

ESSAI DE CARTOGRAPHIE BIOCLIMATIQUE A MADAGASCAR

par Antoine CORNET

Laboratoire de Botanique - O.R.S.T.O.M.

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.

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

— Note sur l'évapotranspiration de Thornthwaite et le bilan hydrique des sols de J. 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 figurant en annexe de la Carte de la végétation de Madagascar (1965). La classification qui sert de base a été réalisée par P. LEGRIS et F. BLASCO à partir de comparaison des diagrammes ombrothermiques.

— Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'Emberger par P. MORAT (1969).

— Ebauche de la classification des climats de Madagascar selon les critères de Koppen par G. 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 du bilan hydrique et du régime thermique avec la végétation, sans passer par l'intermédiaire de formules empiriques.

A — LES GRANDS TRAITS DU CLIMAT MALGACHE

I — DETERMINISME 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 météorologiques 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 INTERTROPICAL 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.

II — 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.

a) **Durant l'hiver austral**, Madagascar est presque entièrement soumise au régime de l'alizé du Sud-Est (Voir figure 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 Pentas occidentales déterminant un phénomène de « FOEHN » (Figure 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.

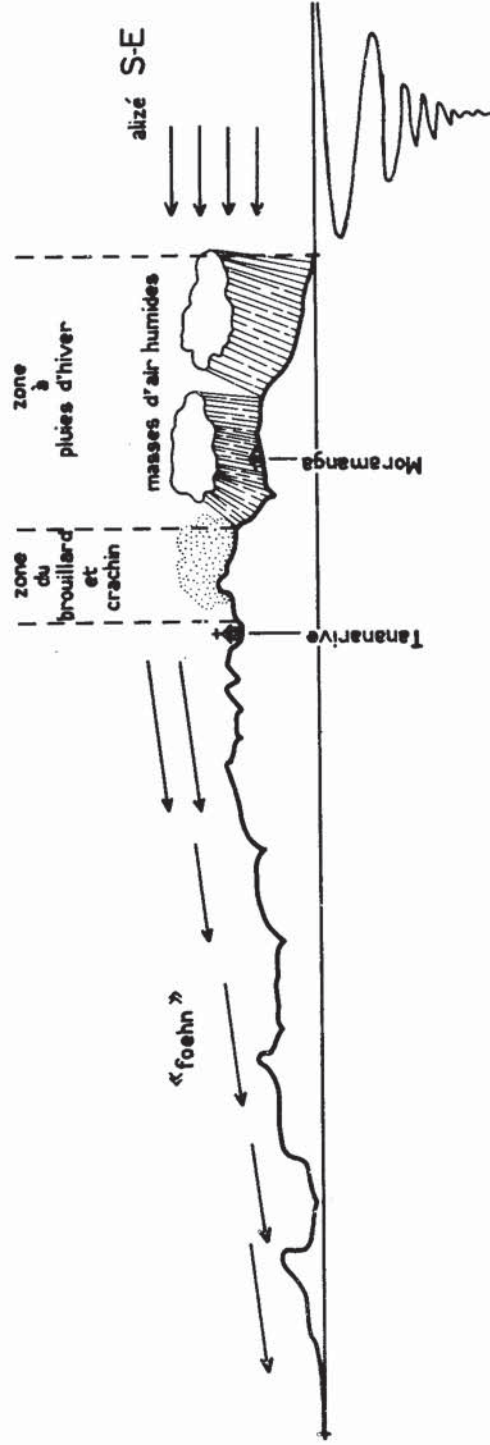
La couche inférieure de l'alizé est déviée par les montagnes vers le Nord sur la côte Nord-Est et vers le Sud sur la côte Sud-Est. Ce changement de direction combiné à la réduction de l'importance des reliefs aux extrémités de l'île fait apparaître des régions à climat de transition.

b) **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 figure II A). Des orages accompagnés de pluies violentes règnent en cette saison sur la plus grande partie de l'île.

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.

Situation durant l'hiver austral

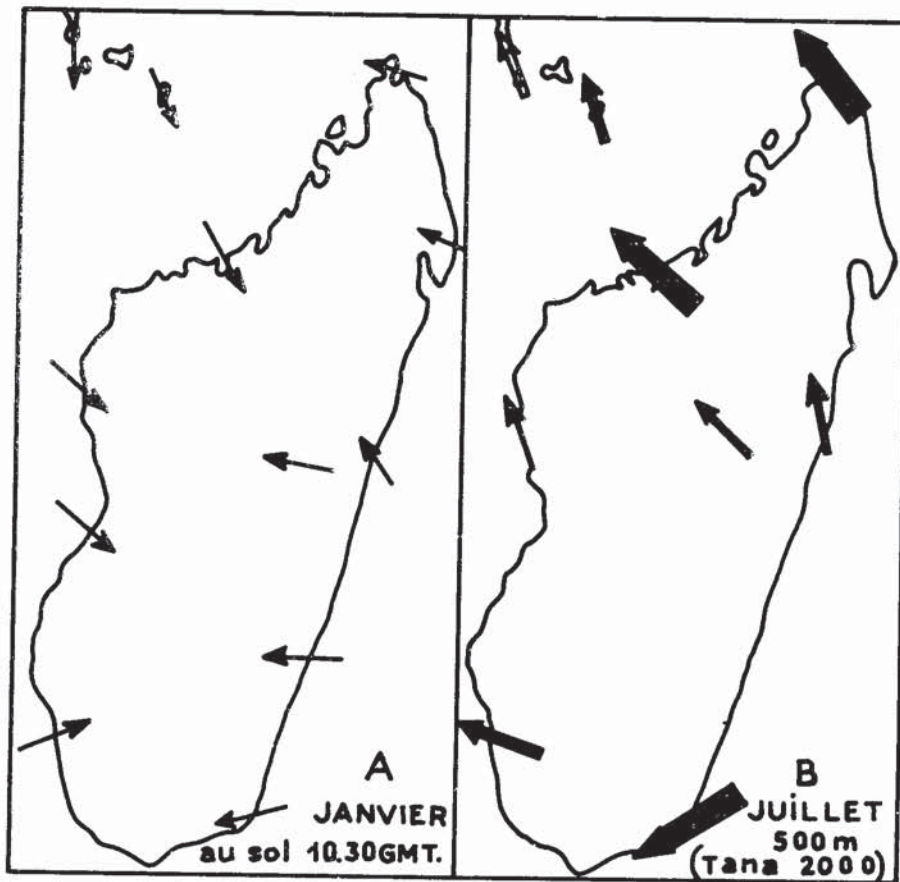
Fig: I



Echelle: 1/2.500.000 en longueur

1/100.000 en hauteur

Fig: II



Les vents (d'après l'Atl. clim.de M.)
in GUILCHER et BATTISTINI 1967

En résumé, on peut dire qu'il existe à Madagascar trois grands types de climats 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 climats, 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 CRITERES 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.

Comme le 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 doit s'adapter à l'utilisation envisagée.

L'objectif visé ici est d'établir une classification climatique intéressant la vie végétale, qui permettrait notamment d'explicitier, 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.

Reprenant la méthode utilisée par ELDIN (1967, 71) 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 ». Cette grandeur trouve son origine dans la notion d'ETP. La notion d'Evapotranspiration potentielle ou ETP (1) nous paraît la plus intéressante, car elle réalise la synthèse de nombreux facteurs climatiques et conditionne au moins partiellement la vie végétale.

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

- La disponibilité en eau dépend des précipitations et des condensations.

(1) L'Evapotranspiration potentielle ou ETP est l'évapotranspiration d'un couvert végétal lorsque l'énergie disponible est le seul facteur limitant.

— La disponibilité en énergie évaporatrice dépend du rayonnement solaire et 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.

Par ailleurs, 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 la mesure d'ETP en tant que grandeur climatique. L'ETP traduit par la demande en eau qu'elle détermine l'action combinée de divers facteurs climatiques.

L'ETR ou Evapotranspiration réelle est l'évapotranspiration effective d'un couvert végétal quel que soit son niveau d'alimentation en eau.

Nous avons $ETR \leq ETP$. Lorsque $ETR < ETP$ la production de 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.

Ainsi, la notion de sécheresse doit être basée sur un bilan considérant d'une part, les apports (précipitation, condensation) et d'autre part, la demande (ETP en tant que grandeur climatique). En confrontant l'offre et la demande, on en arrive à définir le DEFICIT HYDRIQUE CLIMATIQUE D : $D = ETP - P$ (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 $D < 0$.

La saison sèche sera définie comme la suite des périodes consécutives présentant un déficit hydrique climatique (ELDIN 1967-71). 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 Δ 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 Δ est appelée 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, les pertes par drainage sont nulles et celles par ruissellement peuvent généralement 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 considérons d'un point de vue climatique : ΣD 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. Ainsi à Madagascar, où le relief est accentué, les températures minimales pourront, dans certaines régions, être très basses durant la saison froide et conditionner de ce fait la répartition végétale et les potentialités culturales. C'est pourquoi nous considérons également le paramètre MOYENNE DES MINIMUMS DU MOIS LE PLUS FROID cette valeur figurant dans les données météorologiques.

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 durée de saison sèche.

C — TRAITEMENT DES DONNEES

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.

I — 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.

Nous avons comparé pour les 27 stations synoptiques réparties dans l'île, les valeurs d'ETP obtenues : — par la formule de PRESCOTT avec $K = 2,0$, (1) — la

(1) FORMULE DE PRESCOTT

$$ET = K E_w 0,75$$

$$E_w = 21 S_d$$

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

formule du PICHE corrigé avec la variation de α (2), 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. III 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. III B), la formule de TURC donne des valeurs exagérées qui ne suivent pas l'évolution de l'évaporation PICHE. La formule du PICHE corrigé 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, que l'on peut estimer aux environs de 15 à 20 pour 100.

Nous avons donc utilisé pour la détermination de l'ETP la formule du PICHE corrigé en étudiant les variations de α pour chaque mois et chaque station. 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.

II — TEMPERATURE 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 ?

(2) FORMULE DE BOUCHET

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

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.

δ = constante de BOWEN

α = coefficient variable avec la région considérée et le type d'abri

E_p = évaporation donnée par l'évaporomètre PICHE.

SCHOCH et DANCETTE (1968) ont amélioré cette formule en donnant une loi de variation de α en fonction de l'aridité du lieu. Nous appelons par la suite «Formule du PICHE corrigé», la formule de BOUCHET utilisée en tenant compte de la variation de α en fonction de la différence entre la température du point de rosée et la température minimum, considérée comme indice d'aridité.

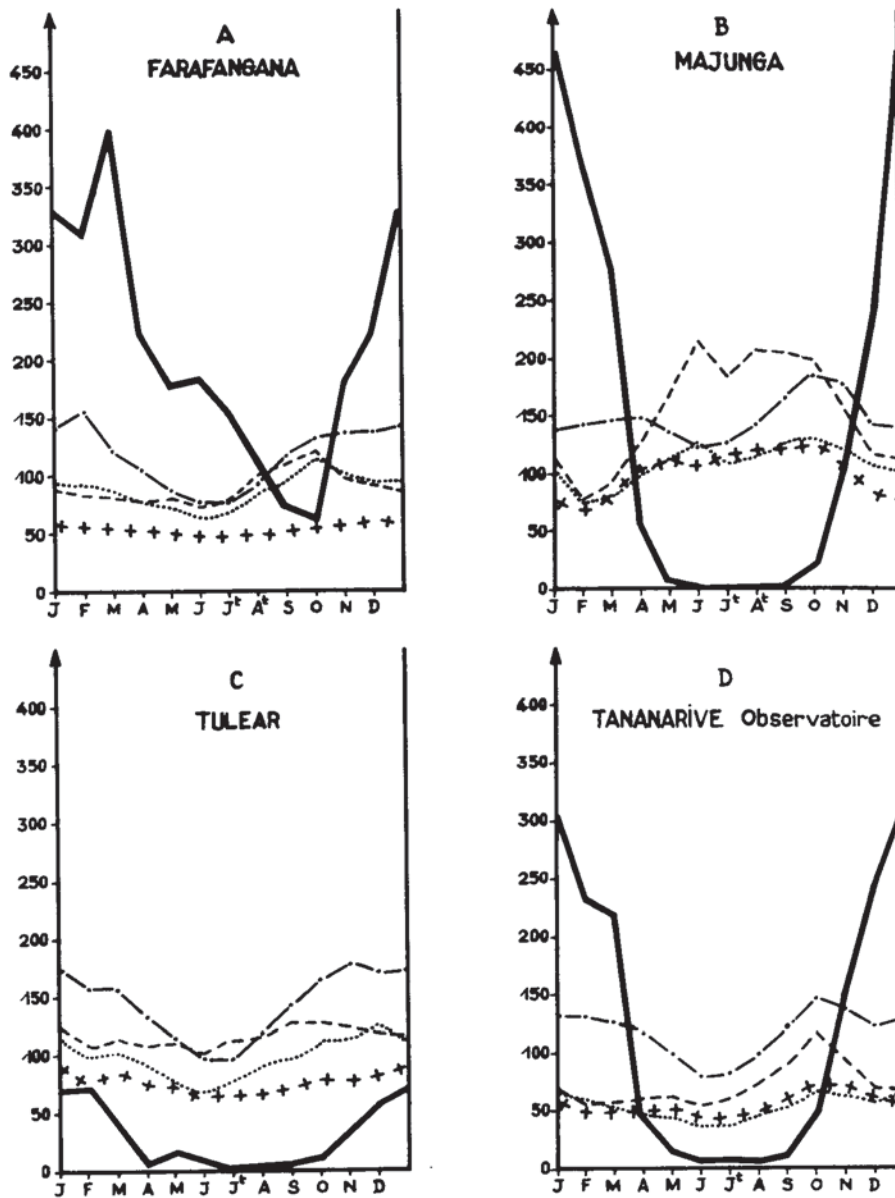
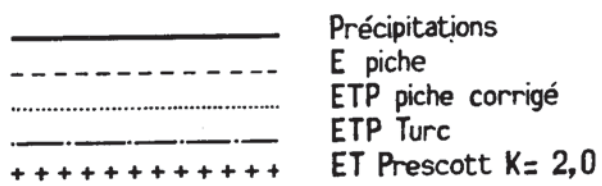


Fig: III Précipitations et évapotranspirations calculées pour quatre stations.



a) La Côte Est

Le calcul montre qu'il existe une série de régression linéaire significative entre la température minimale du mois le plus froid et l'altitude d'une part, et la latitude d'autre part.

Ainsi : Φ étant la latitude, y l'altitude et x la moyenne des minimums du mois le plus froid.

– pour $\Phi = 15^\circ$	$y = -127,44x + 2301,57$
– pour $\Phi = 18^\circ$	$y = -151,86x + 2519,30$
– pour $\Phi = 21^\circ$	$y = -166,10x + 2570,71$

Pour l'ensemble des latitudes Φ , on obtiendrait une famille de droites dont l'équation générale serait une équation paramétrique de paramètre Φ .

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°C à 900 m.
 pour $\Phi = 18^\circ$ » » » » sera de 10°C à 1000 m.
 pour $\Phi = 15^\circ$ » » » » sera de 10°C à 1027 m.

de même en fonction de la latitude

$$X_0 = -0,291 \Phi + 22,27$$

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
 Φ est la latitude du lieu en degrés et $1/100^\circ$ de degré.

b) Pour les autres régions

Il existe également une corrélation entre la moyenne des minima 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 \bar{t}_m des minimums du mois le plus froid en tenant compte zone par zone de ces différents facteurs.

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

D — CLASSIFICATION DES TYPES DE BIOCLIMATS MALGACHES

Cette classification se fait suivant les valeurs du déficit hydrique cumulé et de la moyenne des minimums du mois le plus froid. 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 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 fonctions végétales nécessitent 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
sH₁ représente le sous-étage à saison sèche atténuée
sH₂ 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 S₁ — S₂ — S₃
- sA représente l'étage sub-aride
les sous-étages sont représentés dans l'ordre de déficit hydrique cumulé croissant par sA₁ — sA₂ — sA₃

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

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

E — DISCUSSION ET RESERVES

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 sub-aride classée en $sA_1 d$ 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 $sA_2 d$, bien que sur le terrain ce rapprochement paraisse possible.

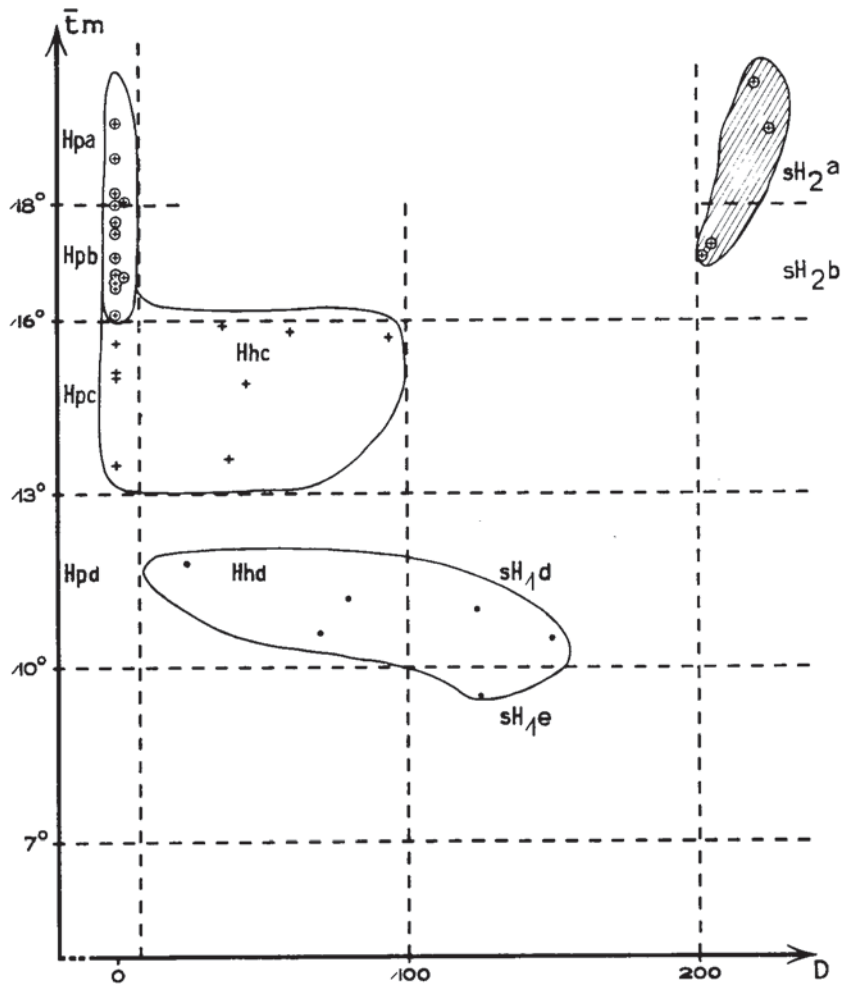
— Le manque de données pour certaines régions a conduit à fixer pour certaines zones des limites approximatives qui pourront à l'examen de données ultérieures se révéler fausses. De même si certains climats locaux : Sakaraha, Ihosy, ont pu être déterminés du fait de l'existence en ces lieux de stations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

— 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 ($sA_3 c$) se retrouve dans le domaine du centre ($sH_2 e$) notamment sur les dômes granitiques près d'Ambalavao et sur cipolins près d'Ambatofinandrahana. De même **Hyparhenia ruffa** 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 Humide et Subhumide. Le « domaine de l'Est » toujours selon HUMBERT se superpose à l'étage 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 KOEHLIN (1971) a été défini classiquement comme celui du « fourré à Didiéréacées 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 $sA_3 c$, 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 H. HUMBERT.

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

Fig: IV AIRES DE CULTURES DU CACAO ET CAFE
ET ZONES CLIMATIQUES



\bar{T}_m = Moyenne des minimums du mois le plus froid en °C
D = Déficit hydrique cumulé sur la saison sèche en mm.

- ⊕ Stations communes au cacao et Coffea canephora
- + Stations de Coffea canephora
- Stations de Coffea arabica
- Limite des zones climatiques
- Limite des aires de culture

- étage de basse altitude : forêt dense humide sempervirente (jusqu'à 800 m),
- étage de moyenne altitude : forêt dense humide de montagne (800 à 1800 m),
- étage montagnard : forêt dense humide et forêt sclérophylle de montagne (1800 à 2000 m).
- étage de haute montagne : fourré de montagne (au-dessus de 2000 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 ($D < 100$ mm) et la moyenne des minimums du mois le plus froid supérieure ou égale à 12° C. En raison de l'action de la latitude nous avons vu que la limite altitudinale de $\bar{t}_m > 12^{\circ}$ 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° .

En ce qui concerne les applications agronomiques de cette classification elles peuvent être de plusieurs ordres : tout d'abord, elle peut permettre de déterminer les zones climatiquement aptes à porter une culture donnée.

Ainsi le cacao compte tenu de ses exigences écologiques (IFCC) peut être cultivé sans irrigation dans les zones climatiques Hpa et Hpb c'est-à-dire dans une zone allant de Sambava à Nosy Varika, jusqu'à une altitude de 200 m dans la partie nord et de 100 m vers le sud de cette zone. C'est-à-dire que le cacao est limité sur la côte Est par la limite de la moyenne des minimums du mois le plus froid inférieur à 16° C. Voir fig. IV.

Pour le *Coffea canephora*, ses exigences écologiques le placent dans une zone de culture possible où le déficit hydrique doit être nul ou inférieur à 100 mm et une moyenne des minimums du mois le plus froid supérieur à 13° (voir fig. IV).

Cela correspond, aux zones climatiques Hpa, Hpb, Hpc et Hhc soit une zone allant pratiquement de Fort-Dauphin à Vohémar exclu et s'élevant jusqu'à une altitude de 500 à 600 m dans le nord et de 200 à 300 m dans la partie sud.

La figure IV montre qu'il existe une autre zone de culture commune au cacao et au *Coffea canephora*, il s'agit de la zone Ambanja, Nosy-Be zone climatique sH₂ b. Mais dans cette zone la culture de ces plantes nécessite d'une part, un ombrage, et d'autre part, soit la présence de nappe phréatique à très faible profondeur, soit l'irrigation.

L'optimum écologique du *C. arabica* semble se situer dans une zone où le déficit hydrique est inférieur à 200 mm et dont la moyenne de minimums du mois le plus froid est comprise entre 10 et 13° C.

Cela correspond au haut de la falaise et au rebord oriental des plateaux appartenant à l'étage humide, ou subhumide, mais dont la saison sèche n'excède pas trois mois (Hhd et sH₁ d).

Ces délimitations d'air doivent être prises comme une première approche du problème. En effet, si l'on désire implanter une culture, il conviendra ensuite de réaliser une étude régionale plus fine dans le périmètre ainsi circonscrit.

Une autre application de cet essai de cartographie peut être la détermination des doses d'irrigation, à partir du déficit hydrique pour permettre l'installation d'une culture dans une zone trop sèche.

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, BLANC, DAMAGNEZ, ELDIN et DAUDET de leurs critiques constructives et de leurs conseils pour la rédaction de ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMÉE FRANÇAISE / O.R.S.T.O.M. : 1966
Nouvelles données scientifiques sur le massif du Tsaratanana — Madagascar.
Mémoire O.R.S.T.O.M., n° 37, p. 1-8.
- BOUCHET R. J., 1964
Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole.
L'Eau et la Production Végétale, I.N.R.A., Paris, p. 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.
Revue de Géographie, Madagascar, n° 19, juill.-déc. 1971, p. 107-121.

- ELDIN M. et DAUDET A., 1967
Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire.
O.R.S.T.O.M., Adiopodoumé, 18 p.
- ELDIN M., 1971
Le Climat — Le Milieu Naturel de la Côte d'Ivoire.
Mémoire O.R.S.T.O.M., n° 50, Paris, 1971, p. 73-108.
- EMBERGER L., 1954
Projet d'une classification biogéographique des climats.
C.N.R.S., Colloque sur les Divisions Écologiques du Monde, Paris, 1954, p. 5-11.
- FRIEDMANN F., 1970
Étude biogéographique de *Coffea buxifolia* Chevalier (Madagascar).
Revue Café, Cacao, Thé, XIV, n° 1, janv.-mars 1970, I.F.C.C., p. 3-12.
- GUILCHER A. et BATTISTINI R., 1967
Madagascar, Géographie Régionale — **C.D.U.**, 136 p.
- GUILLAUMET J.-L. et KOECHLIN 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.
C.N.R.S., Colloque sur les Divisions Écologiques du Monde, Paris, 1954, p. 195-205.
- I.F.C.C.
Carte écologique des plantes stimulantes à Madagascar.
Carte au 1/1.000.000^e diffusion interne.
- LEGRIS P. et BLASCO F., 1965
Carton des bioclimats. Notice de la Carte Internationale du Tapis Végétal de Madagascar par
HUMBERT H. et COURS-DARNE, p. 31-43.
- MORAT P., 1969
Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'EMBERGER.
Cahier O.R.S.T.O.M., série Biologie, n° 10, déc. 1969, p. 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 Ch., GRIVEAUD P.
R.C.P. 225. Étude 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'Ecologie, avr. 1971, T. II, fasc. 2-3, p. 189-266.
- PEGUY Ch. P., 1961
Précis de Climatologie, **MASSON** — Paris, 347 p.
- RIQUIER J., 1958
Formule d'évapotranspiration. **Rapport Interne O.R.S.T.O.M.**, 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, p. 1-18.
- ROBÉLIN M., 1962
Évaporation réelle de différents couverts végétaux bien alimentés en eau et ETP ; détermination expérimentale.
Annales Agronomiques, 1962, 13 (6).
- SCHOCH P. G. et DANCETTE Cl., 1967
Utilisation de l'évaporomètre PICHE pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle.
L'Agronomie Tropicale, série Agron. Générale, n° 9, sept. 1968, p. 967-973.
- VIERS G., 1968
Éléments de climatologie.
Col. **FAC NATHAN**, Paris, 224 p.
- Données du **SERVICE NATIONAL METEOROLOGIQUE**.