité près soit 3010 contre 3009 ce qui s'apparente à une situation équivalente d'où symétrie à peu près.

A Faux-cap, on note une tendance humide (les valeurs positives l'emportant sur les valeurs négatives) soit 599 contre 596.

Ces résultats seront étayés par ceux de l'approche indice de pluviosité où les courbes de tendances montrent une décroissance des précipitations à Tuléar, Fort-Dauphin et Ranohira ; une croissance à Faux-cap et une situation quasi équivalente à Morondava.

### III.5. INDICE DE PLUVIOSITE

#### DEFINITION

Cet indice définit le rapport de la précipitation annuelle  $P_i$  à la hauteur moyenne annuelle de précipitation  $P_m$ . L'indice de pluviosité répond à la formule suivante:

$$I_p = P_i / P_m$$

Où  $I_p$  = Indice de pluviosité

#### METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS

Tout comme l'indice de l'écart à la moyenne, il met en jeu les précipitations annuelles et la précipitation moyenne.

Le rapport est supérieur à 1 pour les ANNEES HUMIDES et inférieur à 1 pour les ANNEES SECHES.

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une TENDANCE HUMIDE. Dans le cas où cette somme DECROIT, il s'agit d'une TENDANCE SECHE.

Les figures 6.a ; 6.b ; 6.c ; 6.d et 6.e ci-dessous traduisent les tendances observées à Tuléar, Morondava, Faux-cap, Ranohira et Fort-Dauphin.

Les tableaux XIV.a, XIV.b, XIV.c, XIV.d et XIV.e, (Annexe I) renseignent sur les indices de pluviosité à Tuléar, Morondava, Fort-Dauphin et Ranohira.

FIGURE 6.c : COURBE D'INDICE DE PLUVIOSITE

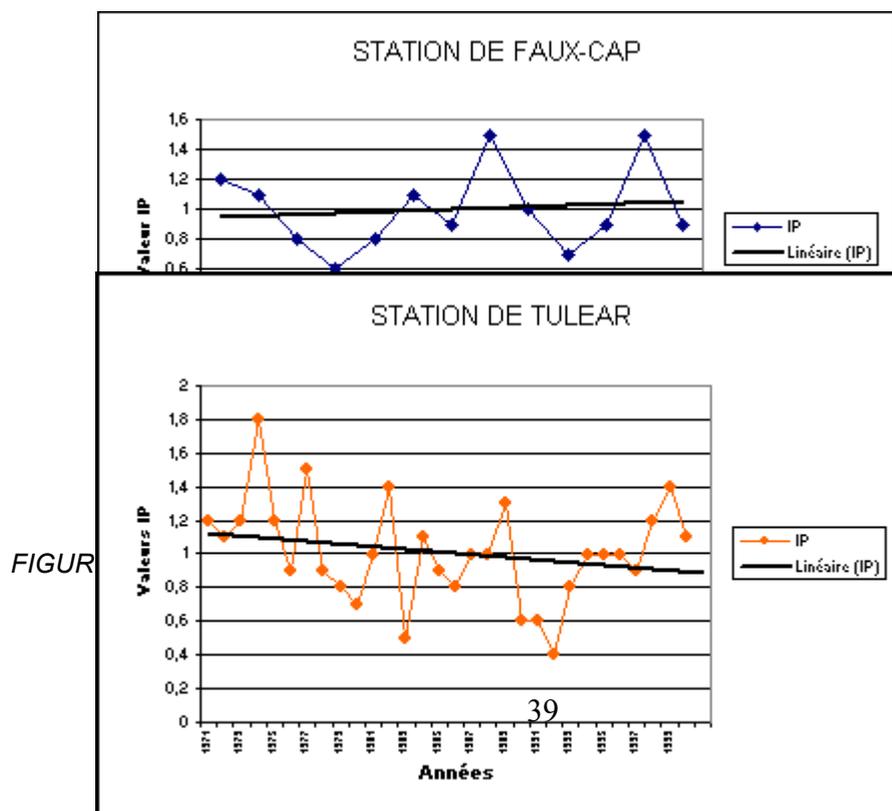


FIGURE 6.b : COURBE D'INDICE DE PLUVIOSITE

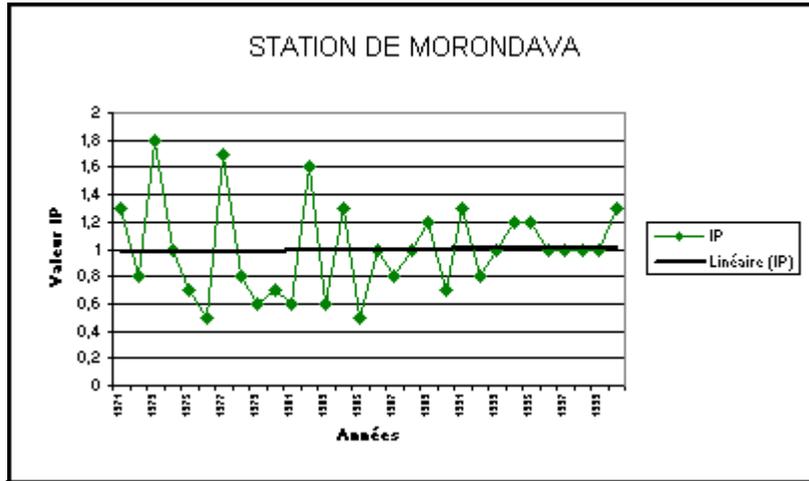


FIGURE 6.a : COURBE D'INDICE DE PLUVIOSITE

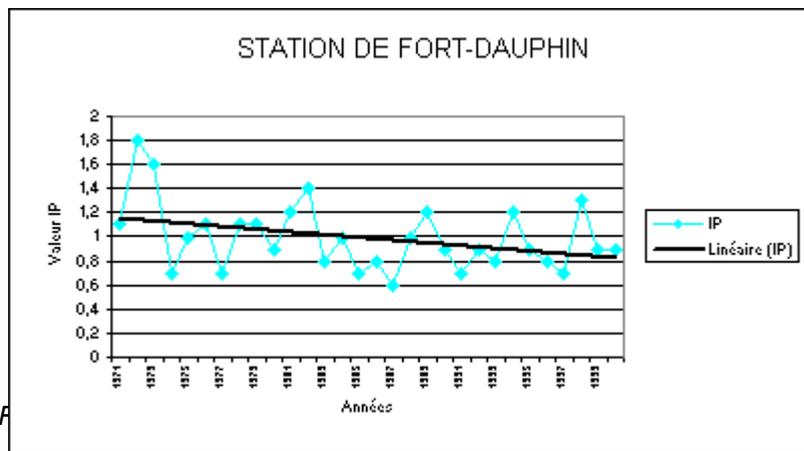
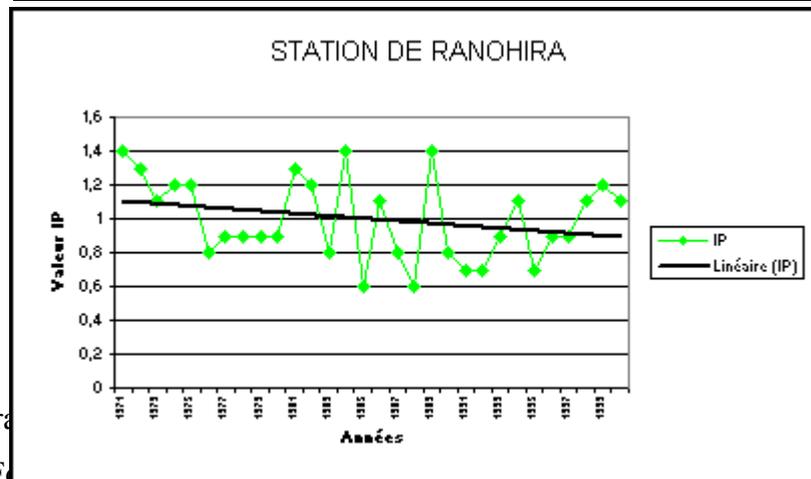


FIGURE 6.c



Ces graphiques illustrent les variations de l'indice de pluviosité à Morondava, Ranohira et Fort-Dauphin. On observe des fluctuations annuelles autour d'une tendance linéaire qui reste proche de 1.0. Ainsi pour cette station les résultats de l'indice d'écart à la moyenne. A Morondava la tendance est à peu près

stationnaire ce qui traduit une certaine symétrie c'est-à-dire que les récurrences humides avoisinent les récurrences sèches.

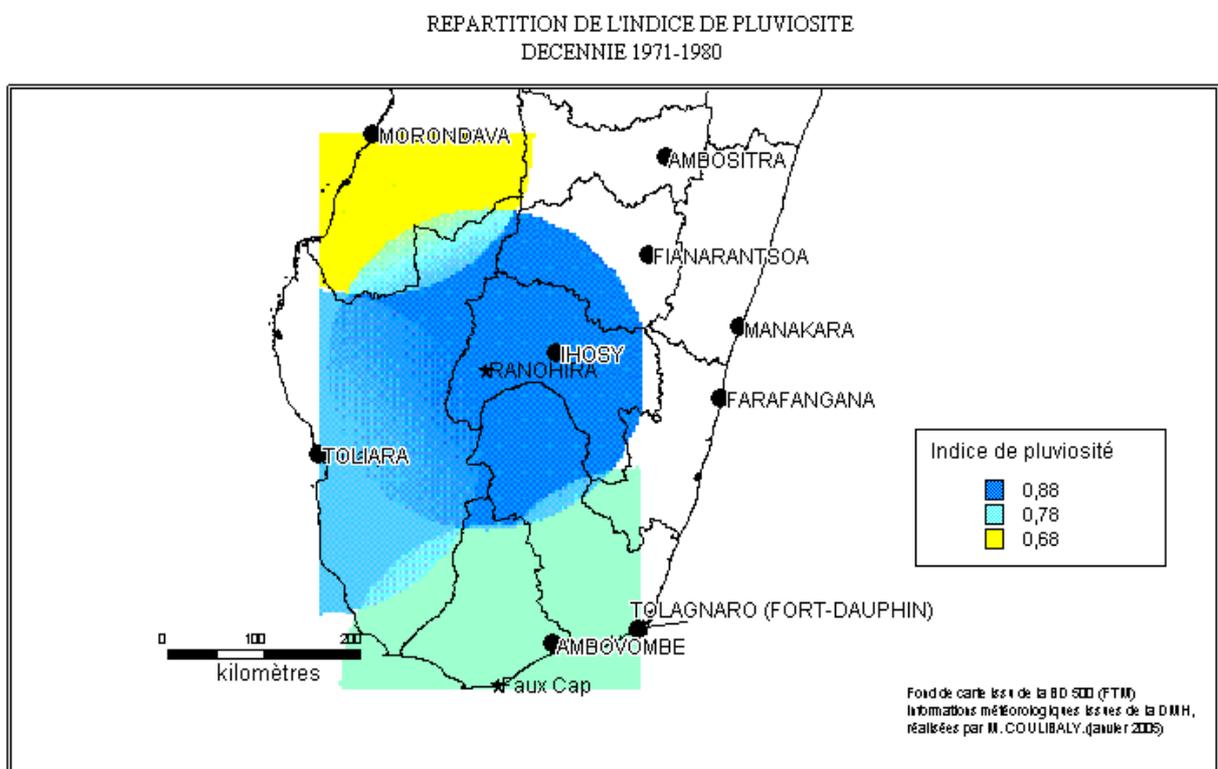
En général le constat est que les récurrences humides sont faibles par rapport aux récurrences sèches sauf à Faux –Cap où elles dépassent les récurrences sèches d'où la tendance croissante ci-dessus énoncée.

Outre les tendances, une progression décennale de l'indice de pluviosité se rapportant aux **cartes ci-dessous** a permis de voir la manifestation du phénomène. Il s'agit des décennies :

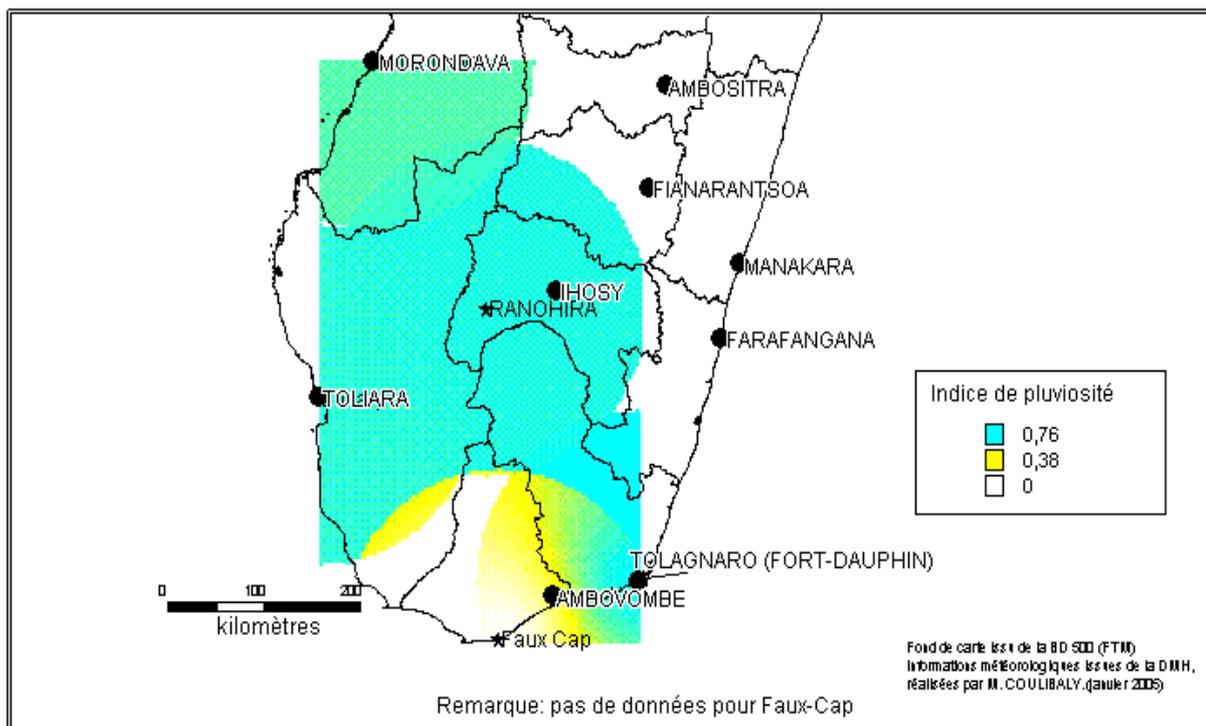
1971-1980, **décennie 1**

1981-1990, **décennie 2**

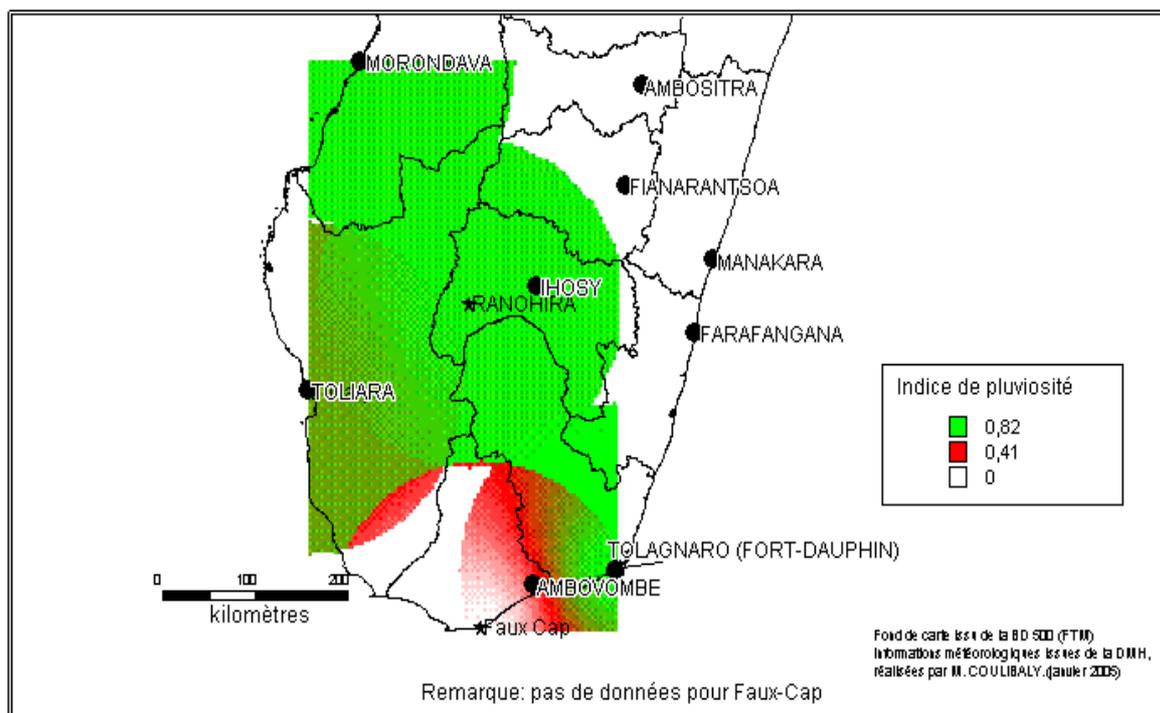
1991- 2000, **décennie 3**



REPARTITION DE L' INDICE DE PLUVIOSITE  
DECENNIE 1981-1990



REPARTITION DE L' INDICE DE PLUVIOSITE  
DECENNIE 1991-2000



De ces cartes, il découle :

**Décennie 1971-1980**, la station de Morondava apparaît seule « sèche » avec un écart à la normale de l'ordre de 0.07 (négligeable quand on sait que la variabilité n'atteint pas 20%). Dans les décennies 1981-1990 et 1991-2000, le déficit concerne la station de Faux-cap et ce, en raison du manque de données.

Certes, les pourcentages par rapport à la normale étayeront ce constat dans la décennie 1971-1980 (des pourcentages par rapport aux normales supérieure où égale aux valeurs moyennes à l'exception de Morondava confère **tableau XIII.b en annexe I**), les enquêtes menées lors de la visite de terrain ont noté des images dérangeantes de famine, ce qui nous amène à parler de nouveau de la complexité du phénomène. L'analyse numérique (**tableaux XIII.a, XIII.b, XIII.c, XIII.d et XIII.e** donnant des résultats copieux de pourcentages par rapport à la normale et étayée par les cartes numériques d'indices de pluviosité ci-dessus contraste avec les informations de terrain recueillies au niveau des structures techniques d'encadrement (agriculture, élevage, protection des végétaux etc.) et des organisations paysannes (*coopératives des riziculteurs, MDP : maison des paysans*). La nécessité d'être peu formaliste par rapport à l'étude du phénomène de sécheresse s'impose dès lors que la multiplicité des approches ne permet de déceler le fléau dans tous ses aspects. Nous estimons alors que d'autres *facteurs non encore connus, la répartition spatio-temporelle, l'action de la composante horizontale* **interviendraient**.

### **III.6. LE RAPPORT A LA NORMALE (RN)**

#### ***DEFINITION***

Cet indice définit le rapport de la précipitation annuelle à la précipitation « Normale » exprimé en pourcentage. Le rapport à la normale s'écrit :

$$RN = \left( P_i / P_m \right) \times 100$$

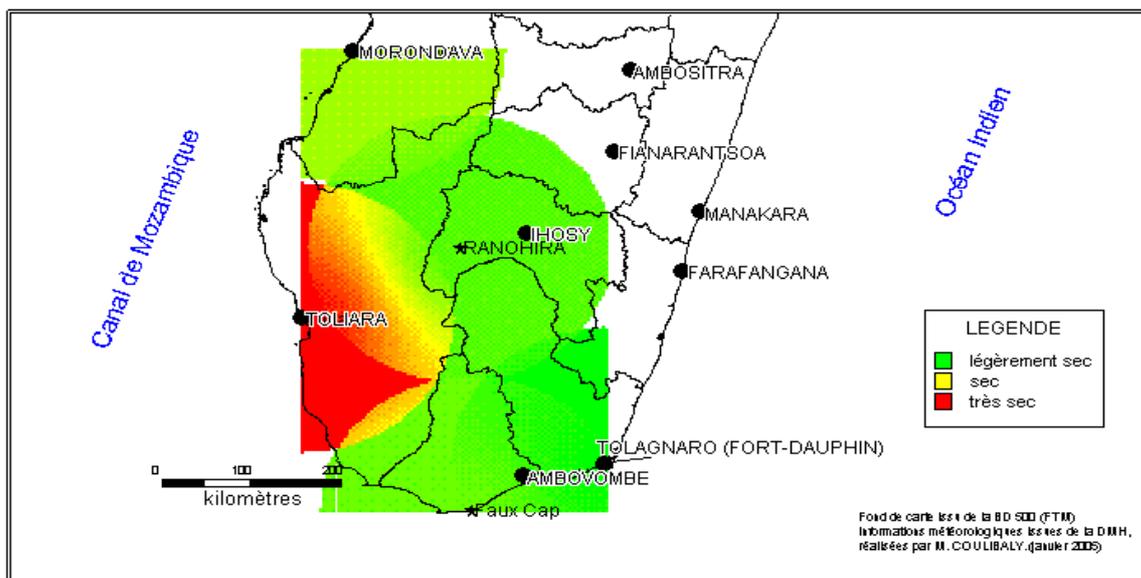
Où RN : désigne le Rapport à la Normale.

#### ***METHODOLOGIE ET DISCUSSIONS***

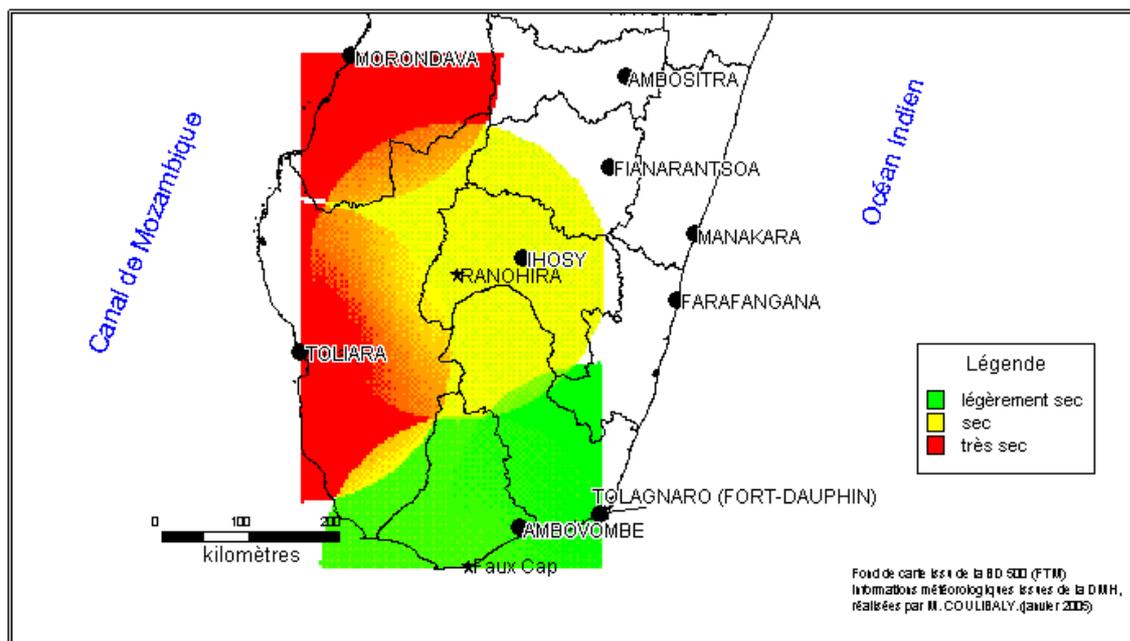
Tout comme l'indice de l'écart à la moyenne et l'indice de pluviosité, il associe les précipitations annuelles et la précipitation moyenne et s'exprime en pourcentages. On reconnaît la sécheresse ici à travers les pourcentages d'écart par rapport à la normale.

Les **cartes** ci-dessous montrent les pourcentages par rapport aux « Normales » des stations de Tuléar, Morondava, Faux-cap, Ranohira et Fort-Dauphin. Ces rapports concernent le premier quintile de chaque station.

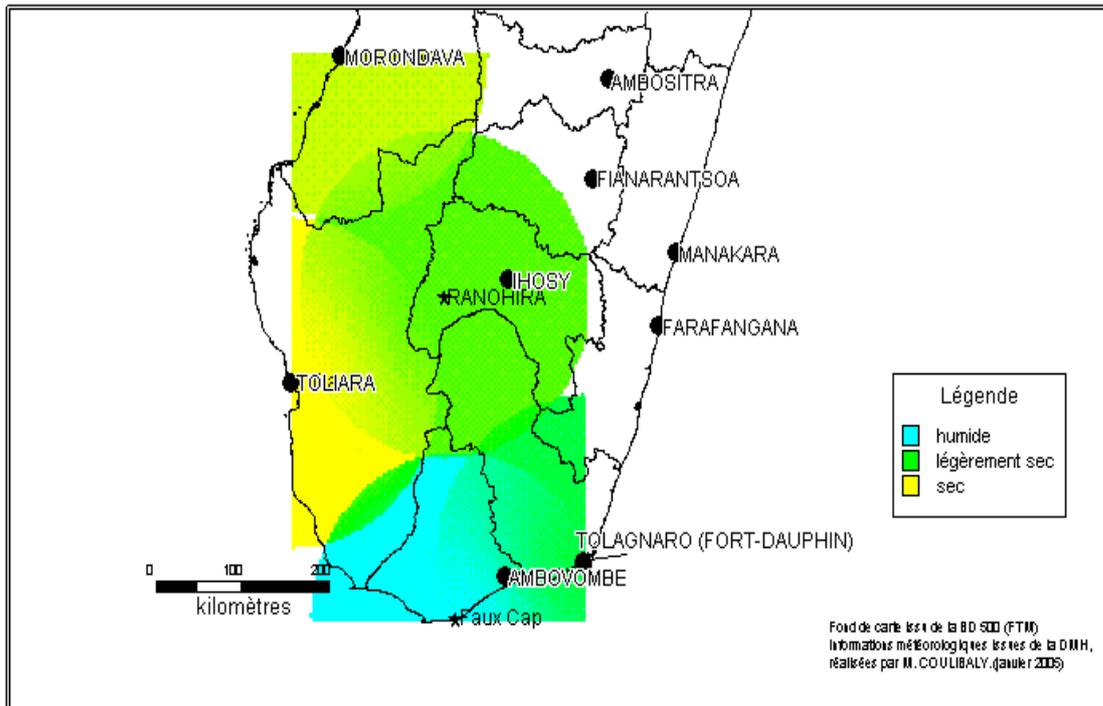
ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 1



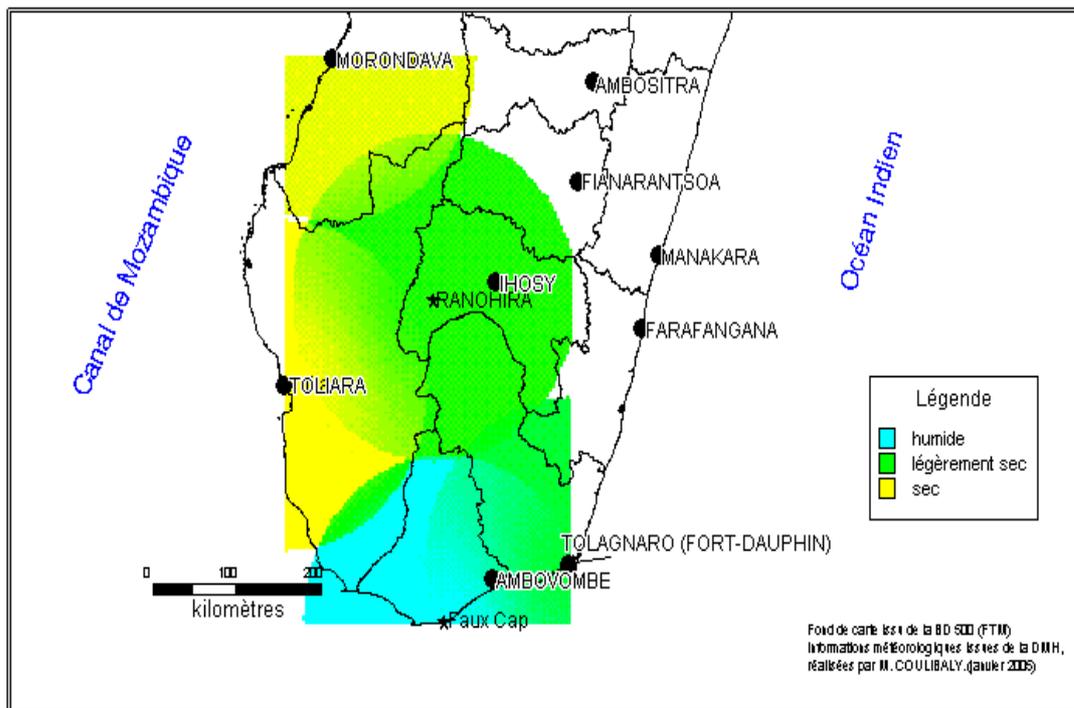
ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 2



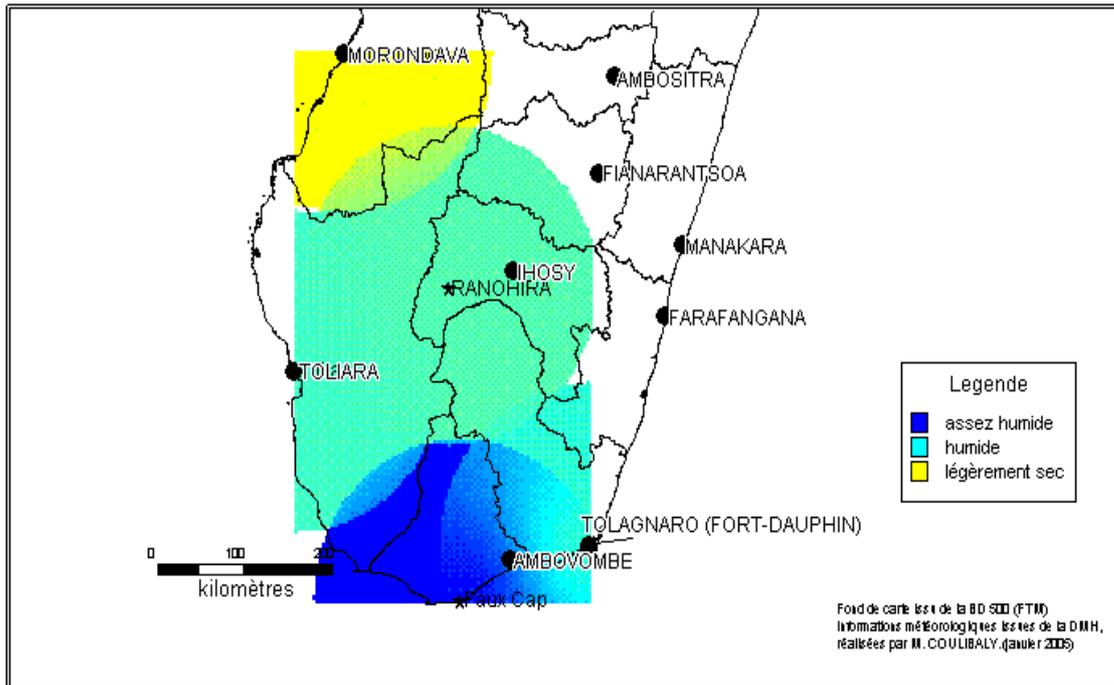
ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 3



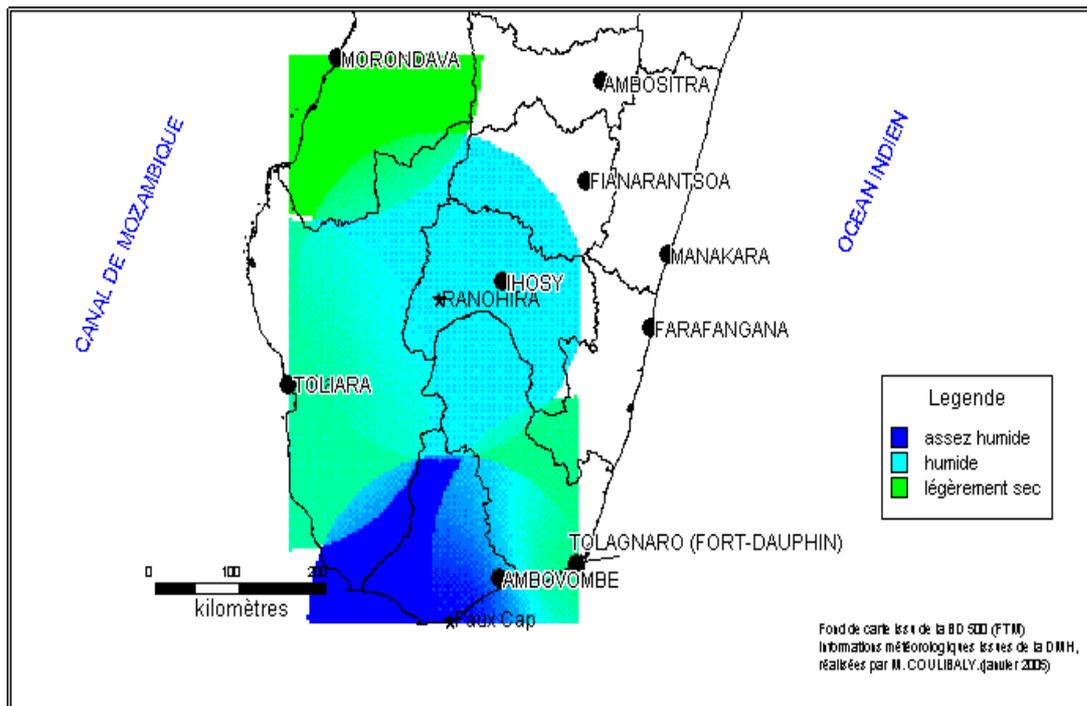
ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 4



ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 5



ANALYSE DE LA SECHERESSE  
QUINTILE 1, AU TEMPS 6



En particulier, les épisodes secs sont surtout marqués à Tuléar suivie de Morondava avec un écart supérieur ou égal à 20% à la Normale. La brillance allant du vert au bleu dénote une amélioration positive de la précipitation. Elle concerne la seule station de Faux-cap et

s'accommode pour cette station avec les cartes d'indice de pluviosité et les courbes de tendance.

### **III.7. INDICES DE SEVERITE**

En plus de l'identification des séquences sèches et de leur caractérisation par le calcul des indices ci-dessus, il importe de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité.

Selon YEVJEVICH [14], étudier la sécheresse c'est caractériser sa DUREE, sa SEVERITE et son INTENSITE.

Plusieurs méthodes de calcul de la sévérité existent. Entre autres, on peut retenir :

- l'indice du nombre d'écart types ;
- l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer ;
- l'indice standardisé de précipitation.

### **INDICE DU NOMBRE D'ECARTS-TYPES**

L'indice du nombre d'écart-types [15] est calculé par la comparaison de la pluie moyenne annuelle ( $P_m$ ) au nombre d'écart d'écart-types  $\sigma$  (sigma)

Lorsque  $P_i$  est inférieure à  $P_m - \sigma$  on parle d'une FORTE SECHERESSE. Cette sécheresse est qualifiée de SEVERE lorsque  $P_i$  est inférieure à  $P_m - 2\sigma$ .

### **INDICE DE SEVERITE DE LA SECHERESSE DE PALMER**

Encore appelé indice PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) et développé par PALMER, cet indice permet d'évaluer le DEBUT, L'INTENSITE et la FIN de la sécheresse.

L'intensité de la sécheresse en fonction de sa durée est définie comme étant le rapport du déficit cumulé à la durée de ce déficit. Ce qui peut se mettre sous la forme :

$$I(s) = D(s) / L(s)$$

où  $I_s$  = Intensité de la sécheresse

$D(s)$  = déficit cumulé en mm de pluie.

$L(s)$  = la durée de la sécheresse (en jour ou an)

Le déficit cumulé peut se mettre sous la forme.

$$D(s) = \sum_{I_1}^{I_f} d(i)$$

La durée  $L(s)$  de la sécheresse peut se mettre sous la forme

$$L(s) = I_f - I_i + 1$$

Où  $I_f$ : fin de l'intervalle considéré

$I_i$  : début de l'intervalle.

Le **tableau XV** identifie et caractérise la sécheresse météorologique pour les stations de Tuléar, Morondava, Faux-Cap, Ranohira et Fort-Dauphin

La remarque essentielle qu'appelle ce tableau est la manifestation de la sécheresse pendant cinq ans à Ranohira, sept ans à Morondava, six ans à Fort-Dauphin et Tuléar et seulement deux ans à Faux-Cap.

## ***INDICE STANDARDISE DE PRECIPITATION***

Développé en 1993 [20], l'indice standardisé de précipitation encore appelé (standardised precipitation index) « SPI » permet de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il reflète l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources hydriques.

Il se met sous la forme :

$$SPI = (Pi - Pm) / \sigma$$

Le tableau **XVI Annexe I**, intègre les valeurs de SPI pour les stations de Tuléar, Morondava, Ranohira, Fort-Dauphin et Faux-Cap.

Une classification de la sécheresse suivant ces valeurs de SPI permet de quantifier le déficit des précipitations qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des ressources en eau comme l'indique le **tableau XVII, Annexe I**

## **CONCLUSION**

La connaissance de ces différents indices (indices de sécheresse et indices de sévérité de la sécheresse) montre combien, la communauté scientifique en générale et la communauté météorologique en particulier s'intéressent au fléau, dans la problématique du développement.

Ces indices apparaissent comme des *indicateurs précieux* pour la **gestion** de la pénurie d'eau et celle de risques de sécheresse ainsi que pour la préparation et l'élaboration des plans d'intervention pour minimiser les impacts potentiels du fléau

# PARTIE II

# ARIDITE

## Chapitre IV : ARIDITE

### IV.1. GENERALITES ET DEFINITION

La distinction entre sécheresse et aridité n'est pas très nette. Pour l'aridité, nous retiendrons le déficit pluviométrique sous un angle spatial.

La notion d'aridité dont le célèbre géographe français Emmanuel de MARTONNE est le promoteur [17], revêt un intérêt capital à de multiples points de vue.

Plusieurs autres géographes, écologistes, botanistes et climatologues se sont intéressés à la question. Entre autres, KOPPEN, THORNTHWAITE etc.

Au moment où les hommes, confrontés aux affres résultant des conditions météorologiques et climatiques aléatoires dommageables, il nous a paru utile, d'évaluer l'aridité dans le sud de Madagascar déjà vulnérable afin de tirer quelques conclusions évidentes.

La définition même de l'aridité renvoyant à plus de similitude avec la sécheresse nous amène tout d'abord à corrélérer l'indice d'aridité avec la pluviométrie.

Il est à noter auparavant que l'indice d'aridité (E. de MARTONNE) est défini par le rapport des précipitations moyennes aux températures moyennes majorées de 10 ce qui se traduit mathématiquement par l'expression suivante :

$$I = RRR / TTT + 10$$

Où RRR = précipitations (mm)

TTT = température (°C)

L'approche de l'aridité est devenue plus rationnelle après que THORNTHWAITE eut défini la notion d'ETP.

Le rapport RRR/ETP constitue le seuil de l'aridité.

- Le **semi-aride** commence dès que le rapport est  $\leq 0,5$  ;
- L'**aride** est atteint dès que ce rapport atteint **0,2** ;
- et l'**hyperaride** règne quand le rapport est  $\leq 0,03$  ;

KOPPEN [3] également, a borné l'aride par comparaison entre les précipitations (RRR) et les températures (TTT), en introduisant quelques nuances selon les régimes pluviométriques :

Le seuil  $RRR < TTT$  si la saison la moins arrosée est l'**été** ;

$RRR < TTT + 14$  si c'est l'**hiver** ;

et  $RRR < TTT + 7$  si l'organisation saisonnière n'est pas **nette**.

La présente étude utilise l'approche de MARTONNE dont les tableaux XVIII.a ; XVIII.b ; XVIII.c ; XVIII.d et XVIII.e, Annexe I incluent la valeur de l'indice.

## IV.2. CORRELATIONS

Les corrélations des valeurs de l'indice d'aridité avec les précipitations (résultats ci-contre) sont significatives ce qui, traduit le lien étroit entre les deux concepts (sécheresse et aridité), les courbes d'aridité suivant également les mêmes allures que celles des précipitations (confère figures 7.a ; 7.b ; 7.c ; 7.d et 7.e).

<i>Corrélation RRR et IAM</i>	
STATIONS	R <sup>2</sup>
<b>Tuléar</b>	<b>0.999076897</b>
<b>Morondava</b>	<b>0.9995803</b>
<b>Faux-Cap</b>	<b>0.99967982</b>
<b>Ranohira</b>	<b>0.992101494</b>
<b>Fort-Dauphin</b>	<b>0.999397914</b>

Cette étroitesse entre les deux concepts, voudrait par ailleurs dire que l'aridité est fonction de la sécheresse en d'autres termes, la réalisation de l'aridité dépend de l'installation de la sécheresse.

L'utilité pratique de telles corrélations réside dans la détermination des zones dites **zones à risque** à travers une analyse pluviométrique dans le temps *c'est là un des rôles des SMHN.(Services météorologique et hydrologique nationaux)*. La détermination de ces zones à risque a la conséquence d'une programmation meilleure des activités tant au niveau de l'eau de boisson qu'au niveau des quantités nécessaires pour la vie végétative (cultures ...) et d'autres niveaux d'utilisation de l'eau.

Ces corrélations renvoient aux précipitations recueillies pendant la période 1971 2000 pour les stations de Tuléar, Fort-Dauphin, Morondava et Ranohira et 1971-1983 pour la station de Faux-cap (confère tableaux XIII.a XIII.b, XIII.c, XIII.d et XIII.e et tableaux XVIII.a, XVIII.b, XVIII.c, XVIII.d et XVIII.e, Annexe I)

FIGURE 7.a : ALLURE DES COURBES DE PRECIPITATION ET D'ARIDITE

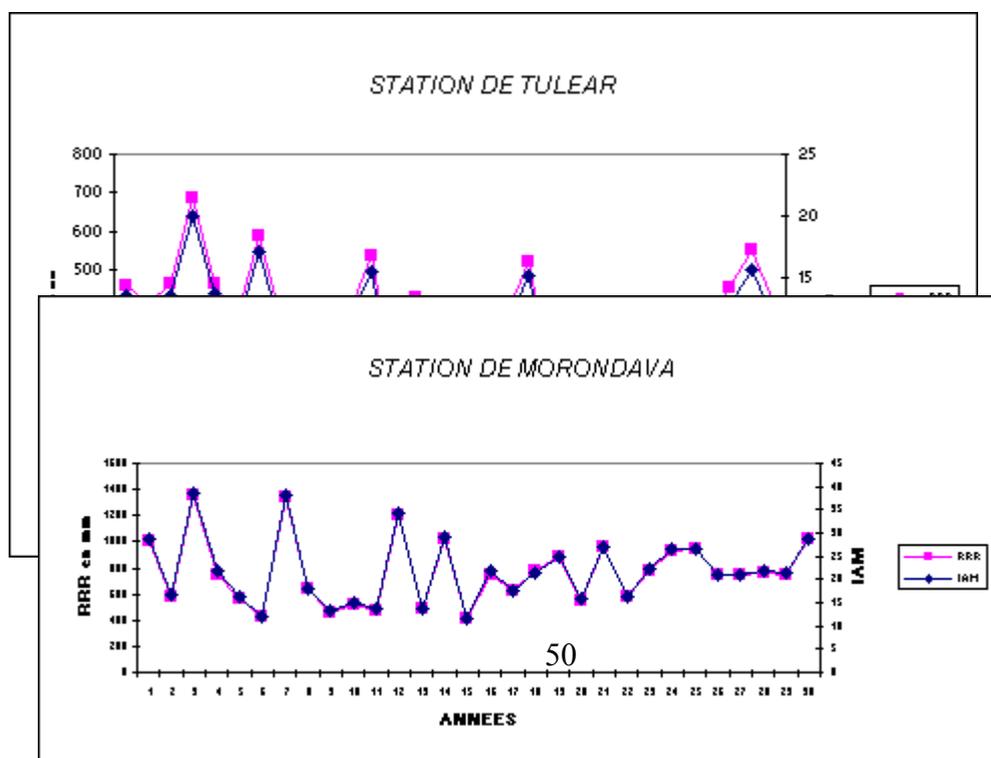
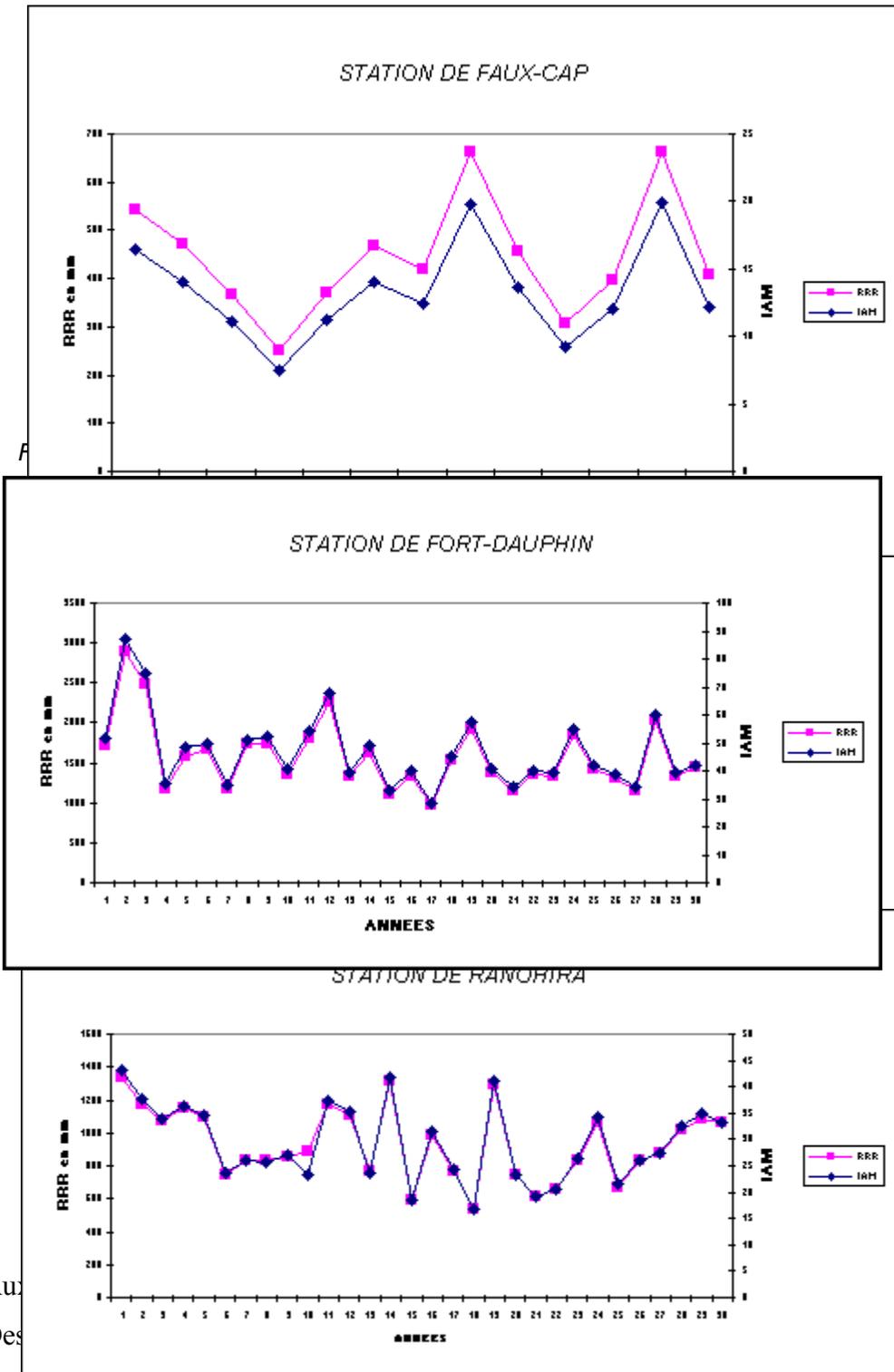


FIGURE 7.c : ALLURE DES COURBES DE PRECIPITATION ET D'ARIDITE



Au  
Des  
plages caractéristiques :

S.  
ent trois

1.  $0 \leq \text{IAM} \leq 15$  (Tuléar et Faux-cap avec 11 et 13 en moyenne)
2.  $15 \leq \text{IAM} \leq 25$  (Morondava avec 22 en moyenne)
3.  $25 \leq \text{IAM} \leq 30$  (Ranohira avec 29 en moyenne)
4.  $\text{IAM} > 30$  (Fort-Dauphin)

1-, 2-, 3- et 4- correspondent aux caractéristiques hydro-climatiques énoncées plus haut dans les tableaux **XI.a ; XI.b ; XI.c ; XI.b ; XI.c ; XI.d et XI.e et XII**

## CONCLUSION

L'aridité est une fonction spatiale. Sa connaissance dans la présente étude devrait nous amener à inventorier d'une part le potentiel hydrique (bassins versants, nappes phréatiques ...) et ce, en vue d'une meilleure programmation des activités (forage, activités maraîchères, abreuvement etc.) et d'autre part à élaborer une sorte de bilan entre les apports et les prélèvements. Ceci n'a pu être réalisé en raison de l'insuffisance et la non disponibilité des données nécessaires notamment les données de débits, les données pédologiques, agronomiques ... Néanmoins, on peut avancer que le problème de l'eau est assez majeur dans le sud en général eu égard aux chiffres ci-après :

• **BESOINS AU NIVEAU DES POPULATIONS**

REGIONS	SUPERFICIE Km <sup>2</sup>	POPULATION	BESOIN EN EAU/J	BESOIN EN EAU/AN
SUD-OUEST	66 735	1 014 889	20 297 780	7 307 200 800
ANDROY	19 317	506 875	10 137 500	3 649 500 000
ANOSY	29 731	547 321	10 946 420	3 940 711 200
MENABE	46 121	390 353	7 807 060	2 810 541 600
<b>TOTAL</b>	<b>161 904</b>	<b>2 459 438</b>	<b>49 188 760</b>	<b>17 707 953 600</b>

Les besoins en eau d'un individu par jour sont de. (**SOURCE FAO**)

- 20 litres dans le milieu rural non desservi par des bornes fontaines ;
- 27 litres dans le milieu desservi par borne fontaine ;
- 120 litres dans le milieu desservi par branchement au réseau de distribution d'eau potable

Les besoins seront de **23 905 737 360 litres** pour les 4 régions (pour le cas 27 litres) et **106 247 721 600** (dans le cas de 120litres).

- **BESOINS D'ABREUUREMENT DES ANIMAUX**

-

REGIONS	BOVINS	PORCINS	OVINS	CAPRINS
SUD-OUEST	928 054	6 687	247 100	248 200
ANDROY ET L'ANOSY	668 560	11 800	7 700	16 500
MENABE	478 560	10 515	343 100	645 050

Bovin : une vache laitière a besoin de 10 litres par jour par tête ;

- Caprin et ovin : chaque femelle a besoin de 7 à 8 litres d'eau par jour pendant la période de lactation ;
- Porcs : 12 à 17 litres pour une truie en attente de saillie, 15 à 20 litres pour une truie gestante, 20 à 35 litres pour une truie allaitante, 0,2 à 0,4 litres pour un porcelet sous la mère, 1 à 6 litres pour un porcelet en post servage, 4 à 12 litres pour un porc charcutier.

Les besoins pour les animaux en **360 jours** sont :

Bovins (Sud-Ouest, Anosy et l'Androy, et le Menabe)	<b>7 470 626 400 litres</b>
Ovins (Sud-Ouest, Anosy et l'Androy, et le Menabe)	<b>1 721 952 000 litres</b>
Ovins (Sud-Ouest, Anosy et l'Androy, et le Menabe)	<b>80 385 510 000 litres</b>
Porcins (Sud-Ouest, Anosy et l'Androy, et le Menabe)	<b>156 610 800 litres</b>

- **BESOINS DES CULTURES**

BESOIN ANNUEL (mm ou en l/m<sup>2</sup>) = ETP x SURFACE CULTIVEE

**NB** : la connaissance des superficies cultivées et les types de cultures devraient permettre une estimation des prélèvements ici à l'instar des besoins en eau des populations et ceux d'abreuvement des animaux.

## ○ IMPACTS

L'aridité comme la sécheresse exercent des effets assez dommageables sur l'acteur humain et ses activités dans le sud de Madagascar principalement dans l'Androy, le sud-ouest et le Menabe.

Comme corollaires, l'érosion massive des sols due surtout à la composante horizontale (transport de sels rendant les sols alcalins) et à l'activité humaine ont, la conséquence d'une baisse de rendements.

La baisse de rendements dénote l'avènement du « KERE<sup>3</sup> » c'est à dire la disette d'où tensions sociales, instabilité, émigration etc. Ces facteurs sont loin de permettre un mieux être social et entravent le développement humain durable.

L'ensablement des cours d'eau, des cultures et d'autres raisons évoquées ci-dessus fragilisent les écosystèmes et prédisposent davantage la région à la vulnérabilité. Il s'agit là, de faits majeurs dont leurs diagnostics efficaces permettront l'élaboration de plans, programmes cohérents et la mise en œuvre de stratégies de parade viables pour la région.

## ○ STRATEGIE DE PARADE

Toutes stratégies viables, visant à éradiquer le fléau sinon minimiser les impacts sur l'acteur humain dans ses manifestations socio-économiques devraient prendre nécessairement en compte *la composante météorologique et/ou climatologique*. Le climat qui, jusqu'ici est apparu comme un danger surtout pour le sud-ouest, l'Androy et le Menabe apparaît également comme un capital ainsi qu'on le démontrera plus bas. Ceci mérite une attention toute particulière.

Dès lors, un certain nombre d'actions touchant divers secteurs et interpellant des personnes morales et physiques doivent voir le jour. A tous les niveaux, l'on doit être convaincu d'abord de l'existence du fléau :

### AUX NIVEAUX TECHNIQUES

#### METEOROLOGIE

Les services météorologique et hydrologique dont le rôle est déterminant pour les autres secteurs d'activités socio-économiques sans exclusive doivent être au cœur des *objectifs envisagés* ainsi que dans la *mise en œuvre des actions*.

A Madagascar, dans le nouveau contexte de découpage régional et de décentralisation, les services météorologiques eu égard aux aléas climatiques (sécheresses récurrentes, cyclones, réchauffement...) doivent élaborer des programmes réalistes basés sur les plans nationaux de développement et répondant aux aspirations collectives. Dans ces conditions, la météorologie appliquée devrait constituer un passage obligé. Dans la présente étude, les

---

<sup>3</sup> Emprunt, mot malgache signifiant la disette.

productions agricoles étant celles auxquelles nous nous intéressons, l'agro-météorologie apparaîtra comme alternative.

Les CLIPS<sup>4</sup>, [19] ici, les résultats décennaux de l'ETP et de la précipitation permettent de caler différentes spéculations en fonction des exigences hydriques et du temps.

Des cultures pluviales et de contre saison sont possibles à Fort-Dauphin bien que connaissant un régime anticyclonique, jouit néanmoins d'une forte pluviosité en raison des chaînes montagneuses se poursuivant jusqu' à Diégo.

A Ranohira, des variétés à cycle court aussi bien qu'à cycle long peuvent réussir. Ici, les cultures de contre saison souffriraient de l'insolation agissant sur la réserve utile du sol dont l'épuisement s'étend de mai à septembre.

A Tuléar, des variétés à cycle court sont recommandées. Ce constat est valable pour Morondava où des variétés à cycle long peuvent être utilisées en plus.

Par contre, à Faux-cap, le développement des cultures pluviales paraît illusoire eu égard au seul mois de mai humide. Il serait également périlleux de recommander le maraîchage.

La diffusion régulière des valeurs du vent est utile aux services d'agriculture et des eaux et forêts pour mener à bien l'irrigation et les opérations de reboisement.

Aussi, l'émission de bulletins d'information météorologiques (décadaire, mensuelle voire conjoncturelle) permettra aux décideurs (Gouvernement, autres) d'avoir régulièrement une physionomie de la campagne, ce qui leur permet de prévenir les risques de disette et pouvoir prendre en temps opportun les dispositions nécessaires qui s'imposent. En l'état actuel des choses, les services météorologiques doivent être plus opérationnels en profitant de la coopération météorologique internationale (VMM<sup>5</sup>) au moment où les *questions du temps et du climat ne cessent d'alimenter l'actualité et de mobiliser les gens*.

#### AGRICULTURE

Les services techniques d'encadrement (agents forestiers, agents d'agriculture et d'élevage) doivent faire siennes, les missions qui leur incombent (*vulgariser, sensibiliser, éduquer, informer*) ces missions ne peuvent aller sans les paysans ni contre eux. Dès lors, la prise en compte de leur « **savoir** » devient primordiale. Le *concert démocratique* actuel, *l'option décentralisée* des *Politiques*, les *mutations socio-politiques* constituent un cadre idéal devant davantage mettre l'accent sur l'efficacité et renonçant du coût à la répression où à l'autorité (autorité formelle). Les missions ci-dessus évoquées se rapportent aux améliorations dans les pratiques et techniques culturelles, au mode d'élevage aux « tavy<sup>6</sup> »

---

<sup>4</sup> Climatological information and prevision services.

<sup>5</sup> Veille météorologique mondiale.

<sup>6</sup> Emprunt, mot malgache signifiant les feux de brousse.

Un accent particulier devrait être mis sur la recherche en occurrence, l'amélioration variétale conformément aux conditions climatiques et un essai d'*agroforesterie*<sup>7</sup> [1]

Les essences utilisées ici peuvent être *par exemple Stipa tenacissima, Acacia albida*  
AU NIVEAU DES COLLECTIVITES

Les collectivités locales doivent s'approprier l'action du « Fanjakana<sup>8</sup> » et surtout celle des ONGs opérant dans leur terroir qui ne sont pas pérennes. Une valorisation de l'existant (potentiel animalier, production marine, forestière...) et une meilleure organisation de ces secteurs pourrait suppléer aux insuffisances notées par endroits. Ceci incombe aux élus locaux dans leurs plans. Par exemple, pourquoi ne pas introduire une taxe d'exploitation de l'immense production de tamarin ?

Pourquoi ne pas agir de la sorte dans d'autres secteurs ? (pêche, mines...) pour pouvoir mieux appuyer certaines structures et mieux gérer par exemple les *parcours*, les *espaces cultivables* et *autres*.

Les collectivités locales devraient, chacune, se doter d'un « *minimum météorologique* » qui permette la *compréhension du temps* ou du *climat local*.

AU NIVEAU DES ORGANISMES D'ASSISTANCE

Les ONGs, la FAO, le PAM, le PNUD et la météorologie doivent mener conjointement certaines actions pour plus de synergie (*élaboration de guide prévisionnel de semis, traitements phytosanitaires et autres*).

AU NIVEAU DU « FANJAKANA »

Une attention particulière de l'Etat aux régions vulnérables est capitale pour leur développement.

L'élaboration de cadre organique ou la redéfinition de nouvelles politiques suppléera à certaines insuffisances;

SPECIFIQUEMENT, Les actions ci-après devraient être engagées :

- La définition d'une politique agricole dans la région qui rompt, avec la culture sur brûlis, le défrichement abusif des terres fertiles et qui mette l'accent sur des innovations telles que: *la jachère, l'assolement et la rotation des cultures etc*.

- L'AMENAGEMENT des vallées d'Ifarahantsa et du Ranomafana (Anosy) pourrait augmenter les superficies cultivables et venir ainsi à la rescousse de l'Androy. Cet aménagement devrait être étendu au casier rizicole de *behary* (Amboasary) sur plus de **800ha**.

---

<sup>7</sup> Terme collectif pour les systèmes et pratiques d'utilisation des terres dans lesquelles les ligneux pérennes (arbres, arbustes, arbrisseaux) et par assimilation plusieurs palmiers et bambous sont cultivés délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage dans un arrangement spatial et temporel et où il existe des inter-actions à la fois écologique et économique entre les ligneux pérennes et les autres composantes.

<sup>8</sup> Emprunt, il s'agit de l'ETAT en malgache.

AMENAGEMENT également de **22300 Ha** du côté de Sakaraha (commune de Tandrano au nord d'Ankazoabo)

- Lutte contre l'ensablement par la construction de digues et le reboisement notamment dans le *bassin du fleuve Fiherenana* (côté de Maromiandra) et *du fleuve Onilahy* dans la commune Saint-Augustin (Manoroka, Ankerereaka), commune d'Ambohimahaveloma.

- Mettre l'accent sur le « katray » ;
- Mettre également l'accent sur la culture attelée ;
- Lutte contre l'analphabétisme (ayant la conséquence d'une facilité dans la vulgarisation et dans la sensibilisation) ;
- Diversification et réintroduction de certaines cultures (mil, sorgho, pourtant connus des malgaches depuis les années 1949) ;
- Meilleure diffusion de l'information météorologique et son utilisation rationnelle dans le processus de développement durable;
- Mise en place des brise-vent **[18]** (augmentation de la production céréalière de l'ordre de 10 à 30%) ;
- Protection de la biodiversité à travers dans un cadre de « GELOSE<sup>9</sup> » par exemple ;
- Lutte contre l'érosion à travers de vastes programmes, du type PLAE<sup>10</sup> par exemple ;
- Forages surtout dans l'Androy ;
- Mesure de la salinité, cette détermination peut être réalisée au moyen du

#### **Césium 137 qui est un radioélément.**

- Des activités génératrices de revenu doivent être initiées par le « fanjakana » pour améliorer les conditions de vie des populations.
- La micro-finance (micro-crédit) peut se révéler porteuse dans la réussite d'autres activités notamment féminines.

---

<sup>9</sup> Gestion locale sécurisée

<sup>10</sup> Programme de Lutte Anti-Erosive

## CONCLUSION GENERALE

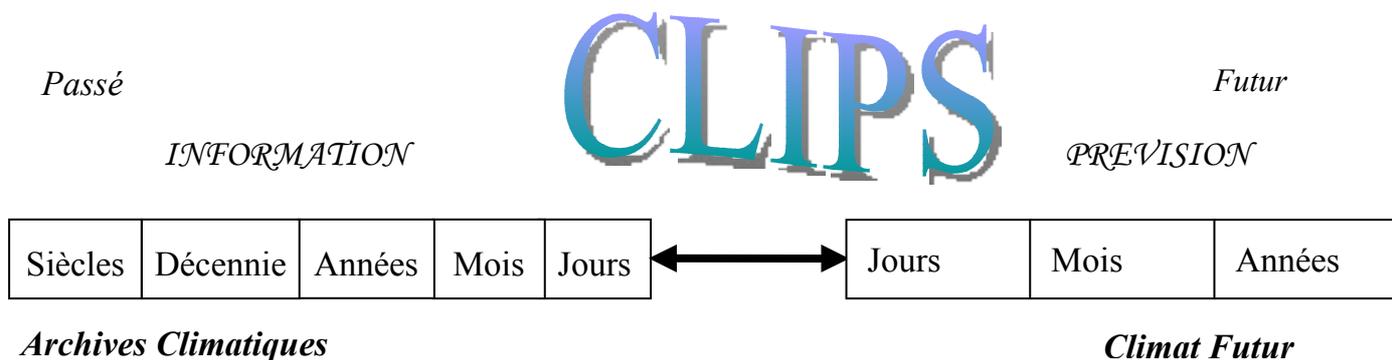
La sécheresse et l'aridité constituent des faits dans la partie méridionale de Madagascar. Notre étude visait :

- *la compréhension ;*
- *l'explication de ces phénomènes et ;*
- *une proposition de solutions contre les fléaux.*

Différentes approches ont été utilisées dans cette étude : *approche indiciaire*, *approche rapport précipitation-température* et *approche rapport précipitation-évapotranspiration*. Ces approches sont complémentaires.

La sécheresse et l'aridité paraissent d'autant majeures qu'il importe de les considérer particulièrement.

Dans un pays en développement comme Madagascar, et où l'agriculture et l'élevage constituent les principales activités, l'élaboration et la mise en œuvre des projets du genre CLIPS confère schéma suivant apparaît indéniablement comme *alternatives de développement*.



L'Etat dont la mission est d'assurer au peuple un mieux être socio-économique doit :

- ☞ Renforcer les capacités opérationnelles des services météorologique et hydrologique depuis la base, capacités sans lesquelles l'idée de CLIPS est *illusoire*.
- ☞ Elaborer le cadre juridique et institutionnel qui permette une gestion meilleure des parcours et des espaces cultivables.
- ☞ Accompagner les résolutions des sommets mondiaux (Sommet de Durban...)
- ☞ Réorienter ou redéfinir les missions de certains services publics
- ☞ Renforcer les capacités du CNS.
- ☞ Les élus locaux, dans le nouveau contexte de décentralisation et de régionalisation devraient être constamment à l'écoute de leurs collectivités, mieux identifier leurs besoins.

- ☞ Les collectivités locales doivent s'approprier les actions opérées par l'Etat, les organismes d'appui et où d'assistance (PNUD, FAO, PAM, ONGs) ;
- ☞ préserver les acquis et poursuivre dans la dynamique partenariale avec lesdits organismes.

L'appui technique du PNUD aux programmes environnementaux, celui de l'UNICEF, du CNS, l'intervention du PAM dans les cantines scolaires et l'intervention multiforme des ONGs et celle de la FAO sont des actions dont leur poursuite réduira davantage la vulnérabilité et permettre le développement.

Ce travail a l'effet induit de servir d'outil d'évaluation de certaines activités menées dans le cadre de projets de développement dans la zone et pourrait également servir dans les études de faisabilité d'autres projets. L'information géographique a été d'un intérêt capital dans la présente étude.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. A. COULIBALY, Cours d'Agronomie et Agrostologie 1993 ; IPR Katibougou
2. Jean Pierre VIGNEAU, Les climats transzonaux, Géoclimatologie collection Ellipses, Page 181
3. Jean Pierre VIGNEAU, Les climats transzonaux, Géoclimatologie collection Ellipses, Page 180
4. Ministère de la Population de Madagascar, Recensement 2004
5. P. DUVERGE, Essai d'application de l'indice climatique de SWAIN, Publication du service météorologique de Madagascar N°18 Septembre 1949.
6. Léon RANDRIANASOLO, Cours de climatologie, ESPA Antananarivo, Madagascar 2004
7. J AUSSENAC et J PARDE, Forêts et Climats - Bulletin Technique d'Information N°237
8. A. DOUGUEDROIT ; Climats du bassin méditerranéen ; le climat, l'eau et les hommes. Presses Universitaires de Rennes, 1977
9. D LAMARRE, P. PAGGEY, Climats et sociétés, Paris : Armand Colin, 1999
10. Jean Pierre VIGNEAU, Géoclimatologie, Paris : Ellipses, 2000
11. J. MOUNIER, Les climats Océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal, Université de Lille 3<sup>e</sup> tomes
12. R. LAMBERT, Géographie du cycle de l'eau. Toulouse, Presses universitaires de Mirail, 1996
13. YEVJEVICH, An objective Approach to definitions and investigation of continental hydrologic drought. Hydrologic paper n°23, Colorado state university, 1976
14. Berau MA, Rodier JA, Aspects hydrologiques des sécheresses
15. Berau MA, Rodier JA Aspects hydrologiques des sécheresses
16. Palmer WC. Meteorological Drought Research Paper N° 45. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC, 1965.
17. Jean Pierre VIGNEAU, Les climats transzonaux, Géoclimatologie collection Ellipses, Page 180
18. W.O Pruitt et J. Doorenbos, Les besoins en eau des cultures. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture Rome, 1986
19. Organisation Météorologique Mondiale. Publication OMM, N° 912, 2000 Genève Suisse.

20. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, 1993 : 179-84.
21. RAHETINDRALAMBO Rakoto, utilité de l'information géographique, Notes Techniques Internes, Direction de l'Information géographique, FTM février 2005.

# ANNEXES



ANNEXES

ANNEXE I : TABLEAUX

**TABLEAU I.a** ACTUALISATION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES -1971-2000 - STATION DE TULEAR

MOIS	RRR 61-90	RRR 71-00	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-00	Corrélation	TTT 61-90	TTT 71-00	Corrélation	PPP 51-80	PPP 71-00	Corrélation
JANVIER	94,7	89,9	0,9894939	176	190	0,89689448	27,6	27,9	0,99866275	1009,8	1009,7	0,9993085
FEVRIER	88,7	87,7		155	171,3		27,6	27,8		1009,4	1009,1	
MARS	35,9	39,4		150	156,4		26,9	27,3		1011,1	1011,2	
AVRIL	17,7	16,9		111	140		25,3	25,7		1013,4	1013,1	
MAI	15,8	13		86	117,2		22,8	23,5		1016,2	1015,8	
JUIN	14,9	12,6		62	103,6		20,9	21,2		1019,1	1018,8	
JUILLET	6,2	5,5		58	106,5		20,6	20,9		1020,1	1019,9	
AOÛT	5,6	4,4		65	126,2		21,2	21,4		1019,3	1019,1	
SEPTEMBRE	7,8	7		83	143,3		22,4	22,7		1017,3	1016,9	
OCTOBRE	11,9	10		109	165,1		23,9	24,2		1015,3	1015	
NOVEMBRE	21,7	25,7		129	184,1		25,3	25,7		1013,3	1012,9	
DÉCEMBRE	97	77,6		158	178,8		26,7	26,9		1011,2	1011,1	
<b>TOTAL/MOY.</b>	417,9	389,7		1342	1782,5		24,3	24,6		1014,6	1014,4	
<b>AMPLITUDE</b>		-28,2			440,5			0,3			-0,2	
x 51-80 et 61-90 Paramètres d'archives <b>SOURCE:</b> Direction Générale de la Météorologie Malgache												
X 71-00 Paramètres calculés <b>SOURCE:</b> M. A. COULIBALY.												

**TABLEAU I.b** ACTUALISATION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES -1971-2000  
STATION DE MORONDAVA

MOIS	RRR 61-90	RRR 71-00	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-00	Corrélation	TTT 61-90	TTT 71-00	Corrélation	PPP 51-80	PPP 71-00	Corrélation
JANVIER	241,6	276,6	0,98763059	169	168,6	0,87941395	27,6	27,7	0,99915933	1009,5	1009,7	0,99813757
FEVRIER	200,2	214,6		150	157,1		27,5	27,6		1009,2	1008,8	
MARS	89,5	86,2		152	159,5		27,4	27,6		1010,4	1010,7	
AVRIL	14,8	17,2		119	148,7		26,2	26,4		1012,4	1012,4	
MAI	11,4	7,5		89	126,9		23,7	24,1		1015,1	1015,1	
JUIN	2,4	1,7		64	114,3		21,7	22		1017,7	1017,6	
JUILLET	2,3	2,1		59	116,1		21,5	21,7		1018,6	1018,5	
AOÛT	2,2	1,3		73	133,6		22,2	22,3		1018	1018,2	
SEPTEMBRE	3,6	2,7		96	150,9		23,7	23,8		1016,3	1016,3	
OCTOBRE	11,9	9		127	173,6		25,4	25,5		1014,5	1014,3	
NOVEMBRE	20,8	22,9		151	187,9		26,6	26,9		1012,6	1012,6	
DÉCEMBRE	163,3	128,4		143	175,8		27,4	27,6		1010,9	1011,2	
<b>TOTAL/MOY.</b>	763,8	770,2		1392	1813		25,1	25,3		1013,8	1013,8	
<b>AMPLITUDE</b>		6,4			421			0,2			0	
x 51-80 et 61-90 Paramètres d'archives <b>SOURCE:</b> Direction Générale de la Météorologie Malgache												
X 71-00 Paramètres calculés <b>SOURCE:</b> M. A. COULIBALY.												

**TABLEAU I.c** ACTUALISATION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES -1971-1983  
STATION DE FAUX-CAP

MOIS	RRR 61-90	RRR 71-00	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-00	Corrélation	TTT 61-90	TTT 71-00	Corrélation	PPP 51-80	PPP 71-00	Corrélation
JANVIER	56,3	51,8	<b>0,88267748</b>	153	171,4	<b>0,92745492</b>	26,7	26,8	<b>0,99967166</b>	1011,1	1011,2	<b>0,99348323</b>
FEVRIER	53,2	53,1		133	156,2		26,8	26,7		1010,6	1010,9	
MARS	39,9	41		130	142,9		26	26		1013	1012,9	
AVRIL	30	31,6		102	118,9		24,3	24,3		1014,5	1014,5	
MAI	42,1	64,8		81	98,1		22,2	22,1		1017,4	1017,2	
JUIN	47,6	31,2		59	88		20,5	20,5		1020	1020,2	
JUILLET	37,3	34,2		61	89,4		20,1	19,9		1021	1021,4	
AOÛT	21,9	17,2		68	107,7		20,2	20		1021	1020,8	
SEPTEMBRE	10,9	15,2		76	124,3		21,2	21,1		1018,8	1018,6	
OCTOBRE	16,5	13,8		98	139,7		22,7	22,6		1016,7	1016,6	
NOVEMBRE	25	16,4		117	153		24,2	24,2		1014,3	1014,2	
DÉCEMBRE	65,2	74,3		146	152,8		25,7	25,7		1012,3	1012,5	
<b>TOTAL/MOY.</b>	445,9	444,6		1224	1542,4		23,4	23,3		1015,9	1015,9	
<b>AMPLITUDE</b>		-1,3			318,4			-0,1			0	
x 51-80 et 61-90 Paramètres d'archives <b>SOURCE:</b> Direction Générale de la Météorologie Malgache												
X 71-00 Paramètres calculés <b>SOURCE:</b> M. A. COULIBALY.												

**TABLEAU I.d** ACTUALISATION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES -1971-2000  
STATION DE FORT-DAUPHIN

MOIS	RRR 61-90	RRR 71-00	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-00	Corrélation	TTT 61-90	TTT 71-00	Corrélation	PPP 51-80	PPP 71-00	Corrélation
JANVIER	157,5	174,7	<b>0,9374214</b>	145	160,1	<b>0,91755262</b>	26,6	26,8	<b>0,99671983</b>	1011,5	1011,6	<b>0,99957356</b>
FEVRIER	157	169,7		125	145,7		26,6	26,6		1011,3	1011,3	
MARS	178,7	156,3		120	130,8		25,8	26		1013,2	1013,2	
AVRIL	175,8	152,9		98	112,4		24,2	24		1015,1	1015,3	
MAI	142,8	134,9		75	95,4		22,2	22,7		1017,8	1017,7	
JUIN	125,6	119,5		58	85,5		20,4	20,8		1020,7	1020,6	
JUILLET	148,9	142,8		56	85,7		20	20,2		1022,1	1022,1	
AOÛT	103,2	88,7		63	104,4		20,5	20,7		1021,4	1021,5	
SEPTEMBRE	74,5	62,1		74	122,9		21,5	21,8		1019,1	1019	
OCTOBRE	99,4	85		95	137,7		22,9	23,2		1016,9	1016,9	
NOVEMBRE	151,5	133,9		113	149,3		24,1	24,6		1014,7	1014,7	
DÉCEMBRE	164	152,7		139	154,9		25,5	25,9		1012,6	1012,9	
<b>TOTAL/MOY.</b>	1678,9	1573,2		1161	1484,6		23,4	23,6		1016,4	1016,4	
<b>AMPLITUDE</b>		-105,7			323,8			0,2			0	
x 51-80 et 61-90 Paramètres d'archives <b>SOURCE:</b> Direction Générale de la Météorologie Malgache												
X 71-00 Paramètres calculés <b>SOURCE:</b> M. A. COULIBALY.												

**TABLEAU I.e** ACTUALISATION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES -1971-2000

STATION DE RANOHIRA

MOIS	RRR 61-90	RRR 71-00	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-00	Corrélation	TTT 61-90	TTT 71-00	Corrélation	PPP 51-80	PPP 71-00	Corrélation
JANVIER	218,4	213,8	0,99585168	121	151,3	0,92389198	24,2	24,5	0,99848337	919,8	919,9	0,99348323
FEVRIER	182,4	185,9		107	142,1		24,2	24,3		919,4	919,5	
MARS	118,7	102,9		102	138,7		23,5	23,9		920,7	921,1	
AVRIL	33,7	32,6		86	130		22,2	22,7		922,4	922,6	
MAI	19	18,5		66	109,7		19,6	20,2		924,2	924,3	
JUIN	4,1	2,2		46	96,4		17,5	17,9		926,4	926,5	
JUILLET	4,6	3,5		45	98,3		17,4	17,6		927,3	927,5	
AOÛT	5,6	5,5		57	118,2		18,5	18,7		926,7	926,9	
SEPTEMBRE	13,8	11		72	139,9		20,8	21,2		925,3	925,4	
OCTOBRE	55,3	53,9		106	151,8		22,8	23,2		923,7	923,6	
NOVEMBRE	106	103,8		120	159		23,8	24		922	922,3	
DÉCEMBRE	227,7	199,1		127	148,3		24	24,2		920,7	921	
<b>TOTAL/MOY.</b>	989,3	932,7		1055	1583,7		21,5	21,9		923,2	923,4	
<b>AMPLITUDE</b>		-56,6			528,7			0,4			0,2	
x 51-80 et 61-90 Paramètres d'archives <b>SOURCE:</b> Direction Générale de la Météorologie Malgache												
X 71-00 Paramètres calculés <b>SOURCE:</b> M. A. COULIBALY.												

L'importance des tableaux ci-dessus réside dans le fait que les paramètres utilisés dans la présente étude notent des coefficients de corrélations voisins de l'unité. Ceci est d'autant fondamental qu'il permette de valider la présente étude (la *climatologie renvoyant à ce que l'on espère devoir se reproduire*).

**X : 51-80** représente le paramètre ETP calculé par la Direction Générale de la Météorologie malagasy ;

**X : 61-90** représente les paramètres précipitations, température, pression, déduits par la Direction Générale de la Météorologie malagasy ;

**X : 71-00** et **X : 71-83** représente les paramètres actualisés de précipitations, de température et de pression générés à partir de la ' BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE'.

Les coefficients de corrélation ont été déduits à partir de l'insertion de la fonction COEFFICIENT.CORRELATION et dont l'argument renvoie aux plages de données à corréler. Ceci est illustré de la façon suivante :

RRR 61-90	RR 71-83	Corrélation	ETP 51-80	ETP 71-83	Corrélation	TTT 51-80	TTT 71-00	Corré
56,3	51,8	=COEFFICIENT.CORRELATION(A4:A15;B4:B15)	153	171,4		26,7	26,8	
53,2	53,1		133	156,2		26,8	26,7	
39,9	41		130	142,9		26	26	
30	31,6		102	118,9		24,3	24,3	
42,1	64,8							
47,6	31,2							
37,3	34,2							
21,9	17,2							
10,9	15,2							
16,5	13,8							
25	16,4							
65,2	74,3							
445,9	444,6							
	-1,3							

**Arguments de la fonction**

COEFFICIENT.CORRELATION

**Matrice1** A4:A15 = {56,3;53,2;39,9;30;42,1;47,6;37,3;21,9;10,9;16,5;25;65,2}

**Matrice2** B4:B15 = {51,8;53,1;41;31,6;64,8;31,2;34,2;17,2;15,2;13,8;16,4;74,3}

= 0,882677477

Renvoie le coefficient de corrélation entre deux séries de données.

**Matrice2** représente une seconde plage de cellules de valeurs. Les valeurs doivent être un nombre, un nom, une matrice, ou une référence qui contient des nombres.

**TABLEAU II NORMALES MENSUELLES 1971-2000**

<b>SATATION DE TULEAR</b>													
PARAMETRES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	
RRR en mm	89,9	87,7	39,4	16,9	13	12,6	5,5	4,4	7	10	25,7	77,6	
TTT en °C	27,9	27,8	27,3	25,7	23,5	21,2	20,9	21,4	22,7	24,2	25,7	26,9	
PPP en Hpa	1009,7	1009,1	1011,2	1013,1	1015,8	1018,8	1019,9	1019,1	1016,9	1015	1012,9	1011,1	
ETP en mm	190	171,3	156,4	140	117,2	103,6	106,5	126,2	143,3	165,1	184,1	178,8	
<b>SATATION DE MORONDAVA</b>													
PARAMETRES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	
RRR en mm	276,6	214,6	86,2	17,2	7,5	1,7	2,1	1,3	2,7	9	22,9	128,4	
TTT en °C	27,7	27,6	27,6	26,4	24,1	22	21,7	22,3	23,8	25,5	26,9	27,6	
PPP en Hpa	1009,7	1008,8	1010,7	1012,4	1015,1	1017,6	1018,5	1018,2	1016,3	1014,3	1012,6	1011,2	
ETP en mm	168,6	157,1	159,5	148,7	126,9	114,3	116,1	133,6	150,9	173,6	187,9	175,8	
<b>SATATION DE FAUX-CAP</b>													
PARAMETRES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	
RRR en mm	51,8	53,1	41	31,6	64,8	31,2	34,2	17,2	15,2	13,8	16,4	74,3	
TTT en °C	26,8	26,7	26	24,3	22,1	20,5	19,9	20	21,4	22,6	24,2	25,7	
PPP en Hpa	1011,2	1010,9	1012,9	1014,5	1017,2	1020,2	1021,4	1020,8	1018,6	1016,6	1014,2	1012,5	
ETP en mm	171,4	156,2	142,9	118,9	98,1	88	89	107,7	124,3	139,7	153	152,8	
<b>SATATION DE FORT-DAUPHIN</b>													
PARAMETRES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	
RRR en mm	174,7	169,7	156,3	152,9	134,9	119,5	142,8	88,7	62,1	85	133,9	152,7	
TTT en °C	26,8	26,6	26	24,6	22,7	20,8	20,2	20,7	21,8	23,2	24,6	25,9	
PPP en Hpa	1011,7	1011,3	1013,2	1015,3	1017,7	1020,6	1022,1	1021,5	1019	1016,9	1014,7	1012,9	
ETP en mm	160,1	145,7	130,8	112,4	95	85	85,7	104,4	122,9	137,7	149,3	154,9	
<b>SATATION DE RANOHIRA</b>													
PARAMETRES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	
RRR en mm	213,8	185,9	102,9	32,6	18,5	2,2	3,5	5,5	11	53,9	103,8	199,1	
TTT en °C	24,5	24,3	23,9	22,7	20,2	17,9	17,6	18,7	21,2	23,2	24	24,2	
PPP en Hpa	919,9	919,5	921,1	922,6	924,4	926,5	927,5	926,9	925,3	923,6	922,3	921	

Ce tableau **II** parle des isohyètes mensuelles, de l'ETP mensuelle pour les différentes stations de la zone d'étude et parle également des champs de pression et de température. L'analyse du champ de température a permis de faire ressortir une augmentation de la température de l'ordre de **0.2 à 0.4°C** dans l'ensemble de la zone d'étude à l'exception de Faux-cap. Ce fait est assez majeur (les perspectives météorologiques prévoyant un réchauffement planétaire de l'ordre de **0.5°C** à l'échelle du globe. Une forte augmentation de l'évapotranspiration en partie imputable à cette élévation de température a été constatée dans la zone. Les chiffres dépassant 300 et 500 mm par rapport à la période 1951-1980 dans les différentes stations. L'inquiétude de cette augmentation de température, au delà d'un accroissement des besoins en eau des végétaux touche la santé publique (**cancer, autres maladies de la peau et troubles de la sudation...**). La zone étudiée étant océanique et quand on sait la possibilité d'absorption des gaz à effets de serre (responsables de cette élévation de température), par le milieu océanique, ***il y a lieu de se demander ce qu'advient dans les zones continentales. ?***

TABLEAU III: DIRECTION ET VITESSE MOYENNES DE VENT

Station de: FAUX CAP

Latitude : 25°33S

Longitude : 45°32E

Altitude : 20 m

VALEURS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
DD	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
FF	34	26	28	31	30	30	26	27	34	34	26	28
Km/J	816	624	672	744	720	720	624	648	816	816	624	672

Station de:

MORONDAVA

Latitude : 20°17S

Longitude : 44°19E

Altitude : 8 m

VALEURS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
DD	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
FF	9,1	8,1	6,9	6,6	7,3	7,8	8,7	10,4	9,6	9,8	9,6	9,8
Km/J	218,4	194,4	165,6	158,4	175,2	187,2	208,8	249,6	230,4	235,2	230,4	235,2

Station de: FORT-DAUPHIN

Latitude : 25°02S

Longitude : 46°57E

Altitude : 8 m

VALEURS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
DD	NE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE						
FF	20	21	20	18	16	15	16	20	23	24	23	21
Km/J	480	504	480	432	384	360	384	480	552	576	552	504

Station de: TULEAR

Latitude : 23°23S

Longitude : 43°44E

Altitude : 9 m

VALEURS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
DD	SW	E	SSW									
FF	11	10	11	10	10	10	11	13	13	14	13	12
Km/J	264	240	264	240	240	240	264	312	312	336	312	288

La connaissance de la direction et de la vitesse du vent en général et dans ces régions en particulier, revêt un intérêt indiscutable. La *salinisation* et d'autres effets de cette composante horizontale (*stimulation de l'évapotranspiration, déversement des céréales*) favorisent les sécheresses *météorologique, hydrologique et édaphique*.

Au-delà de l'agriculture, les valeurs élevées de vent du tableau **III** peuvent se révéler dangereuses à d'autres secteurs tels **la santé, les trafics aérien et marin, la pêche** également pratiqués dans la zone et affectant l'économie locale voire nationale. L'une des stratégies de parade des dommages environnementaux se rapportera à la prise en compte effective de la vitesse et de la direction du vent en vue de mener à bien les opérations de reboisement et de restauration des sols en fonction des espèces ligneuses appropriées.

TABLEAU IV : REGIME MENSUEL DE LA SECHERESSE DANS LE SUD												
ANNEES	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
1971	FC		FC	FC-MDV-TLR-RNR	MDV-RNR	FC-TLR-MDV-RNR	FC-TLR-MDV-RNR	FC-TLR-MDV-RNR-FD	FC-TLR-MDV-RNR-FD	FC-TLR-MDV	FC-TLR-MDV	TLR
1972	FC			FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	MDV-RNR	FC-TLR-MDV-RNR	FC-TLR-MDV-RNR	TLR-MDV-RNR	FC-TLR-MDV	FC-TLR-MDV	TLR
1973		FC-TLR	FC-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR	FC-TLR-MDV	
1974		FC-TLR	FC	FC-TLR-FD	FC-MDV-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	
1975		TLR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR	
1976	FC-FD	FD	TLR-MDV-FD-FC	FC-MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	TLR-MDV-FC
1977		FC	MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-FD	FC-MDV-TLR	MDV-FC
1978	MDV-TLR	FC	TLR	TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	
1979	MDV-TLR	FC-TLR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	TLR-FC
1980	TLR	TLR-RNR-MDV-FD-FC	MDV-TLR	FC-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR	
1981	FC-FD	FC	FC-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	TLR-MDV
1982		FC	TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR	TLR-FD
1983	TLR-FD		FC-MDV-TLR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR-RNR-FD	FC-MDV-TLR	FC-MDV-RNR	TLR-MDV
1984	TLR		TLR	MDV-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-FD	MDV-TLR	FD
1985		RNR	MDV	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-FD	MDV-TLR-FD	
1986	MDV-TLR		TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	TLR	MDV	TLR
1987		TLR	TLR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	TLR-FD
1988			FD-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR	MDV-TLR	MDV
1989	TLR			MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR	
1990		TLR	MD-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	TLR
1991	TLR	FD	TLR	TLR	TLR-RNR	MDV-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-FD-RNR	TLR-MDV
1992	TLR	TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR		TLR-MDV
1993			TLR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	TLR
1994		TLR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR	MDV-TLR	TLR-MDV
1995			TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR-FD	TLR-RNR	TLR
1996		TLR		MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR-FD	TLR-MDV
1997			TLR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-FD	MDV-TLR-RNR	TLR
1998	TLR		MDV-TLR	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR	MDV-TLR-RNR	TLR
1999			MDV-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-FD	TLR-FD
2000			TLR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR	MDV-TLR-RNR-FD	MDV-TLR-RNR		
	FC: FAUX-CAP	RNR: RANOHIRA										
				TLR: TULEAR				FD: FORT-DAUPHIN		MDV: MORONDAVA		

**TABLEAU V.a : FREQUENCES MENSUELLES DU NOMBRE DE MOIS SECS - PERIODE 1971-2000**

STATION		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
TULEAR	Nbre de cas	12	10	21	29	28	27	30	30	30	30	25	18
	Fréquences	40	33,3	70	96,7	93,3	90	100	100	100	100	83,3	60
	RRR	89,9	87,7	39,4	16,9	13	12,6	5,5	4,4	7	10	25,7	77,6
	TTT	27,9	27,8	27,3	25,7	23,5	21,2	20,9	21,4	22,7	24,2	25,7	26,9
	RRR<2TT												
		Cellules pour lesquelles la condition $RRR < 2TTT$ est justifiée donc existence de la sécheresse											
		Cellules pour lesquelles la condition $RRR < 2TTT$ n'est pas justifiée donc existence de l'humidité											

Ce tableau se rapporte aux fréquences mensuelles de mois secs à Tuléar pendant la période 1971-2000. L'approche basée sur  $RRR < 2TTT$  c'est-à-dire précipitations inférieures à deux fois les températures moyennes mensuelles reconnaît les mois de décembre, janvier et février secs et les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre secs.

**TABLEAU V.b** : FREQUENCES MENSUELLES DU NOMBRE DE MOIS SECS PERIODE 1971-2000

STATION		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
MORONDAVA	Nbre de cas	3	1	12	26	29	30	30	30	30	29	27	9
	Fréquence	10	3,3	40	86,7	96,7	100	100	100	100	96,7	90	30
	RRR	276,6	214,6	86,2	17,2	7,5	1,7	2,1	1,3	2,7	9	22,9	128,4
	TTT	27,7	27,6	27,6	26,4	24,1	22	21,7	22,3	23,8	25,5	26,9	27,6
	RRR<2TTT												
			Cellules pour lesquelles la condition RRR<2TTT est justifiée donc existence de la sécheresse										
			Cellules pour lesquelles la condition RRR<2TTT n'est pas justifiée donc existence de l'humidité										

**TABLEAU V.c** : FREQUENCES MENSUELLES DU NOMBRE DE MOIS SECS - PERIODE 1971-1983

STATION		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
FAUX-CAP	Nbre de cas	4	8	9	10	6	9	10	12	12	13	13	3
	Fréquences	30,8	61,5	69,2	76,9	46,2	69,2	76,9	92,3	92,3	100	100	23,1
	RRR	51,8	53,1	41	31,6	64,8	31,2	34,2	17,2	15,2	13,8	16,4	128,4
	TTT	26,8	26,7	26	24,3	22,1	20,5	19,9	20	21,4	22,6	24,2	25,7
	RRR<2TTT												
			Cellules pour lesquelles la condition RRR<2TTT est justifiée donc existence de la sécheresse										
			Cellules pour lesquelles la condition RRR<2TTT n'est pas justifiée donc existence de l'humidité										

Alors que la période Avril à décembre apparaît sèche dans **V.b**, la période annuelle à l'exception de mai et décembre dans **V.c** apparaît sèche.



**TABLEAU V.1** FREQUENCES MENSUELLES DU NOMBRE DE MOIS SECS

	TULEAR	MORONDAVA	FAUX-CAP	RANOHIRA	FORT-DAUPHIN
JANVIER	40	10	30,8	0	10
FEVRIER	33,3	3,3	61,5	0	10
MARS	70	40	69,2	16,7	13,3
AVRIL	96,7	86,7	76,9	76,7	16,7
MAI	93,3	96,7	46,2	83,3	26,7
JUIN	90	100	69,2	100	10
JUILLET	100	100	76,9	100	16,7
AOÛT	100	100	92,3	96,7	30
SEPTEMBRE	100	100	92,3	96,7	60
OCTOBRE	100	96,7	100	43,3	20
NOVEMBRE	83,3	90	100	30	16,7
DÉCEMBRE	60	30	23,1	0	13,3

Ce tableau récapitule les fréquences mensuelles de mois secs dans les stations de la zone d'étude. Il consiste en un report des fréquences individuelles ci-dessus illustrées.

Le constat qui apparaît est le suivant :

Les fréquences élevées de mois secs sont observées pendant la période avril à novembre dans l'ensemble des stations à l'exception de Fort-Dauphin. Ces fréquences dépassent 90% pour atteindre 100% dans bien de cas. La période humide est concernée par des fréquences basses à Fort-Dauphin (10-16.7%), quasi nulles à Ranohira. Cependant, les stations de Tuléar, Morondava et Faux-Cap enregistrent des pourcentages élevés.

La connaissance de ces probabilités pourrait revêtir un intérêt dans les opérations de reboisement.

**TABLEAU VI.a** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NOMBRE DE MOIS SECS 1971-2000  
STATION DE TULEAR

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	4	13.3
9	10	33.3
10	8	26.7
11	8	26.7
	N=30	

**TABLEAU VI.aa** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NBRE DE MOIS SECS DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE TULEAR

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	2	6.7
3	10	33.3
4	9	30
5	9	30
6	0	
7	0	
8	0	
9	0	
10	0	
11	0	
	N=30	

**TABLEAU VI.b** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NOMBRE DE MOIS SECS 1971-2000  
STATION DE MORONDAVA

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	3	10
8	12	40
9	11	36.7
10	4	13.3
11	0	0
	N=30	

**TABLEAU VI.bb** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NBRE DE MOIS SECS DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE MORONDAVA

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	2	6.7
2	12	40
3	12	40
4	4	13.3
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=30	

**TABLEAU V.I.c** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NOMBRE DE MOIS SECS 1971-2000  
STATION DE FAUX-CAP

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	1	7.7
7	2	15.4
8	4	30.8
9	4	30.8
10	1	7.7
11	1	7.7
	N=13	

**TABLEAU VI.cc** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NBRE DE MOIS SECS DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE FAUX-CAP

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	2	15.4
3	4	30.8
4	4	30.8
5	3	23.1
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=13	

**TABLEAU VI.d** FREQUENCES ANNUELLES DU  
NOMBRE DE MOIS SECS 1971-2000  
STATION DE FORT-DAUPHIN

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	2	6.7
1	7	23.3
2	7	23.3
3	8	26.7
4	3	10
5	2	6.7
6	0	0
7	1	3.3
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=30	

**TABLEAU VI.dd** FREQUENCES ANNUELLES DU  
NBRE DE MOIS SECS DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE FORT-DAUPHIN

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	13	43.3
1	12	40
2	4	13.3
3	0	0
4	1	3.3
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=30	

**TABLEAU VI.e** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NOMBRE DE MOIS SECS 1971-2000  
STATION DE RANOHIRA

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	7	23.3
6	5	16.7
7	13	43.3
8	5	16.7
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=30	

**TABLEAU VI.ee** : FREQUENCES ANNUELLES DU  
NBRE DE MOIS SECS DANS LA SAISON DES PLUIES  
STATION DE RANOHIRA

<i>Nbre de mois secs</i>	<i>Nbre d'années</i>	<i>Fréquence %</i>
0	2	6.7
1	17	56.7
2	10	33.3
3	1	3.3
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
	N=30	

Ces tableaux de fréquences de mois secs dans l'année toute entière et dans la saison des pluies reposent sur des considérations probabilistes où les valeurs du caractère désignent le nombre de mois secs et où les effectifs sont représentés par le nombre d'années.

L'analyse numérique a permis de ressortir à Tuléar des mois secs variant de 8 à 11 dans toute l'année avec des probabilités assez élevées. Toujours pour cette station et pendant la période humide (Novembre à Avril), les fréquences d'apparition de mois secs varient de deux mois (6.7%) à 5 mois (30%). Les chances de connaître 3 mois secs dans cette saison humide reste les plus élevées soit 33.3%.

A Morondava, les fréquences d'apparition de mois secs varient de 7 à 10 mois dans toute l'année. Les probabilités de connaître 8 à 9 mois secs étant les plus élevées soit 40 et 36.6% respectivement. Pour ce qui est de la période humide au niveau de cette station, les chances d'apparition de 2 à 3 mois secs sont fréquentes (40%). La probabilité de connaître un mois sec est très maigre soit 6.7%.

A Faux-Cap, les fréquences d'apparition de mois secs varient de 6 à 11 mois secs dans l'année. Les chances d'apparition de 8 à 9 mois sont les plus élevées (30.8%) contre 7.7% pour les 6, 10 et 11 mois secs et 15.4% pour 2 mois secs. Pendant la période Novembre à Avril, les chances d'apparition de 2 mois secs sont minimales (15.4%) contre 30.8% pour 3 et 4 mois secs et 23.1% pour 5 mois secs.

A Fort-Dauphin et à Ranohira, les fréquences d'apparition de mois secs pendant l'année varient respectivement de 0 à 7 et 5 à 8. Pendant la période Novembre à Avril, les fréquences de 0 mois secs sont constatées à Fort-Dauphin (43.3%) alors qu'à Ranohira, les fortes fréquences concernent un mois sec soit 56.7%.

**TABLEAU VI.f : RECAPITULATIF DES FREQUENCESDE MOIS SECS  
DANS LA SAISON DES PUIES**

MOIS SECS	TULEAR	MORONDAVA	FAUX-CAP	RANOHIRA	FORT-DAUPHIN
0	0	0	0	6.7	43.3
1	0	6.7	0	56.7	40
2	6.7	40	15.4	33.3	13.3
3	33.3	40	30.8	3.3	0
4	30	13.3	30.8	0	3.3
5	30	0	23.1	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0

**TABLEAU VI.g RECAPITULATIF DES FREQUENCESDE MOIS SECS  
DANS TOUTE LA SAISON**

MOIS SECS	TULEAR	MORONDAVA	FAUX-CAP	RANOHIRA	FORT-DAUPHIN
0	0	0	0	0	6.7
1	0	0	0	0	23.3
2	0	0	0	0	23.3
3	0	0	0	0	26.7
4	0	0	0	0	10
5	0	0	0	23.3	6.7
6	0	0	7.7	16.7	0
7	0	10	15.4	43.3	0
8	13.3	40	30.8	16.7	0
9	33.3	36.7	30.8	0	0
10	26.7	13.3	7.7	0	0
11	26.7	0	7.7	0	0

**TABLEAU VII.a**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE TULEAR

QUINTILES	ANNEES	RRR (mm)	NRE MOIS SECS
1	1992	137,5	11
	1983	211,5	10
	1991	222,5	11
	1990	235,6	10
	1980	285,9	11
	1979	293	11
2	1986	296,1	10
	1993	302,7	10
	1985	336,7	9
	1997	340,8	9
	1978	354,6	9
	1976	369,8	11
3	1988	380	8
	1996	383,4	10
	1994	386,8	11
	1995	386,8	10
	1981	392,8	10
	1987	394,1	11
4	2000	412,6	8
	1972	413,5	8
	1984	430,9	11
	1998	453,2	10
	1971	458,6	8
	1975	463,6	10
5	1973	465,8	9
	1989	521,2	9
	1982	534,2	9
	1999	550,9	9
	1977	590,1	9
	1974	685,1	9

**TABLEAU VII.b**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE MORONDAVA

QUINTILES	ANNEES	RRR (mm)	NRE MOIS SECS
1	1985	407,9	9
	1976	420,8	10
	1979	463,9	10
	1981	473,7	9
	1983	484	10
	1980	523,7	9
2	1990	555,4	9
	1975	561,1	9
	1992	583	9
	1972	585,7	8
	1987	627,3	8
	1978	643,9	8
3	1997	747,9	8
	1996	748	9
	1999	751,9	9
	1986	751,9	8
	1974	752,1	7
	1998	768,9	9
4	1988	772,8	9
	1993	784,3	8
	1989	887,8	8
	1994	934,2	9
	1995	945,8	8
	1991	965,7	7
5	1971	1002,2	8
	2000	1023,4	7
	1984	1024,5	8
	1982	1205,3	8
	1977	1342,9	10
	1973	1363,2	8

**TABLEAU VII.d**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE FORT-DAUPHIN

QUINTILES	ANNEES	RRR (mm)	NRE MOIS SECS
1	1987	966,5	5
	1985	1112,7	4
	1997	1153,3	7
	1991	1157,2	3
	1977	1171,6	3
	1974	1174,9	2
2	1996	1311,9	1
	1993	1328,3	3
	1983	1330,3	3
	1986	1335,5	2
	1999	1341,9	4
	1980	1350,7	1
3	1992	1351,3	4
	1990	1370,4	3
	1995	1426,6	3
	2000	1435,6	3
	1988	1532,7	2
	1975	1591,4	1
4	1984	1628,9	2
	1976	1677,4	5
	1971	1708,5	2
	1979	1730,5	0
	1978	1732,8	2
	1981	1812,5	3
5	1994	1842	2
	1989	1930	1
	1998	2041,6	1
	1982	2253,3	1
	1973	2494,6	1
	1972	2899,5	0

**TABLEAU VII.e**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE RANOHIRA

QUINTILES	ANNEES	RRR (mm)	NRE MOIS SECS
1	1988	534,4	7
	1985	591,4	7
	1991	614,2	7
	1992	658,2	8
	1995	667,5	8
	1990	747,9	8
2	1976	749,1	6
	1983	767,2	7
	1987	771,9	7
	1978	829,6	7
	1996	835,2	7
	1993	836,4	8
3	1977	836,9	6
	1979	856,5	7
	1997	878,3	7
	1980	883,8	7
	1986	987,5	6
	1998	1020,1	6
4	1994	1059,3	5
	2000	1062	7
	1973	1070,5	7
	1999	1086,3	8
	1975	1095,2	5
	1982	1105,7	7
5	1974	1149,4	5
	1972	1167,8	5
	1981	1172,5	5
	1989	1291	5
	1984	1313,8	5
	1971	1342,4	6

**TABLEAU VII.d**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
*STATION DE FAUX-CAP*

QUINTILES	ANNEES	RRR (mm)	NRE MOIS SECS
	1974	250,7	11
	1980	306	10
	1973	368,6	8
	1975	370,2	8
	1981	395,4	9
	1983	406,6	8
	1977	418,1	9
	1979	455,3	9
	1976	469,4	7
	1972	472	7
	1971	543,6	9
	1982	662,3	6
	1978	663,4	8

RRR désigne la précipitation annuelle et NBRE MOIS SECS désigne le nombre de mois secs.

Avec des nombres de mois secs de 7, 8 et 9 se retrouvant dans les 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup> et 5<sup>eme</sup> quintiles, la nécessité d'une corrélation entre précipitations et nombre de mois secs s'imposait pour faire ressortir les imperfections du rapport  $RRR < 2TTT$ .

L'importance de ces quintiles, qui classifient les précipitations annuelles par ordre croissant pendant la série considérée, réside dans le fait qu'ils ressortent la sécheresse pendant le premier quintile c'est-à-dire le premier groupe de 6 ans. Ce sont les pourcentages par rapport aux normales du premier quintile qui ont permis l'élaboration des cartes d'analyse de la sécheresse aux différents temps (Temps1,.....Temps6).

Les tableaux X.a ; X.b ;X.c ; X.d et X.e ci-dessous classifient les précipitations annuelles suivant le nombre de mois secs dans la saison toute entière et dans la saison des pluies.

**TABLEAU X.a**  
PRECIPITATIONS ANNUELLES  
ET NOMBRE DE MOIS SECS  
*STATION DETULEAR*

ANNEES	RRR (mm)	MS_ANNEE	MS_SP
1971	458,6	8	3
1972	413,5	8	3
1973	465,8	9	3
1974	685,1	9	3
1975	369,8	10	4
1976	590,1	11	5
1977	354,6	9	3
1978	293	9	4
1979	285,9	11	5
1980	392,8	11	5
1981	534,2	10	4
1982	211,5	9	3
1983	430,9	11	5
1984	336,7	9	3
1985	296,1	9	3
1986	394,1	10	4
1987	380	11	5
1988	512,2	8	2
1989	235,8	9	3
1990	222,5	10	5
1991	137,5	11	5
1992	302,7	11	5
1993	386,8	10	4
1994	386,8	11	5
1995	383,4	10	4
1996	340,8	10	4
1997	453,2	9	4
1998	453,2	10	4
1999	550,9	9	3
2000	412,6	8	2

**TABLEAU X.b**  
PRECIPITATIONS ANNUELLES  
ET NOMBRE DE MOIS SECS  
*STATION DE MORONDAVA*

ANNEES	RRR (mm)	MS_ANNEE	MS_SP
1971	1002,2	8	2
1972	585,7	8	2
1973	1363,2	8	2
1974	752,1	7	1
1975	561,1	9	3
1976	420,8	10	4
1977	1342,9	10	4
1978	643,9	8	2
1979	463,9	10	4
1980	523,7	9	3
1981	473,7	9	3
1982	1205,3	8	2
1983	484	10	4
1984	1024,5	8	2
1985	407,9	9	3
1986	751,9	8	3
1987	627,3	8	2
1988	772,8	9	3
1989	887,8	8	2
1990	555,4	9	3
1991	965,7	7	2
1992	583	9	3
1993	784,3	8	2
1994	934,2	9	3
1995	945,8	8	2
1996	748	9	3
1997	747,9	8	2
1998	768,9	9	3
1999	751,9	9	3
2000	1023,4	7	1

**TABLEAU X.d**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE FORT-DAUPHIN

ANNEES	RRR (mm)	MS_ANNEE	MS_SP
1971	1708,5	2	0
1972	2899,5	0	0
1973	2494,6	1	0
1974	1174,9	2	1
1975	1591,4	1	0
1976	1677,4	5	4
1977	1171,6	3	0
1978	1732,8	2	0
1979	1730,5	0	0
1980	1350,7	1	1
1981	1812,5	3	2
1982	2253,3	1	1
1983	1330,3	3	1
1984	1628,9	2	1
1985	1112,7	4	1
1986	1335,5	2	0
1987	966,5	5	2
1988	1532,7	2	1
1989	1930,2	1	0
1990	1370,4	3	0
1991	1157,2	3	2
1992	1351,3	4	1
1993	1328,3	3	1
1994	1842	2	0
1995	1426,6	3	0
1996	1311,9	1	1
1997	1153,3	7	1
1998	2041,6	1	0
1999	1341,9	4	2
2000	1435,6	3	1

**TABLEAU X.e**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
 STATION DE RANOHIRA

ANNEES	RRR (mm)	MS_ANNEE	MS_SP
1971	1342,4	6	1
1972	1167,8	5	1
1973	1070,5	7	1
1974	1149,4	5	1
1975	1095,2	5	0
1976	749,1	6	1
1977	836,9	6	1
1978	829,6	7	1
1979	856,5	7	1
1980	883,8	7	2
1981	1172,5	5	1
1982	1105,7	7	1
1983	767,2	7	2
1984	1313,8	5	1
1985	591,4	7	2
1986	987,5	6	1
1987	771,9	7	1
1988	534,4	7	2
1989	1291	5	1
1990	747,9	8	2
1991	614,2	7	1
1992	658,2	8	2
1993	836,4	8	2
1994	1059,3	5	0
1995	667,5	8	3
1996	835,2	7	2
1997	878,3	7	2
1998	1020,1	6	1
1999	1086,3	8	2
2000	1062	7	1

**TABLEAU X ;c**  
 PRECIPITATIONS ANNUELLES  
 ET NOMBRE DE MOIS SECS  
*STATION DE FAUX-CAP*

ANNEES	RRR (mm)	MS_ANNEE	MS_SP
1971	543,6	9	4
1972	472	7	3
1973	368,6	8	3
1974	250,7	11	5
1975	370,2	8	3
1976	469,4	7	4
1977	418,1	9	4
1978	663,4	8	2
1979	455,3	9	5
1980	306	10	4
1981	395,4	9	5
1982	662,3	6	2
1983	406,6	8	3

MS\_ANNEE et MS\_SP désignent respectivement le nombre de mois secs dans toute l'année et dans la saison des pluies. L'importance de ces tableaux consiste en ce qu'ils ressortent le nombre de mois secs dans la saison et conduit au recours d'autres approches pour évaluer la sécheresse eu égard au nombre élevé de mois secs qui, s'ils s'avéraient parfaitement, compromet la croissance et le développement des végétaux cultivés

**TABLEAU VIII.a : PRECIPITATIONS ET ETP**  
**STATION DE TULEAR**

ETP	MOIS	1/10 ETP	1/2 ETP	RRR
184,1	NOVEMBRE	18,4	92,1	25,7
178,8	DECEMBRE	17,9	89,4	77,6
190	JANVIER	19,0	95,0	89,9
171,3	FÉVRIER	17,1	85,7	87,7
156,4	MARS	15,6	78,2	39,4
140	AVRIL	14,0	70,0	16,9
117,2	MAI	11,7	58,6	13
103,6	JUIN	10,4	51,8	12,6
106,5	JUILLET	10,7	53,3	5,5
126,2	AOÛT	12,6	63,1	4,4
143,3	SEPTEMBRE	14,3	71,7	7
165,1	OCTOBRE	16,5	82,6	10

**TABLEAU VIII.b : PRECIPITATIONS ET ETP**  
**STATION DE MORONDAVA**

ETP	MOIS	1/10 ETP	1/2 ETP	RRR
187,9	NOVEMBRE	18,8	94,0	22,9
175,8	DECEMBRE	17,6	87,9	128,4
168,6	JANVIER	16,9	84,3	276,6
157,1	FÉVRIER	15,7	78,6	214,6
159,5	MARS	16,0	79,8	86,2
148,7	AVRIL	14,9	74,4	17,2
126,9	MAI	12,7	63,5	7,5
114,3	JUIN	11,4	57,2	1,7
116,1	JUILLET	11,6	58,1	2,1
133,6	AOÛT	13,4	66,8	1,3
150,9	SEPTEMBRE	15,1	75,5	2,7
173,6	OCTOBRE	17,4	86,8	9

**TABLEAU VIII.c : PRECIPITATIONS ET ETP**  
**STATION DE FAUX-CAP**

ETP	MOIS	1/10 ETP	1/2 ETP	RRR
153	NOVEMBRE	15,3	76,5	16,4
152,8	DECEMBRE	15,3	76,4	74,3
171,4	JANVIER	17,1	85,7	51,8
156,2	FÉVRIER	15,6	78,1	53,1
142,9	MARS	14,3	71,5	41
118,9	AVRIL	11,9	59,5	31,6
98,1	MAI	9,8	49,1	64,8
88	JUIN	8,8	44,0	31,2
89,4	JUILLET	8,9	44,7	34,2
107,7	AOÛT	10,8	53,9	17,2
124,3	SEPTEMBRE	12,4	62,2	15,2
139,7	OCTOBRE	14,0	69,9	13,8

**TABLEAU VIII.d PRECIPITATIONS ET ETP**  
**STATION DE FORT-DAUPHIN**

ETP	MOIS	1/10 ETP	1/2 ETP	RRR
149,3	NOVEMBRE	14,9	74,7	133,9
159,4	DECEMBRE	15,9	79,7	152,7
160,1	JANVIER	16,0	80,1	174,7
145,7	FÉVRIER	14,6	72,9	169,7
130,8	MARS	13,1	65,4	156,3
112,4	AVRIL	11,2	56,2	152,9
95,4	MAI	9,5	47,7	134,9
85,5	JUIN	8,6	42,8	119,5
85,7	JUILLET	8,6	42,9	142,8
104,4	AOÛT	10,4	52,2	88,7
122,9	SEPTEMBRE	12,3	61,5	62,1
137,7	OCTOBRE	13,8	68,9	85

**TABLEAU VIII.e : PRECIPITATIONS ET ETP**  
**STATION DE RANOHIRA**

ETP	MOIS	1/10 ETP	1/2 ETP	RRR
159	NOVEMBRE	15,9	79,5	103,8
148,3	DECEMBRE	14,8	74,2	199,1
151,3	JANVIER	15,1	75,7	213,8
142,1	FÉVRIER	14,2	71,1	185,9
138,7	MARS	13,9	69,4	102,9
130	AVRIL	13,0	65,0	32,6
109,7	MAI	11,0	54,9	18,5
96,4	JUIN	9,6	48,2	2,2
98,3	JUILLET	9,8	49,2	3,5
118,2	AOÛT	11,8	59,1	5,5
139,9	SEPTEMBRE	14,0	70,0	11
151,8	OCTOBRE	15,2	75,9	53,9

Ces tableaux de précipitations et d'ETP consistent en un report des valeurs de ces deux paramètres à partir du tableau II. Ils ont permis d'élaborer les graphiques du bilan hydrique énoncé plus haut. Le bilan, permettant de comparer les entrées (précipitations) aux sorties (évaporation c'est-à-dire la demande de l'environnement). Ces indices climatiques, revêtent un intérêt capital dans le suivi agrométéorologique.

TABLEAU IX BILAN TABLEAUX BILANS HYDRIQUES MOYENS													
IX.d													
STATIONS	PARAMETRES	MOIS											
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
FORT-DAUPHIN	RRR	174,7	169,7	156,3	152,9	134,9	119,5	142,8	88,7	62,1	85	133,9	152,7
	TTT	26,8	26,6	26	24,6	22,7	20,8	20,2	20,7	21,8	23,2	24,6	25,9
	RRR<2T												
	ETP	160,1	145,7	130,8	112,4	95,4	85,5	85,7	104,4	122,9	137,7	149,3	154,9
	ETR	154,8	132,2										
	RRR<ETP												
	BC	14,6	24	25,5	40,5	39,5	34	57,1	-15,7	-60,8	-52,7	-15,4	-2,2
	DPC								-157	-217,8	-270,5	-285,9	-288,1
TABLEAU IX BILANS HYDRIQUES MOYENS													
IX.e													
RANOHIRA	RRR	213,8	185,9	102,9	32,6	18,5	2,2	3,5	5,5	11	53,9	103,8	199,1
	TTT	24,5	24,3	23,9	22,7	20,2	17,9	17,6	18,7	21,2	23,2	24	24,2
	RRR<2T												
	ETP	151,3	142,1	138,7	130	109,7	96,4	98,3	118,2	139,9	151,8	159	148,3
	RRR<ETP												
	BC	62,5	43,8	-35,8	-97,4	-91,2	-94,2	-94,8	-112,7	-128,9	-97,9	-55,2	50,8
	DPC			-35,8	-133,2	-224,4	-318,6	-413,4	-526,1	-655	-752,9	-808,1	

BC : Bilan climatique consiste en la différence RRR-ETP

DPC : consiste au déficit pluviométrique cumulé.

TABLEAU IX BILANS HYDRIQUES MOYENS														
<i>IX.a</i>														
STATIONS	PARAMETRES	MOIS												ANNEE
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	
TULEAR	RRR	89,9	87,7	39,4	16,9	13	12,6	5,5	4,4	7	10	25,7	77,6	389,7
	TTT	27,9	27,8	27,3	25,7	23,5	21,2	20,9	21,4	22,7	24,2	25,7	26,9	24,6
	RRR<2T													
	ETP	190	171,3	156,4	140	117,2	103,6	106,5	126,2	143,3	165,1	184,1	178,8	1782,5
	RRR<ETP													
	BC	-100,1	-83,6	-117	-123,1	-104,2	-91	-101	-121,8	-136,3	-155,1	-158,4	-101,2	-1392,8
	DPC	-100,1	-183,7	-300,7	-423,8	-528	-619	-720	-841,8	-978,1	-1133,2	-1291,6	-1392,8	
<i>IX.c</i>														
FAUX-CAP	RRR	51,8	53,1	41	31,6	64,8	31,2	34,2	17,2	15,2	13,8	16,4	74,3	444,6
	TTT	26,8	26,7	26	24,3	22,1	20,5	19,9	20	21,1	22,6	24,2	25,7	23,3
	RRR<2T													
	ETP	171,4	152,2	142,9	118,9	98,1	88	89,4	107,7	124,3	139,7	153	152,8	1538,4
	RRR<ETP													
	BC	-119,6	-99,1	-101,9	-87,3	-33,3	-56,8	-55,2	-90,5	-109,1	-125,9	-136,6	-78,5	-1093,8
	DPC	-119,6	-218,7	-320,6	-407,9	-441,2	-498	-553,2	-643,7	-752,8	-878,7	-1015,3	-1093,8	
<i>IX.b</i>														
MORONDAVA	RRR	276,6	214,6	86,2	17,2	7,5	1,7	2,1	1,3	2,7	9	22,9	128,4	770,2
	TTT	27,7	27,6	27,6	26,4	24,1	22	21,7	22,3	23,8	25,5	26,9	27,6	25,3
	RRR<2T													
	ETP	168,6	157,1	159,5	148,7	126,9	114,3	116,1	133,6	150,9	173,6	187,9	175,8	1813
	RRR<ETP													
	BC	108	57,5	-73,3	-131,5	-119,4	-112,6	-114	-132,3	-148,2	-164,6	-165	-47,4	-1042,8
	DPC			-73,3	-204,8	-324,2	-436,8	-550,8	-683,1	-831,3	-995,9	-1160,9	-1208,3	

Ces tableaux renvoient aux bilans hydriques moyens et confrontent les deux approches dont les résultats sont contrastés.

**TULEAR :** Alors que le rapport  $RRR < 2TTT$  reconnaît les mois de décembre, janvier et février humide, l'approche bilan note une sécheresse permanente. Le bilan climatique atteint -1392.8 mm.

**FAUX-CAP :** Tout comme à Tuléar, l'approche bilan, décèle une sécheresse permanente toute l'année tandis que le rapport  $RRR < 2TTT$  reconnaît deux mois (décembre et février) comme humides. Ici, le bilan climatique atteint -1093.8 mm

**MORONDAVA :** Une sécheresse allant de mars à décembre se reconnaît à travers l'approche bilan alors que le rapport  $RRR < 2TTT$  considère la période avril à novembre comme sèche et quatre mois humides décembre, janvier, février et mars contre seulement deux mois janvier et février dans l'approche  $RRR < ETP$ . Le bilan climatique atteint -1042.8mm.

**FORT-DAUPHIN :** Une absence d'épisodes secs ( $RRR < 2TTT$ ) et une sécheresse allant d'août à décembre ( $RRR < ETP$ ). Contrairement aux trois précédentes stations et à celle de Ranohira, le bilan climatique est positif ici ce qui dénote l'importance des précipitations sur l'évapotranspiration.

**RANOHIRA :** Alors que la période mars à novembre apparaît sèche ( $RRR < ETP$ ), l'approche  $RRR < 2TTT$  reconnaît la période avril à septembre sèche. Le bilan climatique quoique négatif (-651) reste inférieur à celui de Tuléar, Morondava et Faux-cap.

TABLEAU XI: TYPOLOGIE HYDRO-CLIMATIQUE													
XI.a													
STATIONS	PARAMETRES	MOIS											
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
TULEAR	RRR	89,9	87,7	39,4	16,9	13	12,6	5,5	4,4	7	10	25,7	77,6
	TTT	27,9	27,8	27,3	25,7	23,5	21,2	20,9	21,4	22,7	24,2	25,7	26,9
	ETP	190	171,3	156,4	140	117,2	103,6	106,5	126,2	143,3	165,1	184,1	178,8
	RRR/TTT	3,2	3,2	1,4	0,7	0,6	0,6	0,3	0,2	0,3	0,4	1,0	2,9
	RRR/ETP	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
		SS	SH	SS	S	S	S	HS	HS	HS	HS	S	SS
TABLEAU X: TYPOLOGIE HYDRO-CLIMATIQUE													
XI.b													
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
MORONDAVA	RRR	276,6	214,6	86,2	17,2	7,5	1,7	2,1	1,3	2,7	9	22,9	128,4
	TTT	27,7	27,6	27,6	26,4	24,1	22	21,7	22,3	23,8	25,5	26,9	27,6
	ETP	168,6	157,1	159,5	148,7	126,9	114,3	116,1	133,6	150,9	173,6	187,9	175,8
	RRR/TTT	10,0	7,8	3,1	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	4,7
	RRR/ETP	1,6	1,4	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7
		SH	SH	SH	S	HS	HS	HS	HS	HS	HS	S	SH
TABLEAU XI: TYPOLOGIE HYDRO-CLIMATIQUE													
XI.c													
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
FAUX-CAP	RRR	51,8	53,1	41	31,6	64,8	31,2	34,2	17,2	15,2	13,8	16,4	74,3
	TTT	26,8	26,7	26	24,3	22,1	20,5	19,9	20	21,1	22,6	24,2	25,7
	ETP	171,4	152,2	142,9	118,9	98,1	88	89,4	107,7	124,3	139,7	153	152,8
	RRR/TTT	1,9	2,0	1,6	1,3	2,9	1,5	1,7	0,9	0,7	0,6	0,7	2,9
	RRR/ETP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5
		SS	SS	SS	SS	SH	SS	SS	S	S	HS	S	SS

TABLEAU XI: TYPOLOGIE HYDRO-CLIMATIQUE													
<i>XI.d</i>													
STATIONS	PARAMETRES	MOIS											
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
FORT-DAUPHIN	RRR	174,7	169,7	156,3	152,9	134,9	119,5	142,8	88,7	62,1	85	133,9	152,7
	TTT	26,8	26,6	26	24,6	22,7	20,8	20,2	20,7	21,8	23,2	24,6	25,9
	ETP	160,1	145,7	130,8	112,4	95,4	85,5	85,7	104,4	122,9	137,7	149,3	154,9
	RRR/TTT	6,5	6,4	6,0	6,2	5,9	5,7	7,1	4,3	2,8	3,7	5,4	5,9
	RRR/ETP	1,1	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,7	0,8	0,5	0,6	0,9	1,0
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
TABLEAU XI: TYPOLOGIE HYDRO-CLIMATIQUE <i>XI.e</i>													
		JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DÉCEMBRE
RANOHIRA	RRR	213,8	185,9	102,9	32,6	18,5	2,2	3,5	5,5	11	53,9	103,8	199,1
	TTT	24,5	24,3	23,9	22,7	20,2	17,9	17,6	18,7	21,2	23,2	24	24,2
	ETP	151,3	142,1	138,7	130	109,7	96,4	98,3	118,2	139,9	151,8	159	148,3
	RRR/TTT	8,7	7,7	4,3	1,4	0,9	0,1	0,2	0,3	0,5	2,3	4,3	8,2
	RRR/ETP	1,4	1,3	0,7	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7	1,3
		H	H	H	S	S	HS	HS	HS	HS	SS	H	H

Ces tableaux s'inspirant des travaux de MOUNIER et de LAMBERT, permettent la description et la caractérisation climatiques. Un tel atelier nous paraissait déterminant comme réponse aux questions revêtant un caractère climatologique ainsi que nous l'avons avancé au début de la présente étude.

La remarque qui apparaît est l'absence de mois hyper humide (HH). Par ailleurs, c'est la sécheresse (HS, S et SS) qui domine.

Les symboles H, HH,SH, S, SS et HS renvoient aux caractéristiques mensuelles énoncées dans le tableau XII ci-dessous

TABLEAU XII CRITERES D'IDENTIFICATION

SAISONS	TYPES DE SECHERESSE	RRR/TTT	RRR/ETP
Humide	<b>HH</b> Mois Hyper-humide	$RRR \geq 30$ TTT	$RRR/ETP \geq 4$
	<b>H</b> Mois Humide	$30 TTT > RRR \geq 15$ TTT	$4 > RRR/ETP \geq 2$
	<b>SH</b> Mois Sub Humide	$15 TTT > RRR \geq 3$ TTT	$2 > RRR/ETP \geq 0,5$
sèche	<b>SS</b> Mois Sub Sec	$3 TTT > RRR \geq 1,5$ TTT	$0,5 > RRR/ETP \geq 0,20$
	<b>S</b> Mois Sec	$1,5 TTT > RRR > 0,8$ TTT	$0,20 > RRR/ETP \geq 0,10$
	<b>HS</b> Mois Hyper-Sec	$RRR < 0,8$ TTT	$RRR/ETP < 0,10$

L'interprétation de ce tableau réserve ce qui suit :

Un mois est considéré comme sec si les précipitations moyennes recueillies au cours de ce mois sont supérieures aux températures moyennes par un facteur de 1.5 et inférieures aux températures moyennes par un facteur de 3 et en même temps que le rapport précipitation à l'évapotranspiration soit compris entre 0.20 et 0.50.

La transposition de cet exemple avec les autres seuils correspondants permet de comprendre HS, SS, SH, H et HH.

TABLEAU XIII.a : ECART A LA MOYENNE  
STATION DE TULEAR

ANNEES	RRR	Normale	EM
1971	458,6	389,7	69
1972	413,5	389,7	24
1973	465,8	389,7	76
1974	685,1	389,7	295
1975	463,6	389,7	74
1976	369,8	389,7	-20
1977	590,1	389,7	200
1978	354,6	389,7	-35
1979	293,0	389,7	-97
1980	285,9	389,7	-104
1981	392,8	389,7	3
1982	534,2	389,7	144
1983	211,5	389,7	-178
1984	430,9	389,7	41
1985	336,7	389,7	-53
1986	296,1	389,7	-94
1987	394,1	389,7	4
1988	380,0	389,7	-10
1989	521,2	389,7	131
1990	235,8	389,7	-154
1991	222,5	389,7	-167
1992	137,5	389,7	-252
1993	302,7	389,7	-87
1994	386,8	389,7	-3
1995	386,8	389,7	-3
1996	383,4	389,7	-6
1997	340,8	389,7	-49
1998	453,2	389,7	63
1999	550,9	389,7	161
2000	412,6	389,7	23

TABLEAU XIII.b : ECART A LA MOYENNE  
STATION DE MORONDAVA

ANNEES	RRR	Normale	EM
1971	1002,2	770,2	232
1972	585,7	770,2	-184
1973	1363,2	770,2	593
1974	752,1	770,2	-18
1975	561,1	770,2	-209
1976	420,8	770,2	-349
1977	1342,9	770,2	573
1978	643,9	770,2	-126
1979	463,9	770,2	-306
1980	523,7	770,2	-247
1981	473,7	770,2	-296
1982	1205,3	770,2	435
1983	484,0	770,2	-286
1984	1024,5	770,2	254
1985	407,9	770,2	-362
1986	751,9	770,2	-18
1987	627,3	770,2	-143
1988	772,8	770,2	3
1989	887,8	770,2	118
1990	555,4	770,2	-215
1991	965,7	770,2	195
1992	583,0	770,2	-187
1993	784,3	770,2	14
1994	934,2	770,2	164
1995	945,8	770,2	176
1996	748,0	770,2	-22
1997	747,9	770,2	-22
1998	768,9	770,2	-1
1999	751,9	770,2	-18
2000	1023,4	770,2	253

TABLEAU XIII.d : ECART A LA MOYENNE  
STATION DE FORT-DAUPHIN

ANNEES	RRR	Normale	EM
1971	1708,5	1573,2	135
1972	2899,5	1573,2	1326
1973	2494,6	1573,2	921
1974	1174,9	1573,2	<b>-398</b>
1975	1591,4	1573,2	18
1976	1677,4	1573,2	104
1977	1171,6	1573,2	<b>-402</b>
1978	1732,8	1573,2	160
1979	1730,5	1573,2	157
1980	1350,7	1573,2	<b>-222</b>
1981	1812,5	1573,2	239
1982	2253,3	1573,2	680
1983	1330,3	1573,2	<b>-243</b>
1984	1628,9	1573,2	56
1985	1112,7	1573,2	<b>-460</b>
1986	1335,5	1573,2	<b>-238</b>
1987	966,5	1573,2	<b>-607</b>
1988	1532,7	1573,2	<b>-41</b>
1989	1930,2	1573,2	357
1990	1370,4	1573,2	<b>-203</b>
1991	1157,2	1573,2	<b>-416</b>
1992	1351,3	1573,2	<b>-222</b>
1993	1328,3	1573,2	<b>-245</b>
1994	1842,0	1573,2	269
1995	1426,6	1573,2	<b>-147</b>
1996	1311,9	1573,2	<b>-261</b>
1997	1153,3	1573,2	<b>-420</b>
1998	2041,6	1573,2	468
1999	1341,9	1573,2	<b>-231</b>
2000	1435,6	1573,2	<b>-138</b>

TABLEAU XIII.e . ECART A LA MOYENNE  
STATION DE RANOHIRA

ANNEES	RRR	Normale	EM
1971	1342,4	932,7	410
1972	1167,8	932,7	235
1973	1070,5	932,7	138
1974	1149,4	932,7	217
1975	1095,2	932,7	163
1976	749,1	932,7	<b>-184</b>
1977	836,9	932,7	<b>-96</b>
1978	829,6	932,7	<b>-103</b>
1979	856,5	932,7	<b>-76</b>
1980	883,8	932,7	<b>-49</b>
1981	1172,5	932,7	240
1982	1105,7	932,7	173
1983	767,2	932,7	<b>-165</b>
1984	1313,8	932,7	381
1985	591,4	932,7	<b>-341</b>
1986	987,5	932,7	55
1987	771,9	932,7	<b>-161</b>
1988	534,4	932,7	<b>-398</b>
1989	1291,0	932,7	358
1990	747,9	932,7	<b>-185</b>
1991	614,2	932,7	<b>-318</b>
1992	658,2	932,7	<b>-275</b>
1993	836,4	932,7	<b>-96</b>
1994	1059,3	932,7	127
1995	667,5	932,7	<b>-265</b>
1996	835,2	932,7	<b>-97</b>
1997	878,3	932,7	<b>-54</b>
1998	1020,1	932,7	87
1999	1086,3	932,7	154
2000	1062,0	932,7	129

TABLEAU XIII.c . ECART A LA MOYENNE  
STATION DE FAUX-CAP

<b>ANNEES</b>	<b>RRR</b>	<b>Normale</b>	<b>EM</b>
1971	543,6	444,6	99
1972	472,0	444,6	27
1973	368,6	444,6	<b>-76</b>
1974	250,7	444,6	<b>-194</b>
1975	370,2	444,6	<b>-74</b>
1976	469,4	444,6	25
1977	418,1	444,6	<b>-26</b>
1978	663,4	444,6	219
1979	455,3	444,6	11
1980	306,0	444,6	<b>-139</b>
1981	395,4	444,6	<b>-49</b>
1982	662,3	444,6	218
1983	406,6	444,6	<b>-38</b>

EM : désigne l'écart à la moyenne. Les données de ces tableaux ont servi à l'élaboration des histogrammes d'écart à la moyenne et ont permis également de faire ressortir la sécheresse dans les régions de la zone d'étude où le phénomène est observé. Les valeurs négatives d'Em sont observées les années pendant lesquelles, la pluviométrie est inférieure à la normale. Les valeurs positives sont observées dans le cas contraire.

TABLEAU XIV.a . INDICE DE PLUVIOSITE  
STATION DE TULEAR

ANNEES	RRR	Normale	IP
1971	458,6	389,7	1,2
1972	413,5	389,7	1,1
1973	465,8	389,7	1,2
1974	685,1	389,7	1,8
1975	463,6	389,7	1,2
1976	369,8	389,7	<b>0,9</b>
1977	590,1	389,7	1,5
1978	354,6	389,7	<b>0,9</b>
1979	293,0	389,7	<b>0,8</b>
1980	285,9	389,7	<b>0,7</b>
1981	392,8	389,7	1,0
1982	534,2	389,7	1,4
1983	211,5	389,7	<b>0,5</b>
1984	430,9	389,7	1,1
1985	336,7	389,7	<b>0,9</b>
1986	296,1	389,7	<b>0,8</b>
1987	394,1	389,7	1,0
1988	380,0	389,7	1,0
1989	521,2	389,7	1,3
1990	235,8	389,7	<b>0,6</b>
1991	222,5	389,7	<b>0,6</b>
1992	137,5	389,7	<b>0,4</b>
1993	302,7	389,7	<b>0,8</b>
1994	386,8	389,7	1,0
1995	386,8	389,7	1,0
1996	383,4	389,7	1,0
1997	340,8	389,7	<b>0,9</b>
1998	453,2	389,7	1,2
1999	550,9	389,7	1,4
2000	412,6	389,7	1,1

TABLEAU XIV.b . INDICE DE PLUVIOSITE  
STATION DE MORONDAVA

ANNEES	RRR	Normale	IP
1971	1002,2	770,2	1,3
1972	585,7	770,2	<b>0,8</b>
1973	1363,2	770,2	1,8
1974	752,1	770,2	1,0
1975	561,1	770,2	<b>0,7</b>
1976	420,8	770,2	<b>0,5</b>
1977	1342,9	770,2	1,7
1978	643,9	770,2	<b>0,8</b>
1979	463,9	770,2	<b>0,6</b>
1980	523,7	770,2	<b>0,7</b>
1981	473,7	770,2	<b>0,6</b>
1982	1205,3	770,2	1,6
1983	484,0	770,2	<b>0,6</b>
1984	1024,5	770,2	1,3
1985	407,9	770,2	<b>0,5</b>
1986	751,9	770,2	1,0
1987	627,3	770,2	<b>0,8</b>
1988	772,8	770,2	1,0
1989	887,8	770,2	1,2
1990	555,4	770,2	<b>0,7</b>
1991	965,7	770,2	1,3
1992	583,0	770,2	<b>0,8</b>
1993	784,3	770,2	1,0
1994	934,2	770,2	1,2
1995	945,8	770,2	1,2
1996	748,0	770,2	1,0
1997	747,9	770,2	1,0
1998	768,9	770,2	1,0
1999	751,9	770,2	1,0
2000	1023,4	770,2	1,3

TABLEAU XIV.d : INDICE DE PLUVIOSITE  
STATION DE FORT-DAUPHIN

ANNEES	RRR	Normale	IP
1971	1708,5	1573,2	1,1
1972	2899,5	1573,2	1,8
1973	2494,6	1573,2	1,6
1974	1174,9	1573,2	<b>0,7</b>
1975	1591,4	1573,2	1,0
1976	1677,4	1573,2	1,1
1977	1171,6	1573,2	<b>0,7</b>
1978	1732,8	1573,2	1,1
1979	1730,5	1573,2	1,1
1980	1350,7	1573,2	<b>0,9</b>
1981	1812,5	1573,2	1,2
1982	2253,3	1573,2	1,4
1983	1330,3	1573,2	<b>0,8</b>
1984	1628,9	1573,2	1,0
1985	1112,7	1573,2	<b>0,7</b>
1986	1335,5	1573,2	<b>0,8</b>
1987	966,5	1573,2	<b>0,6</b>
1988	1532,7	1573,2	1,0
1989	1930,2	1573,2	1,2
1990	1370,4	1573,2	<b>0,9</b>
1991	1157,2	1573,2	<b>0,7</b>
1992	1351,3	1573,2	<b>0,9</b>
1993	1328,3	1573,2	<b>0,8</b>
1994	1842,0	1573,2	1,2
1995	1426,6	1573,2	<b>0,9</b>
1996	1311,9	1573,2	<b>0,8</b>
1997	1153,3	1573,2	<b>0,7</b>
1998	2041,6	1573,2	1,3
1999	1341,9	1573,2	<b>0,9</b>
2000	1435,6	1573,2	<b>0,9</b>

TABLEAU XIV.e : INDICE DE PLUVIOSITE  
STATION DE RANOHIRA

ANNEES	RRR	Normale	IP
1971	1342,4	932,7	1,4
1972	1167,8	932,7	1,3
1973	1070,5	932,7	1,1
1974	1149,4	932,7	1,2
1975	1095,2	932,7	1,2
1976	749,1	932,7	<b>0,8</b>
1977	836,9	932,7	<b>0,9</b>
1978	829,6	932,7	<b>0,9</b>
1979	856,5	932,7	<b>0,9</b>
1980	883,8	932,7	<b>0,9</b>
1981	1172,5	932,7	1,3
1982	1105,7	932,7	1,2
1983	767,2	932,7	<b>0,8</b>
1984	1313,8	932,7	1,4
1985	591,4	932,7	<b>0,6</b>
1986	987,5	932,7	1,1
1987	771,9	932,7	<b>0,8</b>
1988	534,4	932,7	<b>0,6</b>
1989	1291,0	932,7	1,4
1990	747,9	932,7	<b>0,8</b>
1991	614,2	932,7	<b>0,7</b>
1992	658,2	932,7	<b>0,7</b>
1993	836,4	932,7	<b>0,9</b>
1994	1059,3	932,7	1,1
1995	667,5	932,7	<b>0,7</b>
1996	835,2	932,7	<b>0,9</b>
1997	878,3	932,7	<b>0,9</b>
1998	1020,1	932,7	1,1
1999	1086,3	932,7	1,2
2000	1062,0	932,7	1,1

TABLEAU XIV.c . INDICE DE PLUVIOSITE  
STATION DE FAUX-CAP

<b>ANNEES</b>	<b>RRR</b>	<b>Normale</b>	<b>IP</b>
1971	543,6	444,6	1,2
1972	472,0	444,6	1,1
1973	368,6	444,6	<b>0,8</b>
1974	250,7	444,6	<b>0,6</b>
1975	370,2	444,6	<b>0,8</b>
1976	469,4	444,6	1,1
1977	418,1	444,6	<b>0,9</b>
1978	663,4	444,6	1,5
1979	455,3	444,6	1,0
1980	306,0	444,6	<b>0,7</b>
1981	395,4	444,6	<b>0,9</b>
1982	662,3	444,6	1,5
1983	406,6	444,6	<b>0,9</b>

IP désigne l'indice de pluviosité. La méthodologie ayant permis de le déduire est assez développée plus haut dans l'approche indiciaire. Pour des raisons analogues que précédemment, les valeurs d'Ip inférieures à l'unité sont observées en années pendant lesquelles, la pluviométrie est inférieure à la moyenne inter-annuelle.

**TABLEAU XIII.d RAPPORT A LA NORMALE  
STATION DE FORT-DAUPHIN**

<i>ANNEE S</i>	<i>RRR</i>	<i>Normale</i>	<i>RN</i>
1971	1708,5	1573,2	109
1972	2899,5	1573,2	184
1973	2494,6	1573,2	159
1974	1174,9	1573,2	75
1975	1591,4	1573,2	101
1976	1677,4	1573,2	107
1977	1171,6	1573,2	74
1978	1732,8	1573,2	110
1979	1730,5	1573,2	110
1980	1350,7	1573,2	86
1981	1812,5	1573,2	115
1982	2253,3	1573,2	143
1983	1330,3	1573,2	85
1984	1628,9	1573,2	104
1985	1112,7	1573,2	71
1986	1335,5	1573,2	85
1987	966,5	1573,2	61
1988	1532,7	1573,2	97
1989	1930,2	1573,2	123
1990	1370,4	1573,2	87
1991	1157,2	1573,2	74
1992	1351,3	1573,2	86
1993	1328,3	1573,2	84
1994	1842,0	1573,2	117
1995	1426,6	1573,2	91
1996	1311,9	1573,2	83
1997	1153,3	1573,2	73
1998	2041,6	1573,2	130
1999	1341,9	1573,2	85
2000	1435,6	1573,2	91

**TABLEAU XIII.e RAPPORT A LA NORMALE  
STATION DE RANOHIRA**

<i>ANNEE S</i>	<i>RRR</i>	<i>Normale</i>	<i>RN</i>
1971	1342,4	932,7	144
1972	1167,8	932,7	125
1973	1070,5	932,7	115
1974	1149,4	932,7	123
1975	1095,2	932,7	117
1976	749,1	932,7	80
1977	836,9	932,7	90
1978	829,6	932,7	89
1979	856,5	932,7	92
1980	883,8	932,7	95
1981	1172,5	932,7	126
1982	1105,7	932,7	119
1983	767,2	932,7	82
1984	1313,8	932,7	141
1985	591,4	932,7	63
1986	987,5	932,7	106
1987	771,9	932,7	83
1988	534,4	932,7	57
1989	1291,0	932,7	138
1990	747,9	932,7	80
1991	614,2	932,7	66
1992	658,2	932,7	71
1993	836,4	932,7	90
1994	1059,3	932,7	114
1995	667,5	932,7	72
1996	835,2	932,7	90
1997	878,3	932,7	94
1998	1020,1	932,7	109
1999	1086,3	932,7	116
2000	1062,0	932,7	114

**TABLEAU XIII.a RAPPORT A LA NORMALE STATION DE TULEAR**

ANNEE S	RRR	Normale	RN
1971	458,6	389,7	118
1972	413,5	389,7	106
1973	465,8	389,7	120
1974	685,1	389,7	176
1975	463,6	389,7	119
1976	369,8	389,7	95
1977	590,1	389,7	151
1978	354,6	389,7	91
1979	293,0	389,7	75
1980	285,9	389,7	73
1981	392,8	389,7	101
1982	534,2	389,7	137
1983	211,5	389,7	54
1984	430,9	389,7	111
1985	336,7	389,7	86
1986	296,1	389,7	76
1987	394,1	389,7	101
1988	380,0	389,7	98
1989	521,2	389,7	134
1990	235,8	389,7	61
1991	222,5	389,7	57
1992	137,5	389,7	35
1993	302,7	389,7	78
1994	386,8	389,7	99
1995	386,8	389,7	99
1996	383,4	389,7	98
1997	340,8	389,7	87
1998	453,2	389,7	116
1999	550,9	389,7	141
2000	412,6	389,7	106

**TABLEAU XIII.b RAPPORT A LA NORMALE STATION DE MORONDAVA**

ANNEE S	RRR	Normale	RN
1971	1002,2	770,2	130
1972	585,7	770,2	76
1973	1363,2	770,2	177
1974	752,1	770,2	98
1975	561,1	770,2	73
1976	420,8	770,2	55
1977	1342,9	770,2	174
1978	643,9	770,2	84
1979	463,9	770,2	60
1980	523,7	770,2	68
1981	473,7	770,2	62
1982	1205,3	770,2	156
1983	484,0	770,2	63
1984	1024,5	770,2	133
1985	407,9	770,2	53
1986	751,9	770,2	98
1987	627,3	770,2	81
1988	772,8	770,2	100
1989	887,8	770,2	115
1990	555,4	770,2	72
1991	965,7	770,2	125
1992	583,0	770,2	76
1993	784,3	770,2	102
1994	934,2	770,2	121
1995	945,8	770,2	123
1996	748,0	770,2	97
1997	747,9	770,2	97
1998	768,9	770,2	100
1999	751,9	770,2	98
2000	1023,4	770,2	133

**TABLEAU XIII.c**  
**RAPPORT A LA NORMALE**  
**STATION DE FAUX-CAP**

<i>ANNEES</i>	<i>RRR</i>	<i>Normale</i>	<i>RN</i>
1971	543,6	444,6	122
1972	472,0	444,6	106
1973	368,6	444,6	83
1974	250,7	444,6	56
1975	370,2	444,6	83
1976	469,4	444,6	106
1977	418,1	444,6	94
1978	663,4	444,6	149
1979	455,3	444,6	102
1980	306,0	444,6	69
1981	395,4	444,6	89
1982	662,3	444,6	149
1983	406,6	444,6	91

RN désigne le pourcentage par rapport à la normale décrit plus haut. Les cartes d'analyses de la sécheresse ont été élaborées à partir de ces données classées en ordre croissant et formant le premier groupe de six ans c'est-à-dire le quintile 1.

**TABEAU XV : IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DE LA SECHERESSE METEOROLOGIQUE**

Stations	Début	Fin	Durée	Déficit (mm)	Intensité (mm)
RANOHIRA	1985	1985	1	341,3	341,3
	1988	1988	1	398,3	398,3
	1991	1992	2	593	296,5
	1995	1995	1	265,2	265,2
MORONDAVA	1975	1976	2	558,5	279,2
	1979	1981	3	849,3	283,1
	1983	1983	1	286,2	286,2
	1985	1985	1	362,3	362,3
FORT-DAUPHIN	1974	1974	1	398,3	398,3
	1977	1977	1	401,6	401,6
	1985	1985	1	460,5	460,5
	1987	1987	1	606,7	606,7
	1991	1991	1	416	416
	1997	1997	1	419,9	419,9
TULEAR	1979	1980	2	200,5	100,2
	1983	1983	1	178,2	178,2
	1990	1992	3	573,2	191,1
FAUX-CAP	1974	1974	1	193,9	193,9
	1980	1980	1	138,6	138,6

La durée et l'intensité dont les formules sont décrites plus haut (**INDICES DE SEVERITE**) sont déduites par application de ces formules. Le déficit se rapporte à la pluviométrie moyenne.

**TABEAU XVI: VALEURS DE SPI**

Années	STATIONS				
	Tuléar	Morondava	Ranohira	Fort-Dauphin	Faux-Cap
	SPI	SPI	SPI	SPI	SPI
1971	0,8	1,3	2,6	0,4	1,2
1972	0,3	-1,0	1,5	4,4	0,3
1973	0,9	3,3	0,9	3,1	-0,9
1974	3,6	-0,1	1,4	-1,3	-2,3
1975	0,9	-1,2	1,0	0,1	-0,9
1976	-0,2	-1,9	-1,2	0,3	0,3
1977	2,4	3,2	-0,6	-1,3	-0,3
1978	-0,4	-0,7	-0,7	0,5	2,6
1979	-1,2	-1,7	-0,5	0,5	0,1
1980	-1,3	-1,4	-0,3	-0,7	-1,6
1981	0,0	-1,6	1,5	0,8	-0,6
1982	1,7	2,4	1,1	2,3	2,6
1983	-2,2	-1,6	-1,1	-0,8	-0,4
1984	0,5	1,4	2,4	0,2	
1985	-0,6	-2,0	-2,2	-1,5	
1986	-1,1	-0,1	0,4	-0,8	
1987	0,1	-0,8	-1,0	-2,0	
1988	-0,1	0,0	-2,6	-0,1	
1989	1,6	0,6	2,3	1,2	
1990	-1,9	-1,2	-1,2	-0,7	
1991	-2,0	1,1	-2,0	-1,4	
1992	-3,0	-1,0	-1,8	-0,7	
1993	-1,3	0,1	-0,6	-0,8	
1994	0,0	0,9	0,8	0,9	
1995	0,0	1,0	-1,7	-0,5	
1996	-0,1	-0,1	-0,6	-0,9	
1997	-0,6	-0,1	-0,3	-1,4	
1998	0,8	0,0	0,6	1,6	
1999	1,9	-0,1	1,0	-0,8	
2000	0,3	1,4	0,8	0,5	

Ces valeurs de SPI sont déduites à partir de la formule de SPI décrite plus haut (**INDICES DE SEVERITE**). Elles indices permettent de caractériser l'intensité de la sécheresse comme indiqué dans le tableau de classification suivant les valeurs de SPI ci-dessous.

TABLEAU XVII : POURCENTAGES SELON LES SPI

TYPES	TULEA				
	R	MORONDAVA	FAUX-CAP	RANOHIRA	FORT-DAUPHIN
Humidité Extrême SPI>2	6,6	10	15,3	10	10
Humidité Forte 1<SPI<2	10	13,3	7,9	13,3	6,6
Humidité Modérée 0<SPI<1	26,6	10	23	16,6	30
Sécheresse Modérée -1SPI<0	30	30	*	*	*
Sécheresse Forte -2<SPI<-1	16,6	30	15,3	20	20
Sécheresse Extrême SPI<-2	6,6	*	7,6	6,6	*

\* Stations pour lesquelles le phénomène n'est pas observé.

Les probabilités de sécheresse extrême sont négligeables (-10%) et concernent les stations de Tuléar, Faux-Cap et Ranohira. Elles sont nulles à Morondava et à Fort-Dauphin. D'autre part, alors que la sécheresse forte est commune à toutes les stations, la sécheresse modérée concerne les stations de Tuélar et Morondava. Les fréquences de sécheresse forte à Fort-Dauphin et Ranohira élevées par rapport à celles de Tuléar et Faux-Cap auxquelles, les approches bilan hydrique et  $RRR < 2TTT$  reconnaissent respectivement une sécheresse permanente et une sécheresse allant de mars à novembre (Tuléar), une sécheresse de janvier à novembre à l'exception de février (Faux-Cap) devant être sujettes à caution, conduisent à parler de la complexité du phénomène.

TABLEAU XVIII.a : INDICE D'ARIDITE  
TULEAR

ANNEES	RRR	TTT	IAM
1971	458,6	24	13
1972	413,5	24,4	12
1973	465,8	24,5	14
1974	685,1	24,2	20
1975	463,6	23,9	14
1976	369,8	24,3	11
1977	590,1	24,5	17
1978	354,6	24,7	10
1979	293	24,3	9
1980	285,9	24,6	8
1981	392,8	24	12
1982	534,2	24,5	15
1983	211,5	25,1	6
1984	430,9	24,9	12
1985	336,7	24,8	10
1986	296,1	24,3	9
1987	394,1	24,4	11
1988	380	24,7	11
1989	521,2	24,5	15
1990	235,8	24,1	7
1991	222,5	24,5	6
1992	137,5	25,1	4
1993	302,7	24,4	9
1994	386,8	24,7	11
1995	386,8	24,9	11
1996	383,4	24,7	11
1997	340,8	24,8	10
1998	453,2	25,6	13
1999	550,9	25,2	16
2000	412,6	25,6	12
MOYENNE			11

TABLEAU XVII.b : INDICE D'ARIDITE  
MORONDAVA

ANNEES	RRR	TTT	IAM
1971	1002,2	24,7	29
1972	585,7	24,6	17
1973	1363,2	25,2	39
1974	752,1	24,6	22
1975	561,1	24,7	16
1976	420,8	25,1	12
1977	1342,9	25,2	38
1978	643,9	25,5	18
1979	463,9	25,3	13
1980	523,7	25,4	15
1981	473,7	25	14
1982	1205,3	25,2	34
1983	484	25,7	14
1984	1024,5	25,1	29
1985	407,9	25,2	12
1986	751,9	24,7	22
1987	627,3	25,5	18
1988	772,8	25,9	22
1989	887,8	25,5	25
1990	555,4	25,4	16
1991	965,7	25,5	27
1992	583	25,6	16
1993	784,3	25,1	22
1994	934,2	25,4	26
1995	945,8	25,8	26
1996	748	25,4	21
1997	747,9	25,7	21
1998	768,9	25,3	22
1999	751,9	25,3	21
2000	1023,4	25,5	29
MOYENNE			22

TABLEAU XVIII.d : INDICE D'ARIDITE

TABLEAU XVII.e : INDICE D'ARIDITE

FORT-DAUPHIN

RANOHIRA

ANNEES	RRR	TTT	IAM
1971	1708,5	23,2	51
1972	2899,5	23,4	87
1973	2494,6	23,3	75
1974	1174,9	23,4	35
1975	1591,4	23	48
1976	1677,4	23,7	50
1977	1171,6	23,6	35
1978	1732,8	24	51
1979	1730,5	23,3	52
1980	1350,7	23,4	40
1981	1812,5	23,6	54
1982	2253,3	23,3	68
1983	1330,3	23,7	39
1984	1628,9	23,4	49
1985	1112,7	23,7	33
1986	1335,5	23,3	40
1987	966,5	24	28
1988	1532,7	23,9	45
1989	1930,2	23,7	57
1990	1370,4	23,5	41
1991	1157,2	24	34
1992	1351,3	23,6	40
1993	1328,3	23,5	40
1994	1842	23,5	55
1995	1426,6	23,8	42
1996	1311,9	24,1	38
1997	1153,3	23,9	34
1998	2041,6	24,2	60
1999	1341,9	24,3	39
2000	1435,6	24,3	42
MOYENNE			47

ANNEES	RRR	TTT	IAM
1971	1342,4	21,2	43
1972	1167,8	21,1	38
1973	1070,5	21,7	34
1974	1149,4	21,6	36
1975	1095,2	21,6	35
1976	749,1	21,8	24
1977	836,9	22	26
1978	829,6	22,3	26
1979	856,5	21,6	27
1980	883,8	28,2	23
1981	1172,5	21,3	37
1982	1105,7	21,4	35
1983	767,2	22,3	24
1984	1313,8	21,4	42
1985	591,4	21,8	19
1986	987,5	21,4	31
1987	771,9	21,9	24
1988	534,4	22,1	17
1989	1291	21,4	41
1990	747,9	21,9	23
1991	614,2	22	19
1992	658,2	22,1	21
1993	836,4	21,8	26
1994	1059,3	20,9	34
1995	667,5	20,9	22
1996	835,2	21,9	26
1997	878,3	22	27
1998	1020,1	21,4	32
1999	1086,3	21	35
2000	1062	22	33
MOYENNE			29

TABLEAU XVII.c : INDICE D'ARIDITE DE MARTONNE  
FAUX-CAP

<i>ANNEES</i>	<i>RRR</i>	<i>TTT</i>	<i>IAM</i>
1971	543,6	23,1	16
1972	472	23,6	14
1973	368,6	23,3	11
1974	250,7	23,4	8
1975	370,2	23	11
1976	469,4	23,5	14
1977	418,1	23,6	12
1978	663,4	23,6	20
1979	455,3	23,3	14
1980	306	23,1	9
1981	395,4	22,9	12
1982	662,3	23,3	20
1983	406,6	23,5	12
<i>MOYENNE</i>			13

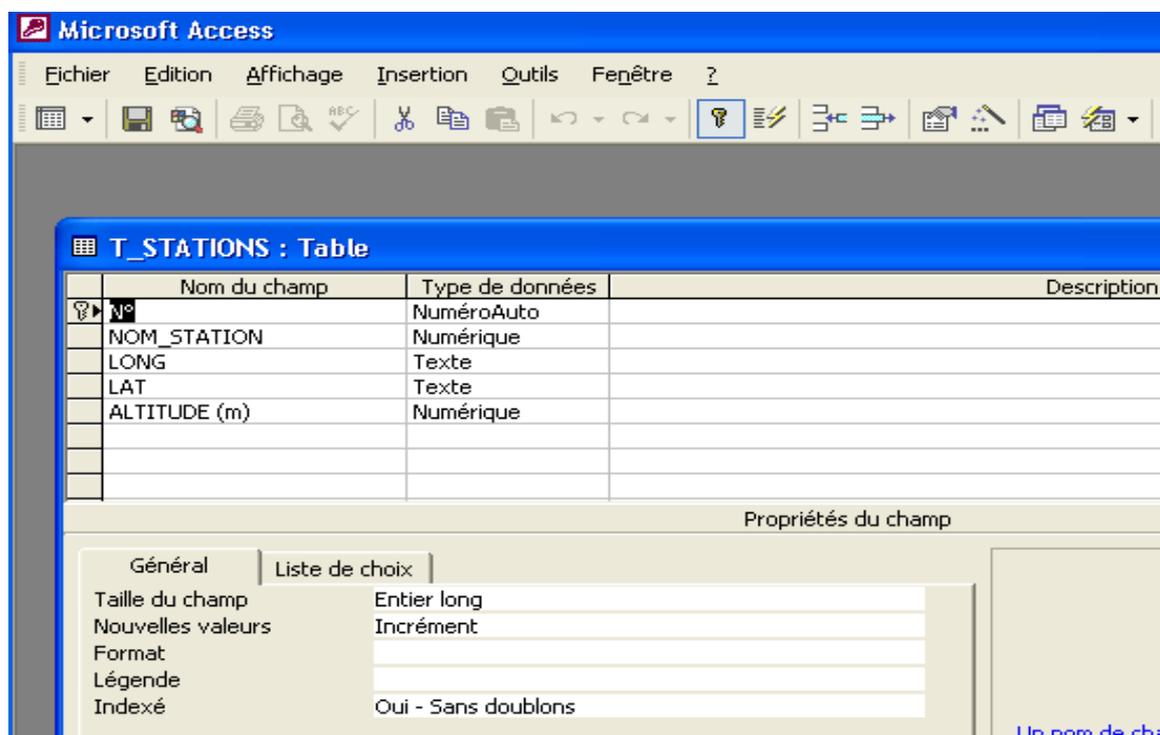
IAM désigne l'indice d'aridité de MARTONNE dont l'expression algébrique renvoie au chapitre (**IV ARIDITE** )

## ANNEXE II : TRAVAUX INFORMATIQUES

BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE : Comme énoncé au début de la présente étude, la base de donnée 'BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE' a servi à la génération des différents résultats. La création d'une telle base s'imposait eu égard au volume considérable de données. Cette base créée sous les environnements *ACCES 2002 et EXCEL 2002* a suivi les étapes suivantes :

- **CREATION DE TABLES.**

Au total sept (7) tables ont été créées. Il s'agit des tables, T\_STATIONS, T\_PARAMETRES, T\_NORMALES ANNUELLES, T\_listeparamètres, T\_listestation, T\_liste\_Normale\_an\_mens, T\_liste\_mois\_années. Lors de la création de tables, l'accent est mis sur un certain nombre d'opérations portant sur **l'identification du champ, la précision du type et les propriétés**. L'exemple ci-dessous renvoie à la création de la table T\_STATIONS.

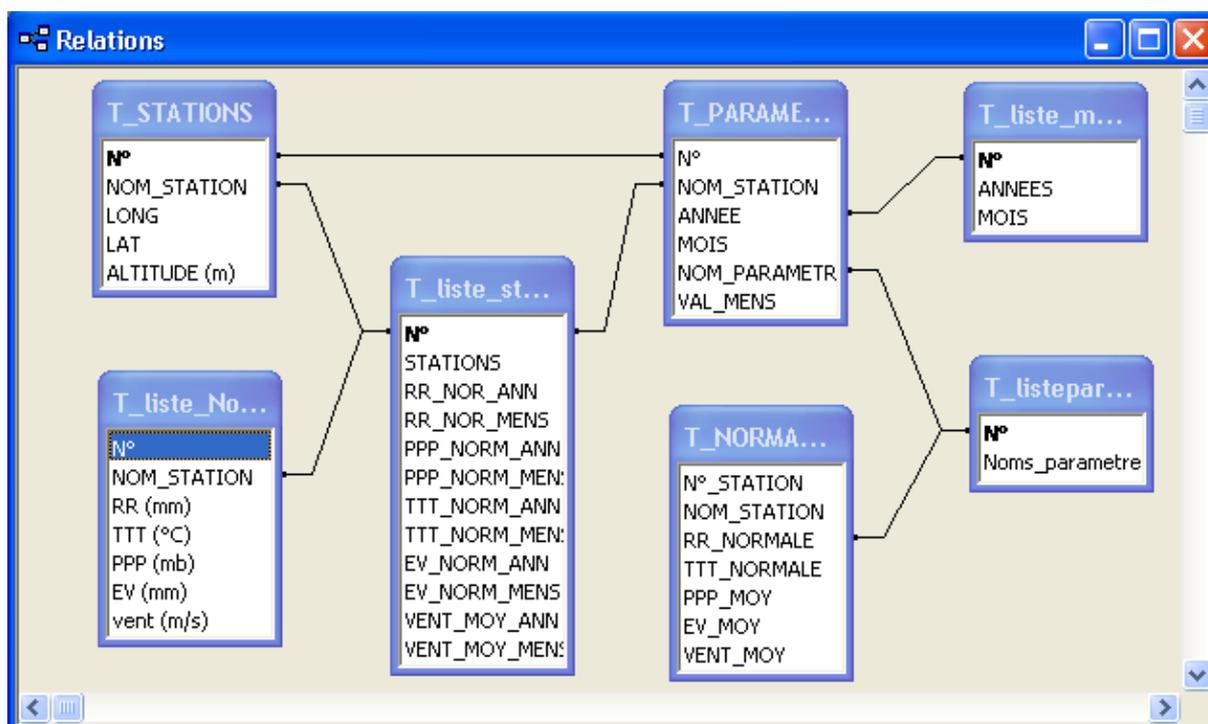


Ici, les champs désignent N°, NOM\_STATION, LONG, LAT et ALTITUDE dont les types sont respectivement NuméroAuto, Numérique, Texte, Texte et Numérique. Le champ Type de données possède une liste de choix permettant de choisir le type convenable (confère illustration ci-contre).



- **DEFINITION DES RELATIONS.**

La relation définie entre les tables est de type 1 à N. Les différentes relations définies dans la BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE sont ci-dessous illustrées.



L'intérêt pratique de ces relations réside dans le fait qu'elles permettent d'accéder aux informations contenues dans les différentes tables.

- **CREATION DE FORMULAIRES.**

Les formulaires sont des fenêtres de saisie. Ils servent à alimenter les tables. Les formulaires de la BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE ont été obtenus en mode sélection. La représentation ci-contre désigne un formulaire de saisie.

Un tel formulaire permet de recueillir les données comme suit.

T_STATIONS : Table						
	N°	NOM_STATION	LONG	LAT	ALTITUDE (m)	
▶ +	1	RANOHIRA	45°24 E	22°33 S	823	
+	2	FAUX-CAP	45°32 E	25°33 S	20	
+	3	MORONDAVA	44°18 E	20°16 S	8	
+	4	TULEAR	43°44 E	23°23 S	8	
+	5	FORT-DAUPHIN	46°57 E	25°02 S	8	
+	6	MOROMBE	43°22E	21°45S	4	
*	(NuméroAuto)				0	

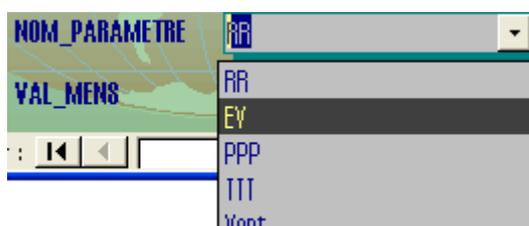
- **CREATION DE REQUETES.**

Ce sont en quelque sorte des questions que nous avons posées à notre base de donnée. C'est sans doute la partie la plus élaborée de la BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE. Ces requêtes utilisent des champs issus de plusieurs champs avec beaucoup de conditions donc des sélections. L'utilisation de fonctions d'agrégats nous a permis d'effectuer la plupart de nos calculs. Il s'agit d'une programmation de haut niveau dont le script est effectué par ACCESS. Un exemple de ce script sera donné ci-dessous. L'atelier suivant revoie à une création de requête.

R\_REGROUPEMENT\_PPP : Requête Sélection

Champ :	N°	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	VAL_MENS
Table :	T_PARAMETRES	T_PARAMETRES	T_liste_mois_année	T_PARAMETRES	T_PARAMETRES
Opération :	Regroupement	Regroupement	Regroupement	Regroupement	Regroupement
Tri :					
Afficher :	<input checked="" type="checkbox"/>				
Critères :	Entre 2203 Et 3803				
Ou :					

Cette requête regroupe les enregistrements de pressions pour l'ensemble des stations de la zone d'étude et sur les séries d'années qui s'y rapportent. Ici la fonction d'agrégat est représentée par Regroupement de la ligne Opération (confère schéma ci-dessus), le critère est représenté par 'Entre2203 Et 3803' ceci permet à ACCESS de ne pas opérer sur tous les paramètres (le champ paramètre est doté d'une liste de choix) comme l'indique la représentation suivante.



L'exécution d'une telle requête (équivalant à la compilation au niveau d'autres langages) permet d'obtenir le résultat suivant :

R_REGROUPEMENT_PPP : Requête Sélection					
	N°	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	VAL_MENS
▶	2203	TULEAR	1971	janvier	1008,3
	2204	TULEAR	1971	fevrier	1006,5
	2205	TULEAR	1971	mars	1012,2
	2206	TULEAR	1971	avril	1013,4
	2207	TULEAR	1971	mai	1015,9
	2208	TULEAR	1971	juin	1020,9
	2209	TULEAR	1971	juillet	1019,8
	2210	TULEAR	1971	août	1018,8
	2211	TULEAR	1971	septembre	1017,5
	2212	TULEAR	1971	octobre	1016,6
	2213	TULEAR	1971	novembre	1013,5
	2214	TULEAR	1971	décembre	1011,7
	2215	TULEAR	1972	janvier	1010,7

Enr : 1 sur 1596

Le script concernant cette requête se présente comme suit.

```

R_REGROUPEMENT_PPP : Requête SQL directe
SELECT T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES, T_PARAMETRES.MOIS,
T_PARAMETRES.VAL_MENS
FROM T_liste_mois_années INNER JOIN T_PARAMETRES ON T_liste_mois_années.N° = T_PARAMETRES.ANNEE
GROUP BY T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES, T_PARAMETRES.MOIS,
T_PARAMETRES.VAL_MENS
HAVING (((T_PARAMETRES.N°) Between 2203 And 3803));

```

Dans le même ordre d'idée, les scripts correspondant aux requêtes températures et précipitations se présentent comme suit :

```

R_REGROUPEMENT_RR : Requête SQL directe
SELECT T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES,
T_PARAMETRES.MOIS, T_PARAMETRES.VAL_MENS
FROM T_liste_mois_années INNER JOIN T_PARAMETRES ON T_liste_mois_années.N° =
T_PARAMETRES.ANNEE
GROUP BY T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES,
T_PARAMETRES.MOIS, T_PARAMETRES.VAL_MENS
HAVING (((T_PARAMETRES.N°) Between 1 And 2202));

```

R_REGROUPEMENT_RR : Requête Sélection					
	N°	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	VAL_MENS
	421	FORT-DAUPHIN	1974	septembre	40,9
	422	FORT-DAUPHIN	1974	octobre	53,7
	423	FORT-DAUPHIN	1974	novembre	92,8
	424	FORT-DAUPHIN	1974	décembre	174,3
	425	FORT-DAUPHIN	1975	janvier	242,8
	426	FORT-DAUPHIN	1975	février	77,3
	427	FORT-DAUPHIN	1975	mars	357,7
	428	FORT-DAUPHIN	1975	avril	253,7
	429	FORT-DAUPHIN	1975	mai	148,6
	430	FORT-DAUPHIN	1975	juin	45,9
	431	FORT-DAUPHIN	1975	juillet	54,1

**R\_REGROUPEMENT\_TTT : Requête SQL directe**

```

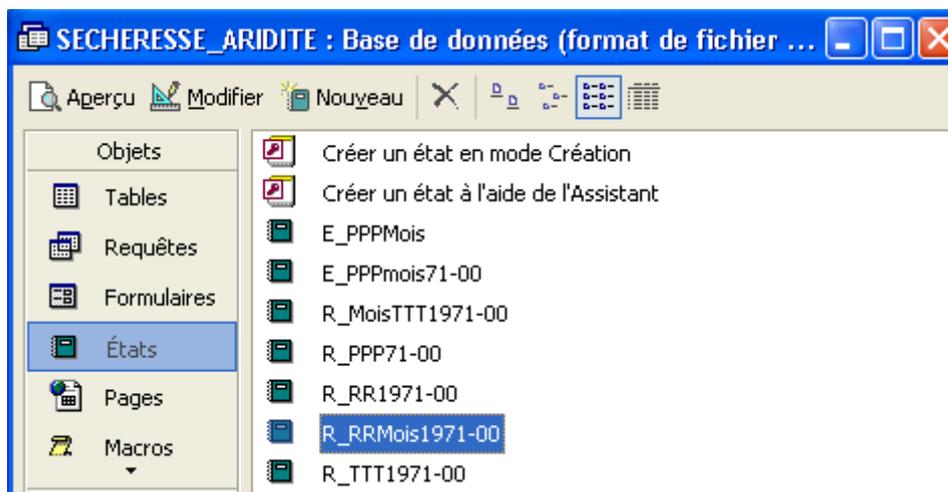
SELECT T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES,
T_PARAMETRES.MOIS, T_PARAMETRES.VAL_MENS
FROM T_liste_mois_années INNER JOIN T_PARAMETRES ON T_liste_mois_années.N° =
T_PARAMETRES.ANNEE
GROUP BY T_PARAMETRES.N°, T_PARAMETRES.NOM_STATION, T_liste_mois_années.ANNEES,
T_PARAMETRES.MOIS, T_PARAMETRES.VAL_MENS
HAVING (((T_PARAMETRES.N°) Between 3804 And 5406));

```

R_REGROUPEMENT_TTT : Requête Sélection					
	N°	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	VAL_MENS
	5228	RANOHIRA	1987	mars	24
	5229	RANOHIRA	1987	avril	22,4
	5230	RANOHIRA	1987	mai	20,1
	5231	RANOHIRA	1987	juin	16,3
	5232	RANOHIRA	1987	juillet	18,1
	5233	RANOHIRA	1987	août	18,7
	5234	RANOHIRA	1987	septembre	22,2
	5235	RANOHIRA	1987	octobre	22,5
	5236	RANOHIRA	1987	novembre	24,6
	5237	RANOHIRA	1987	décembre	26,2
	5238	RANOHIRA	1988	janvier	24,9
	5239	RANOHIRA	1988	février	21,9

- **CREATION D'ETATS**

Dans la présente base, les ETATS obtenus, l'ont été par sélection. Ils ont permis de recueillir les données sur des feuilles Excel. La fenêtre suivante montre des ETATS dans la BD\_TULEAR SECHERESSE ET ARIDITE.



l'exécution de l'ETAT ainsi sélectionné (R\_RRMois1971-00), permet de recueillir sur une feuille Excel les précipitations de la période 1971 à 2000 pour les stations de la zone d'étude.

The screenshot shows Microsoft Excel with the file 'R\_RRMois1971-00'. The data table is as follows:

	A	B	C	D
1	NOM_STATION	ANNEES	MOIS	SommeDeVAL_MENS
2	FAUX-CAP	1971	janvier	52,70000076
3	FAUX-CAP	1971	fevrier	189,60000061
4	FAUX-CAP	1971	mars	9,399999619
5	FAUX-CAP	1971	avril	13,30000019
6	FAUX-CAP	1971	mai	154,30000031
7	FAUX-CAP	1971	juin	22,5
8	FAUX-CAP	1971	juillet	4,800000191
9	FAUX-CAP	1971	août	7,099999905
10	FAUX-CAP	1971	septembre	1,399999976
11	FAUX-CAP	1971	octobre	4,699999809
12	FAUX-CAP	1971	novembre	10,10000038
13	FAUX-CAP	1971	décembre	73,69999695
14	FAUX-CAP	1972	janvier	0,5
15	FAUX-CAP	1972	fevrier	62,29999924
16	FAUX-CAP	1972	mars	71,90000153

Le croisement de différents ETATS a permis le calcul de l'évapotranspiration ETP dont la démarche est la suivante.

## CALCUL ETP

Le croisement de plusieurs ETATS a conduit à la création d'une 'sous base' dont les champs sont principalement :

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
NOM STATION	ANNEES	MOIS	TTT	TTT 15	I0	IOV	ST	SR	H	K	IG	ETP/mm

Ces champs sont décrits en détails en **III.3.2 APPROCHE DU BILAN HYDRIQUE**.

Les champs **TTT\_15, IOV, K, IG et ETP/mm** sont considérés comme des sorties et font référence à d'autres champs ainsi que nous le verrons pour la suite. Les autres champs sont des entrées.

**IOV** : ce champ se réfère **I0** dont il introduit un facteur de conversion (confère **I.1.2 FACTEURS DE CONVERSION** du chapitre **I GENERALITES**). La saisie d'une valeur dans le champ **I0** est évaluée par Excel au niveau de **IOV** comme indiqué ci-contre.

$$=F2/I0,017$$

**K** : se réfère au champ **H** et répond à un test conditionnel

se mettant sous la forme suivante  $f_x = SI(J2 > 50; 1; 1 + (50 - J2) / 70)$

**IG** se réfère à **I0, SR, ST** et introduit deux valeurs constantes **0.18 et 0.62**. **IG** est déduit

comme suit :  $f_x = G2 * (0,18 + 0,62 * I2 / H2)$

A partir des entrées, EXCEL évalue les différentes formules pour générer l'ETP avec

**ETP**  $= 0,4 * (L2 + 50) * (D2 / E2) * K2$

Ce programme peut se ramener à un formulaire simple d'utilisation où l'ETP est généré seulement à partir des données saisies. Ce formulaire suit la présentation suivante.

NOM STATION:	FAUX-CAP	1 sur 1596
ANNEES:	1971	Nouvelle
MOIS:	janvier	Supprimer
TTT:	27	Rétablir
TTT 15:	42,0	Précédente
I0:	17,5	Suivante
IOV:	1029,411765	Critères
ST:	13,5	Fermer
SR:	8,9	
H:	79	
K:	1	
IG:	606,0566449	
ETP/mm:	168,7002801	

Les champs calculés apparaissent sur fond grisé, il s'agit de TTT\_15, K, IOV, IG et ETP/mm. Les résultats d'ETP ici, intéressent *1596 mois*.

### **SPATIALISATION**

Enfin, les travaux informatiques dans la présente étude ont concerné l'information géographique. Ils ont permis d'élaborer :

- ⇒ La carte de la partie sud de MADAGASCAR (confère **PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**).
- ⇒ Les cartes de pourcentages par rapport à la normale (confère **III.7 RAPPORT A LA NORMALE**)
- ⇒ Les cartes d'indices de pluviosité (confère **III.6 INDICE DE PLUVIOSITE**).

L'atelier a consisté en une analyse thématique de la pluie sous les logiciels **Map-Info** et **Arc View**. Les données de référence ont été mises à notre disposition par l'INSTITUT CARTOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE DE MADAGASCAR.

## ANNEXE III : LISTES DE CONTACTS

<b>MORONDAVA</b>		
<b>NOM ET PRENOM</b>	<b>SERVICE</b>	<b>ADRESSE</b>
RAKOTONANDRASANA Jean Armand Michel	Adjoint Technique EAUX ET FORET	BP 63 Tél : 95 522 64 nrrnn-ndrasana@yahoo.fr
RAJERISON Jean Hubert	Chef de Service Régional de la Pêche et des Ressources Halieutiques	BP 154 Tél : 95 521 92 032 04 692 63
Doct.RASETA Josoa	Service Régional de l'élevage	
RAVELOSON Dieu Donné	Service Régional de la Production Agricole	
<b>TULEAR</b>		
RANDIMBY Benitany	Directeur Technique Préfecture Sud Ouest	
RAZAKA Victor	Chef de Service Technique Forestière- EAUX ET FORET	
RAJERISON Marc Eugène	Responsable Suivi Evaluation ELSO (Elevage Sud Ouest)	
AUGUSTIN	Coordinateur Service Agro MDP (Maison des Paysans)	
Jean Baptiste MENETRIER	Assistant Technique - MDP	mdp-tul@wanadoo.mg
MAHATRANGA Evariste	Chef de Service, Service Régionale d'appui à la production	
SOETY Dauphin	Service Régionale de la Météorologie	
<b>RANOHIRA</b>		
RANDRIANJAFY Arnand	Météorologie	
Emilson RASOLOHAINGO	Conseiller au développement ELEVAGE	
<b>FORT DAUPHIN</b>		
ANDRIAMANANTENA David Malko	Météo / ASECNA	BP : 48
MAMPIHAO	Chef de Service Régional Phytopathologie et Santé Animale	
Achilson RANDRIANJAFIZANAKA	Assistant de Programme PAM	
TOVONIRINA	Chef de Bureau CAIRE INTERNATIONAL	
<b>ANTANANARIVO</b>		
M. HERY	Direction Générale de la Météo	Tél : 22.402.41
M. Alain RAZAFIMAHAZO	Direction des Exploitations de la Météorologie	Tél : 22.402.41
Madame Patricia DJIVADJEE	FAO/ ANTANANARIVO	
Madame Patricia RAMAROJANA	PNUD /ANTANANARIVO	