

A. CORNET

**NOTICE EXPLICATIVE**

N° 55

**ESSAI DE CARTOGRAPHIE BIOCLIMATIQUE**

**A MADAGASCAR**

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**



PARIS - 1974

# **NOTICE EXPLICATIVE**

N° 55

## **ESSAI DE CARTOGRAPHIE BIOCLIMATIQUE**

### **A MADAGASCAR**

**A. CORNET**

Laboratoire de botanique  
Mission ORSTOM de Tananarive

.....

" La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas  
" 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les copies ou reproductions  
" strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à  
" une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les  
" courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute  
" représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans  
" le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause,  
" est illicite" (alinéa 1er de l'article 40).

" Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que  
" ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les  
" articles 425 et suivants du Code Pénal".

.....

© ORSTOM 1974

ISBN 2-7099-0339-3

# SOMMAIRE

INTRODUCTION	
A- LES GRANDS TRAITES DU CLIMAT MALGACHE	3
Déterminisme du climat de Madagascar	3
Types de temps	5
B- CHOIX DES CRITERES D'ANALYSE ET DE CLASSIFICATION	6
C- TRAITEMENT DES DONNEES	10
Calcul de l'ETP	10
Température minimale	16
D- CLASSIFICATION DES TYPES DE BIOCLIMATS MALGACHES	18
Types de bioclimats	18
Répartition géographique	21
Réalisation de la carte	21
E- DISCUSSION ET RESERVES	22
CONCLUSION	25
BIBLIOGRAPHIE	27
TABLEAUX ANNEXES	



## INTRODUCTION

*"Décrire, classer, expliquer ont toujours été les démarches primordiales des sciences de la nature. La climatologie n'échappe pas à ces processus de la pensée"*

VIERS - 1968

aussi, nombreux sont ceux qui, pour une région ou pour le monde entier ont tenté de donner une classification des climats. En fait, aucune classification n'est exhaustive, ni satisfaisante pour toutes les disciplines (pédologie, botanique, médecine...). C'est pourquoi, il faut une classification adaptée au point de vue considéré.

À Madagascar, divers travaux de classification climatiques ont été effectués dans ce sens. On peut citer :

- Note sur l'évapotranspiration de THORNTHWAITE et le bilan hydrique des sols de RIQUIER (1958). Ce travail, basé sur la comparaison entre l'ETP et les précipitations, permet de définir la durée de la saison sèche, le déficit hydrique, le drainage et le ruissellement, aspects très intéressants sur le plan pédologique.

Avec une option botanique :

- Le carton des bioclimats paru en annexe de la carte de la végétation de Madagascar (1965). La classification qui sert de base a été réalisée par LEGRIS et BLASCO à partir de l'utilisation des diagrammes ombrothermiques.
- Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'Emberger par MORAT (1969).
- Ebauche de la classification des climats de Madagascar selon les critères de KOPPEN par DONQUE (1971).

Le but de la présente contribution à l'étude des climats malgaches n'est pas de supplanter les précédents travaux, mais d'aborder le problème de la classification sous l'angle des rapports entre le bilan hydrique, le régime thermique et la végétation, sans passer par l'intermédiaire de formules empiriques.

## A - LES GRANDS TRAITES DU CLIMAT MALGACHE

### DÉTERMINISME DU CLIMAT DE MADAGASCAR

Comprise entre 12 et 25° de latitude Sud, Madagascar est presque entièrement incluse dans la zone intertropicale. Les grands centres d'action météorologique qui déterminent le climat de l'île sont :

- d'une part, l'anticyclone des Mascareignes situé, durant l'été austral vers 33° de latitude Sud, il atteint durant l'hiver 30°. Il engendre l'alizé du sud-est,
- d'autre part, les basses pressions équatoriales généralement situées au nord de l'île, provoquent la mousson de nord-ouest qui atteint par intermittence Madagascar durant la saison chaude.

Le contact entre les masses d'air soumises à l'anticyclone des Mascareignes et les masses d'air équatoriales constitue le FRONT INTER-TROPICAL appelé aussi ZONE DE CONVERGENCE INTERTROPICALE. La zone de convergence intertropicale se situe sur Madagascar à certains moments de la période chaude, et y engendre un temps instable et pluvieux.

Il est à signaler qu'il existe également au sud de l'île une circulation ouest-est d'anticyclones et de dépressions en provenance de l'Atlantique Sud et qui peuvent provoquer des perturbations venant du sud-ouest.

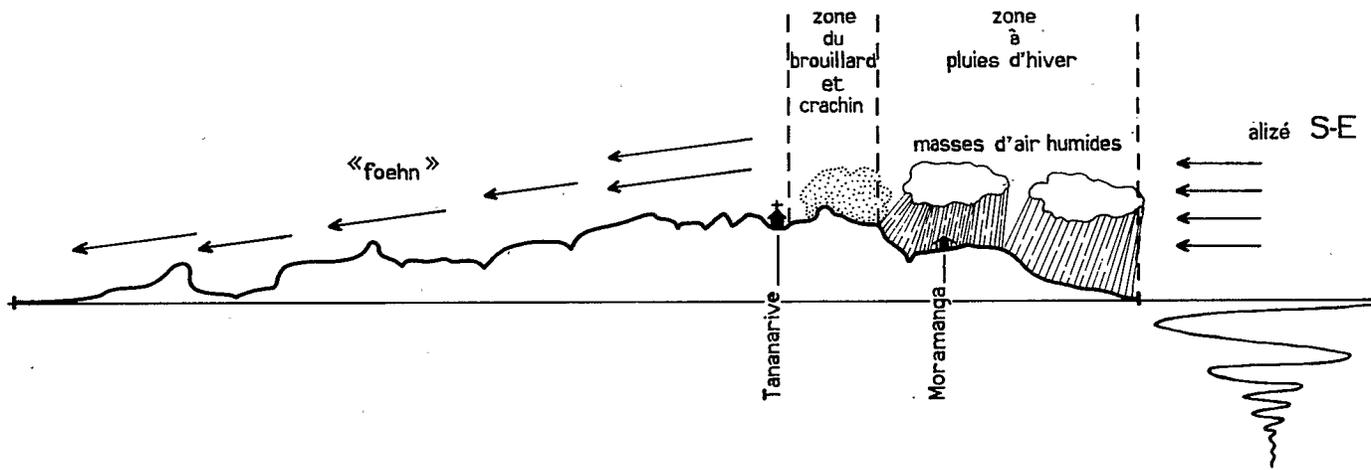


Fig. 1 - Situation durant l'hiver austral

## TYPES DE TEMPS

Ce sont les grands courants aériens, qui, heurtant les reliefs de l'île, conditionnent le type de temps et la répartition des précipitations.

. *Durant l'hiver austral* Madagascar est presque entièrement soumise au régime de l'alizé du sud-est (voir fig. II-B). Ce vent venant de l'Océan Indien apporte des masses d'air humide qui viennent heurter la côte Est de l'île et y provoquer à la rencontre des reliefs des précipitations importantes de Vohémar jusqu'à Fort-Dauphin. Ces masses d'air humide progressent dans le domaine central jusqu'à une distance de la côte Est qui est fonction du relief, provoquant des pluies sur le versant Est et des brouillards et crachins sur les zones élevées du domaine central. Au-delà, les masses d'air deviennent descendantes aux flancs des pentes occidentales déterminant un phénomène de "FOEHN" (fig. I) de plus en plus accentué vers le bas des pentes. Ces vents descendants, devenus dans l'Ouest chauds et secs se font sentir sur les plateaux de basse altitude et une grande partie des plaines de l'ouest qui connaissent, à l'exception du Sambirano une saison sèche accentuée.

La couche inférieure de l'alizé est déviée par les montagnes vers le nord sur la côte nord-est et vers le sud sur la côte sud-est. Ce changement de direction combiné à la réduction de l'importance des reliefs aux extrémités de l'île fait apparaître des régions à climat de transition.

. *Pendant l'été austral* Madagascar est soumise à la MOUSSON ou "PSEUDO MOUSSON" (PEDELABORDE, 1958). Les vents d'est font fréquemment place à des vents humides dominants de secteur Nord à Nord-Ouest (voir fig. II-A). Des orages accompagnés de pluies violentes règnent en cette saison sur la plus grande partie de l'île.

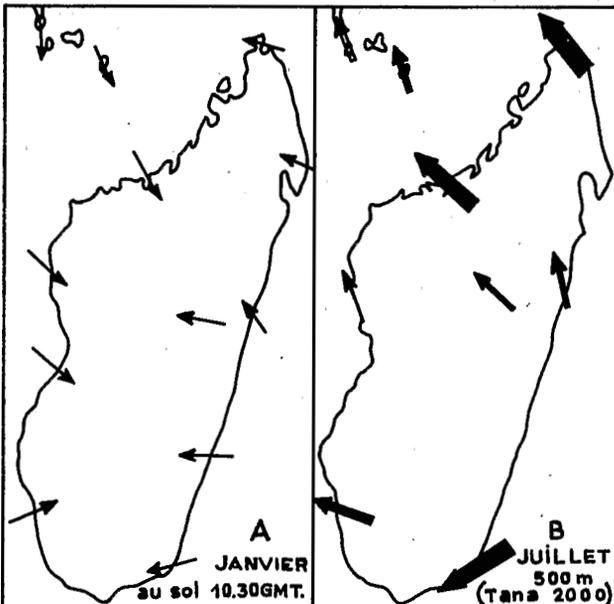


Fig. 2 - Les vents (d'après l'Atl. clim. de M.)  
par GUILCHER et BATTISTINI (1967).

Durant cette période il faut signaler les perturbations liées aux dépressions tropicales qui naissent sur l'Océan Indien généralement au nord de Madagascar dans la période allant de janvier à mars. Leurs trajectoires variables, viennent parfois toucher la "Grande Ile", provoquant des dégâts surtout dans les zones côtières et une perturbation générale du temps avec des pluies abondantes.

En résumé, on peut dire qu'il existe à Madagascar trois grands types de climat liés aux courants aériens et au relief :

- un type sans saison sèche proprement dite qui comprend le versant oriental avec une zone du centre dont la saison sèche est atténuée du fait de brouillards et de pluies fines;
- un type avec saison sèche marquée comprenant tout le versant occidental;
- un type de climat semi-aride à pluviosité faible et irrégulière, intéressant l'extrémité sud de l'île.

Dans ces grands types de climat, la latitude et l'orographie font apparaître beaucoup de variantes qui, pour être caractérisées, demandent l'analyse des variations des différents paramètres climatiques.

## B - CHOIX DES CRITÈRES D'ANALYSE ET DE CLASSIFICATION

Les données climatiques utilisables pour décrire et classer les types de climats ne sont pas des variables indépendantes mais elles sont liées les unes aux autres de façon complexe. Il apparaît donc comme très difficile de définir et d'étudier les variables simples dont dépend le climat d'un lieu.

C'est pourquoi la majorité des auteurs a recours pour l'étude et la classification des climats à des paramètres complexes, combinant les différentes données météorologiques disponibles. De là l'existence de très nombreux indices climatiques, ce qui pose le problème de leur valeur et de leur adéquation. Ainsi: "On peut toujours établir une infinité de classifications climatiques en choisissant comme critère les valeurs prises par tel ou tel facteur climatique ou combinaison de facteurs climatiques. L'intérêt d'une quelconque de ces classifications est *a priori* douteux. Autrement dit une classification ne peut être conçue qu'en fonction d'un objectif précis" (ELDIN 1971). C'est ce que soulignait EMBERGER en 1964 lors du Colloque sur les Régions Ecologiques du Globe : "De nombreuses classifications des climats ont déjà été proposées, si aucune ne s'est révélée satisfaisante, c'est sans doute parce que les classifications faites jusqu'à ce jour ont voulu être générales, c'est-à-dire satisfaisantes pour toutes les disciplines. Or nous croyons, qu'une classification ayant cette qualité d'universalité est impossible, parce que les points de vue des diverses disciplines scientifiques ne sont pas les mêmes".

La classification climatique envisagée doit donc viser un objet précis. Le choix des paramètres doit dépendre de deux impératifs, d'une part des données disponibles pour leur étude et d'autre part, de leur liai-

son aussi étroite que possible avec le but choisi. L'objectif visé ici est d'établir une classification climatique intéressant la vie végétale, qui permettrait notamment d'expliciter en tenant compte par ailleurs des facteurs non climatiques la répartition des espèces et des groupements végétaux, ou de connaître la possibilité pour la mise en valeur d'une région donnée de telle ou telle culture dont on connaît les exigences écologiques. Par ailleurs, elle devrait permettre de situer les études écologiques et agronomiques dans un cadre climatique plus précis.

C'est pourquoi, reprenant la méthode utilisée par ELDIN pour la classification des climats de Côte d'Ivoire en rapport avec les formations végétales rencontrées, nous avons fait appel à la notion de "Déficit hydrique cumulé sur la saison sèche" comme l'une des bases de notre classification. Cette grandeur trouve son origine dans la notion d'Evapotranspiration potentielle (ETP), qui caractérise la demande climatique maximale en eau imposée par le climat à un couvert végétal. Les végétaux ont une croissance optimale lorsque leur Evapotranspiration est égale à l'ETP. L'ETR ou Evapotranspiration réelle est l'Evapotranspiration effective d'un couvert végétal quelle que soit son alimentation en eau.

Nous avons  $ETR < ETP$ . Lorsque  $ETR < ETP$  la production en matière sèche diminue, la plante souffre et se trouve dans un "état de sécheresse écologique". La notion de sécheresse vis-à-vis des végétaux passe donc par la notion d'ETP.

Sa définition opérationnelle: "l'ETP représente la quantité d'eau maximale susceptible d'être évaporée par un couvert végétal abondant couvrant bien le sol, en phase active de croissance et alimenté en eau de façon optimale" (ELDIN 1967) élimine les facteurs physiologiques et éda- phiques qui pourraient limiter la consommation en eau du couvert végétal. L'expérience montre (ROBELIN 1962) que des couverts végétaux placés dans des conditions aussi voisines que possible de la notion d'ETP, consomment à peu près la même quantité d'eau. Cela justifie sa mesure en tant que GRANDEUR UNIQUEMENT CLIMATIQUE. L'ETP traduit par la demande en eau qu'elle détermine l'action combinée de divers facteurs climatiques.

Elle réalise ainsi la synthèse de nombreux éléments du climat, en effet :

- la disponibilité en eau dépend des précipitations et condensations,
- la disponibilité en énergie évaporative dépend du rayonnement solaire, du rayonnement atmosphérique et de l'advection,
- la facilité du transfert de la vapeur d'eau dépend de la température et de l'humidité de l'air mais aussi du vent qui intervient sur la couche limite.

Nous avons vu dans les généralités sur le climat malgache que l'un des éléments différenciant le climat de certaines régions était l'existence d'une saison sèche plus ou moins longue. Partant de l'ETP nous allons pouvoir définir cette saison sèche, sa durée et son intensité. En effet, il est arbitraire de définir *a priori*, un mois comme sec du seul fait que celui-ci présente des précipitations inférieures à une valeur donnée, 100 mm par exemple. C'est en effet supposer à tort que partout le besoin en eau est le même. Cette définition doit plutôt être basée sur un bilan considérant d'une part les apports P (précipitations, condensations) et d'autre part la demande (évapotranspiration potentielle). En confrontant l'offre et la demande, on en arrive à définir le DEFICIT HYDRIQUE CLIMATIQUE D

$$D = ETP - P \text{ (ELDIN, 1967, 1971)}$$

- une période sera dite sèche si  $ETP > P$  c'est à dire  $D < 0$
- une période sera dite humide si  $ETP < P$  ou  $D \leq 0$

*La saison sèche sera définie comme la suite des périodes consécutives présentant un déficit hydrique climatique (ELDIN, 1967, 1971).* L'intensité de la saison sèche sera déterminée par le degré de sécheresse atteint par un couvert végétal à la fin de la saison sèche. Or il y a sécheresse dès que  $ETR < ETP$ . Il est donc possible de chiffrer ce degré de sécheresse par la différence  $\Delta$  entre la quantité d'eau qu'il aurait fallu pour assurer l'ETP en permanence et celle dont le couvert a réellement bénéficié pendant la même période.

La grandeur  $\Delta$  est appelé par ELDIN (1967) DEFICIT HYDRIQUE ECOLOGIQUE

$$\Delta = ETP - Q$$

Q est la quantité d'eau disponible pour le couvert végétal, on a :

$$Q = P + R - r - d$$

- P représente les précipitations
- R la réserve en eau du sol
- r les pertes par ruissellement
- d les pertes par drainage.

$$\Delta = ETP - P - R + r + d$$

Durant la saison sèche, période qui nous intéresse, les pluies sont peu importantes et tombent sur un sol desséché. Il s'ensuit que les pertes par drainage sont nulles et celles par ruissellement peuvent en général être négligées, d'autant que les précipitations de saison sèche sont de faible intensité.

Il reste donc :

$$\Delta = ETP - P - R \text{ ou } \Delta = D - R$$

Pour l'ensemble de la saison sèche, on aura :

$$\Sigma \Delta = \Sigma(D - R) = \Sigma D - R$$

R est fonction du sol et indépendant du climat, donc pour définir l'intensité de la saison sèche nous considérerons d'un point de vue climatique :

$\Sigma D$  le DEFICIT HYDRIQUE CLIMATIQUE cumulé durant la période sèche.

Si l'équilibre entre les précipitations et l'ETP détermine en partie la répartition végétale, son étude comme seul paramètre climatique n'est pas suffisante. En effet, si l'ETP intègre un grand nombre de facteurs climatiques, elle ne recouvre pas certains effets extrêmes de ces facteurs. Par exemple si nous considérons deux régions A et B ayant un déficit hydrique climatique équivalent et une durée de saison sèche semblable A peut différer au point de vue végétation de B. En effet si la température minimale varie fortement entre A et B, les espèces sensibles au froid seront éliminées d'une station alors qu'elles se maintiendront ailleurs. Or à Madagascar, où le relief est accentué, les températures minimales pourront, dans certaines régions, être très basses durant la saison froide. C'est pourquoi nous considérerons également le paramètre MOYENNE

DES MINIMUMS DU MOIS LE PLUS FROID, cette valeur figurant dans les données météorologiques.

En exemple on peut citer la répartition de *Coffea buxifolia* Chev. qui montre une sensibilité particulière à la température minimum du mois le plus froid. En effet l'ensemble des stations connues (FRIEDMAN 1970) sont situées sur les "plateaux" du centre et uniquement dans la zone où la moyenne des minimums du mois le plus froid est comprise entre 7°C et 9°C. Sur la partie orientale de son aire où la végétation naturelle est le mieux conservée, un abaissement d'altitude de 200 m, soit une augmentation de  $t_m$  de 1 à 1°C implique le passage à d'autres espèces de *Coffea* (voir fig. III).

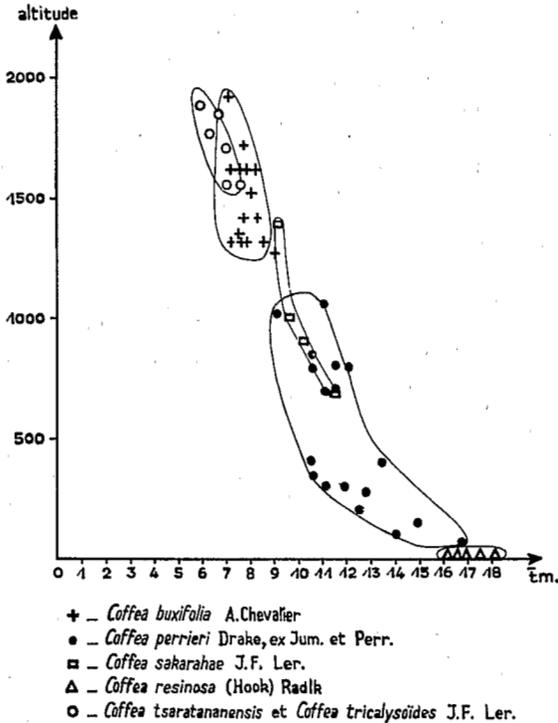


Fig. 3 - Répartition de différentes espèces de *Coffea* en fonction de l'altitude et de la moyenne des minimums du mois le plus froid

Ainsi les stations météorologiques de Madagascar vont être classées d'abord suivant le déficit hydrique cumulé, puis suivant la moyenne des minimums du mois le plus froid. Sur la carte, seront portées les courbes joignant les points d'égalité de durée de saison sèche.

## C - TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données climatiques de base sont celles fournies par le Service Météorologique National, concernant 158 stations météorologiques dont 27 stations synoptiques et 40 postes pluviométriques (voir en annexe).

### CALCUL DE L'ETP

Le calcul de l'ETP à partir des données climatiques pose le problème du choix de la formule ou des formules; en effet, vu la différenciation des climats malgaches existe-t-il une formule valable et l'est-elle pour toute l'île? Il n'existe à Madagascar que peu d'études de mesure de l'ETP et celles réalisées sont souvent peu valables. Nous nous trouvons donc placés dans la quasi impossibilité de tester les formules de calcul de l'ETP par rapport à des mesures réelles, surtout pour l'ensemble des régions.

Certaines formules telle celle de PENMAN basées sur l'étude du bilan d'énergie d'une surface évaporante, et qui tiennent compte d'un grand nombre de facteurs donnent les meilleurs résultats. *Malheureusement l'utilisation de ces formules est impossible du fait du manque de données pour l'ensemble des stations.*

Il existe de très nombreuses formules permettant le calcul de l'ETP à partir de telles ou telles données météorologiques. Selon RIQUIER (1958-59) "Les formules basées surtout sur la température de l'air, expriment très mal à Madagascar les variations mensuelles de l'évapotranspiration. La radiation solaire ou même le déficit de saturation de l'air (très variable d'une période à l'autre et d'une région à l'autre) sont les éléments climatiques les plus importants". Ses travaux sur le bilan hydrique des sols montrent que la formule de THORNTHWAITE donne à Madagascar des valeurs trop fortes en saison des pluies et trop faibles en saison sèche, qui ne suivent pas les valeurs données par l'évaporomètre PICHE.

De l'examen des diverses formules climatiques d'ETP, RIQUIER (loc. cit.) concluait en faveur de la formule de PRESCOTT (1), basée sur la température moyenne de l'air et le déficit de saturation, comme étant la plus adaptée à Madagascar. Elle donnerait des résultats concordant avec les mesures hydrologiques du déficit d'écoulement de certains bassins versants.

Il rejetait la formule de BOUCHET, ou formule du "PICHE CORRIGE" (2). Cette formule donne des valeurs exagérées en saison sèche.

(1) Formule de PRESCOTT

$$E_t = K E_w^{0,75}$$

$$E_w = 21 S_d$$

$E_t$  = Evapotranspiration potentielle en mm par mois

$E_w$  = Evaporation mensuelle en mm d'une surface d'eau libre

21 = coefficient dépendant du nombre de jours du mois :

21,9 pour 31 j.

21,2 pour 30 j.

19,8 pour 28 j.

$S_d$  = déficit absolu de saturation en mm de Hg

ou encore  $S_d$  = tension de vapeur saturante à la température moyenne du mois x déficit relatif

K = coefficient variable avec la nature du couvert végétal :

3,0 pour une rizière

2,0 pour des plantes évaporant beaucoup: céréales, cultures fourragères

1,5 pour des plantes évaporant moyennement: prairie naturelle

1,0 pour un sol nu.

L'existence du coefficient K variable avec le couvert végétal, enlève à cette formule son sens purement climatique. En réalité elle a pour but la détermination de l'ETR et non de l'ETP.

(2) Formule de BOUCHET

$$ETP = \alpha \left( 1 + \frac{F'(t)}{\gamma} \right) E_p$$

dans laquelle

ETP = évapotranspiration potentielle.

t = température de l'air

$F'(t)$  = dérivée de F(t) par rapport à t

F(t) = tension de vapeur saturante de l'air à la température t

$\gamma$  = constante de BOWEN

$\alpha$  = coefficient variable avec la région considérée et le type d'abri

$E_p$  = évaporation donnée par l'évaporomètre PICHE.

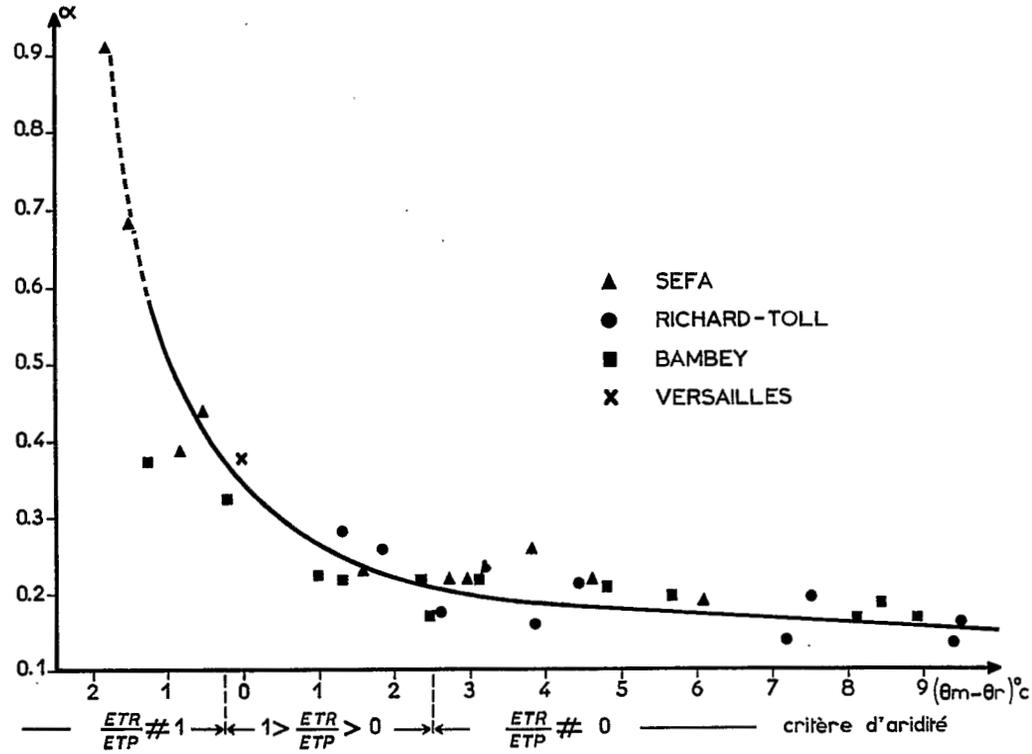


Fig. 4 - Variations mensuelles du coefficient  $\alpha$   
 (Abri tropical à persiennes simples) en fonction de l'écart entre la température  
 minimale  $\theta_m$  et la température du point de rosée  $\theta_r$   
 (d'après P.G. SCHOCH et Cl. DANCETTE 1968)

SCHOCH et DANCETTE (1968) ont amélioré cette formule en donnant une loi de variation de  $\alpha$  en fonction de l'aridité du lieu. En effet, le passage de la formule de PENMAN à la formule de BOUCHET montre que à température constante  $\alpha$  est fonction du rapport ETR/ETP. "En région subtropicale, caractérisée par une saison sans pluie et une saison à pluviosité très abondante, on peut donc s'attendre à observer des variations importantes du coefficient  $\alpha$ . On a essayé de relier les variations de  $\alpha$  à une donnée climatique simple, traduisant assez bien l'aridité de la région: la différence entre les températures minimales de l'air et du point de rosée".

Les résultats expérimentaux obtenus au Sénégal, pour 3 stations à climats très différents, ont permis de mettre en évidence les variations de  $\alpha$  avec l'aridité de la région.  $\alpha$  diminue lorsque l'aridité et l'évaporation sous abri augmentent (voir fig. IV).

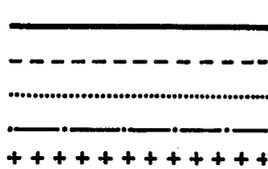
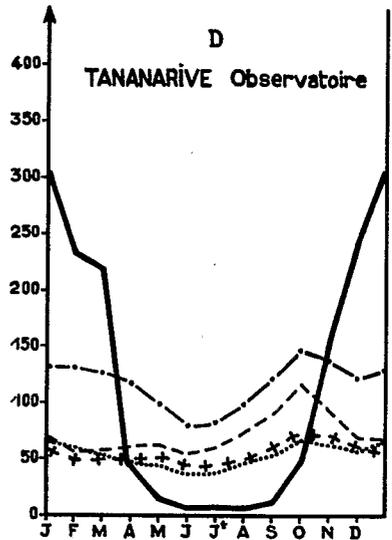
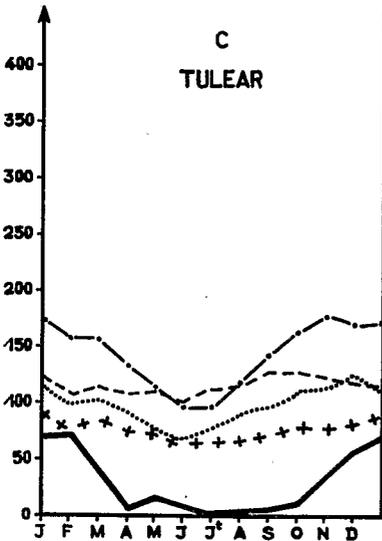
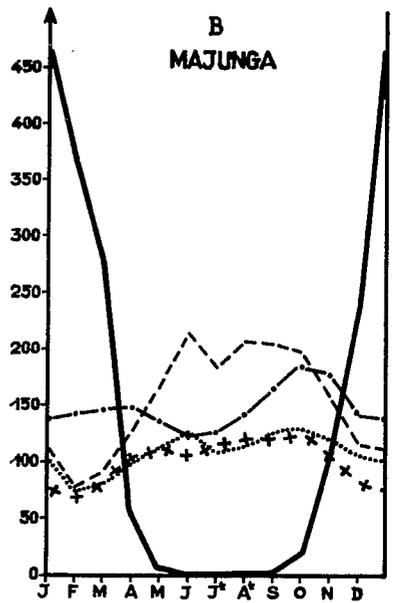
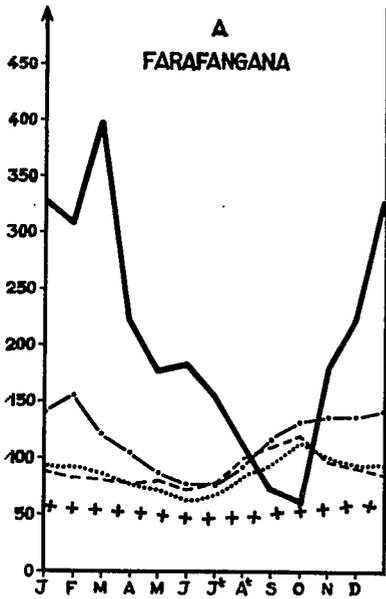
Nous avons comparé, pour les 27 stations synoptiques réparties dans l'île, les valeurs d'ETP obtenues, par la formule de PRESCOTT avec  $K = 2,0$ , la formule du PICHE CORRIGE avec variation de  $\alpha$ , et la formule de TURC, qui tient compte du rayonnement. On s'est rendu compte, que la formule de PRESCOTT donnait des valeurs beaucoup trop faibles dans les régions où l'humidité de l'air est importante, par exemple la côte Est (voir fig. V-A) et ailleurs en saison des pluies. Cela est lié à la prédominance accordée au déficit de saturation de l'air dans cette formule.

Dans les zones à fort déficit hydrique de l'air, par exemple l'Ouest (voir fig. V-B), la formule de TURC donne des valeurs exagérées qui ne suivent pas l'évolution de l'évaporation PICHE. La formule du PICHE CORRIGE paraît assez bien s'adapter dans les diverses régions. Mais elle semble, d'après les quelques valeurs mesurées connues, donner une sous-estimation systématique de l'ETP de l'ordre de 15 à 20 %.

Nous avons donc utilisé pour la détermination de l'ETP la formule du PICHE CORRIGE en étudiant les variations de  $\alpha$  pour chaque mois et chaque station. L'utilisation de l'évaporomètre PICHE a l'avantage d'intégrer un grand nombre de facteurs climatiques et de donner une grandeur simple. Cet appareil d'utilisation facile est très répandu dans les stations météorologiques, mais il est très sensible à l'environnement, et nécessite des conditions d'emploi strictement définies.

Nous avons calculé, pour toutes les stations pour lesquelles nous possédions les valeurs de l'évaporation PICHE sur une période supérieure à 5 ans, les valeurs mensuelles de l'ETP (voir tableau I). Pour les autres stations, nous avons calculé d'abord l'ETP mensuelle d'après la formule de PRESCOTT. Nous avons ensuite considéré les deux stations comparables les plus proches, en tenant compte de l'altitude et de l'exposition. On a procédé au calcul de "l'ETP PRESCOTT" et de "l'ETP PICHE CORRIGE" pour chacune d'elles. Nous en avons déterminé, en effectuant les rapports, la valeur approchée de l'ETP, pour la station considérée. Nous avons ainsi obtenu, pour chaque station, les valeurs mensuelles de l'ETP. Ces valeurs ne sont probablement pas très exactes en grandeur absolue. Elles sont en général sous-estimées, mais elles ont une valeur relative les unes par rapport aux autres. On pourra, ultérieurement, lorsque des mesures d'ETP auront été effectuées dans les diverses parties de l'île, corriger la valeur absolue de l'ETP.

Connaissant, pour les diverses stations, les valeurs mensuelles des précipitations et de l'ETP, nous avons pu déterminer le déficit hydrique climatique mensuel et la durée de la saison sèche. Nous calculons ensuite le déficit hydrique cumulé.



————— Precipitations  
 - - - - - E piche  
 ..... ETP piche corrigé  
 - · - · - ETP Turc  
 + + + + + ET Prescott K= 2,0

Fig. 5 - Précipitations et évapotranspirations calculées pour quatre stations.

TABLEAU I  
EXEMPLE DE CALCUL

Station : Tuléar

Mois	$\bar{t}$	F ( $\bar{t}$ )	h	F( $\bar{t}$ ).h	$t_r$	$t = \frac{\bar{t} + t_r}{2}$	$\lambda$	h'	h'.F( $\bar{t}$ )	$t'_r$	$t_m$	$t_m - t'_r$	$\alpha$	EP	ETP
J	27,3	26,86	73	19,61	22,0	24,7	4,31	66	17,73	20,4	22,7	+ 2,3	0,21	122,8	111,1
F	27,6	27,33	75	20,50	22,8	25,2	4,40	66	18,04	20,7	22,8	+ 2,1	0,21	107,8	99,6
M	26,8	26,08	74	19,30	21,8	24,3	4,25	64	16,69	19,4	21,7	+ 2,3	0,21	115,4	103,0
A	25,1	23,59	74	17,46	20,1	22,6	3,98	63	14,86	17,5	19,6	+ 2,1	0,21	110,2	92,1
M	22,7	20,42	70	14,29	16,9	19,8	3,56	56	11,44	13,4	16,6	+ 3,2	0,20	111,3	79,2
J	20,9	18,31	72	13,18	15,6	18,3	3,36	57	10,44	12,0	14,7	+ 2,7	0,20	102,7	69,0
J	20,4	17,74	72	12,77	15,1	17,8	3,30	58	10,29	11,7	14,1	+ 2,4	0,21	112,0	77,6
A	21,0	18,42	74	13,63	16,1	18,6	3,40	61	11,24	13,1	14,7	+ 1,6	0,23	116,2	90,9
S	22,6	20,30	71	14,41	17,0	19,8	3,56	60	12,18	14,3	16,4	+ 2,1	0,21	128,5	96,1
O	23,9	21,95	71	15,58	18,3	21,1	3,74	64	14,05	16,6	18,4	+ 1,8	0,23	128,6	110,6
N	26,2	23,73	73	17,32	20,0	22,6	3,98	67	15,90	18,6	20,2	+ 1,6	0,23	125,1	114,5
D	26,5	25,63	75	19,22	21,7	24,1	4,22	70	17,94	20,6	21,9	+ 1,3	0,25	120,0	126,6

$\bar{t}$  = température moyenne de l'air en °C

ETP total annuel : 1 170,3

F(t) = tension de vapeur saturante en mm de Mercure

h = humidité relative moyenne

h' = humidité relative à 12 heures

$t_r$  = température du point de rosée pour humidité relative h

$t'_r$  = température du point de rosée pour humidité relative h'

L'utilisation de F ( $\bar{t}$ ).h au lieu de  $\overline{F(t).h}$  pour le calcul de  $t_r$  n'entraîne pas d'erreur sensible.

## TEMPÉRATURE MINIMALE

L'examen de la répartition des moyennes des minimums du mois le plus froid nous montre que ces valeurs sont en relation d'une part avec l'altitude, d'autre part avec la latitude. Serait-il possible de trouver une loi de variation simple entre la température minimale du mois le plus froid et ces deux paramètres: altitude et latitude, pour les diverses régions de Madagascar ?

### *La côte Est*

Le calcul montre qu'il existe une série de régressions linéaires significatives entre la température minimale du mois le plus froid et l'altitude d'une part et la latitude d'autre part.

Ainsi :

$$\text{ - pour } \phi = 15^\circ \quad y = - 127,44x + 2301,57$$

$$\text{ - pour } \phi = 18^\circ \quad y = - 151,86x + 2519,30$$

$$\text{ - pour } \phi = 21^\circ \quad y = 166,10x + 2570,71$$

(voir fig. VI)

-  $\phi$  étant la latitude en  $^\circ$

- y l'altitude en m

- x la moyenne des minimums du mois le plus froid.

On peut ainsi pour chaque latitude calculer la droite de régression. Pour l'ensemble des latitudes  $\phi$ , on obtiendrait une famille de droites dont l'équation générale serait une équation paramétrique de paramètre  $\phi$ .

La connaissance de ces variations peut nous permettre de calculer, à quelle altitude par exemple on aura telle valeur de la moyenne des minimums du mois le plus froid, compte tenu de la latitude, ainsi :

pour $\phi = 21^\circ$	la moyenne des minimums du mois le plus froid sera de $10^\circ\text{C}$ à	900 m
pour $\phi = 18^\circ$	" " " " "	sera de $10^\circ\text{C}$ à 1 001 m
pour $\phi = 15^\circ$	" " " " "	sera de $10^\circ\text{C}$ à 1 027 m

(voir fig. VI)

De même, pour une altitude donnée, on peut calculer une régression linéaire de la moyenne des minimums du mois le plus froid en fonction de la latitude  $\phi$ .

Par exemple, pour l'altitude 0, on aura :

$$x_0 = - 0,291 \phi + 22,27$$

dans laquelle :  $x_0$  est la moyenne des minimums du mois le plus froid, pour les stations d'altitude  $y \approx 0$ , en degrés CELSIUS

$\phi$  est la latitude du lieu en degrés et 1/100e de degrés.

La connaissance de ces variations permet de tracer les limites des zones ayant même moyenne des minimums du mois le plus froid.

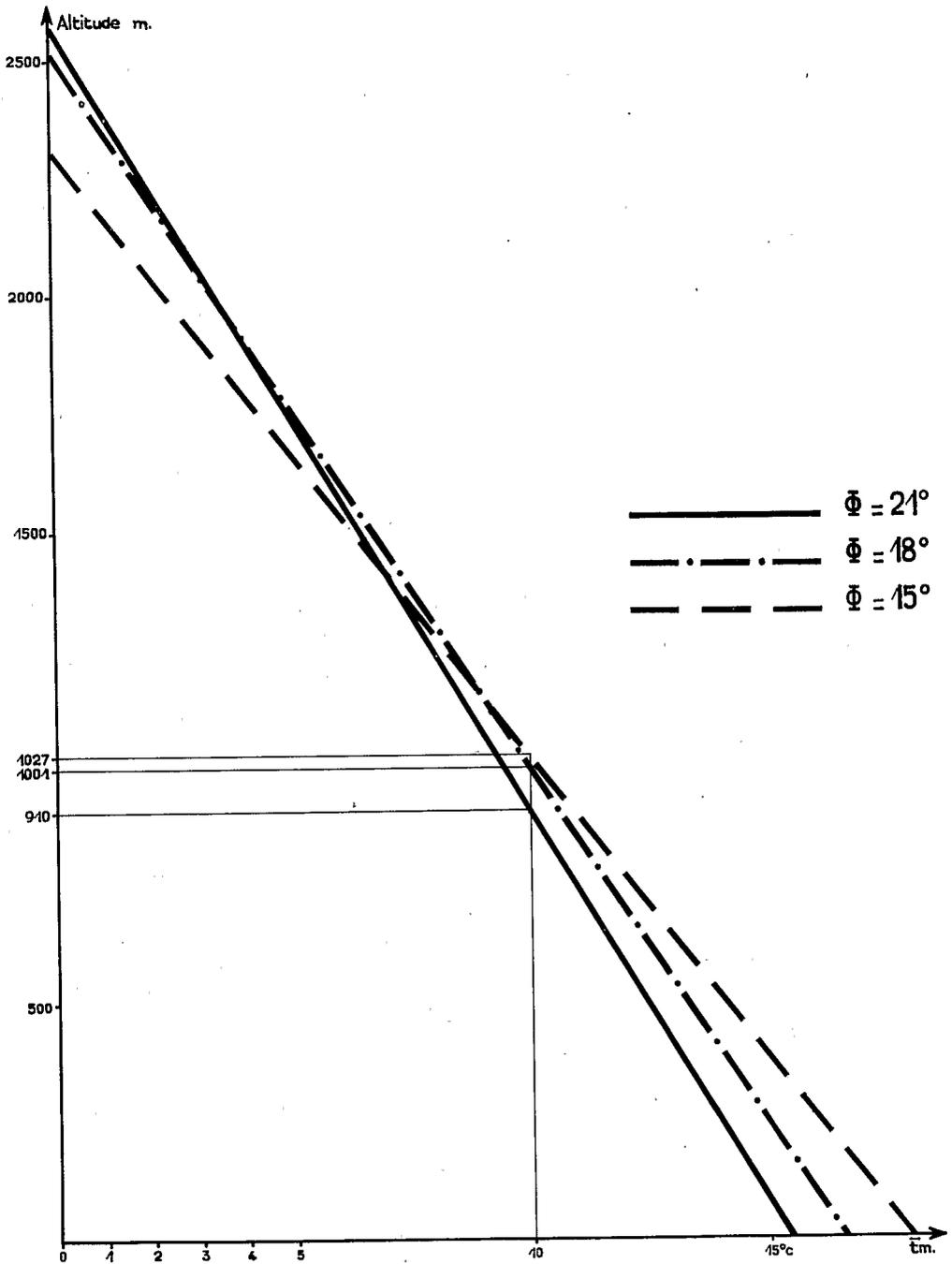


Fig. 6 - Droites de régression de la moyenne des minimums du mois le plus froid en fonction de l'altitude sur la Côte Est, pour trois latitudes  $\Phi$  données

*Pour les autres régions*

Il existe également une corrélation entre la moyenne des minimums du mois le plus froid et l'altitude et la latitude. Mais, d'autres facteurs interviennent, telle l'exposition pour la région centrale, ou la distance à la mer dans les plaines de l'ouest, ainsi que les différences de coefficient adiabatique pour un air dont le degré de saturation varie. De sorte que dans ces zones, il est impossible de préciser les lois de variation. On a pu toutefois tracer les limites des valeurs de la moyenne  $t_m$  des minimums du mois le plus froid en tenant compte zone par zone de ces différents facteurs.

## D - CLASSIFICATION DES TYPES DE BIOCLIMATS MALGACHES

### TYPES DE BIOCLIMATS MALGACHES EN FONCTION DU DÉFICIT HYDRIQUE CUMULÉ (D) ET DE LA MOYENNE DES MINIMUMS DU MOIS LE PLUS FROID ( $\bar{t}_m$ )

Cette classification se fait suivant les valeurs du déficit hydrique cumulé et de la moyenne des minimums du mois le plus froid. Connaissant ces grandeurs pour chaque station, il convient de déterminer les valeurs critiques qui permettront de répartir les stations dans diverses classes climatiques.

Pour essayer de déterminer ces valeurs d'une façon aussi peu arbitraire et aussi proche de la réalité que possible, nous avons opéré graphiquement: chaque station étant représentée par un point ayant pour abscisse la moyenne des minimums du mois le plus froid et pour ordonnée le déficit hydrique cumulé, la couleur du point étant fonction de la durée de la saison sèche, on voit s'individualiser des groupes de points correspondant à des stations ayant un climat comparable. Les césures entre les groupes apparaissent, donnant ainsi les valeurs recherchées, qui ont été reportées dans la classification (1).

Il existe un certain nombre de stations dont l'appartenance à tel ou tel groupe n'est pas ou peu évidente. Ces stations sont étudiées plus en détail, en les comparant avec les stations voisines. Elles sont ensuite, soit rattachées au groupe avec lequel elles ont le plus d'affinités, soit laissées à part, comme représentatives d'un climat local, exemple : Sakaraha ou Vohémar.

Nous avons distingué 5 étages climatiques dont 4 sont déterminés par les conditions hydriques et un étage montagnard défini par les conditions thermiques. Enfin, pour définir certaines classes nous avons fait

---

(1) Vu sa taille ce graphique n'a pu être reporté dans la présente note.

intervenir P la pluviométrie annuelle; en effet, un même déficit hydrique cumulé n'a pas la même signification pour la végétation, suivant la hauteur d'eau annuelle que reçoit la région considérée. Car dans le cas des régions à longue saison sèche, pour une même durée de celle-ci et un même déficit hydrique cumulé, l'existence de certaines formations végétales nécessite une quantité d'eau importante durant la saison humide

Remarque :

Pour faciliter la représentation et la désignation des différentes zones nous avons adopté les signes suivants :

- H représente l'étage humide  
p le sous-étage perhumide  
h le sous-étage humide.
- sH représente l'étage subhumide  
sH<sub>1</sub> représente le sous-étage à saison sèche atténuée  
sH<sub>2</sub> représente le sous-étage à saison sèche non atténuée.
- S représente l'étage sec  
les sous-étages sont représentés dans l'ordre de déficit hydrique cumulé croissant par S<sub>1</sub> - S<sub>2</sub> - S<sub>3</sub>.
- sA représente l'étage subaride  
les sous-étages sont représentés dans l'ordre de déficit hydrique cumulé croissant par sA<sub>1</sub> - sA<sub>2</sub> - sA<sub>3</sub>.
- M représente l'étage montagnard.

En plus de ces signes, on ajoute suivant ( $\bar{t}_m$ ) moyenne des minimums du mois le plus froid.

- a pour  $\bar{t}_m > 18^\circ\text{C}$
- b pour  $16^\circ < \bar{t}_m < 18^\circ\text{C}$
- c pour  $13^\circ < \bar{t}_m < 16^\circ\text{C}$
- d pour  $10^\circ < \bar{t}_m < 13^\circ\text{C}$
- e pour  $7^\circ < \bar{t}_m < 10^\circ\text{C}$
- f pour  $5^\circ < \bar{t}_m < 7^\circ\text{C}$

ainsi selon cette nomenclature.

La zone pour laquelle  $13 < \bar{t}_m < 16^\circ$  de l'étage humide et du sous-étage perhumide sera notée <sup>m</sup>Hpc.

TABLEAU II  
 TYPES DE BIOCLIMATS MALGACHES

		D < 100 mm	100 < D < 300 mm	D > 300					
		D = 0 0<D<100	Saison sèche atténuée D < 200	Saison sèche non atténuée D > 200	P > 1 000 mm			P < 1 000 mm	
					300<D<400	400<D<700	D>700	300<D<400	400<D<700
$\bar{t}_m > 18^\circ\text{C}$	Hpa				S <sub>3</sub> <sup>a</sup>				
$16^\circ < \bar{t}_m < 18^\circ\text{C}$	Hpb		sh <sub>2</sub> b		S <sub>1</sub> b	S <sub>2</sub> b	S <sub>3</sub> b		
$13^\circ < \bar{t}_m < 16^\circ\text{C}$	Hpc Hhc		sH <sub>2</sub> c		S <sub>1</sub> c			sA <sub>2</sub> c	sA <sub>3</sub> c
$10^\circ < \bar{t}_m < 13^\circ\text{C}$	Hpd Hhd		sH <sub>1</sub> d	sH <sub>2</sub> d				sA <sub>1</sub> d	sA <sub>2</sub> d
$7^\circ < \bar{t}_m < 10^\circ\text{C}$	Hhe		sH <sub>1</sub> e	sH <sub>2</sub> e				sA <sub>1</sub> e	sA <sub>2</sub> e
$5^\circ < \bar{t}_m < 7^\circ\text{C}$			sH <sub>1</sub> f						
$\bar{t}_m < 5^\circ\text{C}$	M								

## RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

- *L'étage humide* dont le déficit hydrique cumulé est inférieur à 100 mm comprend tout le versant oriental de l'île. On peut le diviser en deux sous-étages :
  - . *un sous-étage perhumide* pour lequel le déficit est constamment nul. Ce sous-étage comprend la côte Est de Sambava à Nosy-Varika de 0 à 700 m d'altitude. Ailleurs, sur le reste du versant oriental, il est surtout fonction du relief et de l'exposition à l'alizé.
  - . *un sous-étage humide*, caractérisé par un déficit hydrique non nul mais faible, occupe le reste du versant oriental et notamment la plaine côtière de Nosy-Varika à Fort-Dauphin.
- *L'étage subhumide* est essentiellement représenté sur les plateaux du centre. Mais il comprend en outre la dépression du lac Alaotra, le Sambirano et les massifs montagneux Tsaratanana et Andringitra jusqu'à une altitude voisine de 1 800 ou 2 000 m. Il comprend également quelques enclaves dans d'autres étages tels que l'Isalo ou l'Analavelona.
- *L'étage sec* est représenté par toutes les plaines et plateaux de l'ouest jusqu'à une altitude de 600 m de Maromandia à Belo-sur-Tsiribihina et l'extrémité de l'île au nord de Vohémar.
- *L'étage subaride* englobe le sud et le sud-ouest de Madagascar à partir de Morondava.
- *L'étage montagnard* comprend essentiellement les trois principaux massifs: Tsaratanana, Ankaratra et Andringitra au-dessus de 1 800 m. Nous avons été conduits à distinguer cet étage malgré le peu de stations s'y rapportant, car les mesures ponctuelles et observations réalisées par les différentes missions dans ces contrées (RCP 225, missions en collaboration avec l'Armée,...) nous amènent à penser que les valeurs des températures minimales, très contraignantes pour la végétation, confèrent à cet étage une individualité suffisante. Faute d'observations et de données, il ne nous a pas été possible de subdiviser cet étage dans la classification et la cartographie. Cependant, il existe une variante humide sans saison sèche marquée (1) et une variante plus sèche de ce type de climat (2) liées surtout à l'exposition et au climat des zones environnantes.

## RÉALISATION DE LA CARTE

La carte a été réalisée à l'échelle 1/2 000 000 qui nous a paru la meilleure, vu la complexité du relief malgache qui crée un découpage

---

(1) Marojejy, Tsaratanana, Andohahelo,...

(2) Région centrale et ouest de l'Andringitra, sommets de l'Itremo et de l'Ibity.

important des zones climatiques. Le fond topographique est issu du Fond I.C.N. au 1/2 000 000.

Cette carte est la synthèse, en fait, de la superposition de trois cartes élémentaires :

- la carte des Isodéficits cumulés,
- la carte des Isothermes (moyenne des minimums du mois le plus froid),
- la carte des Isodurées de saison sèche.

Les étages climatiques sont figurés par 5 couleurs différentes. Les sous-étages et bioclimats étant représentés par des nuances ou des surcharges. Des courbes représentent les lignes d'Isodurée de saison sèche.

## E - DISCUSSION ET RÉSERVES

L'objectif de cette classification est de rendre compte des zones climatiques à Madagascar en relation avec la vie végétale. C'est cet aspect qui a conditionné le choix des paramètres de classification. Avant de voir les correspondances entre les zones ainsi déterminées, les zones de végétation et la répartition géographique de certaines espèces, il y a lieu de formuler un certain nombre de remarques et de restrictions.

- Tout d'abord, l'échelle à laquelle on se place. En effet, les données climatiques simples utilisées sont celles de la Météorologie Nationale, qui rendent compte seulement du climat régional et non du mésoclimat ou du microclimat. Par ailleurs la densité des stations bien que relativement importante est très insuffisante dans un pays où la diversification climatique est très poussée du fait d'un relief tourmenté. Aussi ne faut-il chercher dans ce travail que des informations générales sur le climat de chaque région.

- D'autre part, la nécessité de classer les zones climatiques peut estomper certaines variations, qui, sur le plan local peuvent apparaître importantes. Ainsi la zone sud de l'étage subaride classée en SA<sub>1</sub>d peut être divisée en deux parties: l'Androy plus humide et le pays Mahafaly plus sec, mais cette différence réelle est trop faible numériquement pour justifier le rattachement du pays Mahafaly à la zone SA<sub>2</sub>d, bien que sur le terrain ce rapprochement paraisse possible.

- Le manque de données pour certaines régions a conduit à fixer pour certaines zones des limites approximatives qui pourront à l'examen de données ultérieures se révéler fausses. De même si certains climats locaux: Sakaraha, Ihosy, ont pu être déterminés du fait de l'existence en ces lieux de stations météorologiques, beaucoup d'autres ne sont pas apparus.

- La lecture de la carte présente des anomalies apparentes dans le tracé des zones: discontinuités, convergence des lignes d'isodurée à Fort-Dauphin... En fait, cela s'explique en ces points par l'existence de gradients

climatiques importants, sur de faible distance, liés aux brusques variations du relief.

- Enfin, la répartition végétale n'est pas liée uniquement aux phénomènes climatiques, d'autres facteurs, édaphiques notamment, interviennent également. Ainsi, *Euphorbia leucodendron* BOIS. dont l'optimum écologique semble se situer sur la zone littorale sud ( $sA_3c$ ) se retrouve dans le domaine du centre ( $sH_e$ ) notamment sur les dômes granitiques près d'Ambalavao et sur cipoliñs près d'Ambatofinandrahana. De même *Hyparrhenia rufa* répandu dans le Moyen-Ouest sur terrains à éléments fins se retrouve dans le sud-ouest mais uniquement inféodé aux bords de rivière. Le facteur stationnel eau du sol devient alors le facteur déterminant.

En tenant compte de ces restrictions, si l'on compare la carte obtenue aux cartes de végétation, on remarque tout d'abord que la "flore du vent" occupant la "région orientale" telle que la définissait et la cartographiait HUMBERT (1954) correspond exactement aux étages Humides et Subhumide. Le "domaine de l'est" toujours selon HUMBERT se superpose à Humide, alors que les domaines "du centre", des "pentes occidentales" et du "Sambirano" correspondent à l'étage Subhumide. Par contre si dans les deux tiers septentrionaux de l'île le "domaine de l'ouest" s'identifie bien à l'étage SEC, dans le tiers Sud il y a discordance. "Le domaine du Sud", comme le soulignent GUILLAUMET et KOECHLIN (1971) a été défini classiquement comme celui du "fourré à Didiéracées et à Euphorbes". Or, les régions cartographiées par HUMBERT comme appartenant à cette unité phytogéographique, ne correspondent pas à cette définition. Le fourré proprement dit n'occupe en effet qu'une étroite bande le long de la côte..." ce qui correspond très bien à la zone climatique  $sA_3c$ , la plus aride de l'étage subaride. Le reste de l'étage englobant la partie sud-ouest et sud du domaine de l'ouest de HUMBERT.

D'après les travaux de GUILLAUMET et KOECHLIN (1971), l'étagement de la végétation sur le versant oriental serait le suivant :

- étage de basse altitude: forêt dense humide sempervirente (jusqu'à 800 m)
- étage de moyenne altitude: forêt dense humide de montagne (800 à 1 800 m)
- étage montagnard: forêt dense humide et forêt sclérophylle de montagne (1 800 à 2 000 m)
- étage de haute montagne: fourré de montagne (au-dessus de 2 000 m).

On voit, que la forêt dense ombrophile occuperait d'un point de vue climatique à Madagascar les zones Hpa, Hpb, Hpc et Hhc de l'étage humide. Ses conditions climatiques seraient donc les suivantes: déficit hydrique cumulé nul ou très faible ( $< 100$  mm) et la moyenne des minimums du mois le plus froid supérieure ou égale à  $12^\circ\text{C}$ . En raison de l'action de la latitude nous avons vu que la limite altitudinale de  $t > 12^\circ\text{C}$  s'abaisse dans la partie sud de l'île. Or GUILLAUMET note que l'étage de basse altitude atteint une altitude inférieure dans cette région.

Il apparaît que les divisions climatiques obtenues semblent assez bien correspondre aux divisions naturelles des formes de végétation, et permettre comme dans le cas précédent de les caractériser climatiquement.

Pour ce qui est de la répartition des espèces, le problème est plus délicat, vu l'interaction très forte des facteurs édaphiques. Cependant, certaines espèces semblent liées à des zones climatiques assez restreintes. Ainsi *Haematodendron glabrum* R. CAPURON semble, selon l'auteur limité aux zones climatiques Hpc et Hpd du sous-étage perhumide,

qui correspondent à un déficit hydrique cumulé nul et à une moyenne des minimums du mois le plus froid comprise entre 10 et 16°C.

## CONCLUSION

Vu la diversité des climats et du relief à Madagascar, les facteurs influençant en priorité la végétation paraissent très variables suivant les types de végétation et d'une région à l'autre. Cependant, le déficit hydrique cumulé et la moyenne des minimums du mois le plus froid, semblent jouer un rôle de premier plan dans la plupart des zones. Etant bien entendu que localement telle ou telle autre formule privilégiant tel ou tel facteur climatique peut s'avérer meilleure et permettre de préciser ou de corriger les rapports entre zones de végétation et zones climatiques.

Il serait important pour améliorer ce travail, de réaliser des mesures d'évapotranspiration potentielle dans les différentes zones climatiques afin de vérifier l'adaptation de la formule de calcul, ce qui permettrait de connaître les valeurs absolues de cet élément du climat.

Malgré ses imperfections, la classification climatique obtenue ici, montre une assez bonne correspondance avec les zones de végétation. Son principal intérêt est de définir et de différencier les grandes zones climatiques de Madagascar et de permettre ainsi la définition des conditions climatiques approchées dans lesquelles vivent les espèces et les formations végétales. D'autre part, elle peut être utile à l'agronome, connaissant les propriétés hydriques du sol et les exigences écologiques des cultures, pour déterminer les possibilités de production.

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Messieurs de PARCEVAUX, ELDIN, BLANC, DAMAGNEZ et DAUDET de leurs critiques constructives et de leurs conseils pour la rédaction de ce texte.



## BIBLIOGRAPHIE

- ARMEE FRANCAISE/ORSTOM - 1966 - Nouvelles données scientifiques sur le massif du Tsaratanana - Madagascar. Mémoire ORSTOM, n° 37, pp. 1-8.
- BOUCHET (R.J.) - 1964 - Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. L'eau et la production végétale; INRA, Paris, pp. 151-232.
- CAPURON (R.) - 1966 - Vingt fiches botaniques d'essences forestières de Madagascar. C.T.F.T., Tananarive.
- DONQUE (G.) - 1971 - Ebauche de la classification des climats de Madagascar selon les critères de KOPPEN. Madagascar, Revue de Géographie, n° 19, juil.-déc. 1971, pp. 107-121.
- ELDIN (M.) et DAUDET (A.) - 1967 - Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire. ORSTOM, Adiopodoumé, 18 p.
- ELDIN (M.) - 1971 - Le climat - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, n° 50, Paris, 1971, pp. 73-108.
- EMBERGER (L.) - 1954 - Projet d'une classification biogéographique des climats. CNRS, Colloque sur les divisions écologiques du monde, Paris, 1954, pp. 5-11.
- FRIEDMAN (F.) - 1970 - Etude biogéographique de *Coffea burifolia* Chevalier (Madagascar). Revue café, cacao, thé, XIV, n° 1, janv.-mars 1970, IFCC, Paris, pp. 3-12.
- GUILCHER (A.) et BATTISTINI (R.) - 1967 - Madagascar, géographie régionale - C.D.U., 136 p.
- GUILLAUMET (J.-L.) et KOEHLIN (J.) - 1971 - Végétation de Madagascar. à paraître.
- GUILLAUMET (J.-L.) - 1971 - R.C.P. 225. Les chaînes Anosyennes. Les groupements végétaux - en cours de parution.

- HUMBERT (H.) - 1954 - Les territoires phytogéographiques de Madagascar, leur cartographie. CNRS, Colloque sur les divisions écologiques du monde, Paris, 1954, pp. 195-205.
- LEGRIS (P.) et BLASCO (F.) - 1965 - Carton des bioclimats. Notice de la carte internationale du tapis végétal Madagascar par HUMBERT H. et COURTS-DARNE, pp. 31-43.
- MORAT (P.) - 1969 - Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'EMBERGER. Cahier ORSTOM, sér. biol., n° 10, déc. 1969, pp. 117-130.
- MORAT (P.) - 1972 - Contribution à l'étude des savanes du sud-ouest de Madagascar. Thèse faculté des sciences d'Orsay.
- PAULIAN (R.), BETSCH (J.-M.), GUILLAUMET (J.-L.), BLANC (C.) et GRIVEAUD (P.) R.C.P. 225. Etude des écosystèmes montagnards dans la région malgache.  
I. Le massif de l'Andringitra 1970-71.  
Géomorphologie, climatologie et groupements végétaux. Bulletin de la Société d'écologie, avr. 1971, t. II, fasc. 2-3, pp. 189-266.
- PEGUY (C. P.) - 1961 - Précis de climatologie, Masson-Paris, 347 p.
- RIQUIER (J.) - 1958 - Formule d'évapotranspiration. Rapport interne ORSTOM, Tananarive, 13 p.
- RIQUIER (J.) - 1958 - Note sur l'évapotranspiration de THORNTHWAITE et le bilan hydrique des sols. Le naturaliste malgache, t. X, fasc. 1-2, 1958, pp. 1-18.
- RIQUIER (J.) - 1959 - Note complémentaire sur le bilan hydrique des sols. Le naturaliste malgache, t. XI, fasc. 1-2, 1959, pp. 1-8.
- ROBELIN (M.) - 1962 - Evaporation réelle de différents couverts végétaux bien alimentés en eau et ETP; détermination expérimentale. Annales agronomiques, 1962, 13 (6).
- SCHOCH (P.G.) et DANCETTE (C.) - 1967 - Utilisation de l'évaporomètre PICHE pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. L'Agronomie tropicale, sér. agron. générale, n° 9, sept. 1968, pp. 967-973.
- VIERS (G.) - 1968 - Eléments de climatologie. Col. Fac. Nathan, Paris, 224 p.

Données du SERVICE NATIONAL METEOROLOGIQUE.

TABLEAUX DES ANNEXES

LISTE DES STATIONS

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
ALAROBIA - Centre	1 390	8,0	1 276,6	190	7
+ ALATSINAINY-BAKARO	1 584		1 285,8		7
AMBAHIVAHIBE	370	16,7	1 280,5	320	7
AMBALAKONDRO	60	13,5	2 207,0	0	0
AMBALAVAO - Centre	1 367	5,2	1 368,5	180	7
AMBALAVAO - Sud	1 000	8,9	1 001,3	230	7
AMBANJA	40	17,1	2 155,9	200	6
AMBARARATA	450	18,2	1 923,8	300	6
AMBATOBE	1 390	8,0	1 426,3	170	7
AMBATO-BOENI	40	16,8	1 510,1	500,0	7
+ AMBATOFINANDRAHANA	1 430		1 331,5		7
AMBATOLAMPY (Gare)	1 555	6,9	1 624,9	120	6
+ AMBATOLAONA	1 366		1 829,4		6
AMBATOMAINTY-MORAFENOBE	350	14,4	1 654,7	750	8
AMBATOMIKA	253	9,2	633,6	350	9
AMBATONDRAZAKA (Ville)	767	12,0	1 017,7	250	7
AMBILOBE	30	17,6	1 879,9	359,8	6
AMBODIFOTOTRA	3	19,4	3 599,3	0	0
AMBODIRANO	923	10,9	1 630,9	120	6
+ AMBODIROKA		18,4	1 845,3		7
AMBOHIBARY	1 640	3,8	1 543,6	80	5
AMBOHIDRATRIMO	1 300	8,6	1 254,6	190	7
AMBOHIJANAKA	1 261	8,5	1 269,4	190	7

$\bar{t}_m$  moyenne des minimums du mois le plus froid  
valeurs seulement estimées

P précipitations en mm

D déficit hydrique cumulé en mm

+ postes pluviométriques

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
+ AMBOHIMAHASOA	1 200		1 243,3		7
AMBOHIMANDROSO	1 603	8,9	956,4	337,6	7
AMBOHIMENA	40	16,4	1 834,9	229,9	6
AMBOHIMIADANA	1 525		1 305,3		7
AMBOHIPANDRANO	1 325		1 451,1		6
AMBOHITSILAOZANA (Alaotra)	786	10,9	1 175,0	283,0	7
+ AMBODORONA Ecole	1 510		1 415,0		7
+ AMBOROMPOTSY	1 386		1 354,0		7
AMBOSITRA	1 245	8,7	1 554,4	6,0	1
AMBOVOMBE	135	12,3	575,0	309,9	11
AMPAMAHERANA	1 100	8,4	1 662,0	30,0	2
AMPANDRANDAVA	700	12,5	921,3	361,7	7
AMPANGABE	905	10,2	1 203,0	20,6	5
AMPANIHY-OUEST	275	11,9	565,5	381,9	9
AMPARIHY-EST	30	13,6	2 914,2	0	0
AMPASIMPOLAKA	67	13,7	498,6	370,5	11
AMPATAKAMARO-RENY	850	10,5	1 335,8	280,0	7
AMPOTAKA	67	10,4	437,6	380,6	11
ANALALAVA	57	19,4	1 911,8	910,5	7
ANALAMAZOATRA	928	10,3	1 713,2	15,0	2
ANARAFALY-MANDRARE	60	10,0	465,9	365,6	10
ANDAPA	471	13,5	2 042,4	0	0
ANDEMAKA	50	14,9	2 341,4	45,0	2
ANDILAMENA	935	11,2	997,0	290,3	7
ANDRAMASINA	1 350	8,5	1 298,0	190	7
+ ANDRIAMENA	750		1 521,0		7
+ ANDRIBA	625		1 893,8		7
ANDROKA	4	14,2	342,6	810,0	12
ANGAVOKELY	1 383	8,2	1 386,5	190,0	7
+ ANIVORANO-EST	15		2 692,3	0	0
+ ANJEVA	1 270		1 228,3		7
+ ANJIRO	960		2 005,5		6
ANJOZOROBE	1 550	9,3	1 236,1	133,0	6
ANKADINONDRY	940	10,1	1 465,2	230	6
ANKAVANDRA	30	15,7	1 370,4	323,4	6
ANKAZOABO-SUD	428	11,7	721,5	520	8
ANKAZOBE	1 225	8,9	1 450,5	230	7

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
ANOSIBE	750	12,1	2 225,2	15,0	2
ANTALAHA	5	18,0	2 150,3	0	0
+ ANTANAMALAZA	1 515		1 213,2		7
+ ANTANANDAVA			550,0		8
ANTANIFOTSY-AMBALAVAO	1 900	5,2	1 234,9	150	7
ANTANIMORA	300	12,0	541,2	505,7	10
ANTOKAZO (Alaotra)	1 050	10,6	1 127,0	126,6	7
+ ANTONIBE	5		1 544,9		8
ANTOREMBO-ANKIHY		19,3	2 080,4	225	6
ANTSABARY	550	14,2	1 258	250	6
ANTSAPANDRANO	1 844	2,5	1 696,0	120	7
ANTSIMBONDRO	10	17,1	1 867,8	428,1	6
ANTSIRABE-Aéro	1 540	4,5	1 453,5	192,3	5
ANTSIRABE Ecole	1 506	5,6	1 429,5	105,3	5
ANTSIRABE Pépinière	1 506	4,1	1 420,5	175,2	5
ANTSOHIHY	28	17,5	1 492,7	890,9	8
ARIVONIMAMO	1 451	7,8	1 428,8	191,2	6
BEALANANA-BETAINKANKANA	1 125	10,7	1 323,3	261,2	6
BEFANDRIANA-NORD	315	17,9	1 854,8	350	6
BEHARA	49	10,7	527,6	350	9
+ BEHENJY	1 427		1 348,2		7
BEKILY	400	10,0	726,1	318,0	8
BEKODOKA	300	15,2	1 494,1	850	8
BELOHA	100	11,8	456,4	380	10
BENENITRA	220	11,9	702,3	500	8
+ BEREVO/TSIRIBIHINA	23		1 096,7		7
BEROROHA	180	12,6	775,6	539,0	8
BESALAMPY	36	16,8	1 271,4	797,2	8
BETANIMENA	5	12,4	347,5	880	12
BETIOKY-SUD	263	11,9	616,0	350,9	9
BETOMBA	37	14,8	1 061,1	331,6	7
BETROKA	795	10,0	847,1	331,9	7
BEZAHA	100	11,3	509,4	380,4	9
BRICKAVILLE	19	16,1	2 863,6	0	0
CAP MASOALA	58	18,1	2 882,0	0	0
DIEGO-SUAREZ (Ville)	105	20,8	914,9	1 256,1	9
DZAMANDZAR	10	20,1	2 241,6	220	6

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
+ ESIRA	400		738,4		7
+ FANOVANA	720		2 935,5		0
FANDRIANA	1 400	6,8	1 180,2	155,4	7
FARAFANGANA	4	15,7	2 427,9	97,1	2
FARATSIHO	1 750	6,3	1 911,6	120,0	5
FASCENE	11	17,3	2 156,6	204,0	6
FAUX CAP	22	17,0	361,0	947,3	12
FENERIVE-EST	5	16,8	2 756,7	0	0
+ FENOARIVO-OUEST	1 100		1 690,8		6
FIANARANTSOA	1 106	9,5	1 221,8	115,6	7
+ FIHASINANA	1 600		1 380,2		7
FORT-DAUPHIN	8	15,3	1 537,1	72,1	3
IALATSARA	1 400	7,3	1 352,4	15,0	2
IFANADIANA	450	12,0	2 529,3	0	0
+ IFARANTSA	10		1 561,8		3
IHOSY	800	10,9	820,5	342,5	7
ILAKA-EST (IFCC)	140	15,1	2 771,0	0	0
+ IMERIMANDROSO	1 353		1 255,0		7
+ IMERINTSIATOSIKA	1 340		1 317,9		6
ISALO	20	13,4	1 249,0	340	7
IVATO	1 264	8,7	1 301,0	226,2	7
+ IVOHIBE	930		901,9		7
IVOLOINA	20	16,6	3 055,7	0	0
KANDREHO	285	16,6	1 701,7	824,6	8
+ KARIANGA	310		2 343,8		1
KIANJASOA	1 000	10,8	1 648,8	238,9	6
KIANJAVATO	300	13,6	2 068,7	38,4	3
MAEVATANANA	77	18,2	1 698,2	604,0	7
MAHABO	75	13,0	863,1	600	8
MAHAJAMBA	6	15,1	1 444,7	800	8
MAHANORO	25	16,6	2 957,5	0	0
MAINTIRANO	25	18,1	998,2	549,6	8
MAJUNGA	17	19,6	1 566,8	735,9	8
MALAIMBANDY	162	14,1	1 335,9	350	7
MANAKAMBAHINY (Est)	990	11,2	1 074,8	80	5
MANAKARA	4	15,9	2 633,3	37,1	1
MANANARA-NORD	10	17,5	2 503,5	0	0

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
MANANJARY	6	15,8	2 793,5	60,3	2
MANANKAZO	1 475	7,8	1 678,4	231,8	7
+ MANDOTO	915		1 538,1		6
LA MANDRAKA	1 210	8,2	2 293,8	12	2
MANDRITSARA	350	15,5	1 173,8	303,3	7
+ MANDROSEZA	1 272		1 246,8		7
MANGINDRANO	1 200	9,0	1 448,9	220	6
MANJA	267	14,1	898,1	650	8
MANJAKATOMPO	1 600	5,5	2 012,1	120	4
MANTASOA	1 400	7,7	1 527	130	7
MAROANTSETRA	2	18,1	3 703,1	0	0
MAROLAMBO	400	14,1	2 033,6	40	2
+ MAROMANDIA	38		1 838,3		7
MAROTANDRANO	500	16,2	1 179,5	280	7
MAROVITSIKA	923	10,5	1 859,2	130	6
MAROVOAY-MADIROKELY	20	16,4	1 495,6	483,8	7
MATSOADAKANA	780	12,0	1 871,2	70	3
+ MERIKANJAKA	1 450		1 419,3		7
+ MIADANIMERINA	1 325		1 304,6		7
MIANDRIVAZO	71	15,5	1 308,3	396,6	7
+ MIANTSOARIVO	1 403		1 469,7		6
MIARINARIVO-ITASY	1 330	8,1	1 659,7	172,2	5
MIDONGY DU SUD	500	11,0	1 861,9	124,2	5
MORAFENOBE	147	16,4	1 790,6	255,0	6
MORAMANGA	912	10,5	1 504,1	180	6
MOROMBE	5	13,2	453,7	837,6	10
MORONDAVA	8	13,0	743,5	611,8	8
+ MOUNEYRES	87		2 616,5	0	0
NAHAMPOANA	25	13,7	2 129,2	0	0
NANISANA	1 259	7,5	1 315,3	180	7
NANOKELY	2 100	3,7	1 714,0	60	5
+ NOSSI-BE (Helville)	11		2 192,4		6
NOSY-VARIKA	16	16,6	2 777,0	0	0
PORT-BERGE	22	15,2	1 576,5	800	8
RANOHIRA	823	10,0	912,4	510,3	8
RENDRIRENDRY	245	15,6	3 971,1	0	0

STATIONS	Altitude en m	$\bar{t}_m$ °C	P	D	Nombre de mois secs
ROUSSETTES	1 000	12,2	3 878,6	12,4	1
SAKARAHA (forêt)	470	7,9	731,1	476,2	8
SAKARAHA (ville)	460	8,3	733,5	480	8
SAMBAVA	4	17,6	2 177,6	42,0	1
+ SITAMPIKY	200		1 587,8		8
SOALALA	4	17,8	1 231,3	526,1	8
+ SOAMANJAKA	1 300		1 448,0		7
SOANIERANA-IVONGO	10	17,5	3 677,0	0	0
SOANINDRARINY	1 800	4,5	1 304,4	90	5
SOAVINANDRIANA	1 575	7,4	1 947,0	180	5
TAMATAVE (Aéro)	5	16,8	3 526,1	0	0
TAMBOHORANO	20	17,1	1 123,1	800	8
TANANARIVE (Observatoire)	1 381	8,9	1 358,8	187,4	7
TRANOROA	209	11,0	522,2	350	9
TSARAMANDROSO	100	17,5	1 605,0	734,1	8
TSARATANANA	380	16,3	1 874,0	450	7
TSIAZOMPANIRY	1 400	7,7	1 349,9	238,1	7
TSIHOMBE	64	12,1	489	377,6	11
TSIMBAZAZA	1 261	8,7	1 291,0	180	7
TSINJOARIVO	1 640	7,1	1 345,9	150	7
TSIROANOMANDIDY	869	12,2	1 655	193,0	6
TSIVORY	399	10,0	977,7	350	7
TULEAR	9	14,1	340,8	829,5	12
+ VANGAINDRANO	25		2 383,1		2
VATOMANDRY	3	17,1	2 994,0	0	0
VOHEMAR	5	19,4	1 413,0	252,8	7
VOHIDIALA	773	11,4	1 215,9	157,7	6
+ VONDROZO	80		2 466,7		2

O. R. S. T. O. M.

*Direction générale :*

24, rue Bayard, PARIS-8<sup>e</sup>

*Service Central de Documentation :*

70-74, route d'Aulnay - 93-BONDY

---

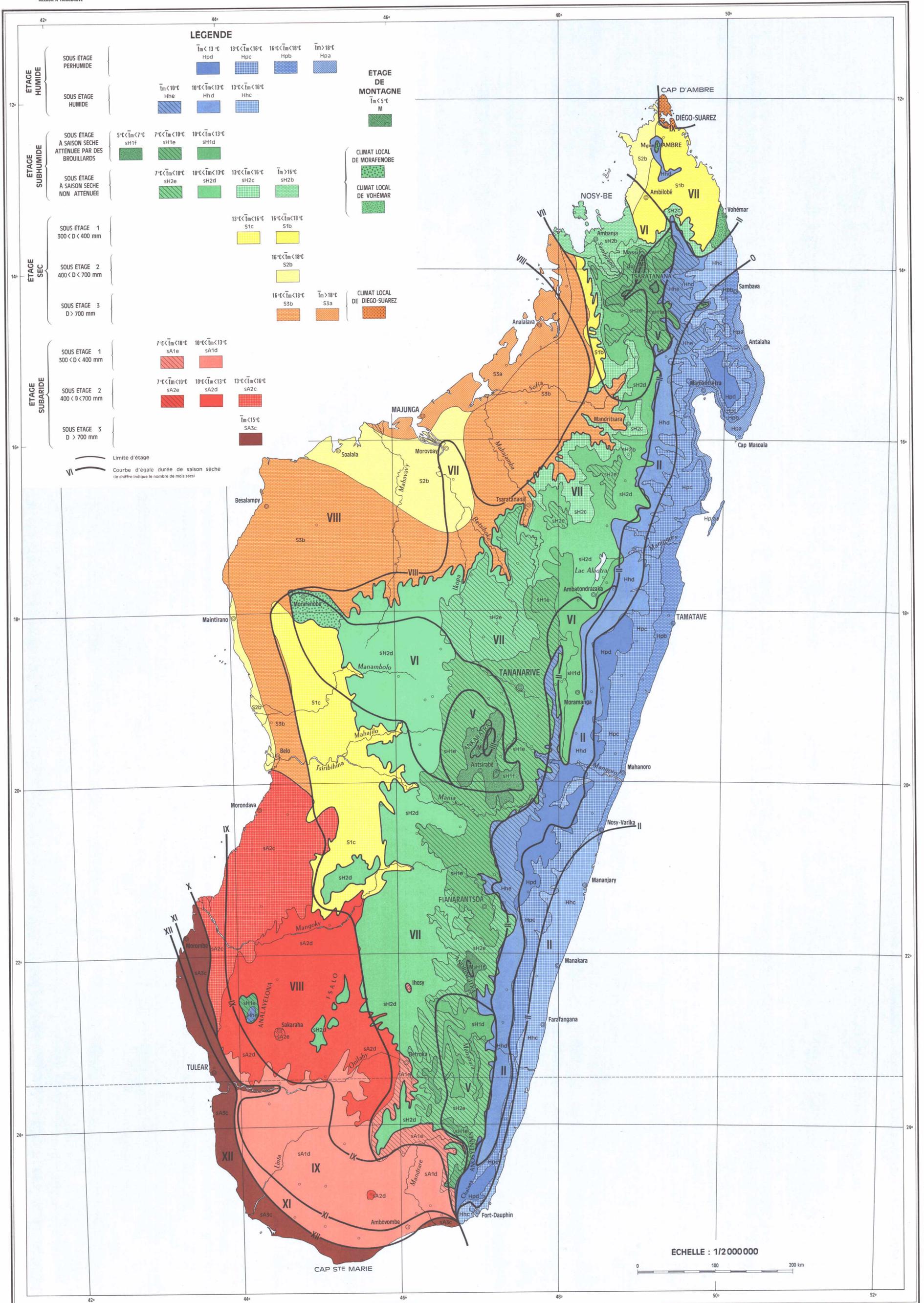
ISBN 2 - 7099 - 0339 - 3

O.R.S.T.O.M. Éditeur

Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trim.1974

# CARTE BIOCLIMATIQUE DE MADAGASCAR

Dressée par Antoine CORNET - 1972



ECHELLE : 1/2 000 000

