



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE



CENTRE DE FORMATION AUX SCIENCES DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE
ET DE L'ENVIRONNEMENT

Thème: ANALYSE CLIMATIQUE DES PLUIES ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION
DANS LE SUD OUEST DE MADAGASCAR. LEURS INFLUENCES SUR LES
CULTURES DE MAIS ET DE COTON.



DESS 2002-2003

Mémoire présenté et soutenu par: Mr. Assane SENE

14 Décembre 2003

CFSIGE, 3^{ème} Partenaire international de la CHAIRE UNESCO

"Développement Intégré des Territoires"

Copyright CFSIGE 2003, tous droits réservés

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

CENTRE DE FORMATION AUX SCIENCES DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE
ET DE L'ENVIRONNEMENT

THEME :

***ANALYSE CLIMATIQUE DES PLUIES
ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION DANS LE SUD OUEST
DE MADAGASCAR. LEURS INFLUENCES SUR LES CULTURES DE MAIS ET
DE COTON.***

Mémoire présenté et soutenu par : Mr. Assane SENE

pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées,
Intitulé "Les Outils d'Observation de la Terre et de Gestion
des Informations pour l'Environnement".

Membres du Jury

Président :

Professeur RANDRIANOELINA Benjamin, Directeur de l'ESPA

Président suppléant :

Monsieur RAMANATSIZEHENA Pascal, Professeur à l'ESPA.

Rapporteurs :

Monsieur RAZANAKA Samuël Jean,

Maître de Conférence, Directeur du CNRE

Monsieur ANDRIANIRINA Michelliarson, Chef du Département

Ecosystème Terrestre au CNRE.

Examineurs :

Monsieur AMADE Joseph, Directeur Général du C.F.S.I.G.E ;

Madame RAHARIJAONA Léa, Maître de Conférence, à l'ESPA ;

Monsieur RABARIMANANA Mamy Chef de Projet au CFSIGE.

Antananarivo, Décembre 2003

Ce mémoire est un rapport personnel de stage; en conséquence il n'engage que le rédacteur à l'exclusion du CFSIGE, de l'ESPA, de l'Entreprise de tutelle ou du jury d'examen.

SOMMAIRE

- Remerciements
- Liste des notations & sigles
- Liste des cartes et figures
- Table des matières.

REMERCIEMENTS

C'est le moment, à la soutenance de ce travail bouclant mes Etudes à MADAGASCAR, de remercier vivement du fond de mon cœur :

- Le Recteur de l'Université d'Antananarivo ;
- Le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique et tout son personnel;
- Le Directeur Général du CFSIGE et tout son personnel;
- Le Directeur du Centre National de Recherche sur l'Environnement (CNRE) et tout son personnel ;
- Le Directeur Général de la Météorologie de Madagascar et tout son personnel ;
- Le Directeur de la Météorologie Nationale du SENEGAL, qui a accepté ma mise en position de stage.
- La Coopération Française ;
- Le Secrétariat Général de l'OMM .

J'adresse mes remerciements particuliers à tous les membres du Jury qui ont accepté d'examiner mon travail , me permettant de défendre ce présent mémoire.

Je remercie également tous ceux qui , de près ou de loin , ont contribué à ma réussite : particulièrement le Service des Etudes et Recherches de l'ex-DMH où j'ai reçu une importante assistance surtout de monsieur Abdalah NASSOR (actuellement à l'ACMAD) ; tous mes collègues et amis de la promotion 1998-1999 ; toute ma famille (ma femme Socé DIAGNE, nos enfants) et mes parents (Maman Rokhaya SENE) qui ont accepté de souffrir de ma longue absence au SENEGAL ; tous les ressortissants ouest-africains résidant à Madagascar (Souleymane DIAGNE et son frère Ousmane, Issa DIALLO et sa famille, la famille vieux Demba MBOW dit « Fini mort »).

LISTE DES NOTATIONS ET SIGLES

- AEDES : Association Européenne pour le Développement et la Santé
- CCD : Convention to Combat Desertification
- CFSIGE : Centre de Formation aux Sciences de l'Information Géographique et de l'Environnement
- CSE : Centre de Suivi Ecologique
- CGDIS : Commissariat Général au Développement Intégré du Sud
- CIRAGRI : Circonscription Agricole
- CNRE : Centre National de Recherches sur l'Environnement
- DMH : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie
- ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- ETP : Evapotranspiration potentielle
- FAO : Food and Agriculture Organisation
- FOFIFA : Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural
- GEREM : Gestion des Espaces Ruraux et Environnement à Madagascar
- IDNDR : Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles
- IRD : Institut de Recherche pour le Développement (ex. ORSTOM)
- LRSAE : Laboratoire de Recherches sur les Systèmes Aquatiques et leur Environnement
- OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie
- ONE : Office National de l'Environnement
- PNVA : Programme National de Vulgarisation Agricole
- PSO : Projet Sud Ouest
- SAP : Système d'Alerte Précoce
- UNCED: United Nation Conference on Environment and Development
- WWF: World Wide Fund for nature

LISTE DES TABLEAUX, CARTES ET FIGURES

- Tab. 1 : Réseau de stations météorologiques sélectionnées
- Tab. 2 : ETP décadaire dans le Sud Ouest (Annexe 2)
- Tab. 3 : Classification pentadaire de l'année(Annexe 3)
- Tab. 4 : Statistiques cotonnières (Annexe 8 -11)
- Carte 1 : Cartes isohyètes normales de pluie annuelle (1951-80)
- Carte 2 : Cartes isohyètes normales de pluie annuelle (1961-90)
- Carte 3 : Glissement des isohyètes entre les normales (1951-80) et (1961-90)
- Carte 4 : Carte agricole de la province de Tuléar (Annexe1)
- Carte 5 : Zone cotonnière de Madagascar (Annexe 7)
- Figure 1 : Découpage saison humide
- Figure 2 : Coefficient cultural
- Figure 3 : Système racinaire du maïs
- Figure 4 : Cycle végétatif du maïs
- Figure 5 : Développement d'un plant de maïs
- Figure 6 : Schéma de port d'un cotonnier
- Figure 7 : Différentes espèces de coton
- Figure 8 : Cycle végétatif du coton
- Figure 9 : Précipitation et ETP de Tuléar (calendrier agricole)
- Figure 10 : Précipitation de Sakaraha
- Figure 11 : Précipitation d'Ampanihy
- Figure 12 : E.T.P. de Beloha
- Figure 13 : Evolution du rendement de culture de coton de Madagascar
- Figure 14 : Evolution d'un rendement de culture pluviale de coton
- Figure 15 : Evolution d'un rendement de culture par zone
- Figure 16 : Indice annuel de précipitations

<u>TABLE DES MATIERES</u>	Page
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>I.- METHODOLOGIE</u>	3
I.1. <u>Base de données</u>	3
I.1.1. Données météorologiques :	3
a) Pluies	
b) ETP	
I.1.2. Données de productivités des cultures de maïs et de coton	8
I.2. <u>Calendrier agricole - Saison culturale</u>	8
I.3. <u>Cycle végétatif du maïs et du coton</u>	10
I.3.1. Généralité sur le maïs et son cycle végétatif	10
I.3.2. Généralité sur le coton et son cycle végétatif	16
<u>II.- ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSIONS</u>	21
II.1. <u>Pluviosité</u>	21
II.1.1. Variation spatio-temporelle de la pluviométrie	21
II.1.2. Variabilité inter et intra-saisonnière	25
II.2. <u>Saison culturale : date moyenne de début de la saison, longueur moyenne de la saison</u>	25
II.3. <u>Evoluton des rendements ou production des cultures de maïs et de coton</u>	31
II.3.1. Evolution des rendements de culture de maïs	31
II.3.2. Evolution des rendements de culture de coton	31
<u>III. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA SECHERESSE</u>	37
III.1. <u>Quelques définitions :</u>	
III.1.1. Sécheresse et désertification	37
III.1.2. Environnement	39
III.1.3. Impacts environnementaux	39
III.1.4. Développement durable	40
III.2. <u>Impacts possibles et mesures d'atténuation de la sécheresse</u>	40
III.3. <u>Autres propositions de mesure d'Atténuation</u>	46
<u>CONCLUSION</u>	48
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	49
<u>ANNEXES</u>	50

INTRODUCTION

Dans le cadre de la collaboration entre le CFSIGE (Centre de Formation aux Sciences de l'Information Géographique et de l'Environnement) et les différentes institutions étatiques comme le CNRE (Centre National de Recherche en Environnement) ou la DMH (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie) - Service des Etudes et Recherches, une étude agroclimatique nécessaire pour une utilisation optimale des ressources en eau, dans une zone victime de la sécheresse , m' a été proposée comme travaux de mémoire de DESS.

La partie Sud Ouest de Madagascar étant une des importantes zones cotonnières du pays et étant également maïsicole, ce mémoire, dont le sujet s'intitule **"Analyse climatique des pluies et de l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) dans le Sud Ouest de MADAGASCAR. Leurs influences sur les cultures de maïs et/ou de coton."**, s'intégrerait, sans nulle doute dans le programme GEREM (Gestion des Espaces Ruraux et Environnement à MADAGASCAR) mis en œuvre conjointement par le CNRE et l'IRD (ex ORSTOM).

La sécheresse - absence prolongée ou déficit marqué des précipitations (OMM N° 182 : Vocabulaire Météorologique International) - est une des catastrophes naturelles due à des conditions météorologiques particulières.

A MADAGASCAR, c'est en général, la partie Sud Ouest qui est la plus touchée par le phénomène de sécheresse dont la dernière manifestation la plus accentuée est celle de la saison pluvieuse 1991/92.

Pour une approche environnementaliste, un autre objectif de ce travail est alors de recenser également tous les Impacts Environnementaux de la sécheresse en vue des propositions de mesures d'atténuation et de renforcement de la résistance au danger qu'elle peut causer.

Le travail se subdivise en trois grandes parties :

- Dans **la première partie** est exposée la méthodologie utilisée pour reconstituer la base de données nécessaires : météorologiques (Pluies et ETP) et de productivité des cultures de maïs et de coton, ainsi que leur validation, la synergie calendrier agricole -cycle végétatif des cultures et une tentative de simulation de cultures pluviales du maïs et/ou du coton; si l'occasion s'y prête ;
- Dans **la deuxième partie**, nous faisons une analyse des résultats obtenus concernant la pluviosité : variabilités inter annuelles, inter et intra saisonnières ; la saison culturale en fonction de la pluie (R) et de l'ETP (date de début et longueur moyenne) ; leurs influences sur l'évolution des rendements ou de production des cultures de maïs et/ou de coton;
- Enfin **la troisième partie** relate une approche des Impacts Environnementaux induits par la sécheresse dans le Sud Ouest de MADAGASCAR et des mesures de mitigation.

Cette étude serait ainsi une contribution relative aux objectifs de la politique de développement durable du secteur primaire de MADAGASCAR (ONE, 1999) suivants :

- réduire la pauvreté et améliorer les conditions d'existence de vie en milieu rural;
- améliorer la productivité agricole;
- optimiser l'utilisation des ressources naturelles disponibles;
- protéger l'environnement.

I.- METHODOLOGIE

La production alimentaire et agricole revêt une importance cruciale pour l'économie de la plupart des pays, en particulier des pays en développement. Le climat est un facteur essentiel qui détermine les décisions concernant l'utilisation des sols, des ressources en eau, de même que la nature de la production agricole et le choix des espèces cultivables selon la zone. Espèces et variétés doivent être soigneusement sélectionnées en fonction du climat, de sa fluctuation et de son évolution. Une utilisation judicieuse de l'information agrométéorologique permettrait d'accroître la production en limitant les risques et réduisant les pertes imputables à divers facteurs dépendant des conditions météorologiques : les parasites et les maladies des végétaux, la dégradation et l'érosion du sol.

Dans cette première partie, nous essayons de constituer tout un système d'informations concernant tel ou tel élément du climat le plus souvent nécessaire pour l'assistance du monde rural par les agents d'encadrement agricole. Chaque élément du climat pourrait être un facteur limitant de la production agricole.

I.1. Base de données :

I.1.1. Données météorologiques :

Les paramètres météorologiques sont utilisés pour déterminer les principales données agroclimatiques qui sont les températures de seuil, l'évapotranspiration potentielle (ETP), le bilan hydrique potentiel (R-ETP) ou réel du sol.

Cinq paramètres principalement utilisés en agrométéorologie sont :

- la température de l'air mesurée sous abri (à 2 m du sol);
- la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air sous abri;
- la vitesse du vent (à 2 ou 10 m du sol);
- le rayonnement solaire global (et/ou la durée d'insolation journalière);
- la pluie.

L'humidité relative de l'air est fonction des deux premiers paramètres.

L'évapotranspiration potentielle, obtenue par la formule de Penman Monteith est fonction de la durée d'insolation, de la température de l'air, de l'humidité de l'air et de la vitesse du vent.

a) Pluies :

La plupart des données pluviométriques utilisées dans cette étude sont extraites de la banque des données pluviométriques du Projet "PLUVIOM" (ORSTOM, DMH et CNRE). Cependant des données complémentaires ont été collectées sur le terrain au niveau de la CIRAGRI de Tuléar pour la mise à jour

Pour notre travail, nous avons pris des données mensuelles de 1966-1995 pour donner une idée de la variabilité interannuelle, faire la cartographie et proposer le calendrier des travaux culturels. Cela a nécessité l'usage des données pluviométriques d'une vingtaine de sites (postes pluviométriques, stations climatiques et synoptiques) (cf. Tab.I-p.5).

Un traitement des données journalières s'est avéré également nécessaire pour la détermination de la longueur de la saison culturale et les dates probables de semis favorables, ainsi que pour montrer l'influence de la variabilité intra-saisonnière du climat (R et ETP) sur la production du maïs et du coton. Dans la mesure du possible une simulation de leurs cultures pluviales serait la meilleure illustration.

Une critique et homogénéisation des données en vue de les rendre fiables ont été opérées avec l'aide des techniciens spécialisés de la DMH.

b) Evapotranspiration (ETP) :

L'évapotranspiration d'une culture est la combinaison du phénomène physiologique de la transpiration et de celui, purement physique de l'évaporation d'eau à la surface d'une feuille et à la surface du sol sur lequel est implantée une culture donnée.

Tab 1 : Réseau de stations météorologiques sélectionnées

STATIONS	COORDONNES			TYPE	LOCALITE S/P
	La	Lo	Alt (m)		
Morombe	21°45	43°22	4	S	Morombe
Ankiliabo	21°43	43°53	300	P	Manja
Manja	21°26	44°20	267	CL	
Befandriana	22°06	44°52	300	CL	Morombe
Ankazoabo	22°27	44°32	428	CL	Ankazoabo Sud
Ranohira	22°33	45°24	824	S	Ihosal
Sakaraha	22°55	44°32	470	P	Sakaraha
Toliara	23°23	43°44	8	S	Tuléar
Benenitra	23°26	45°05	220	P	Betioky Sud
Betioky	23°43	44°23	263	CL	Betioky Sud
Bekily	24°13	45°19	400	CL	Bekily
Ejeda	24°20	44°32	70	CL	Ampanihy Ouest
Ampanihy	24°41	44°45	275	CL	Ampanihy Ouest
Antanimora	24°49	45°40	300	CL	Ambovombe
Androka	25°01	44°05	04	CL	Ampanihy Ouest
Beloha	25°10	45°03	100	CL	Beloha
Tsihombe	25°18	45°30	64	CL	Tsihombe
Betanty (Fx Cap)	25°33	45°32	22	S	Tsihombe
Ambovombe	25°11	46°06	135	CL	Ambovombe

En dehors des possibilités de mesures par évaporation BAC, par lysimètres, on procède le plus souvent à des calculs pour l'évaluation de ce paramètre.

Pour cela on définit une référence, l'évapotranspiration potentielle (E.T.P), qui est " l'évapotranspiration maximale d'un gazon couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau et en phase active de croissance". De cette ETP, on déduit l'ETM (évapotranspiration maximale d'une culture particulière) en multipliant cette variable par un coefficient cultural qui varie en fonction de la culture et de la date au cours de la saison.

$$E T M = K_C * E T P \quad (1)$$

E T P est calculable selon plusieurs formules dont nous retenons seulement, conformément aux pratiques recommandées de la F A O (CROPWAT), celle de Penman - Monteith.

$$E T P = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (2)$$

Où E T P = Evapotranspiration de référence [mmj⁻¹]

R_n = Radiation nette à la surface de la culture [MJm⁻²j⁻¹]

G = Flux de chaleur du sol [MJm⁻²j⁻¹]

T = Température moyenne [°C]

U₂ = Vitesse du vent mesurée à 2m du sol [m /s]

(e_a - e_d) = Déficit de la tension de vapeur

γ = Constante psychrométrique [k P_a °C]

900 = Facteur de conversion

Δ = Tangente de la courbe de tension de vapeur.

[k P_a °C⁻¹]

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{C_p P}{\varepsilon \lambda} \quad (4)$$

Où P = Pression atmosphérique [kP_a]

λ = Chaleur latente de vaporisation
= 2.45 [$MJkg^{-1}$]

C_p = Chaleur spécifique à Pression constante
= $1.013 \cdot 10^{-3}$ [$MJkg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$]

ε = Rapport de masse moléculaire vapeur
d'eau / air sec = 0.622

On donne généralement $\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} P$.

Actuellement, il est possible de déterminer l'ETP de toutes les stations synoptiques et climatiques en utilisant les logiciels performants des groupes de travail de la FAO : « FAO Land and Water Development Division » et « Agrometeorological Group Research and Technology Development Division ». Ces logiciels sont le CROPWAT et le CLIMWAT qui s'appuient sur des bases de données climatiques comme le CLICOM.

IMPORTANT : Métadonnées :

Les données météorologiques utilisées dans cette étude ne peuvent faire l'objet d'annexes dans un mémoire selon les recommandations de la DMH. Cependant leur consultation est possible auprès de l'auteur ou des responsables de la DMH.

I.1.2. Données de productivités des cultures de maïs et de coton :

En ce qui concerne le maïs, malgré la mission effectuée dans la zone, nous n'avons pas pu obtenir des statistiques de cette spéculation ni auprès de la FOFIFA-Tuléar, ni auprès de la CIRAGRI, ni avec le PSO.

Dans la zone d'Ankililoaka jusqu'à Antseva, on a noté quelques renseignements sur les rendements fournis par des paysans :

Variétés locales ~1 à 1,2 t/ha	} sur « <u>tanety</u> »
Variétés nouvelles ~1,5 t/ha	

Le rendement est un peu meilleur sur les « Baibo ».

Seules des données concernant le coton ont pu être collectées par le biais de CFSIGE-Tuléar auprès de la HASYMA. Ces données jointes concernent la quantité de production, les surfaces emblavées et les rendements par localité et zone. On s'intéressera dans la suite seulement à ce dernier paramètre pour illustrer l'influence de la variation pluviométrique saisonnière (Tableaux en annexe 8).

I.2. Calendrier agricole- Saison culturale

L'interprétation du bilan hydrique (R et ETP) d'une station nous permet de déterminer le calendrier agricole et de donner une idée de la saison culturale en procédant au système de découpage de la saison humide.

Pour cela il faut disposer des données pluviométriques (R) et des données de l'évapotranspiration potentielle (ETP). (Fig 1-p.9).

Dans cette figure on note :

- . A₁ : début de la pluie
- . A₁ – A₂ : la période préparatoire où

$$\frac{ETP}{10} < R < \frac{ETP}{2}$$

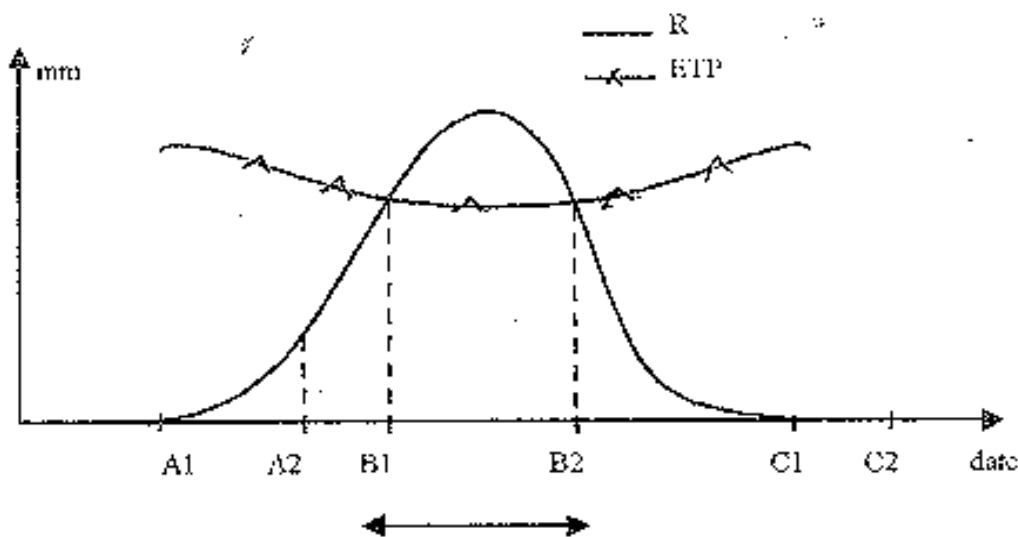


Fig.1 Découpage de la saison humide

. A_2 : le début de la période intermédiaire :

$$R = \frac{ETP}{2}$$

. B_1 : fin de la période intermédiaire et début de la période humide ;

. B_2 : fin de la période humide

.. C_1 : est la fin des pluies

. et C_2 : moment de l'épuisement des réserves en eau du sol.

D'après ce découpage, on retient 3 périodes de la saison humide :

- la période pré-humide : A_1 - B_1 où $R < ETP$ et tel que à la fin de la période le bilan est nul ;
- la période humide $B_1 - B_2$ où $R > ETP$, et le bilan positif à la fin de la période ;
- la période post humide $B_2 - C_2$ où, de nouveau $R < ETP$, le sol peut parfois rester encore humide avec les réserves durant la période humide et les pluies de fin de saison.

C'est une application à l'agriculture, en tenant compte de certains critères et facteurs limitants lors du traitement des données météorologiques, qui assisterait l'agronome (et les paysans) à déterminer les périodes de « semis à sec », de préparation des sols, etc...

I.3. Cycle végétatif du maïs et du coton :

La phase périodique de vie d'une culture est beaucoup influencée par les conditions atmosphériques de son lieu d'implantation. Le cycle végétatif d'une plante, c'est l'ensemble des différentes phases de sa vie qui commence par la germination (déboursement, shooting). Ensuite elle croit et se développe en passant par une série de stades phénologiques :

- stade végétatif ou de jeunesse : semaille, germination, levée, tallage ;
- stade reproductif : épiaison, panicule, pollénisation, floraison fécondation ;
- stade de maturité : lactification (laiteux), fructification, moisson.

Le cycle végétatif est donc fonction de la longueur des différents stades de développement et du coefficient cultural variable au cours de la saison (Fig 2. - p.11)

I.3.1. Généralité sur le maïs et son cycle végétatif

Le maïs est une plante herbacée appartenant à la grande famille des Graminea.

Système racinaire : Conformément aux caractéristiques générales de la famille, le maïs est dépourvu de racine pivotante ; son chevelu racinaire s'étend dans toutes les directions et se confine principalement à la couche superficielle du sol (Fig 3.-p.12). Le degré de pénétration racinaire est conditionné par le bilan nutritif et le système de drainage (jusqu'à 2,5 m de profondeur).

Appareil végétatif : A maturité, les variétés précoces mesurent 90 cm, 30 à 50 cm pour les variétés *Zea mays everta*; mais la taille habituelle du maïs est entre 2 à 3 m ; les maïs tropicaux et subtropicaux peuvent atteindre 6 à 7 m.

La croissance et le développement de la plante de maïs sont influencés par le climat : On le cultive sous une gamme de climats de tempérés à tropicaux.

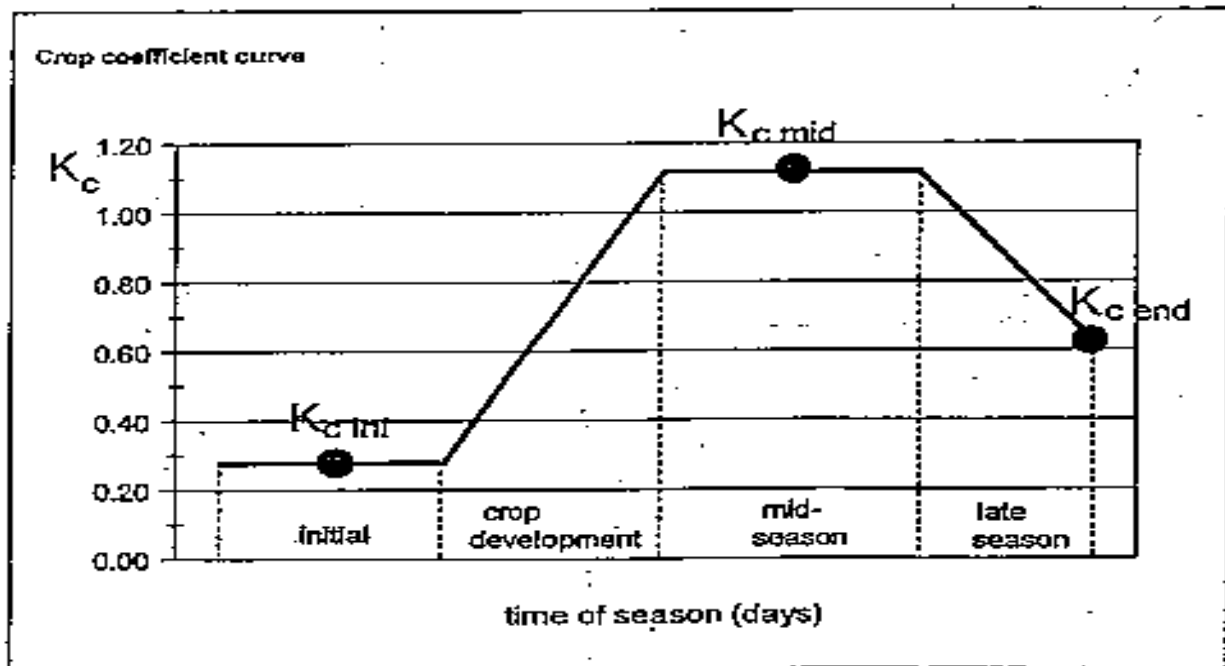
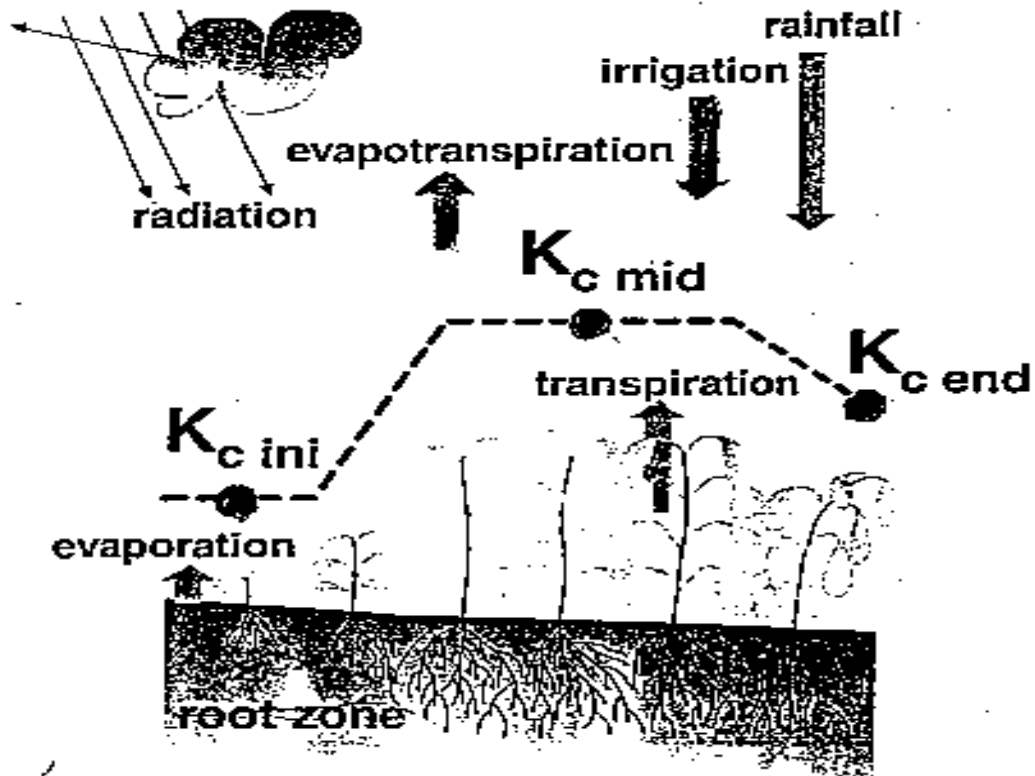


Fig.2: Coefficient Cultural ([5])



Fig .3 : Système racinaire du maïs ([7])

Les facteurs limitant la croissance du maïs sont : la température, les précipitations, la lumière du jour, les radiations solaires, l'humidité et la fertilité du sol, sans oublier l'interaction de tous ces facteurs.

Le maïs est spécialement sensible à la contrainte hydrique durant la floraison et les coups de sécheresse peuvent occasionner une réduction de rendement de 30 à 50 %.

En condition d'humidité adéquate du sol, de présence d'un substrat nutritif et de mise en valeur du sol, l'intensité de la lumière sur la culture semble être un facteur limitant pour la végétation et le rendement.

Pour **le cycle végétatif** (Fig 4 et 5- p. 14 et 15) le coefficient cultural (K_c), qui met en rapport les besoins en eau (ETM) avec l'Evapotranspiration de référence (ETP), est donné suivant les différents stades de croissance du maïs (FAO, 1987) :

- stade initial (K_c ini) : 0,3 à 0,5 ; pendant 15 à 30 jours ;
- stade développement : 0,7 à 0,85 pendant 30 à 45 jours ;
- stade intermédiaire (K_c mid) : 1,05 à 1,2 pendant 30 à 45 jours
- stade final (K_c end) : 0,8 à 0,9 pendant 10 à 30 jours
- et au moment de la récolte $K_c = 0,55$ à 0,6.

La longueur du cycle est fonction de la variété (cultivar) utilisée. En raison d'une présence particulièrement longue dans différentes régions d'Afrique, le maïs s'est adapté aux diverses écologies, donnant naissance à des races de maïs appelées variétés locales.

Dans le Sud Ouest de MADAGASCAR d'autres variétés de maïs (100 à 120 jours) sont vulgarisées : BAKOLY, IRAT200 et VOLASOA

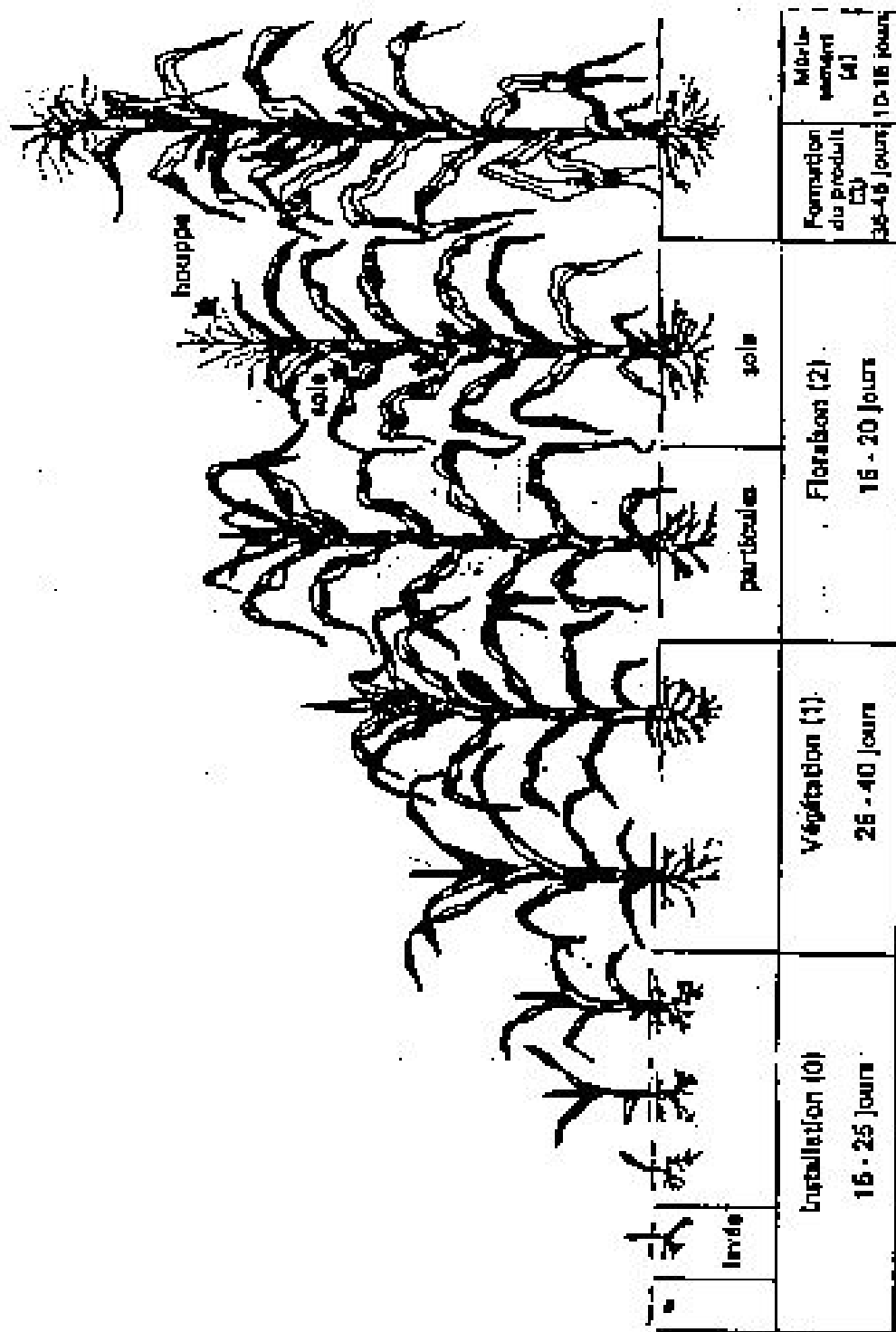


Fig. 4

Cycle végétatif du maïs (d'après Hanway, 1966)

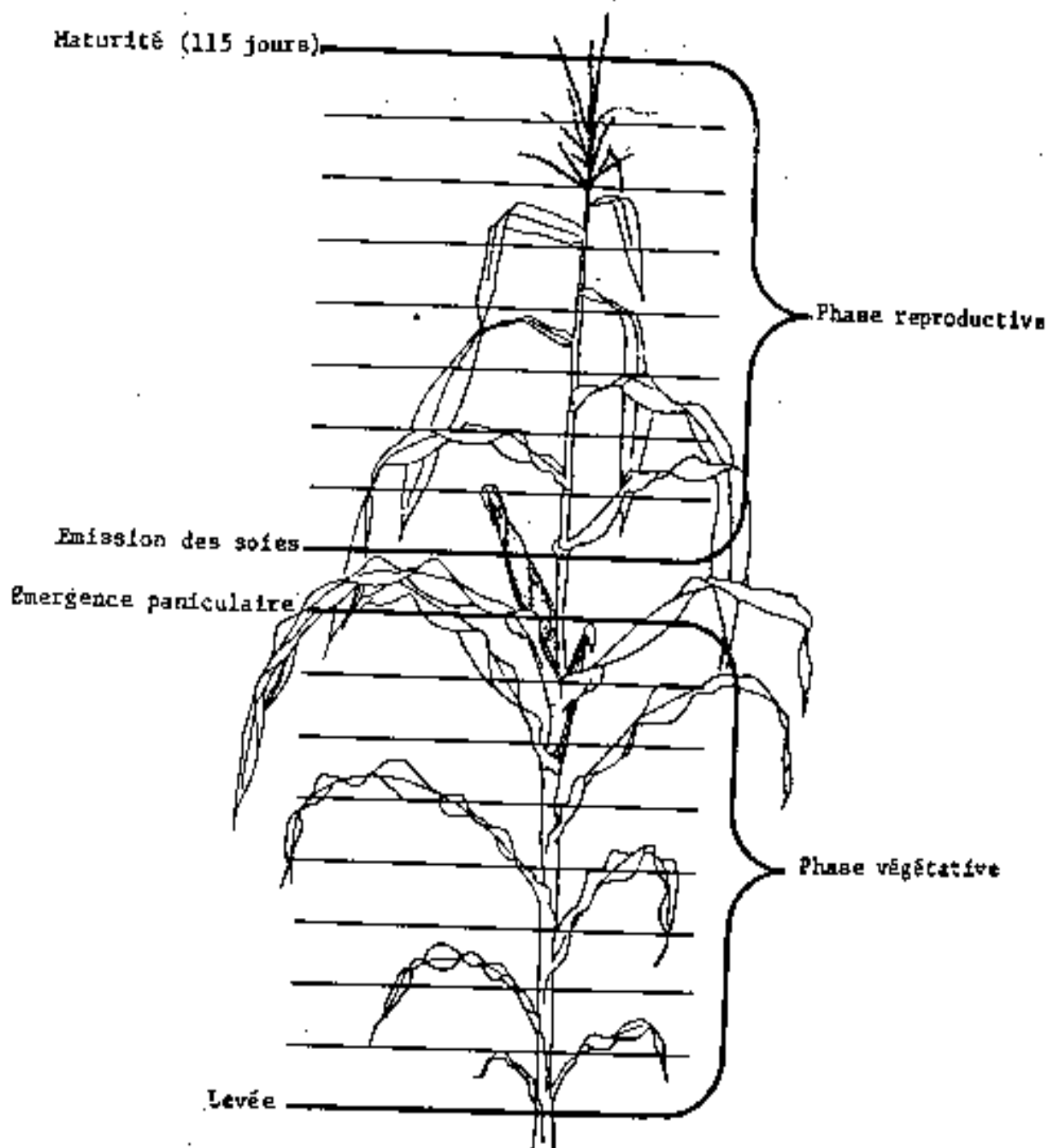


Fig. 5: Stades phénologiques d'un plant de maïs ([7])

Le maïs en général est utilisé à trois fins principales

- 1) produit de consommation ;
- 2) fourrage pour les animaux d'élevage ;
- 3) matière première pour des produits industriels.

I.3.2. Généralité sur le coton et son cycle végétatif :

Les cotonniers sont des plantes vivaces et arbustives, mesurant 50 cm à 5 m de hauteur selon les espèces et variétés.

La partie souterraine du cotonnier comprend une racine pivotante s'enfonçant verticalement (jusqu'à 2 m) et tout un système de ramifications latérales explorant le sol. Elle réalise la fixation de la plante et assure la plus grande partie de son alimentation.

La partie aérienne supporte la récolte. Elle est composée d'une tige principale à croissance verticale et rameaux fructigènes prenant naissance à ses nœuds. Les cotonniers ont des ports différents suivant les espèces, les variétés et types de culture (Fig. 6- p.17)

Le cotonnier est du genre *Gossypium* (Malvacées). Les espèces cultivées sont celles dont le revêtement pileux de la graine est utilisé par l'homme :

- les espèces dites diploïdes : *Gossypium herbaceum* et *G.arboreum*
- les espèces dites tétraploïdes : *G. hirsutum* et le *G. barbadense* (fig. 7a, b, c et d- p.18).

Les facteurs limitants d'un rendement maximal (bonne croissance de la plante) sont : d'une part les caractéristiques génétiques de la plante ; d'autre part les facteurs atmosphériques : les précipitations (humidité du sol), la température, la lumière, structure du sol, nutrition minérale, intervention des ravageurs et des parasites.

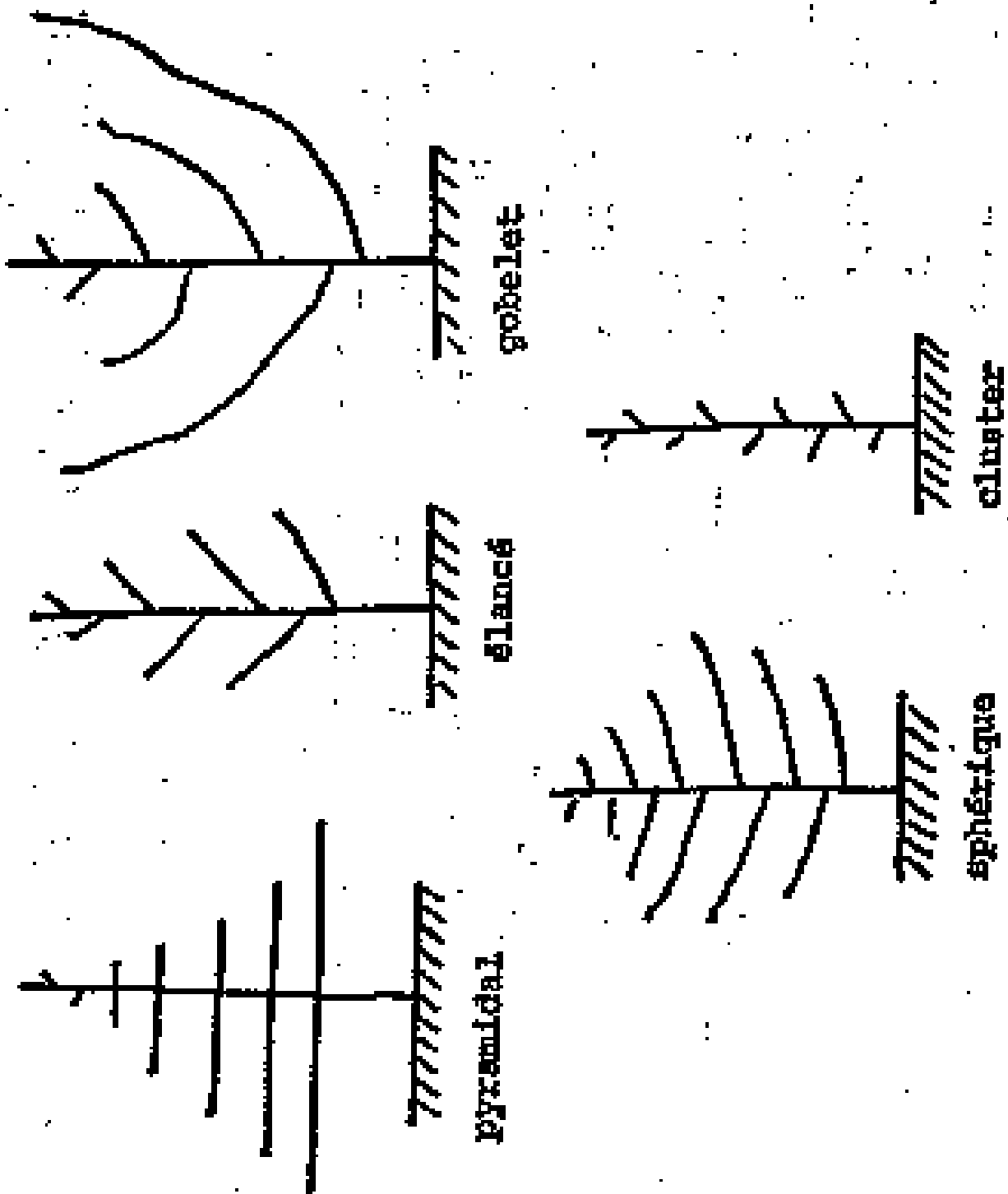


Fig. 6 : Schémas des ports du cotonnier ([12])

LE COTONNIER

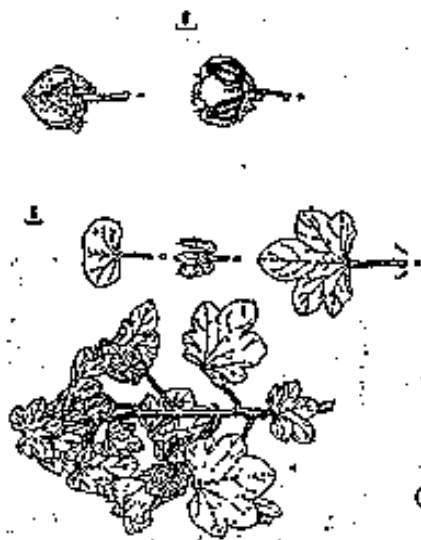


① — *Gossypium arboreum* L. : A, plante, B, feuille, C, cotylédons, D, bouton floral, E, bouton floral, I, capsule verte, J, capsule mûre.

LE GENRE GOSSYPIMUM



② — *Gossypium hirsutum* L. : A, plante, B, feuille, C, cotylédons, D, bouton floral, E, bouton floral, I, capsule verte, J, capsule mûre.



③ — *Gossypium herbaceum* L. : A, plante, B, feuille, C, cotylédons, D, bouton floral, E, bouton floral, I, capsule verte, J, capsule mûre.



④ — *G. barbadense* L. : A, plante, B, feuille, C, cotylédons, D, bouton floral, E, bouton floral, I, capsule verte, J, capsule mûre.

Fig.7 :Différentes espèces de coton([12])

La température et le maximum d'eau sont les facteurs climatiques les plus prépondérants à la floraison.

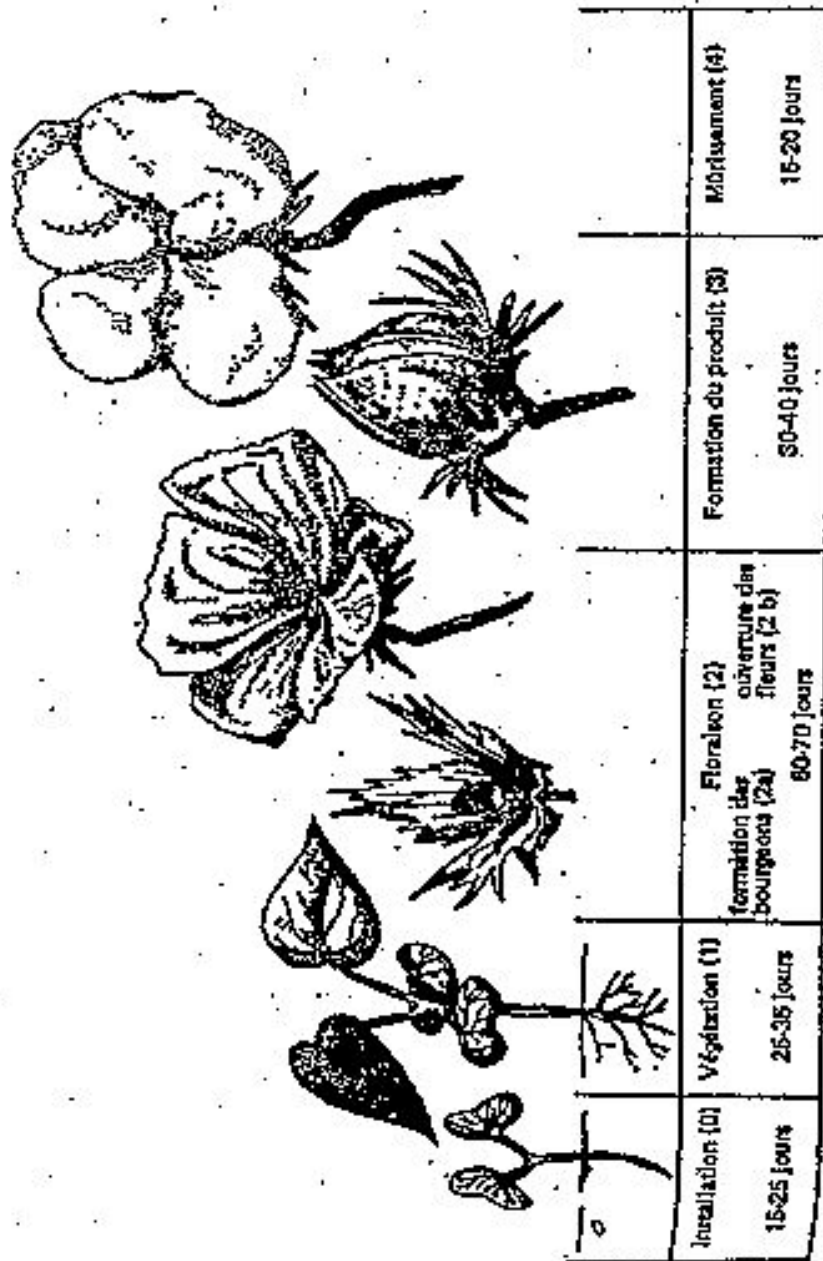
Concernant le **Cycle végétatif** (Fig.8 – p.20) les valeurs du coefficient cultural sont les suivants (FAO, 1987) :

- Stade initial (Kc_{ini}) = 0,4 à 0,5 pendant 20 à 30 jours ;
- Stade développement : 0,7 à 0,8 pendant 40 à 50 jours ;
- Stade intermédiaire (Kc_{mid}) : 1,05 à 1,25 pendant 50 à 60 jours ;
- Stade de la récolte (Kc_{end}) : 0,8 à 0,9 pendant 40 à 55 jours
- Et au moment de la récolte : $Kc = 0,65$ à 0,7.

Le développement du cotonnier du semis à la récolte s'accomplit selon les variétés entre 140 jours dans les conditions les plus favorables et avec des cultivars précoces, et 7 mois.

A Madagascar les Variétés les plus spéculées sont : l'Acala, le Stroneville (surtout pluvial). Cependant les recherches menées par la FOFIFA et d'autres partenaires de la HASYMA permettent la sélection d'autres cultivars. Le croisement de « Reba TK1RCA » et « ACALA 1517C + ACALA 4 – 42 USA » a donné « SAMIR730 MSCAR » par exemple.

De nombreuses variétés américaines ont joué un rôle important dans les travaux de sélection. Il semble que l'exploitation des croisements entre variétés africaines et variétés américaines constitue une voie encore pleine de possibilité pour l'avenir.



Cycle végétatif du coton (d'après P.T. Walker)

Fig . 8:

II. ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

Cette analyse devrait se faire sur la base de longues séries chronologiques, continues, au moins sur une période de 30 ans.

Ce qui malheureusement n'est pas le cas pour certaines zones de MADAGASCAR, malgré l'existence du projet PLUVIOM Banque de données pluviométriques (ORSTOM, DMH, CNRE) qui a permis tout de même de combler quelques lacunes.

Il a fallu faire beaucoup de déplacements pour collecter le maximum de données existantes pour les stations du Sud-Ouest ; à la DMH, au LRSAE, à la HASYMA, sur le terrain parfois.

Vue la non existence d'une véritable banque de données exploitables, nous étions obligés de reprendre la saisie pour le complément maximum de données, revoir le contrôle et vérification des données (pièces techniques à l'appui).

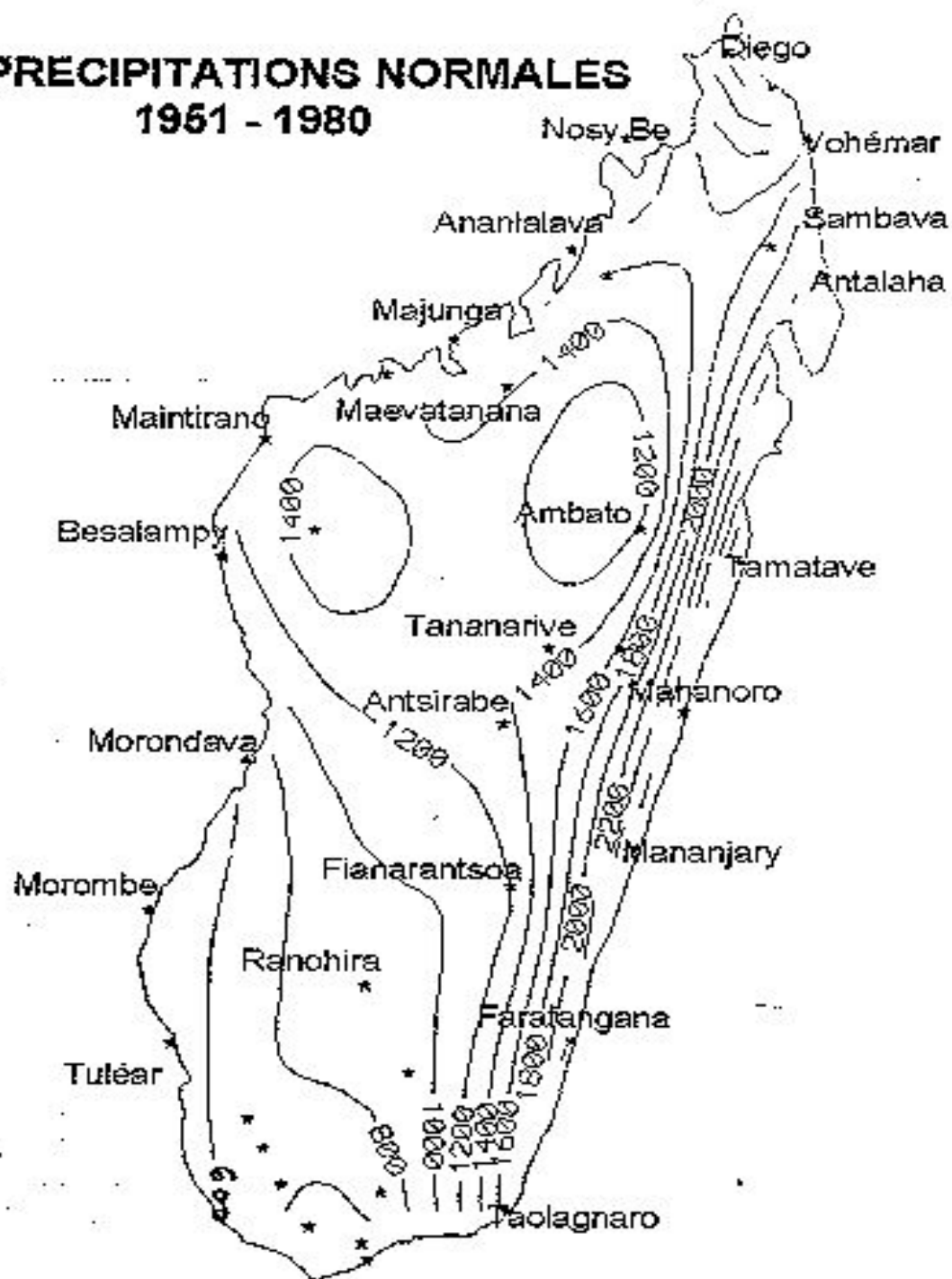
II.1. Pluviosité

II.1.1. Variation spatio-temporelle de la pluviométrie

Pour cette variation nous avons d'abord montré par une cartographie la situation particulière du Sud MADAGASCAR, marquée par la faiblesse de pluviométrie annuelle. L'analyse des données et des isohyètes nous montrent que la pluviométrie annuelle varie entre 350 mm et 800mm, dans le sens d'un gradient d'axe Nord-Est / Sud-Ouest (Carte n°1 et 2- p.22 et 23).

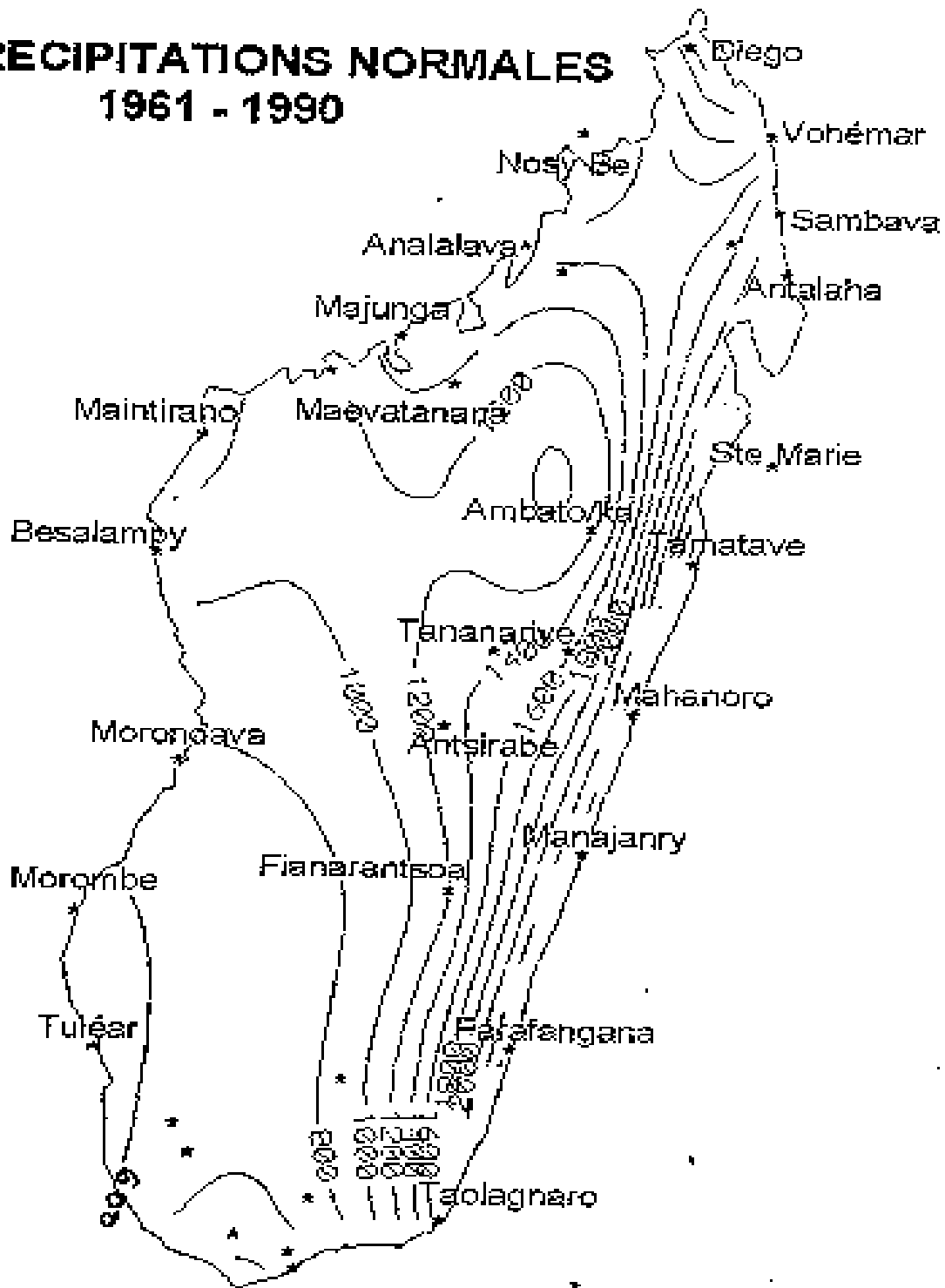
En référence aux normales 1951-80 et 1961-90, on note un glissement des isohyètes dans la direction de l'axe Nord-Est / Sud-Ouest comme l'indique la flèche (carte n°3 P.24).

PRECIPITATIONS NORMALES 1951 - 1980



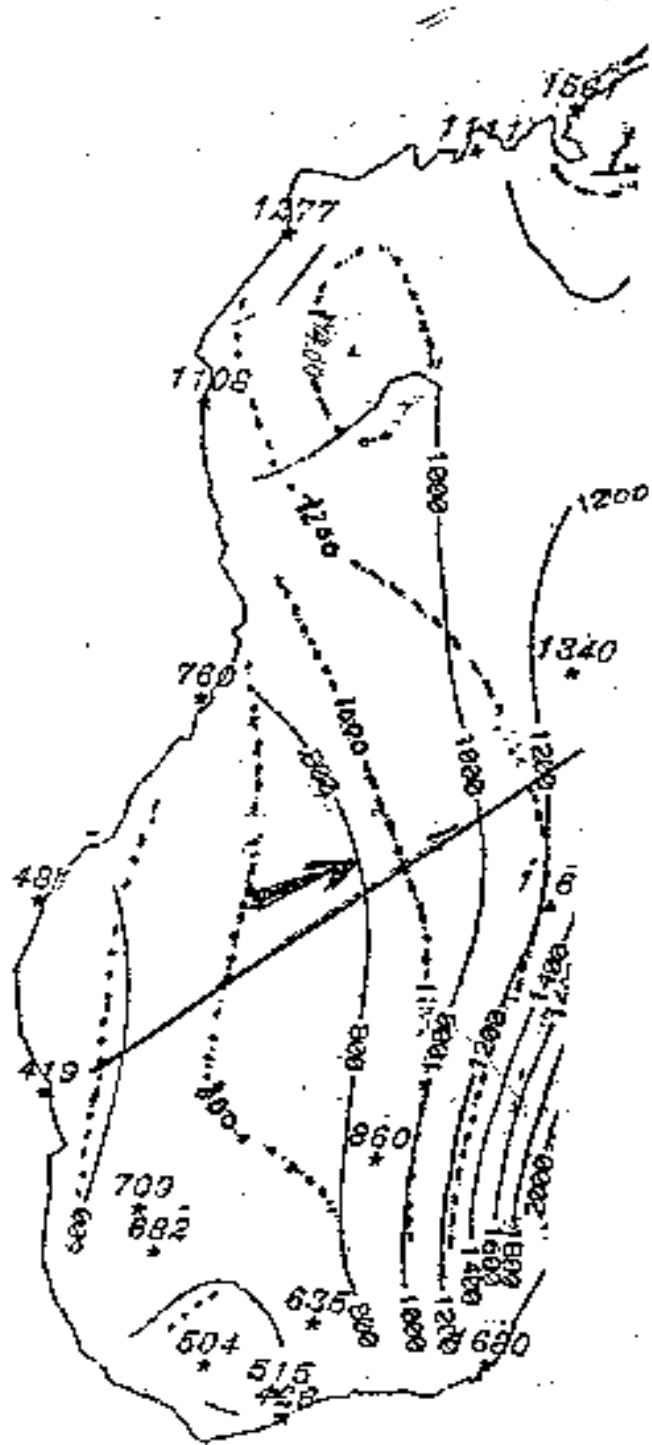
Carte 1 :

PRECIPITATIONS NORMALES 1961 - 1990



Carte 2 :

Glissement des isohyètes
PPRECIPITATIONS NORMALES de 1951-1980 et 1961-90



Carte 3 :

II.1.2. Variabilité inter et intra-saisonnière

Cette analyse est beaucoup plus exigeante en données, car nécessitant des données journalières, au moins pentadaires. Dans la banque de donnée consultée, il se trouve souvent qu'on a seulement le total mensuel. C'est le cas pour la plupart des sites pour lesquels notre étude devrait s'intéresser. Les deux stations synoptiques Tuléar et Morombe soumises sous l'influence côtière ne sont pas suffisantes pour notre objectif.

Les stations de Tuléar, de Sakaraha et Ampanihy ont été étudiées respectivement pour les zones de culture de cotons et de maïs.

- Tulear : sur la période 1961-90 (normale), on note que les pluies commencent timidement en octobre et se prolongent jusqu'en avril, avec un maximum pentadaire à la 2^{ème} pentade de janvier (Fig.9- p.26) .
- Sakaraha : période 1953-80 (moyenne), on note une évolution pluviométrique plus régulière que Tuléar, avec un maximum de pluie pentadaire en fin janvier ; la saison pluvieuse utile s'étend de décembre à mars également.(Fig.10- p. 27)
- Ampanihy : on ne dispose que d'une moyenne de 10 ans sur la période 1961-90 (1985-95). Une série de données 1930-63 a été obtenue et analysée, mais par rapport aux dernières normales il y a rupture de la chronologie de 10 ans. Les deux courbes sont illustrées en (Fig. 11 a et b- p. 28).

La répartition est très irrégulière avec des extrêmes :maxima de 50 mm le 16 janvier et 28 mm vers le 14 mars ; des minima de 3 mm vers les 16 et 26 février.

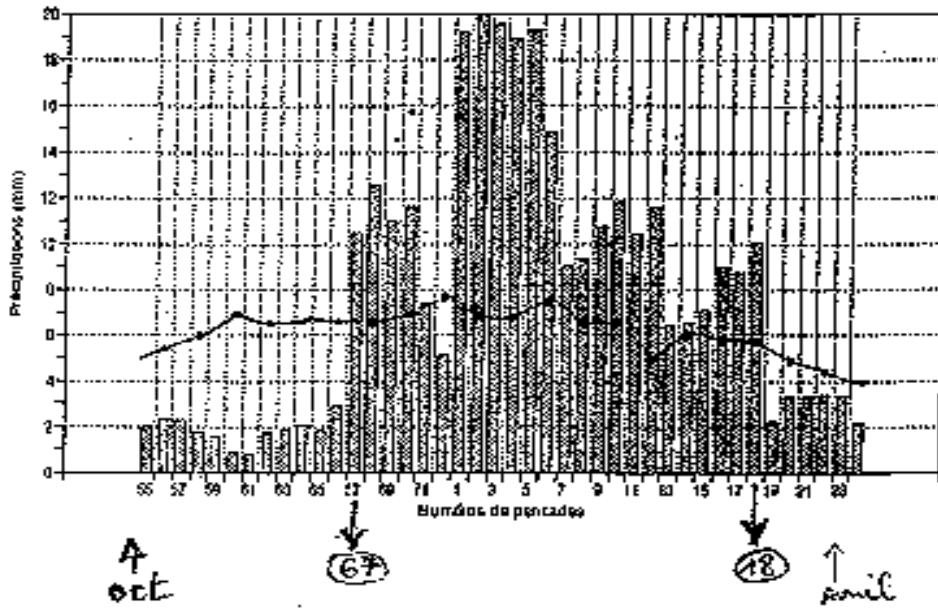
II.2. Saison culturale : date de semis, longueur moyenne de la saison.

Pour la détermination des dates de semis nous n'avons pas pû atteindre l'objectif visé à 100 % faute de longues séries de données, surtout les données de l'ETP.

Aucun des scénarios envisagés, ne nous conduit à la possibilité d'arrêter un calendrier cultural fiable pour les sites des zones maïsicoles et cotonnière comme Ankililoaka (Antseva), Andranovary, Sakaraha ou Tsihombe.

PRECIPITATION TULEAR

Pentades normales (61-90)



TULEAR

ETP

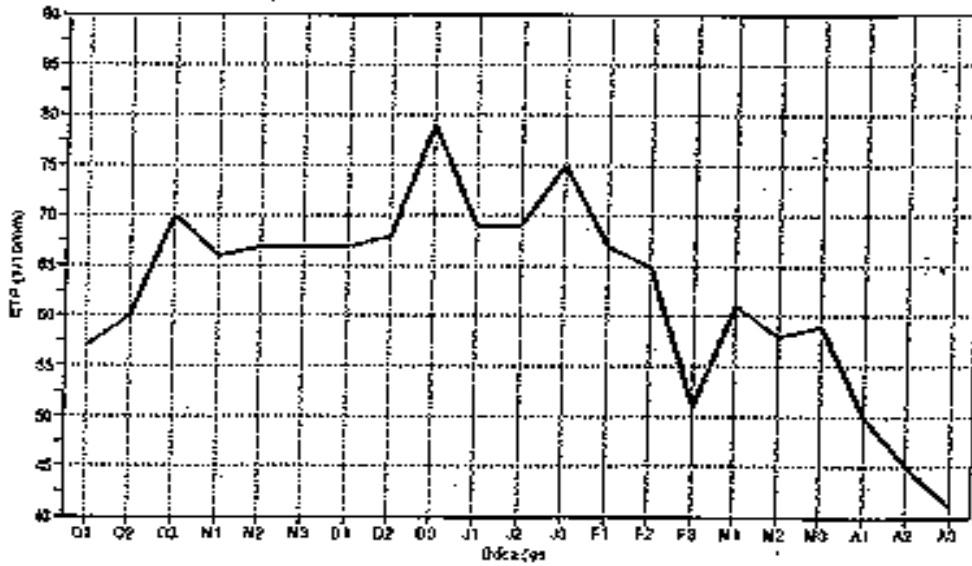


Fig. 9 : Calendrier agricole de Tuléar

PRECIPITATION SAKARAH

Pentades Moyennes (53-80)

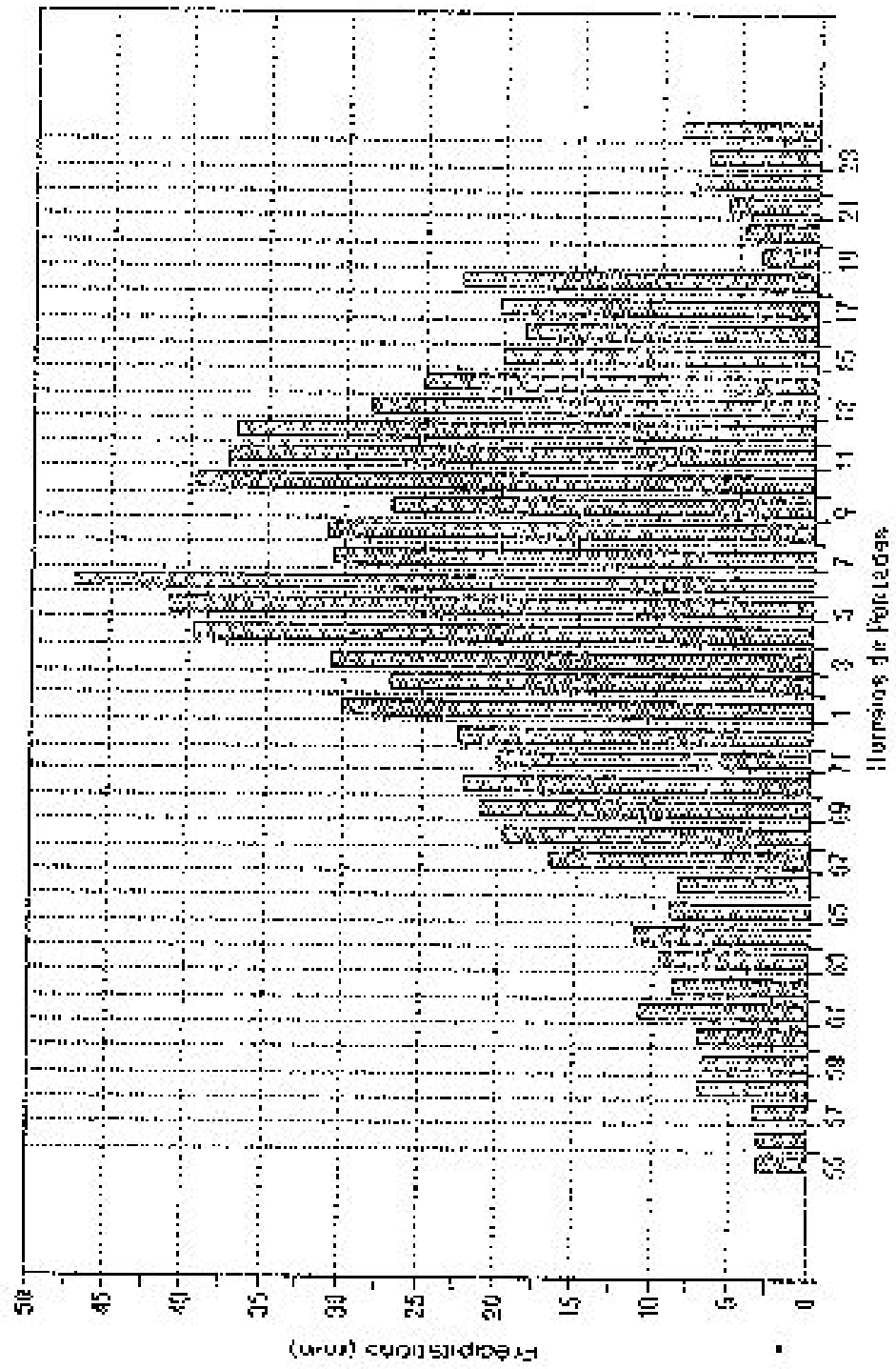


Fig. 10

AMPANIHY: PRECIPITATION MOYENNES PENTADES

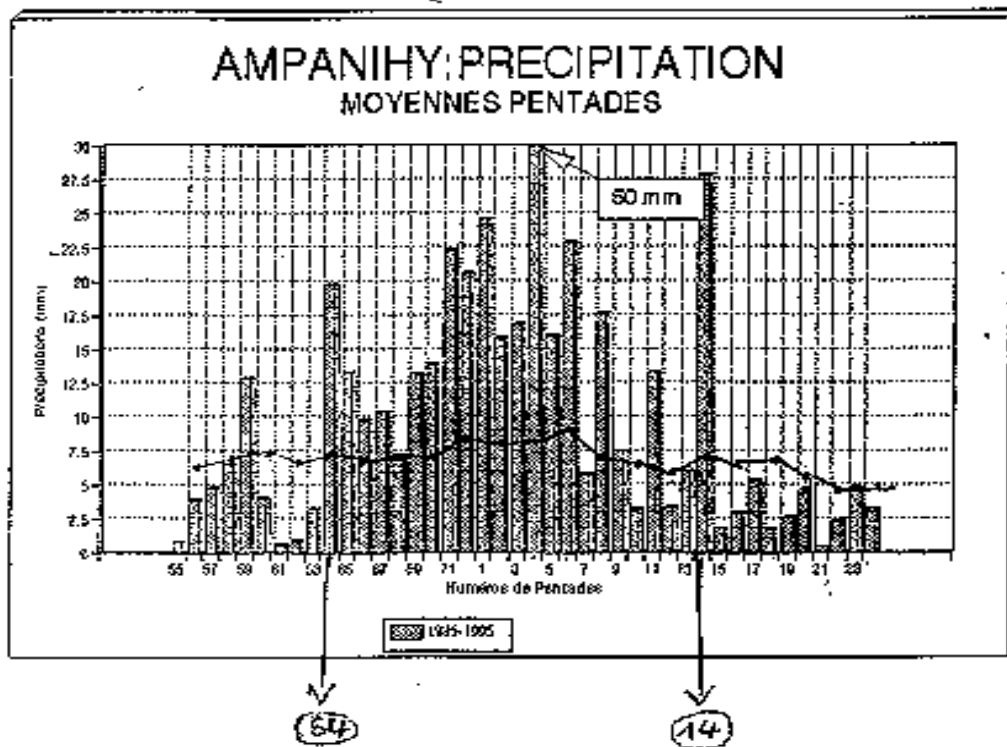
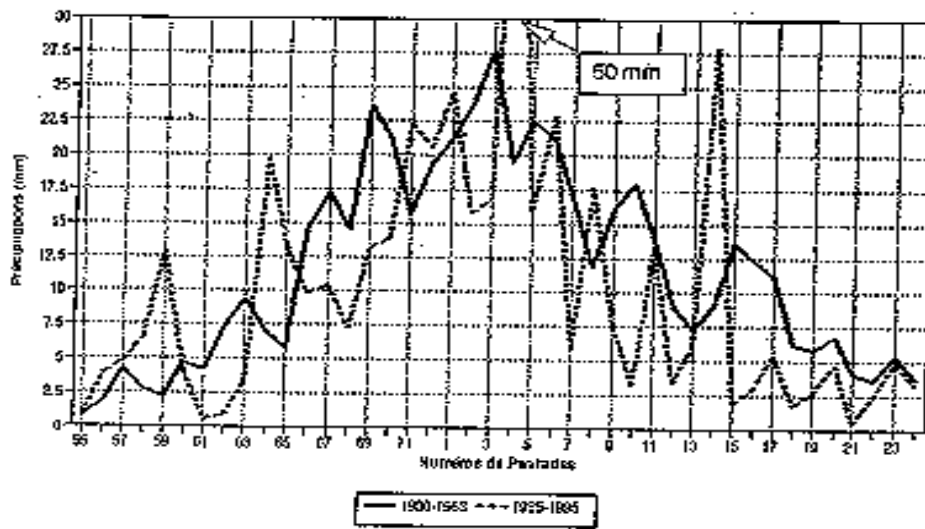


Fig.11 : Calendrier agricole d'Ampanihy

- le cas de Morombe : les données de l'ETP existent, mais on n'a pas disposé d'une série de données journalières de la période 1961-90.
- Le cas d'Ampanihy : retenu pour la zone de maïs : il y a non seulement rupture dans la série de données pluviométriques, mais on ne dispose pas de paramètres météorologiques permettant le calcul de l'ETP de la station.
- Pour SAKARAHHA : c'est l'ETP qui nous manque. On ne peut prendre celles de Tuléar car SAKARAHHA, bien que proche, est beaucoup plus continentale.
- Par contre pour Ankililoaka : on aurait pu utiliser l'ETP de Tuléar, mais il n'existe pas une longue série pour ce poste qui serait la meilleure illustration étant maïsicole et cotonnière.

Finalement une esquisse a été retenue pour les stations de Tuléar et Ampanihy. Pour Ampanihy nous avons utilisé l'ETP de Beloha (Fig. 12- p.30).

Résultat :

Pour Tuléar : Les pluies utiles pour les cultures saisonnières sont de début décembre à fin mars : la date de semis serait optimale dans la 1^{ère} pentade de décembre même avec une pluie de 10 à 12 mm, la période humide se termine en dernière pentade de mars. Des variétés culturales de 110 à 120 jours pourraient sans problème boucler leur cycle (Fig. 9- p.26).

Pour Ampanihy : Deux scénarios seront considérés avec la série de données 1931-60 et la série 1985-95 considérée par ce que seulement disponible pour la période 1961-90.

Pour la série 1985-95 la période humide s'étale de la 64^{ème} pentade (16 Novembre) à la 14^{ème} pentade (6 Mars). Des semis à sec opérés avant le 21 Octobre pourraient subir l'effet d'un trou de sécheresse. Ce qui obligerait les paysans à faire des resemis en humide.

Des variétés à cycle de 110 à 120 jours pourraient boucler leur cycle végétatif sans problème (Fig. 11- p.28)

BELOHA ETP

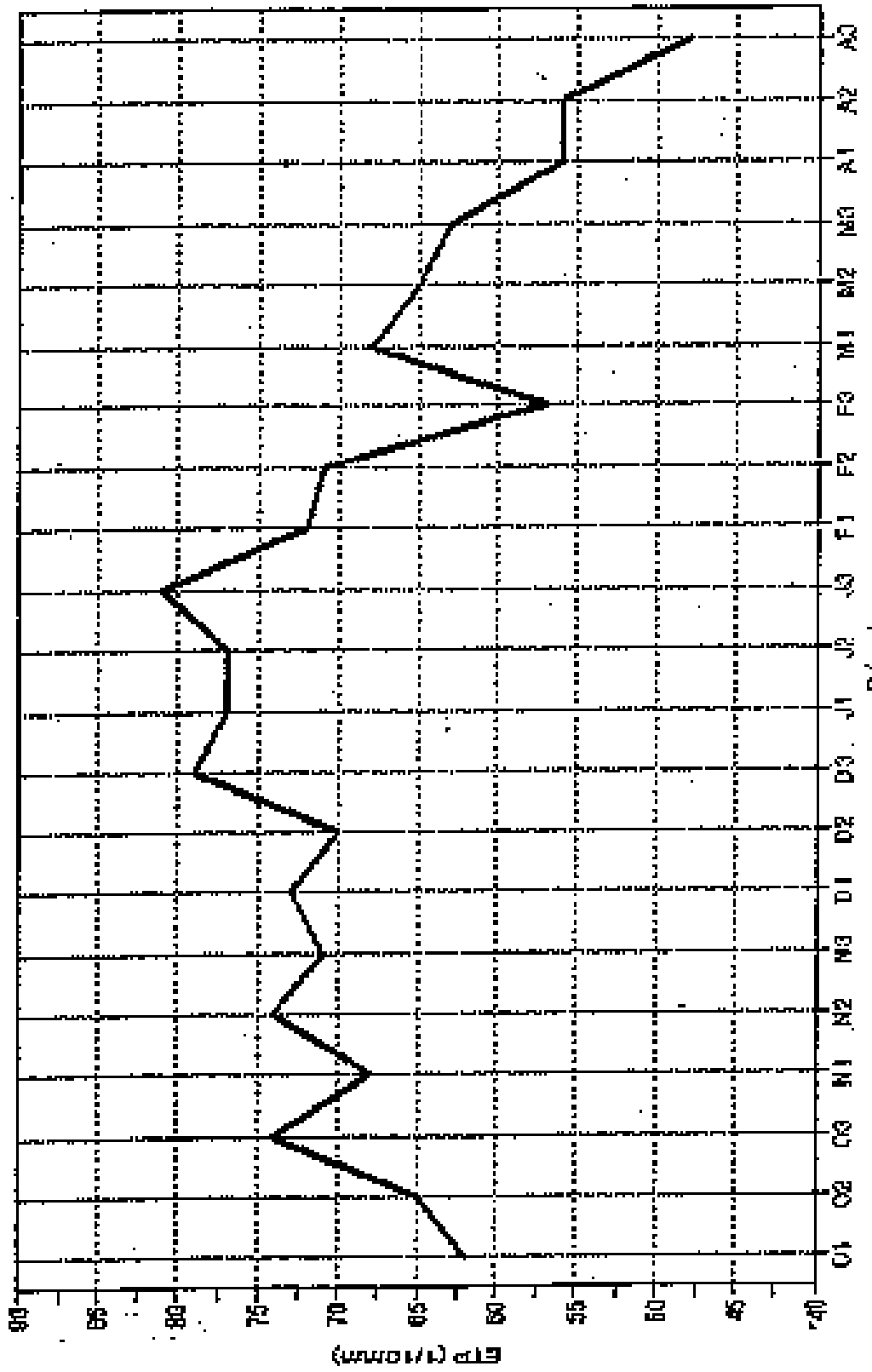


Fig. 12

II.3.- Evolution des rendements ou production des cultures de maïs et de coton :

II.3.1. Evolution des rendements de culture de maïs

On n'a pas pu accéder à des données statistiques de maïs, malgré une mission effectuée dans le Sud Ouest et les visites dans les différents services. Le PSO dispose seulement de données sur les surfaces emblavées et des généralités sur la quantité de production.

Les quelques données de rendements obtenues sur le terrain d'étude, de certains paysans, ne nous permettent pas d'illustrer l'évolution des rendements de maïs .

II.3.2. Evolution des rendements de culture de coton :

Grâce aux données statistiques obtenues auprès de la HASYMA, nous avons pu illustrer par des graphiques l'influence de la variation inter saisonnière de la pluviométrie sur les rendements.

Si on considère les rendements obtenus de 1966-95, pour tout MADAGASCAR, on note une baisse entre 1971 et 1995. (Fig. 13- p. 32) .

Par contre avec les rendements de culture pluviale unique, analysés dans le Sud-Ouest, on remarque bien que son évolution est bien influencée par la pluviométrie saisonnière (Fig. 14- p.33).

On observe de bons rendements pour la saison 1988-89 et de mauvais rendements pour la saison 1991/92. Tant pour les cultures pluviales du Sud Ouest (moyenne de Tuléar), que pour les cultures de coton par zone dans le Sud Ouest (Fig. 15- p.34) .

L'évolution des rendements de culture de coton de la zone d'Ankililoaka, illustre mieux cette influence de la pluviométrie.

Pour mieux justifier cette opinion, on s'est basé aussi sur des études antérieures des précipitations dans le Sud Ouest de MADAGASCAR .

Evolution des Rendements culture de coton(Production nationale)
(Hasyma)

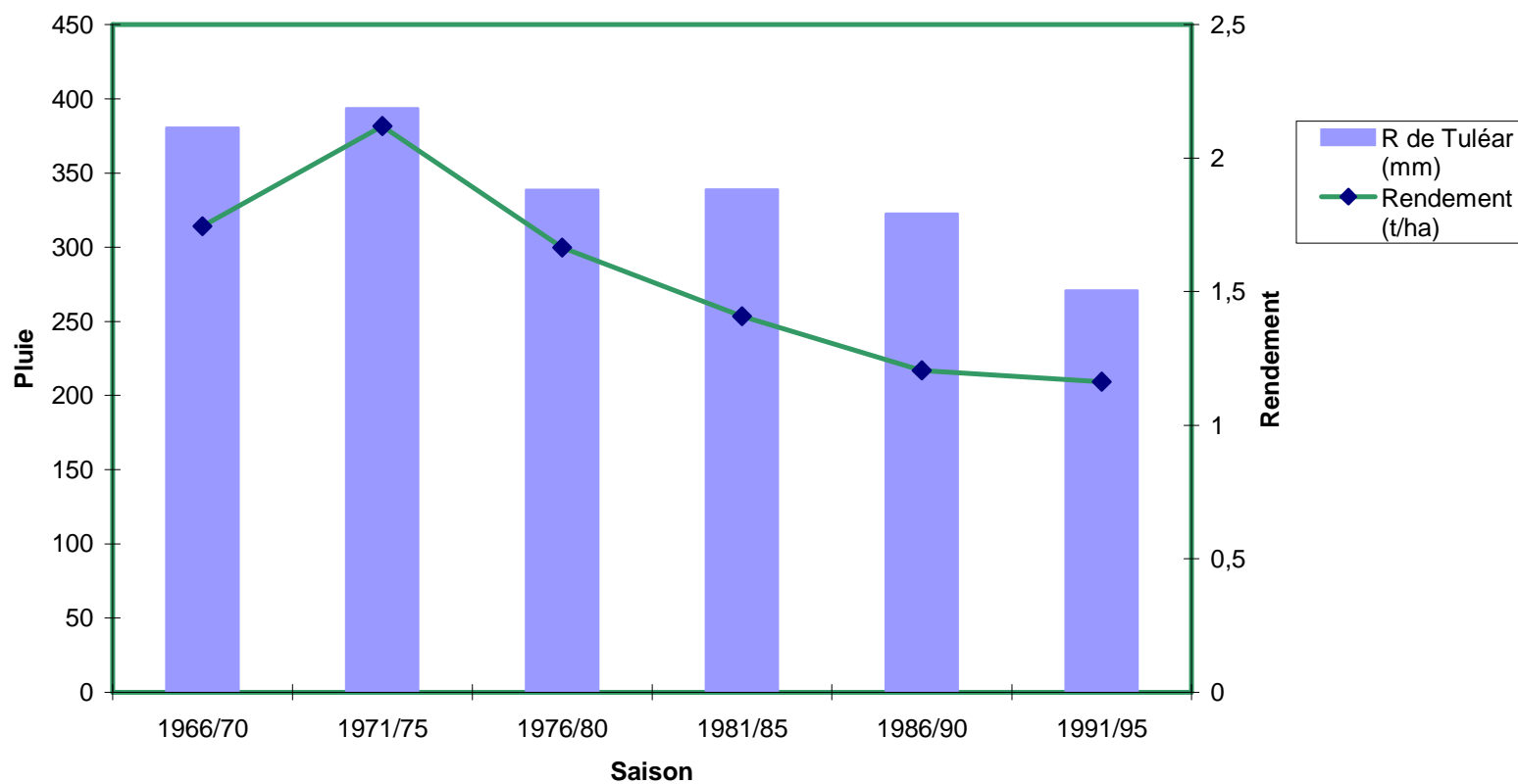


Fig. 13

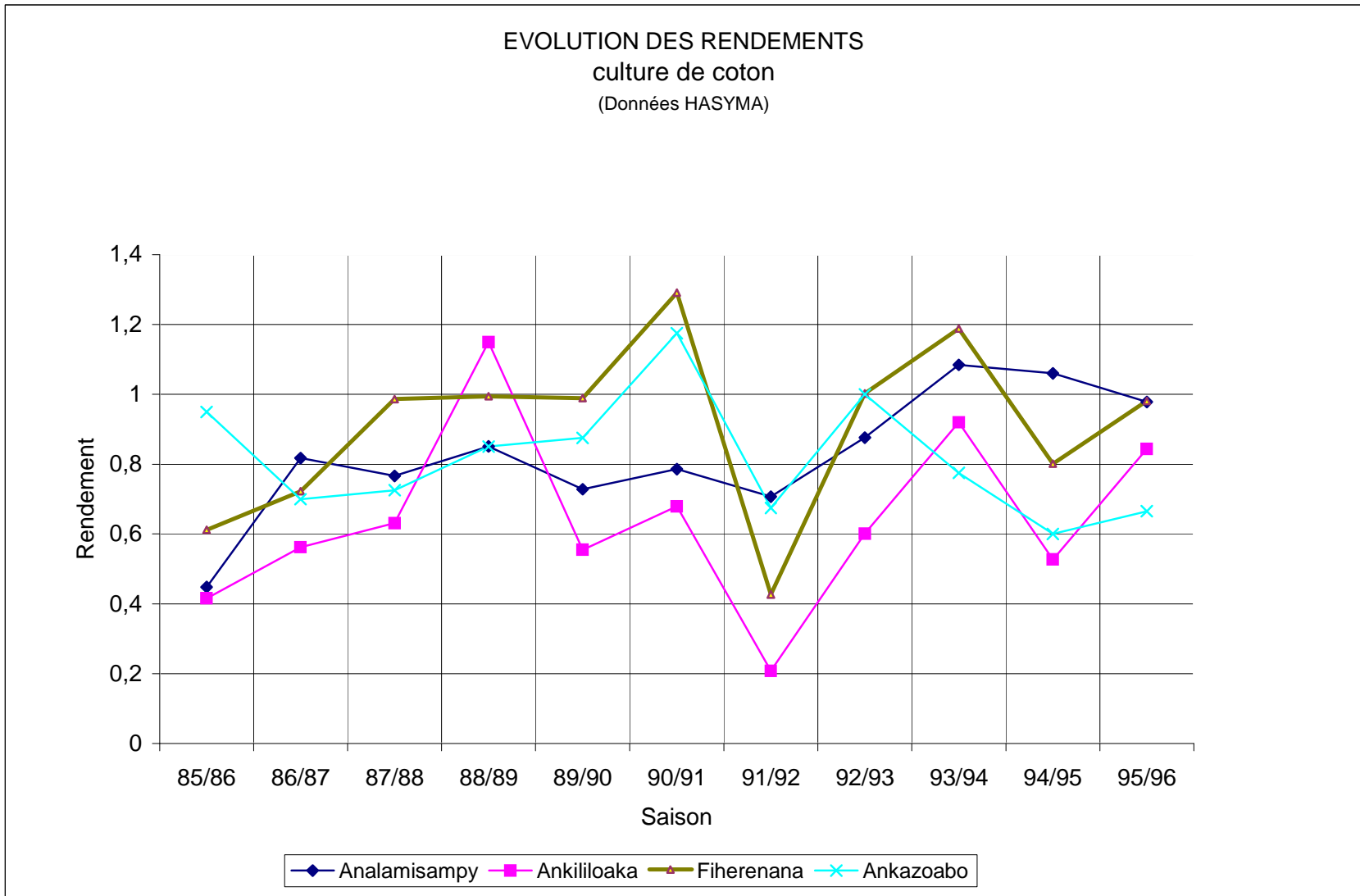


Fig. 14

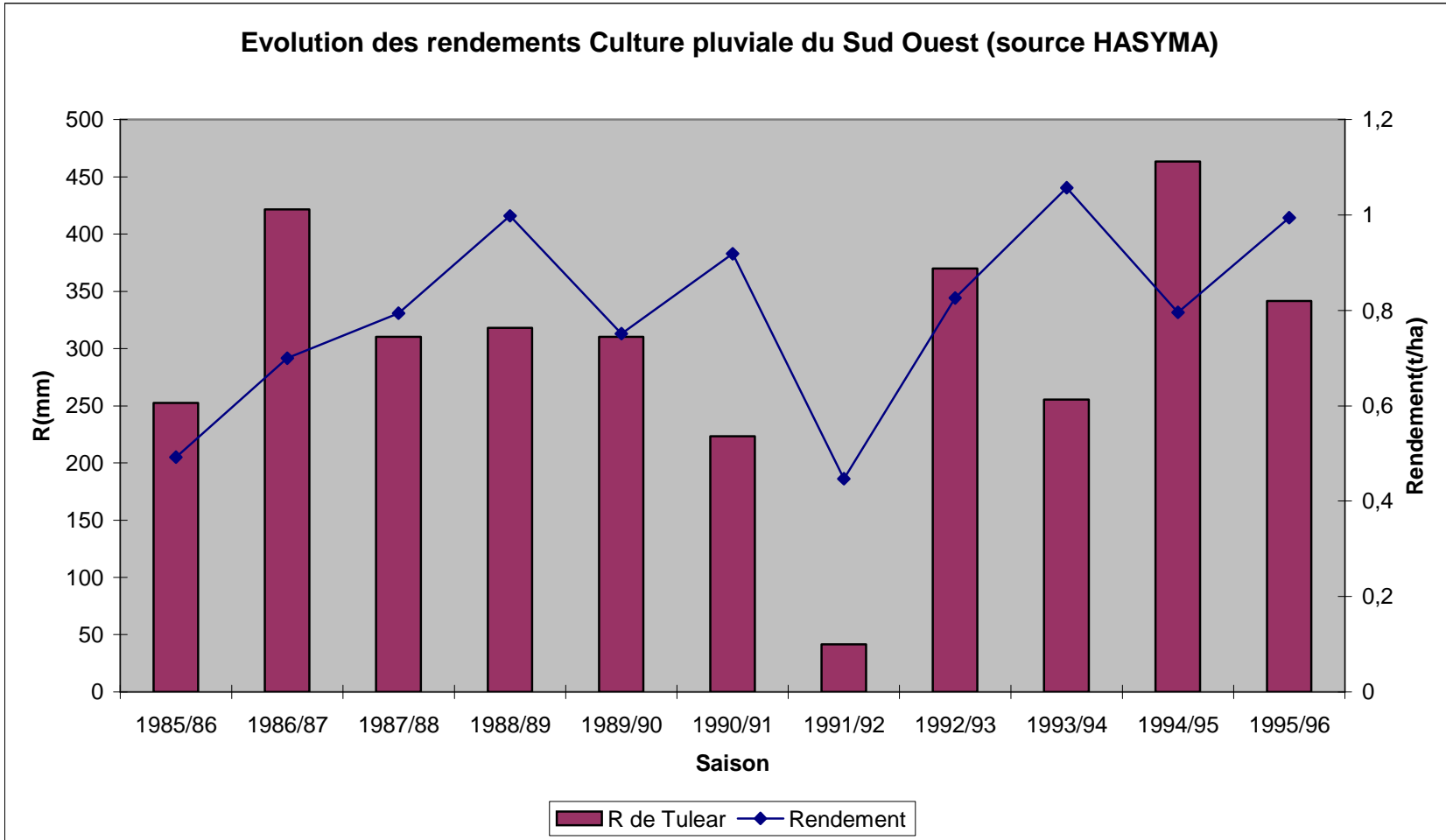


Fig. 15

Dans l'Etude de Luc Ferry et al, les écarts au vecteur régional des indices annuels de précipitations, ont été déterminés (Fig.16). On note une forte variabilité des pluies annuelles sur la région, les années pluvieuses et de sécheresse sont bien observées.

Malheureusement les données de rendements sont obtenues seulement sur la période 1986-96. De ce fait seule la saison 1991/92 particulièrement sèche apparaît dans ce graphique.

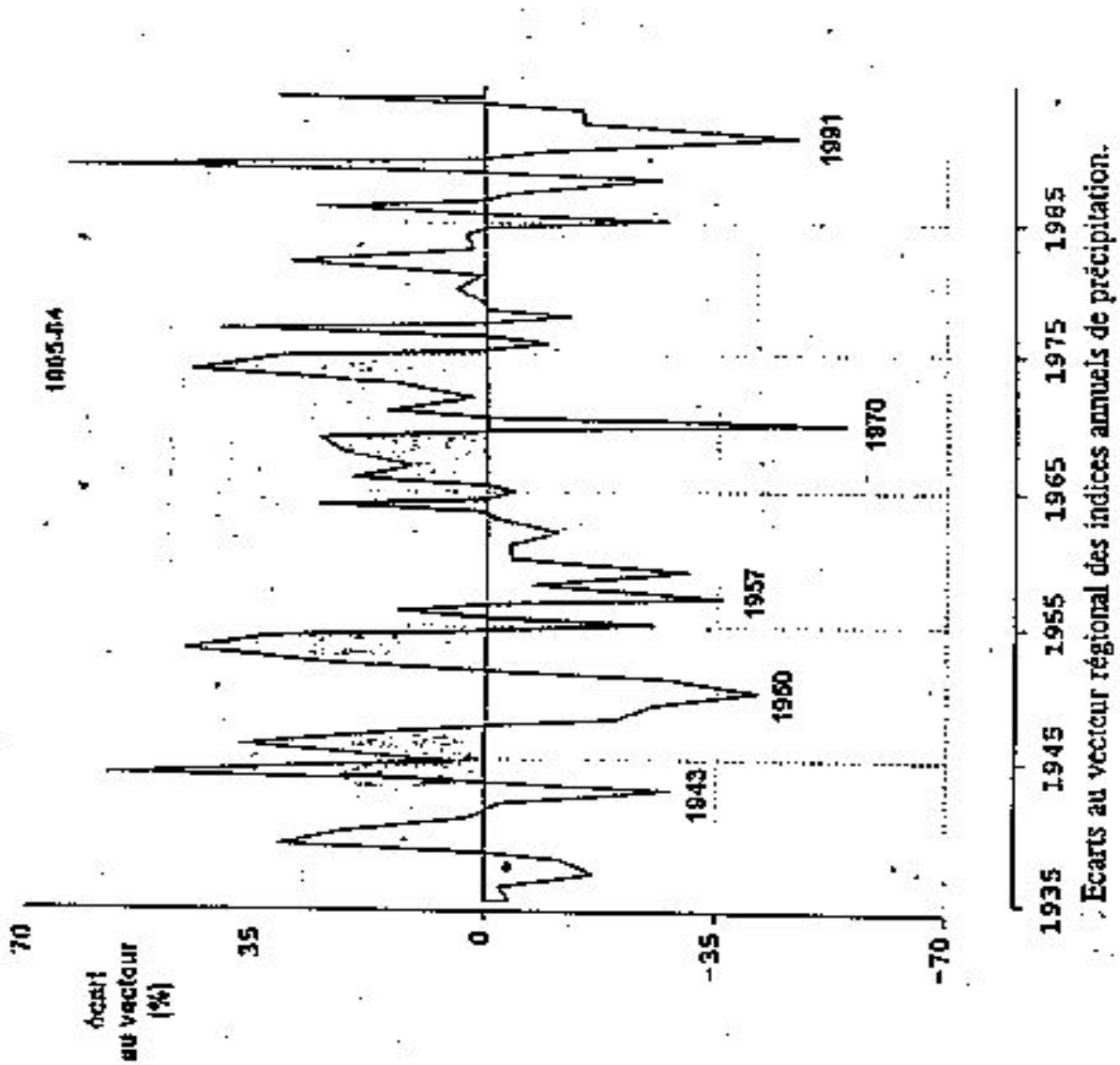


Fig. 16 :

III - IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA SECHERESSE

Sécheresse et désertification sont des termes souvent utilisés dans les zones arides, écologiquement très vulnérables. D'après différentes études sur le climat de MADAGASCAR, cette région Sud-Ouest est particulièrement semi-aride à aride. Leurs impacts les plus évidents sont la dégradation des pâturages, le déclin de la production alimentaire qui entraînent la misère et la famine.

Ce phénomène à un certain degré peut entraîner même un taux élevé de mortalité du bétail comme ce fût le cas au Sahel (Photo annexe 4) .

Cependant il serait possible de conjuguer au niveau national et international des mesures d'atténuation souvent de nature préventive.

III.1.- Quelques définitions :

III.1.1. Sécheresse et désertification :

a) **La sécheresse** : peut se définir de différentes approches selon l'UNESCO (1984) et l'OMM :

a -1. **Sécheresse météorologique** : Divers critères ont été utilisés pour définir le terme sécheresse. Entre autres, elle est définie comme une période sèche où le déficit en précipitation, et la durée et l'étendue géographique peuvent être variables. Ça peut être aussi une série de jours sans pluie pendant une saison régulièrement humide ou une saison dont la précipitation est inférieure à la normale. Une sécheresse peut être une ou plusieurs années avec précipitation inférieure à la normale. Ça peut être nettement localisé ou s'étendre sur une large superficie ou même une région du monde. Souvent l'aire géographique touchée augmente avec la durée (Harold et Fredericksen, 1992).

a -2. **Sécheresse agricole** : « il y a sécheresse lors que les quantités et la répartition des précipitations, les réserves en eau du sol et les pertes par évaporation se combinent de sorte que les rendements des cultures et des productions animales diminuent nettement. »

La définition (a-1) est peu différente de celle donnée dans le dictionnaire (vocabulaire météorologique – OMM n° 182) : « absence prolongée ou déficit marqué des précipitations », la période de sécheresse étant une période normalement sèche, suffisamment prolongée pour que l'absence de précipitations provoque un grave déséquilibre hydrologique.

Les facteurs qui sont à l'origine de la sécheresse sont l'absence de vapeur d'eau ou de noyaux de condensation ou l'existence des mouvements d'air descendants (subsidence) qui proviennent des circulations atmosphériques à grande échelle fonction de la circulation générale de l'atmosphère.

Cette circulation peut être influencée par les phénomènes d'EL NIÑO ou de la NIÑA, causant par ci par là des pluies diluviennes ou de rudes sécheresses ; de fortes températures ou de grands froids.

Dans bien des cas, cette sécheresse a des incidences économiques, car elle compromet la production vivrière, l'écoulement de l'eau et sa disponibilité ainsi que le rendement des ressources.

- b) **Désertification** : La désertification est un terme utilisé dans une acceptation assez vague et vaste mais qui se réfère spécialement à la détérioration des terres arides et semi-arides qui sont utilisées au-delà de leurs possibilités ou de leur capacité d'exploitation parfois prolongée par les paysans (cultivateurs et éleveurs) ou par les autres utilisateurs (agroforesterie industrielle).

Selon les Experts de la Banque Mondiale 1985, la désertification se définit comme « la diminution progressive et soutenue, quantitativement et qualitativement de la productivité biologique d'une terre aride et semi-aride.

La sécheresse accélère souvent cette détérioration, sans empêcher aux écosystèmes naturels de récupérer même à la suite d'une sécheresse prolongée. Mais si ces écosystèmes sont trop affaiblis par cette mauvaise utilisation des terres par l'homme la sécheresse aboutit à la désertification.

Si on laisse ce phénomène se poursuivre sans intervenir, il entraîne à long terme une dégradation du milieu et finalement l'apparition de conditions désertiques.

III.1.2. Environnement

Parmi les multiples définitions, nous retiendrons seulement les définitions du Conseil National de Langue française et de la Charte Environnementale de MADAGASCAR (1990) qui sont respectivement :

- a) « ensemble à un moment donné, des agents physiques, chimiques ou biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme sur les êtres vivants et les activités humaines » ;
- b) « l'ensemble des éléments qui conditionnent et déterminent l'activité humaine et notamment :
- l'entourage biologique : l'équilibre biologique, les ressources, le climat, le sol ;
 - l'entourage socio-culturel : patrimoine culturel ou naturel engendré par la nature ou créée par l'homme, l'organisation sociale ;
 - l'interaction de ces différents éléments ».

III.1.3. Impacts environnementaux

L'Impact environnemental, c'est le changement d'un paramètre environnemental et social dû à une activité particulière associée à un développement ou à un phénomène naturel. Pour qu'il y ait Impact, il faut un « Stresser », un véhicule et un récepteur.

- Le « stresser » ou la source peut être une cause de l'Impact ;
- Le véhicule de l'impact c'est le milieu qui supporte l'Impact ;
- Le récepteur c'est celui qui souffre ou qui subit l'Impact : l'homme, la faune, la flore, la santé...

Pour chaque Impact Environnemental, il est d'actualité de déterminer ses caractéristiques, son identification, l'évaluer sur le plan socio-économique proposer les mesures d'atténuation à prendre. Cette étape nous emmène à la définition de Développement Durable.

III.1.4. Développement Durable (sustainable development)

Selon Brundtland (Rapport 1987) : « Le développement durable est une forme de développement qui répond aux besoins des générations actuelles sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire leurs propres besoins ».

Ce concept de Développement Durable peut renvoyer au concept de Ressources Renouvelables avec un seuil de prélèvement à ne pas dépasser.

III.2.- IMPACTS POSSIBLES ET MESURES D'ATTENUATION DE LA SECHERESSE

En vue de prévenir et d'atténuer les dégâts inévitables des phénomènes naturels telle que la sécheresse, de manière écologiquement efficiente, socialement équitable et environnementalement durable, il faudrait recenser tous les Impacts négatifs pouvant dégrader l'environnement, mettant en péril tout projet de développement local intégré.

La désertification - relative à la sécheresse - peut se matérialiser selon deux formes distinctes :

- soit par une avancée du désert existant : exemple l'avancée du désert du Sahara en zone Sahellienne progressivement. On y note un glissement des isohyètes du Nord au Sud dans toute la bande Sahellienne ;
- soit par un phénomène provoqué par l'homme : la dégradation provoquée et accélérée des terres et des Ressources naturelles par une sur exploitation. Sa manifestation entraîne ainsi des « poches » de désertification.

Ce dernier phénomène est remarquable à MADAGASCAR, typiquement dans le Sud-Ouest. Cette situation et les mesures d'atténuation qu'elle nécessite devraient constituer une préoccupation immédiate.

La méthode la plus simple pour trouver les Mesures d'Atténuation consiste à utiliser un tableau à double colonne : la première colonne contient la liste des Impacts négatifs et la deuxième colonne les actions à envisager pour atténuer ou supprimer ou compenser ces Impacts.

Les principaux « stressers » dans notre étude sont **la sécheresse** et **l'intervention de l'homme**.

Sécheresse

RECEPTEURS	IMPACTS	ACTIONS
<u>Flore</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Disparition de la végétation naturelle à cause du déficit hydrique. - Baisse de la production agricole, famine et pauvreté) 	<ul style="list-style-type: none"> -Mieux gérer les ressources en eau, opérer à des retenues d'eau pendant les périodes pluvieuses (Barrages, lacs artificiels) ; protections des zones humides - Planter des essences vivaces (cactées, à feuilles réduites) résistant à la sécheresse. - Adopter des variétés culturales à cycle court et résistantes.
<u>Faune</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de mortalité élevé faute d'insuffisance de parcours de pâturage. (C'est un fléau au Sahel). 	<ul style="list-style-type: none"> - Elever du bétail très résistants à la sécheresse ; -Eviter le défrichement anarchique par les feux de brousse qui détruisent les semences du pâturage.
<u>Sol</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Erosion éolienne accentuée du fait de la dénudation du sol ; Erosion hydrique par ruissellement favorisé 	<ul style="list-style-type: none"> - Reboisement et mise en place de brise-vent à caractère résistant au climat de la zone, et non mangeable pour le bétail. - Réviser les techniques culturales.

L'homme étant le récepteur final de tous ces impacts de manière directe ou indirecte est tenté de réagir pour sa survie face à ces aléas naturels.

L'intervention de l'homme

Les principales activités de l'homme sont le défrichement, les feux de brousse, le surpâturage, l'exploitation forestière.

Toutes ces activités ont comme finalité convergente LA DEFO-RESTATION, dont les effets sur la Forêt, le Sol et l'Eau à terme aboutit à la DESERTIFICATION si l'on ne prend pas tôt des mesures adéquates.

RECEPTEURS	IMPACTS	ACTIONS	
<u>Forêt</u>	-Disparition de la biodiversité.	- Aires protégées ; protection des zones humides ; sensibilisation/ Education contre les feux de brousse anarchiques (Mesures persuasives) ; - Subvention et introduction d'énergies alternatives : biogaz, énergies solaires, et éolienne etc...	Cett e liste n'es t pas exh aus tive. On not e que l'ér osio n du sol est un des imp acts les plus nég
<u>Sol</u>	- Erosion - Appauvrissement des terres.	- Eviter le système d'agriculture itinérante ; - Restaurer le milieu naturel par le reboisement.... - Conservation et régénération des sols ; - Etudier et vulgariser des techniques culturales plus adaptées (mécaniquement) aux sols fragiles.	
<u>Eau</u>	- Ruissellement Erosion hydrique, - Sédimentation et - Pollution - Disparition de la biodiversité aquatique - Perturbation de la qualité de l'eau -Effet sur la santé - Pollution - Economique et social	- Protection des Bassins Versants par des projets de reboisement villageois pour penser à l'érosion hydrique du sol et le comblement des cours d'eau, en utilisant des variétés résistantes	
<u>Air</u>	- Changements Climatiques (Grand froid, forte chaleur, inondation...)	- Analyse des risques : - mesures de pollution - système d'alerte	
<u>Climat</u>		Prévisions saisonnières	

atifs du phénomène sécheresse et désertification.

D'autres types de mesures de mitigation ou d'atténuation des effets de la sécheresse sont proposées par des institutions, ONG ou organismes internationaux.

III.3. Autres propositions de Mesures d'Atténuation.

Lors de l'UNCED (1992) (United Nation Conference on Environment and Development), une importante convention a été proposée par la C.C.D. (Convention to Combat Desertification). Concernant cette lutte contre la sécheresse et la désertification, en vue d'une bonne gestion des écosystèmes fragiles, on peut se référer aux recommandations de l'Agenda 21 pour certains domaines d'activités :

- a) Renforcer les connaissances de base et développer des systèmes d'information et de surveillance pour les zones sujettes à la sécheresse et à la désertification, y compris les aspects économiques et sociaux de ces écosystèmes ;
- b) Lutter contre la dégradation des sols, notamment en intensifiant les activités de conservation, des sols, de boisement et de reboisement ;
- c) Développer et renforcer des programmes de développement intégré pour l'élimination de la pauvreté et la promotion de systèmes de subsistance différents dans les zones sujettes à désertification ;
- d) Elaborer des programmes complets de lutte contre la désertification et les intégrer aux plans nationaux de développement et à la planification écologique nationale ;
- e) Mettre en place des plans d'ensemble de préparation à la sécheresse et de secours en cas de sécheresse, y compris des dispositifs d'auto-assistance, pour les zones à risque, et élaborer des programmes pour l'accueil des réfugiés écologiques ;
- f) **Encourager et promouvoir la participation populaire et l'éducation écologique**, l'accent étant mis sur la **lutte contre la désertification et la gestion des conséquences de la sécheresse.**

D'autres buts spécifiques ont été visés dans le cadre de la Prévention des Catastrophes Naturelles :

- a) Elaboration de systèmes nationaux d'analyse des risques :
Evaluation de la répartition géographique de chaque type de risque et des estimations sur la période de retour et de ses effets ;
 - Evaluation de la vulnérabilité des concentrations de population et des ressources les plus importantes.

b) Elaboration de plans nationaux et/ou locaux de prévention et de préparation :

- Adoption de **plans d'intervention en cas d'urgence** qui désignent les organismes responsables, envisagent différents scénarios et définissent les mesures à prendre ;
- Adoption de **pratiques d'utilisation des sols** ;
- Adoption de **mesures concrètes d'atténuation des dégâts et de renforcement de la résistance au danger**.

c) Elaboration de systèmes d'alertes mondiaux, régionaux, nationaux ou locaux :

- Mise en place, pour chaque type de risque, d'**un système de surveillance, de prédiction si possible, en mesure de prévoir et de déceler les phénomènes en cause à temps pour pouvoir prendre des mesures afin d'en prévenir ou d'en atténuer les effets** ;
- Mise en place de système de communication pour donner l'alerte.

Face à toutes ces orientations MADAGASCAR, n'a pas manqué de réagir comme l'illustre l'existence de plusieurs projets de développement rural dans le Sud Ouest souvent victime de la sécheresse

Ex. : - le **CGDIS** (Commissariat Général au Développement Intégré Sud) ;

- le **PSO** : Projet Sud Ouest ;

- le **GEREM** : Gestion des Espaces Ruraux et Environnement à Madagascar ;

- le **SAP** (Système d'alerte Précoce du risque Alimentaire), dont l'AEDES (Association Européenne pour le Développement et la Santé) est l'agence l'exécution qui surveille la zone « à risque » du Sud de MADAGASCAR ». Il se base sur une collecte permanente d'informations relatives à la situation alimentaire et nutritionnelle des populations ». Leurs bulletins diffusés régulièrement permettent aux autorités nationales, aux organismes internationaux et bailleurs de fonds de prendre les mesures nécessaires contre les crises alimentaires.

Nous souhaitons cependant que la mise en œuvre de toutes ces mesures d'atténuation s'opère de façon plutôt bénéfique que destructive.

CONCLUSION

Par ce modeste mémoire de fin d'étude, l'objectif était de faire une analyse statistique des données météorologiques, de façon à faire apparaître et quantifier la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et de l'ETP (Evapotranspiration potentielle), de démontrer leurs influences sur la productivité des cultures de maïs et de coton dans le Sud-Ouest de Madagascar.

Cette étude a confirmé l'existence du phénomène sécheresse dans la zone d'étude. La pluviométrie moyenne annuelle y varie de 350 à 800 mm selon la normale 1961-90, et la saison de culture s'étend généralement de mi-novembre à fin mars.

L'influence de ces facteurs météorologiques sur la productivité agricole a été néanmoins illustrée par l'utilisation du calendrier agricole fonction de R et de ETP et en s'appuyant sur les quelques rares données statistiques de cultures de coton.

Ainsi, ce travail est une ébauche qui doit être continuée par d'autres chercheurs (étudiants ou professionnels) en vue d'affiner une banque de données agrométéorologiques fiable et exploitable et de produire alors des outils nécessaires pour l'assistance aux agriculteurs : une véritable analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies, une simulation des cultures pluviales, etc...

En recensant les impacts environnementaux occasionnés par la sécheresse, des mesures d'atténuation ont été également proposées.

L'érosion du sol est l'un des impacts les plus négatifs à MADAGASCAR. L'évaluation économique de ses coûts tant internes à l'exploitation agricole (perte en éléments nutritifs et en productivité), qu'externes (sédimentation des fossés et bassins versants), devrait sensibiliser les décideurs nationaux et internationaux pour des mesures à prendre contre certaines interventions du monde rural.

Enfin, il est bon de rappeler que « les souverains malgaches, dans leurs " Kabary " offraient à l'écologie une place de choix, et rappelaient à leurs sujets que la Forêt est une richesse » (Vintsy, 6/93, WWF MADAGASCAR).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BULLETIN SAP 1998 « Pronostic définitif 98 », n°18- Ampanihy MADAGASCAR
- [2] DMH, CNRE et ORSTOM (IRD), 1995 « Banque de données pluviométriques de MADAGASCAR ». Antananarivo MADAGASCAR
- [3] FAO,1987 « Réponse des rendements à l'eau », Irrigation and Drainage Paper n° 33, ROME
- [4] FAO , 1993 « Logiciels CROPWAT FOR CLIMWAT », Irrigation and Drainage Paper n°49, ROME
- [5] FAO, 1998 « Crop evapotranspiration », Irrigation and Drainage Paper N°56, ROME
- [6] HASYMA MALAGASY, Oct. 1996, « Statistiques cotonnières à MADAGASCAR (196-96) Direction de la Production
- [7] International Institute of Tropical Agriculture « Manuel de Production de maïs. Vol I et II série n° 12
- [8] Luc FERRY, Yann L'hote et Anna Wesselink, 1998 « Les Précipitations dans le Sud Ouest de MADAGASCAR », IRD (ex. ORSTOM), Laboratoire d'Hydrologie – Montpellier, France
- [9] Michael Keating , « Un programme d'Action, Sommet de la Terre 1992 (Version pour le grand public de l'Agenda 21 et des autres accords de Rio), Centre pour notre Avenir, Tours.
- [10] OMM, L'OMM et la CNUED- 1992, « Protection de l'atmosphère, de l'Océan, et des Ressources en eau. Exploitation rationnelle des Ressources Naturelles » n°760, GENEVE
- [11] ONE,1999 Rapport sur l'Etat de l'Environnement à MADAGASCAR, Antananarivo MADAGASCAR
- [12] PARRY Georges, « Le cotonnier et ses produits », Collection Techniques Agricoles et Productions Tropicales, (IRCT : Institut de Recherche du Coton et Textiles Exotiques).
- [13] RANDRIANASOLO Léon Irénée,1997 « Cours d'Agrométéorologie » Département de Météorologie, ESPA, ANTANANARIVO
- [14] Revue « Stop Disasters », 1994, INDR (Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles n°17
- [15] Williams J.B., 1990 «Some temporal and regional variations of climate in Madagascar" Report n°144, ODNRI, Chathan, LONDON.

ANNEXES

- 1-Carte agricole de la Province de Tulear
- 2-Tab 2 : ETP décadaire dans le Sud Ouest
- 3-Tab 3 : Classification pentadaire de l'année
- 4-Mort de bétail suite à la sécheresse (Source Croix Rouge et Croissant Rouge)
- 5-Feu de brousse (Source ONE), Photos prises sur le terrain d'étude
- 6-Photos évolution de la dégradation de la forêt au SENEGAL (Source CSE)
- 7-Zones cotonnières de MADAGASCAR (Source IRCT)
- 8-Tableaux Statistiques cotonnières (Source HASYMA)

Carte agricole de la Province de Tuléar



Tab . 1 ETP décadaire [10^{-1} mmj $^{-1}$)

Période	Morombe	Tuléar	Betioky	Beloha	FxCap
Janvier	71	69	77	77	75
	72	69	73	77	75
	78	75	81	81	81
Février	68	67	70	72	72
	67	65	67	71	70
	53	51	56	57	55
Mars	65	61	66	68	66
	64	58	65	65	63
	67	59	64	63	64
Avril	57	50	56	56	54
	53	45	52	56	49
	48	41	46	48	45
Mai	44	37	44	45	42
	40	35	38	41	39
	41	36	41	41	41
Juin	36	31	35	36	35
	34	29	33	35	34
	34	29	30	36	34
Juillet	34	29	35	34	34
	36	30	35	34	36
	43	36	38	38	42
Août	42	36	41	43	41
	46	39	45	46	45
	54	47	51	55	53
Septembre	53	47	53	55	52
	56	50	58	58	55
	60	53	58	59	57
Octobre	64	57	62	62	60
	68	60	65	65	63
	79	70	80	74	73
Novembre	74	66	72	68	69
	74	67	71	74	71
	72	67	72	71	72
Décembre	69	67	76	73	72
	70	68	72	70	72
	83	79	75	79	81

mois	date	pentade #	mois	date	pentade #
JAN	1	P1	JUL	1	P37
	6	P2		6	P38
	11	P3		11	P39
	16	P4		16	P40
	21	P5		21	P41
FEV	26	P6	26	P42	
	1	P7	AOÛT	1	P43
	6	P8		6	P44
	11	P9		11	P45
	16	P10		16	P46
21	P11	21		P47	
MAR	26	P12	26	P48	
	1	P13	SEPT	1	P49
	6	P14		6	P50
	11	P15		11	P51
	16	P16		16	P52
21	P17	21		P53	
AVR	26	P18	26	P54	
	1	P19	OCT	1	P55
	6	P20		6	P56
	11	P21		11	P57
	16	P22		16	P58
21	P23	21		P59	
MAI	26	P24	26	P60	
	1	P25	NOV	1	P61
	6	P26		6	P62
	11	P27		11	P63
	16	P28		16	P64
21	P29	21		P65	
JUIN	26	P30	26	P66	
	1	P31	DEC	1	P67
	6	P32		6	P68
	11	P33		11	P69
	16	P34		16	P70
21	P35	21		P71	
	26	P36	26	P72	

Tab ; 3 : Classification pentadaire de l'année

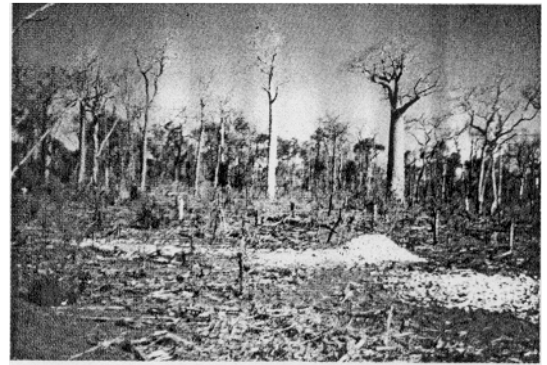


Mort de bétail suite à la sécheresse (source Croix Rouge et Croissant Rouge)



Les feux de brousse

(source: ONE)

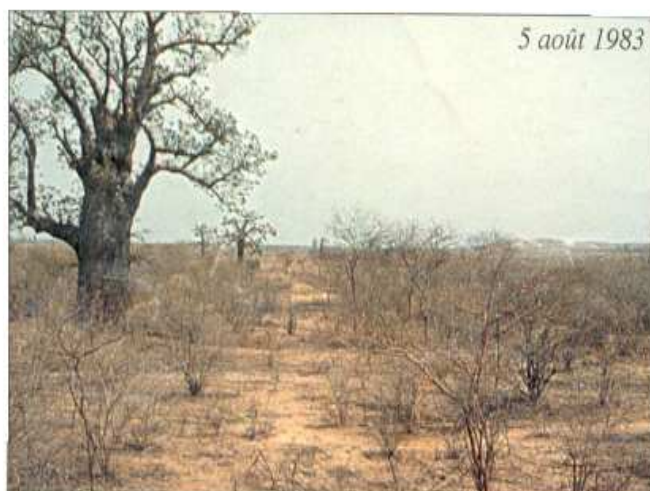


Defrichement pour 10 culture de moois dans 10 zone de Tuleor

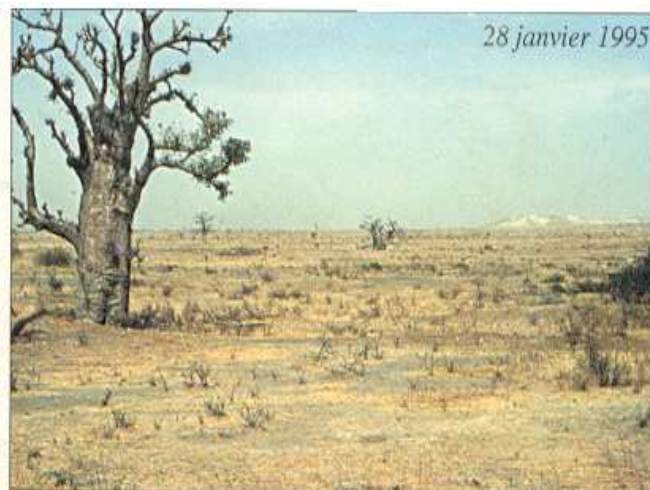
(source: ONE)



Feu de brousse ; Photos prises sur le terrain d'étude : récolte de maïs, défrichage champ de maïs, commercialisation anarchique de charbon de bois.



5 août 1983



28 janvier 1995

Comparaison à 11 ans d'intervalle d'un même paysage dans la Forêt Classée de Thiès montrant des modifications importantes dues à l'abattage des arbres pour la production de bois de chauffe et de charbon.



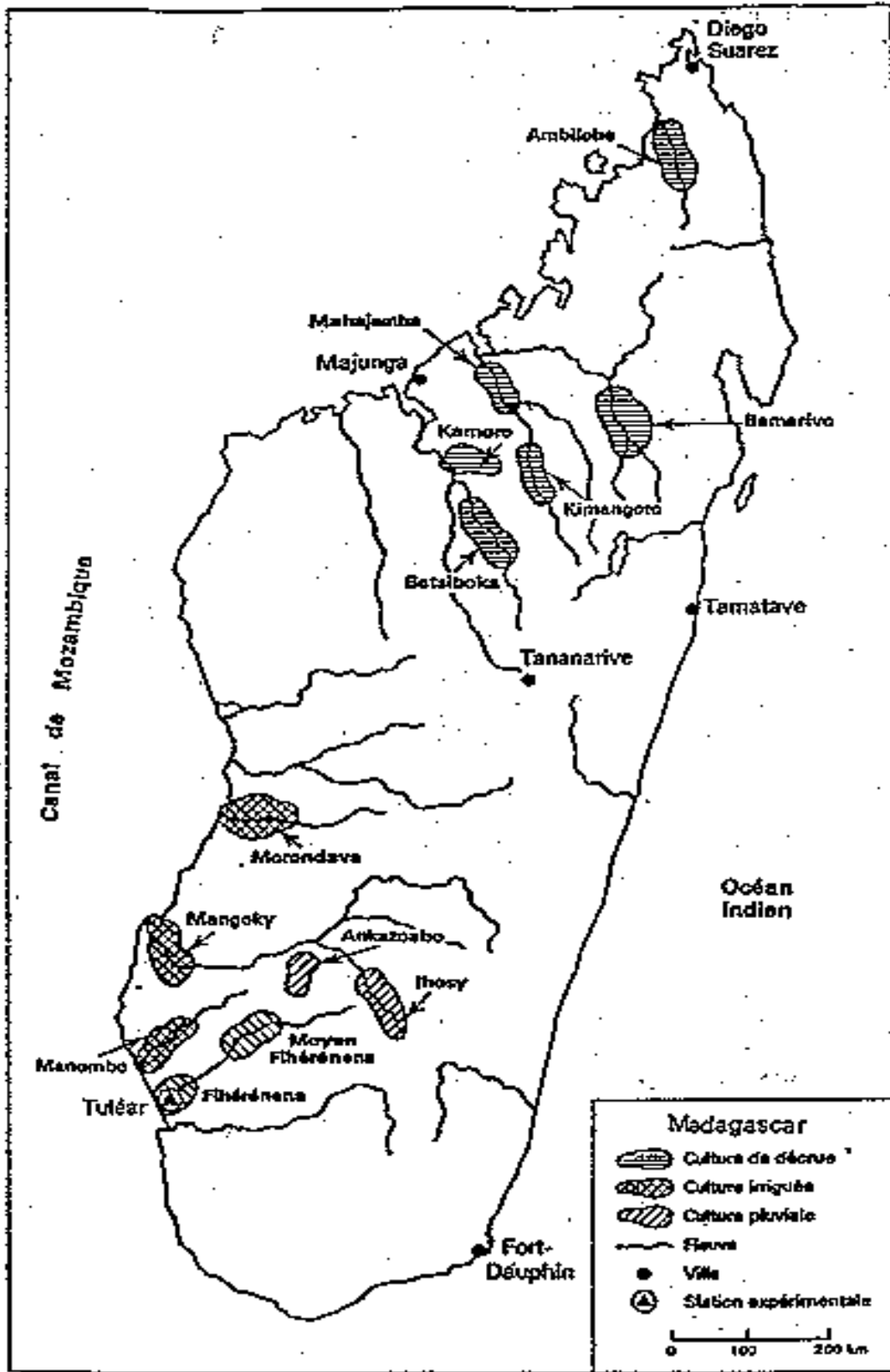
24 mai 1983



14 février 1994

Vues d'un site à 11 ans d'intervalle dans la Zone Orientale de Transition. L'extension des superficies cultivées a entraîné une diminution des jachères et une pression sévère sur les ressources naturelles.

Evolution de la dégradation de la forêt au Sénégal (Source CSE)



— Zones cotonnières de Madagascar;

- M A D A G A S C A R
Statistiques cotonnières de 1967 à 1996

A8

Campagne	Superficie (Ha)	Production (T.)	Rendement (T./Ha)
1.967	5.205	9.106	1,749
1.968	7.646	11.469	1,500
1.969	8.762	16.784	1,916
1.970	10.313	18.714	1,815
1.971	10.851	21.695	1,999
1.972	10.101	23.682	2,364
1.973	13.361	30.628	2,292
1.974	16.089	33.290	2,069
1.975	16.341	30.728	1,880
1.976	17.515	34.731	1,983
1.977	20.403	37.081	1,817
1.978	22.213	32.934	1,483
1.979	17.898	29.957	1,674
1.980	16.985	23.210	1,366
1.981	18.724	27.962	1,493
1.982	17.431	25.981	1,491
1.983	19.929	26.381	1,324
1.984	23.595	33.813	1,433
1.985	32.954	42.871	1,301
1.986	42.850	41.010	0,957
1.987	22.179	27.221	1,227
1.988	26.048	31.663	1,223
1.989	29.013	41.538	1,432
1.990	27.015	32.094	1,188
1.991	22.985	26.629	1,206
1.992	19.757	20.082	1,016
1.993	20.333	25.434	1,251
1.994	21.434	27.310	1,274
1.995	22.673	24.233	1,069
1.996	24.766	27.494	1,110

← 1969/70

← 1991/92

REGION SUD-OUEST

AS

	1986				1987				1988				1989			
	N.P.	Surf.	Prod.	Rendit	N.P.	Surf.	Prod.	Rendit	N.P.	Surf.	Prod.	Rendit	N.P.	Surf.	Prod.	Rendit
ZONE AVALANISANPY																
. Individuel	2689	4796	1456	0,304	545	1345	827	0,615	1289	2749	1735	0,631	1810	4342	3092	0,712
. F.N.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Paysannat	2689	4796	1456	0,304	545	1345	827	0,615	1289	2749	1735	0,631	1810	4342	3092	0,712
. Petits Privés	69	2102	1164	0,554	39	1009	551	0,546	72	462	295	0,644	11	365	362	0,992
. Grandes Fermes	12	2400	1545	0,644	11	1803	2820	1,120	11	1883	1964	1,043	5	1420	1759	1,239
Total Privés	81	4502	2709	0,602	50	2812	2571	0,914	33	2345	2169	0,925	16	1785	2121	1,188
TOTAL ZONE AVALANISANPY	2970	9298	4165	0,448	595	4157	3398	0,817	1322	5094	3904	0,766	1826	6127	5213	0,851
ZONE AVALILLAOKA																
. Individuel	5926	5948	2327	0,391	1077	1918	972	0,507	2843	3529	2094	0,593	801	2300	2546	1,107
. F.N.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Paysannat	5926	5948	2327	0,391	1077	1918	972	0,507	2843	3529	2094	0,593	801	2300	2546	1,107
. Petits Privés	23	539	371	0,688	17	303	277	0,914	5	155	231	1,490	4	165	287	1,739
. Grandes Fermes	-	-	-	-	-	-	-	-	5	155	231	1,490	4	165	287	1,739
Total Privés	23	539	371	0,688	17	303	277	0,914	5	155	231	1,490	4	165	287	1,739
TOTAL ZONE AVALILLAOKA	5949	6487	2698	0,416	1094	2221	1249	0,552	2848	3684	2325	0,631	805	2465	2833	1,149
ZONE BAS FIEREKANA																
. Individuel	1607	2433	1415	0,582	652	1300	929	0,715	572	1150	1144	0,995	722	1609	1576	0,979
. F.N.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Paysannat	1607	2433	1415	0,582	652	1300	929	0,715	572	1150	1144	0,995	722	1609	1576	0,979
. Petits Privés	10	329	238	0,723	7	223	171	0,767	5	119	107	0,899	5	92	114	1,239
. Grandes Fermes	1	40	62	1,550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Privés	11	369	300	0,813	7	223	171	0,767	5	119	107	0,899	5	92	114	1,239
TOTAL ZONE B.FIEREKANA	1618	2802	1715	0,612	659	1523	1100	0,722	577	1269	1251	0,985	727	1701	1690	0,994
ZONE HUYEN FIEREKANA																
. Individuel	1868	3812	2142	0,562	589	1286	654	0,509	1015	2294	1131	0,493	646	1876	1397	0,745
. F.N.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Paysannat	1868	3812	2142	0,562	589	1286	654	0,509	1015	2294	1131	0,493	646	1876	1397	0,745
. Petits Privés	52	1140	695	0,601	29	688	374	0,544	11	329	104	0,326	7	230	188	0,817
. Grandes Fermes	7	1250	1116	0,893	4	359	660	1,012	2	650	485	0,736	1	550	358	0,651
Total Privés	59	2390	1721	0,720	33	1038	1174	0,675	13	979	590	0,603	8	780	546	0,700
TOTAL ZONE HUYEN FIEREKANA	1927	6202	3863	0,623	622	3024	1828	0,604	1028	3273	1721	0,526	654	2656	1943	0,732
TOTAL A REPORTER	11564	24789	12441	-	2970	16925	7575	-	6975	13328	9203	-	4812	12949	11679	-

	1990				1991				1992				1993			
	M.P.	Surf.	Prod.	Realt.	M.P.	Surf.	Prod.	Realt.	M.P.	Surf.	Prod.	Realt.	M.P.	Surf.	Prod.	Realt.
REGIÃO SUL-OESTE																
Individual	1074	3762	2472	0,540	954	2834	1653	0,482	881	3311	295	0,339	237	630	332	0,495
F.R.	-	-	-	-	97	423	458	1,083	520	1779	1139	0,645	673	2383	1570	0,657
Total Pajasant	1074	3762	2472	0,540	1051	2857	2111	0,742	1381	2650	1445	0,545	910	3019	1682	0,521
Indústrias	3	80	52	0,550	8	155	127	0,794	6	79	43	0,544	2	29	18	0,623
Grandes Férreas	6	1625	1515	0,935	4	2421	1254	0,514	2	782	553	1,215	3	1625	2206	1,354
Total Indústrias	9	1705	1567	0,922	14	1596	1381	0,865	8	861	596	1,223	5	1654	2224	1,354
TOTAL REGIÃO SUL-OESTE	1083	5462	3035	0,528	1075	4451	3500	0,786	1389	3531	2483	0,707	915	4553	4100	0,875
REGIÃO NOROESTE																
Individual	1052	3373	1950	0,542	774	2549	1131	0,665	889	1543	424	0,283	388	885	587	0,661
F.R.	-	-	-	-	23	520	372	0,715	560	972	120	0,123	589	1270	712	0,551
Total Pajasant	1052	3373	1950	0,542	797	2557	1503	0,680	1449	2515	544	0,209	977	2155	1299	0,603
Indústrias	4	120	89	0,575	3	32	4	0,125	2	4	1	0,505	2	23	10	0,435
Grandes Férreas	1	140	95	0,755	1	89	29	0,483	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Indústrias	5	260	184	0,645	4	121	33	0,389	2	4	2	0,500	2	23	10	0,435
TOTAL REGIÃO NOROESTE	1057	3512	2038	0,535	801	2661	1536	0,679	1451	2519	545	0,208	979	2178	1309	0,602
REGIÃO SUDOESTE																
Individual	444	1229	1162	0,550	424	1075	1451	1,352	581	1331	591	0,437	491	1067	1101	1,013
F.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Pajasant	444	1229	1162	0,550	424	1075	1451	1,352	581	1331	591	0,437	491	1067	1101	1,013
Indústrias	5	80	124	1,575	5	82	35	0,475	3	45	8	0,153	2	18	6	0,333
Grandes Férreas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Indústrias	5	80	124	1,575	5	82	35	0,475	3	45	8	0,153	2	18	6	0,333
TOTAL REGIÃO SUDOESTE	449	1309	1286	0,552	429	1155	1486	1,291	584	1380	599	0,437	493	1105	1107	1,002
REGIÃO SUDESTE																
Individual	358	1451	839	0,609	294	655	531	0,797	286	576	265	0,460	254	477	528	1,107
F.R.	-	-	-	-	41	155	139	0,951	242	327	37	0,237	225	475	456	1,544
Total Pajasant	358	1451	839	0,609	335	822	670	0,815	528	903	302	0,401	480	952	1024	1,076
Indústrias	2	35	33	0,943	4	75	42	0,565	1	23	7	0,304	2	19	21	0,894
Grandes Férreas	1	360	215	0,597	2	309	61	0,210	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Indústrias	3	395	248	0,625	6	115	105	0,280	2	23	7	0,304	2	19	21	0,894
TOTAL REGIÃO SUDESTE	401	1538	1127	0,713	341	1197	775	0,647	630	956	339	0,352	502	971	1037	1,059
TOTAL 4 REGIÕES	2292	12242	8414	-	2876	9674	7522	-	3154	6435	3385	-	2893	8337	7551	-

Thème : Analyse climatique des pluies et de l'évapotranspiration dans le Sud Ouest de Madagascar. Leurs influences sur les cultures de maïs et de coton.

Pagination : 48 pages et 11 pages en annexes.

Cartes : 5

Photos : 8

Figures : 16

Tableaux : 7

RESUME

Dans le présent travail de mémoire de fin d'Etudes, ont été utilisés les paramètres météorologiques telles que la pluviométrie et l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) qui sont des facteurs limitants de la productivité agricole.

L'analyse de ces paramètres montre que le Sud - Ouest de Madagascar, zone sur laquelle porte l'Etude, a une pluviométrie variant entre 350 mm et 800 mm et une certaine fréquence d'années très sèches. La zone est, du coup, soumise au phénomène de sécheresse, accentué par les méthodes traditionnelles de culture (défrichement au " TAVY ", itinérant)

Pour une approche environnementaliste, il a été tenté également de recenser tous les impacts négatifs induits par la sécheresse ainsi que leurs mesures d'atténuation possibles.

MOTS CLEFS :

Atténuation – coton – culture – désertification – Environnement – Evapotranspiration – impact – maïs – pluie – sécheresse

Encadreur scientifique :Monsieur RAZANAKA Samuël Jean, Maître de Conférence, Directeur du CNRE, Antananarivo, Madagascar.

Adresse de l'Auteur : Monsieur ASSANE SENE, Ingénieur Météorologue, Direction de la Météorologie Nationale du SENEGAL, (Stagiaire DESS-1998-99 au CFSIGE).

B.P. 8257 Aéroport International L.S. SENGHOR, Dakar, SENEGAL, Tél (221) 869.53.39 ou (221) 583 69 94

E.mail : azousene@hotmail.com ou azousene@ucad.sn