

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE TANANARIVE

NOTES DE CLIMATOLOGIE DESCRIPTIVE

Région sud-ouest de Madagascar
(Préfecture de Tuléar)

M. SOURDAT
Pédologue

1969

CENTRE ORSTOM DE TANANARIVE

Section de Pédologie

NOTES de

CLIMATOLOGIE DESCRIPTIVE

—
Région sud-ouest de Madagascar
(Préfecture de Tuléar)
—

M.SOURDAT

Pédologue

1969

"Le climat étant une caractéristique de tout lieu de la surface terrestre, sa description est nécessairement du domaine de la géographie. Vue son aspect géographique la climatologie est donc essentiellement descriptive ; la description entraînant la comparaison aboutit à la recherche de classification.

Il existe plusieurs façons de présenter les caractéristiques du climat et de les décrire. La plus courante est celle qui fait la description, élément par élément, par année, saison, mois et éventuellement par séquences de temps plus courtes. L'autre façon - beaucoup plus ambitieuse - tend à synthétiser et à expliquer les phénomènes à l'aide de critères intégrant tout ou partie des divers éléments climatiques qui, à un instant et en un lieu donné caractérisent l'atmosphère ".

GRISOLLET (H.), GUILMET (B.) et ARLERY (R.) - 1962

P L A N

INTRODUCTION

- 1) Cadre Géographique
- 2) Objet et limites de l'étude

1ère Partie : les données climatiques de base

- 1) Contexture des tableaux de station
- 2) Tableaux de 18 stations régulières
- 3) Pluviométrie de 7 stations irrégulières

2ème Partie : analyse et critique des divers éléments du climat

- 1) Les amplitudes thermiques et la définition du domaine tropical
- 2) Les basses températures hivernales
- 3) Les régimes pluviométriques
- 4) L'aridité selon DE MARTONNE
- 5) L'humidité selon BIROT
- 6) Les précipitations supérieures à 15 mm
- 7) L'indice de concentration saisonnière
- 8) La capacité érosive selon FOURNIER
- 9) L'indice xérothermique de GAUSSEN
- 10) Le quotient pluviométrique d'EMBERGER
- 11) Les indices de BRYSSINE
- 12) Tableau récapitulatif des indices

3ème Partie : le bilan de l'eau selon THORNTWAITE

Commentaires

Tableau de valeurs

Diagrammes

4ème Partie : Définitions du climat du sud-ouest en fonction de ses caractères actuels et de l'interférence des climats antérieurs

- 1) Définition du climat actuel
- 2) Les implications pédologiques du climat actuel
- 3) Les interférences des climats antérieurs

CONCLUSIONS

INTRODUCTION

1) Cadre géographique

La région qui nous intéresse est limitée par le MANGOKY Fl., le massif de l'ISALO, la MENARANDRA Fl. et le canal de MOZAMBIQUE. Ses limites coïncident avec celles de la Préfecture de TULEAR. Elle ne constitue cependant pas une région naturelle et n'est rien de plus pour nous qu'un secteur d'opération commode. Elle comporte en effet l'avantage d'être desservie, au nord de l'ONILAHY Fl. par la R.N.7, qui franchit selon une direction à peu près normale, de RANOHIRA à TULEAR les affleurements successifs du bassin sédimentaire de MORONDAVA d'une part et les zones d'égale répartition des éléments climatiques d'autre part. Elle offre donc toutes facilités pour l'observation des milieux naturels corrélatifs de la séquence géologique et du gradient climatique (1).

Entr'autres études réalisées à l'échelle de MADAGASCAR, celles des climats et des peuplements végétaux ont conduit divers spécialistes à distinguer des zones dont la nomenclature et l'extension varient quelque peu selon les auteurs et leurs objectifs. Il en ressort que la partie continentale de la Préfecture de TULEAR est généralement rattachée aux régions ou domaines dits "de l'ouest", tandis que la partie littorale est généralement rattachée aux régions ou domaines dits "du sud".

(1) Nos études pédologiques portent particulièrement sur la région située au nord de l'ONILAHY mais il nous a semblé utile d'étendre l'étude climatique aux limites ci-dessus.

L'ensemble constitue donc une transition entre deux domaines mieux définis. C'est en cela qu'il nous intéresse. Nous le nommerons quant à nous "région sud-ouest de MADAGASCAR" (1).

2) Objet et limites de l'étude

Les données dont nous disposons sont à peu de chose près les mêmes qu'avaient utilisés nos prédécesseurs. Nous ne pouvons donc nous fixer d'autre objectif que de les regrouper et de les comparer à l'échelle de la région que nous avons définie. Cette étude sera comme les précédentes, limitée aux phénomènes généraux. La densité d'implantation des stations régulières du Service Météorologique National ne suffirait pas en effet à déceler les variations locales dues par exemple aux grands accidents topographiques ou à la répartition du couvert végétal. Aucune station ne représente le climat du massif de l'ISALO ni celui de l'ANALAVELONA ; le climat des dunes sableux de l'ISALO ne peut être approché que par l'extrapolation de données recueillies au niveau des vallées.

12 stations régulières de la Météorologie sont situées dans le sud-ouest : nous y avons ajouté celle de RANOHIRA qui exprime la tendance des variations aux confins nord-est de la région et 5 autres stations caractéristiques des autres climats de l'Ile à titre de comparaison (FIANARANTSOA, FORT-DAUPHIN, IHOSY, MAJUNGA, VOHEMAR).

Les données météorologiques de base sont extraites des publications du Service Météorologique Nationale.

(1) Le sud-ouest est tout autre chose qu'une région batarde. Son originalité tient à sa position marginale. Il est caractéristique que les plus importantes monographies publiées récemment à MADAGASCAR - BATTISTINI (1964), HERVIEU (1968) - l'encadrent sans l'inclure véritablement.

Pour commenter ces données, pour calculer et interpréter les divers indices et proposer une définition du climat du sud-ouest nous avons suivi le plan du "Précis de climatologie" de PEGUY (1961). Pour permettre au lecteur de suivre aisément ce texte et de le compléter s'il le désire, nous ferons référence aux pages de ce Précis plutôt qu'aux textes fondamentaux qu'il n'est pas toujours facile de se procurer.

Ex : THORNTHWAITE, in PEGUY p...

Certains indices ont déjà été calculés systématiquement pour toute l'Ile par DUVERGE (1949), MORAT (1969), RIQUIER. Nous citerons plus particulièrement RIQUIER qui a publié plusieurs commentaires sur les diagrammes de bilans de l'eau (1958, 1959) ainsi que des tables et abaques nécessaires au calcul des formules les plus complexes (1963).

1ère Partie : les données climatiques de base

Ces données sont empruntées aux publications du Service Météorologique National en ce qui concerne les températures (Météo, 1956 - données de 10 années antérieures à 1950) et les pluies (Météo, 1964 - données de 25 ou 30 années antérieures à 1960) des 18 stations régulières citées.

Elles sont empruntées aux registres de ce même service en ce qui concerne l'humidité atmosphérique et l'insolation de ces stations ainsi que les pluies de quelques stations irrégulièrement contrôlées (la durée de ces observations est variable).

1) Contexture des tableaux de chaque station

Pour chacune des 18 stations régulières citées, un tableau de regroupement comporte les valeurs suivantes :

T_x = température maximum moyenne mensuelle (et annuelle) en degrés et dixièmes

T_n = température minimum moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

$T = \frac{T_x + T_n}{2}$ = température moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

$A = T_x - T_n$ = amplitude diurne moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

P = pluviométrie moyenne mensuelle (et annuelle) en mm.

J = nombre de jours de pluie tels que $P > 0,1$ mm.

H_7, H_{12}, H_{17} = humidité atmosphérique respectivement à 7h, 12h, 17h : moyenne mensuelle (et annuelle) en pourcent.

$H = \frac{H_7 + H_{12} + H_{17}}{3}$ = humidité moyenne journalière en pourcent.

I = insolation moyenne mensuelle (et annuelle) en heures.

Par des signes ou par des nombres nous indiquons en outre l'existence et le nombre des mois ayant les caractères suivants.

Mois édaphiquement secs : déterminés graphiquement par la méthode du "bilan de l'eau" selon THORNTWAITE (in RIQUIER, 1959). Il s'agit des mois pour lesquels la hauteur des précipitations est inférieure à celle de l'évapotranspiration potentielle, la réserve d'eau du sol étant épuisée.

Mois arides : pour lesquels l'indice d'aridité de DE MARTONNE (in PEGUY, 1961, p. 167) est inférieur à 10.

Mois humides : selon BIROT (in PEGUY, 1961, p. 167).

Mois secs : selon GAUSSEN (in PEGUY, 1961, p. 250), mois tels que P soit inférieur au double de T.

Pour 7 stations secondaires les données sont réduites aux relevés pluviométriques de quelques années irrégulièrement suivies.

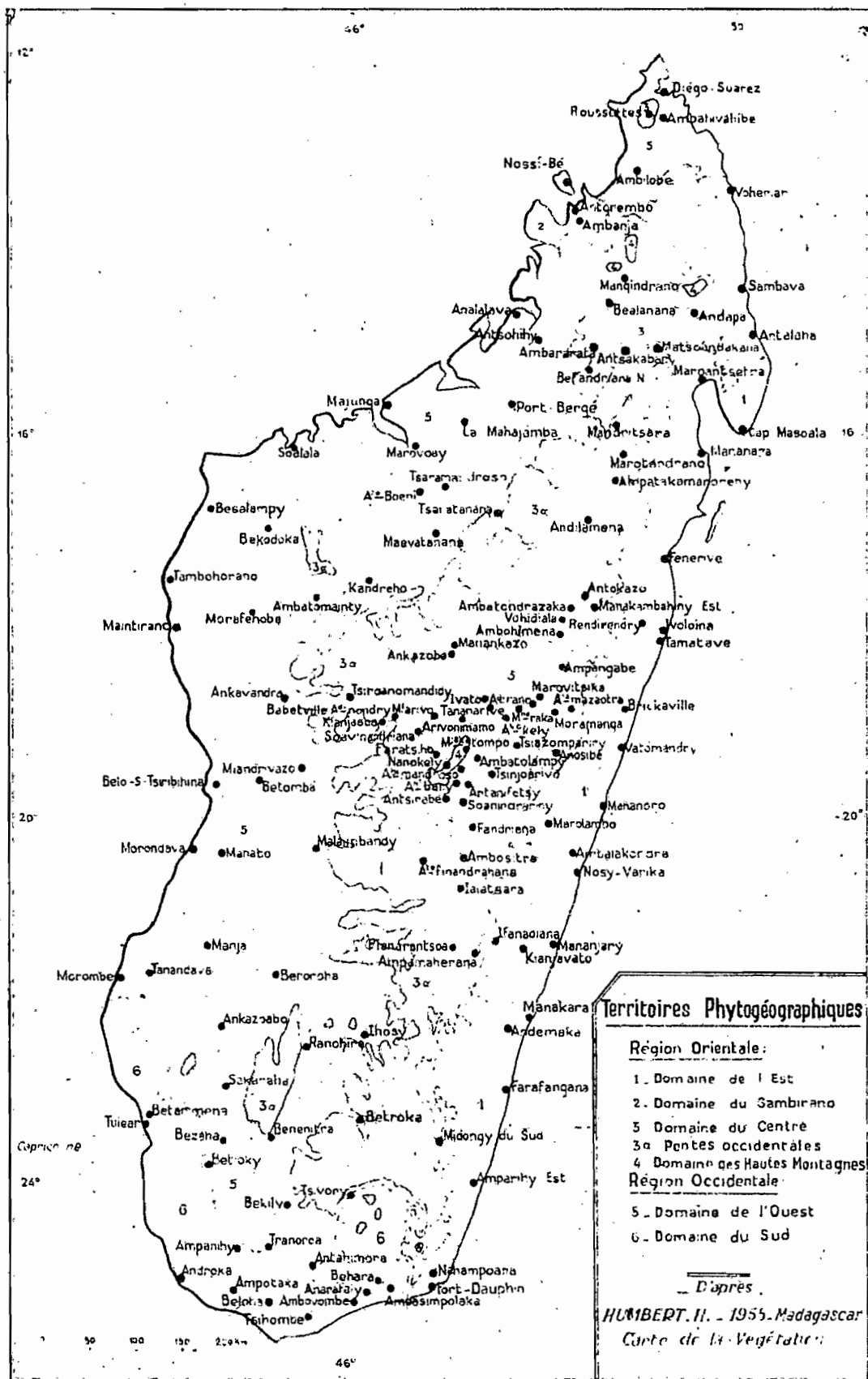


Fig. 3.- Localisation géographique des Stations Météorologiques.

AMPANIHY - OUEST (275 m)

[illegible]

5

17

ANDROKA (4 m)

[illegible]

ANKAZOABO-SUD (428 m)

[illegible]

七

[illegible]

BENENITRA (220 m)

[illegible]

BEROROHA (180 m)

[illegible]

BETIOKY-SUD (263 m)

[illegible]

BEZAHA (125 m)

[illegible]

•

RANOHIRA (833 m)

[illegible]

SAKARAH-VILLE (460 m)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
	Tx	32.8	32.6	32.2	32.3	29.1	27.2	27.5	29.1	31.7	33.5	34.1	33.0	31.3
	Tn	20.2	20.0	18.8	15.7	11.6	9.2	8.4	9.4	11.9	15.3	18.2	19.7	14.9
	T	26.5	26.3	25.5	24.0	20.3	18.2	17.9	19.2	21.8	24.4	26.1	26.3	23.1
	A	12.6	12.6	13.4	16.6	17.5	18.0	19.1	19.7	19.8	18.2	15.9	13.3	16.4
1936-1960	P	185.8	140.4	119.6	19.3	10.5	7.5	4.5	4.5	7.4	24.5	60.3	149.2	733.5
	J	12.6	10.1	9.4	3.1	2.0	1.5	0.8	1.4	1.6	2.9	6.2	11.0	62.6
1940-1960	H7	85	86	93	94	94	95	94	91	84	76	76	81	87
	H12	52	52	52	45	43	44	40	36	32	32	37	48	43
	H17	60	60	58	47	44	44	39	35	33	35	46	58	47
	H	66	66	68	62	60	61	58	54	50	48	53	63	59
	I													
Mois édaphiquement secs					(+)	+	+	+	+	+	+	(+)		7.5
Mois arides					+	+	+	+	+	+	+			7
Mois humides		+	+	+									+	4
Mois secs					+	+	+	+	+	+				6

FIANARANTSOA (1106 m)

[illegible]

FORT-DAUPHIN (8 m)

[illegible]

IHOSY (800 m)

[illegible]

MAJUNGA (22 m)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
	Tx	31.3	31.5	32.0	32.9	31.9	30.6	30.5	31.3	32.4	32.7	32.6	32.1	31.8
	Tn	23.4	23.6	23.5	23.3	21.7	20.1	19.4	19.8	20.7	22.3	23.6	23.5	22.1
	T	27.3	27.5	27.7	28.1	26.8	25.3	24.9	25.5	26.5	27.5	28.1	27.8	26.9
	A	7.9	7.9	8.5	9.6	10.2	10.5	11.1	11.5	11.7	10.4	9.0	8.6	9.7
1931-1960	P	465.8	369.7	282.4	56.8	7.9	2.6	1.0	2.1	2.6	23.7	109.6	242.6	1566.8
	J	20.2	18.1	15.0	5.3	1.2	0.8	0.6	0.9	1.0	2.5	7.6	14.7	87.9
1957-1965	H7	91	92	93	86	83	80	78	73	69	64	74	87	81
	H12	73	73	72	54	47	42	39	38	41	43	56	70	54
	H17	76	76	76	63	56	52	52	54	62	64	68	75	65
	H	80	80	80	67	62	58	56	55	57	57	66	77	66
1953-1965	I	189.9	175.4	226.0	295.7	317.9	296.4	299.7	319.3	317.4	328.9	293.1	218.6	273.2
Mois édaphiquement secs						+	+	+	+	+	+	(+)		6
Mois arides						+	+	+	+	+	+			6
Mois humides		+	+	+									+	4
Mois secs					(+)	+	+	+	+	+	+			6 $\frac{1}{2}$

VOHEMAR (5 m)

[illegible]

Pluviométrie de 7 stations secondaires

STATION	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
ANAKAO sur 9 ou 12 ans	74.0	38.6	23.0	8.6	15.0	8.4	8.1	2.6	15.6	2.3	23.5	62.1	235.0
AMBOHIMAHAVELONA	139.8	111.0	31.1	7.4	14.8	9.7	4.4	11.7	2.6	21.7	26.2	214.7	595.1
ANDRANOLAVA sur 7 ou 10 ans	167.1	143.2	106.1	17.4	17.4	9.1	7.7	4.4	16.4	30.1	67.4	183.8	772.1
VINETA (SMC) sur 4 à 6 ans	162.2	85.6	110.5	26.6	12.4	15.0	9.8	6.3	25.8	19.3	102.0	106.4	685.9
BEFANDRIANA sur 23 ans	220.6	186.1	110.1	25.4	7.2	4.8	2.1	3.8	9.8	33.5	78.7	168.0	850.1
SOALARY sur 18 ans	73.8	39.9	33.7	7.0	14.9	8.2	4.1	2.0	7.0	5.8	15.5	62.4	274.3
ITAMPOLO sur 8 ans	64.2	54.6	24.0	8.9	18.5	11.8	7.7	1.4	21.1	5.1	30.9	82.8	331.0

2ème Partie : analyse et critique des divers éléments du climat (1)

1) Les amplitudes thermiques et la définition du domaine tropical

La région sud-ouest appartient toute entière au domaine thermique intertropical. Celui-ci a été défini par TROLL (in PEGUY, p. 131) par le rapport de l'amplitude diurne moyenne ($A = T_x - T_n$), à l'amplitude annuelle ($A_a = T$ du mois le plus chaud - T du mois le plus froid). Ce rapport devant être supérieur à 1.

Selon TROLL les limites de ce domaine coïncideraient effectivement avec le tracé des tropiques de sorte que toutes les stations situées au sud de la latitude de TULEAR ressortiraient au domaine extratropical.

En fait le calcul montre qu'à l'exception de la station d'ANDROKA ($\frac{A}{A_a} = 0,9$), toutes les stations du sud-ouest s'intègrent au domaine tropical ; le rapport $\frac{A}{A_a}$ atteint déjà la valeur 2 à BETIOKY-SUD (au sud du tropique), et s'élève au nord jusqu'à la valeur 2,3 à ANKAZOABO-SUD.

De fait on peut remarquer qu'en dépit de la latitude, les conditions d'une forte amplitude diurne se trouvent réunies dans le sud-ouest en raison de la faible nébulosité, du fort déficit en eau du sol et d'une couverture végétale ouverte ou peu dense.

Par contre l'amplitude annuelle se trouve amortie, par la diminution de l'altitude et de la continentalité.

(1) Pour chacun des paragraphes suivants il convient de se reporter aux valeurs mentionnées pour chaque station dans les tableaux précédents ou par l'ensemble des stations dans le tableau de la p. 16.

Les plus fortes amplitudes diurnes se présentent en septembre (saison fraîche) et les plus faibles en janvier (saison chaude).

	A	Aa		A	Aa
AMPANIHY	15.2	13.0	BEROROHA	14.4	8.4
AMPOTAKA	15.0	9.0	BETIOKY	14.4	7.8
ANDROKA	9.4	10.3	BEZAHA	16.3	8.7
ANKAZOABO	15.1	6.8	MOROMBE	11.4	7.1
BEKILY	15.8	9.2	RANOHIRA	13.6	7.0
BENENITRA	14.9	8.4	SAKARAH	16.6	8.6
FIANARANTSOA	10.5	6.0	TULEAR	11.7	7.4
FORT-DAUPHIN	7.5	5.9	MAJUNGA	9.9	2.5
IHOSY	12.4	7.7	VOHEMAR	7.4	4.2

2) Les basses températures hivernales

L'existence de températures hivernales plus ou moins basses est un facteur de diversité dans le sud-ouest, lié à la continentalité et à l'altitude des stations.

La température moyenne minimum du mois le plus froid (m) est un critère de grande importance biologique retenu par la classification d'EMBERGER (MORAT, 1969). Il fait apparaître la répartition suivante.

hiver frais $7 < m < 10$	hiver tempéré $10 < m < 14$	hiver chaud $14 < m < 15$
RANOHIRA SAKARAH BEKILY	BEZAHA ANKAZOABO BENENITRA BETIOKY AMPANIHY BEROROHA MOROMBE	TULEAR ANDROKA
FIANARANTSOA	IHOSY	VOHEMAR FORT-DAUPHIN MAJUNGA

3) Les régimes pluviométriques

Les stations du sud-ouest se partagent entre 2 variantes du régime tropical (PEGUY, p. 227), caractérisé par une répartition inégale des précipitations avec un maximum saisonnier voisin du solstice d'été.

Régime tropical long (6 mois au moins recevant plus de 15 mm)		
AMPANIHY	BEKILY	RANOHIRA
AMPOTAKA	BENENITRA	SAKARAH
ANDROKA		
Régime tropical court (6 mois au moins recevant moins de 15 mm)		
ANKAZOABO	BEZAH	TULEAR
BEROROH	MOROMBE	

Pour mémoire : IHOSY et MAJUNGA se rattachent au R.T. long. FIANARANTSOA, FORT-DAUPHIN, VOHEMAR se rattachent au R.T. uniformisé, chaque mois recevant au moins 15 mm.

Le déséquilibre saisonnier des précipitations comporte des intensités et des rythmes dont la diversité exprime bien la modification graduelle du climat du sud-ouest surtout si on l'observe selon l'axe RANOHIRA-TULEAR.

RANOHIRA	912 mm	6,8	mois édaphiquement secs
SAKARAH	733 mm	7,5	" "
VINETA	685 mm		
TULEAR	341 mm	12	" "
ANAKAO	235 mm	12	" "

C'est pourquoi il convient de préciser les notions d'aridité et d'humidité qui peuvent être exprimées de diverses façons.

4) L'aridité selon DE MARTONNE

La notion d'aridité s'exprime par l'indice $A = \frac{P_i}{T + 10}$. L'indice global d'aridité A est la moyenne de deux indices A1 et A2 calculés respectivement au moyen des données moyennes de l'année et du mois le plus sec. DUVERGE (1949) a calculé ces chiffres et les a exploités sous forme de commentaires et de cartes.

On peut aussi exprimer le nombre de mois "arides" tels que $A_m < 10$. (PEGUY, p. 167).

On constate que le sud-ouest se définit bien par l'ensemble des stations pour lesquelles $A < 15$; la bordure du plateau mahafaly et le littoral se définissant par les valeurs $A < 5$.

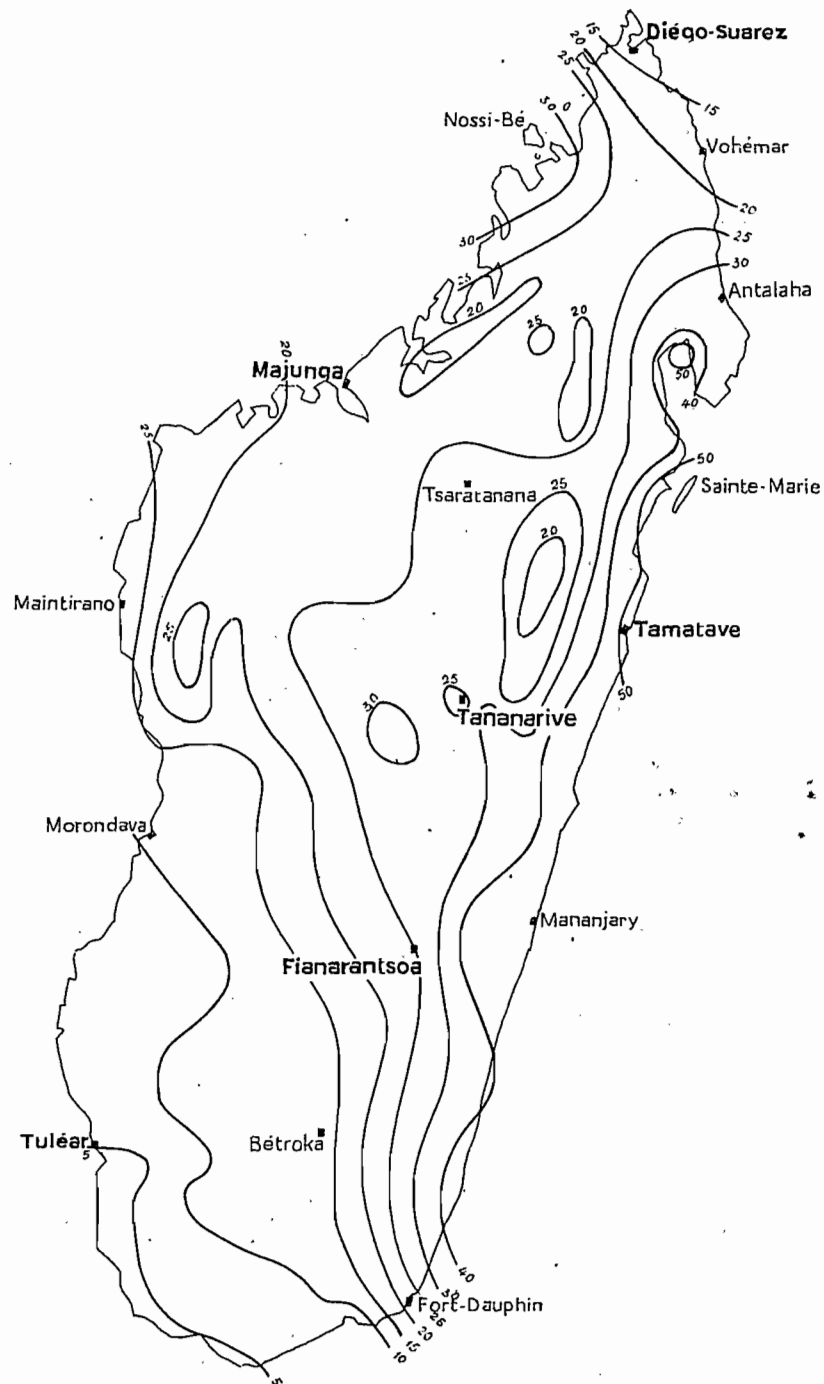
On constate également que l'axe RANOHIRA - TULEAR est bien normal aux courbes d'isoaridité.

On remarque l'existence d'un îlot continental d'aridité à BEZAHA ($A = 5.7$) et une autre enclave relativement aride pour sa situation à IHOSY ($A = 13.8$). Cette dernière procède d'un étalement particulièrement prolongé de la période "aride" qui compte 7 mois.

DUVERGE qualifie le gradient d'aridité, de l'intérieur vers le littoral par le passage d'un climat "sénégalien" à un climat "désertique océanique" qu'il compare à celui de la côte orientale d'Afrique du Sud.

5) L'humidité selon BIROT

BIROT (in PEGUY, p. 251) a déterminé une limite des précipitations au-dessus de laquelle un mois peut être considéré comme "humide". Cette limite est une fonction complexe de T qui peut être déterminée aisément au moyen d'un tableau de valeurs (in PEGUY, p. 167). Cette détermination a surtout une valeur phytogéographique. On remarque que l'existence de 2 mois "humides" distingue nettement MOROMBE des autres stations à caractères arides du littoral.



Carte de Indice d'Aridité
d'après. P. DUVERGÉ

0. 200km

Fig : n° 1

6) Les précipitations inférieures à 15 mm

Ce critère a permis de déterminer les variantes du régime de précipitations tropical. Il est peu intéressant en raison de sa discontinuité : doit-on par exemple classer parmi les stations à régime long AMPOTAKA qui ne reçoit moins de 15 mm que durant 4 mois mais n'en reçoit pas plus de 17.3 durant 7 mois.

7) L'indice de concentration saisonnière

C'est le rapport de la pluviométrie des 3 mois successifs les plus arrosés au tiers de la pluviométrie du reste de l'année (PEGUY, p. 203).

La valeur moyenne de cet indice pour le sud-ouest est de 5.4. Les valeurs extrêmes sont observées à ANDROKA (2.8) et MOROMBE (9.2), différence qui provient probablement de l'abaissement en latitude pour MOROMBE et du fait que les stations du littoral sud-sud-ouest sont arrosées en saison sèche par des pluies qui doublent le CAP SAINTE MARIE.

8) La capacité érosive selon FOURNIER

Elle s'exprime par le rapport $C = \frac{p^2}{P}$ où p représente les précipitations du mois le plus arrosé. Cet indice, déjà calculé par HERVIEU (1968) pour les stations de l'ouest est cité pour mémoire car il ne semble pas être significatif si on le sépare de considérations sur la topographie et la végétation de la zone où il est appliqué (in PEGUY, p. 237) (1).

9) L'indice xérothermique de GAUSSEN

Cet indice exprime le nombre des jours secs (précipitations inférieures à 0,1 mm) des mois secs successifs (tels que $P < 2T$), tempéré par un coefficient pour tenir compte de l'humidité atmosphérique moyenne. Il s'agit encore là d'un critère discontinu : doit-on compter les jours secs d'un mois pour lequel P est très voisin de 2 T ?

(1) Voir P.S. page 15.

Cet indice a trouvé un champ d'application remarquable dans le bassin méditerranéen. Le climat méditerranéen commence selon GAUSSEN (in PEGUY, p. 250) à la valeur 40 de l'indice ; pour les valeurs supérieures à 120 on considère que les cultures irriguées cessent d'être rentables ; au-dessus de 150 on passe au climat "xérothermoméditerranéen" et au-dessus de 200 au climat subdésertique.

En se gardant d'aller plus avant dans la comparaison nous constaterons une certaine coïncidence des indices du sud-ouest malgache et des frontières désertiques du bassin méditerranéen dans les limites de 147 (SAKARAH) et 237 (ANDROKA).

10) Le quotient pluviométrique d'EMBERGER

Le diagramme établi pour MADAGASCAR par MORAT (1969) selon les principes d'EMBERGER fait remarquablement ressortir le particularisme climatique du sud-ouest et du sud défini par les valeurs de Q inférieures à 15 et tendant vers zéro (TULEAR : 2). Cependant l'ensemble des stations "sub-arides" telles que $Q < 15$ englobe les stations du littoral ouest jusqu'à une latitude très basse puisqu'on y trouve MANJA, MORONDAVA, BETOMBA, BELO/TSIRIBIHINA.

11) Les indices de BRYSSINE

"BRYSSINE a posé en principe que l'altération des roches était proportionnelle à la quantité d'eau qui percole à travers le sol et à la température donc à $P \times T$. Par contre le lessivage est proportionnel à la pluie mais inversement proportionnel à la température donc exprimé par $\frac{P}{T}$. Ces indices sont utiles pour apprécier la pédogénèse" (RIQUIER, inédit).^T

RIQUIER a établi que dans la région ouest on trouve :

$$20 < \frac{P}{T} < 40 \quad \text{et} \quad 2 \cdot 10^4 < P \times T < 4 \cdot 10^4$$

et pour la région sud

$$\frac{P}{T} < 20 \quad \text{et} \quad P \times T < 2 \cdot 10^4$$

Le sud-ouest se trouve à cheval sur ces valeurs. Des valeurs élevées de $P \times T$ dans la partie continentale du sud-ouest seront favorables à l'altération des minéraux tandis que des valeurs moyennes de $\frac{P}{T}$ sont favorables à un certain équilibre des substances libérées dans les profils.

Dans la partie littorale, des valeurs faibles de $P \times T$ s'opposent à l'altération des minéraux tandis que des valeurs très faibles de $\frac{P}{T}$ sont favorables à des mouvements capillaires de substances dissoutes.

P.S. concernant l'indice de FOURNIER

Selon la carte de FOURNIER (1962), le "danger d'érosion" est faible sur le littoral du sud-ouest (pertes de terre évaluées à 200 - 600 Tonnes/Km²/an) ; ce danger croît progressivement vers l'intérieur qui s'intègre à la zone de danger très fort couvrant toute l'Ile (pertes supérieures à 2.000 Tonnes/Km²/an).

L'échelle au 1/10.000.000 ne permet pas à FOURNIER de cartographier ce "danger" de façon plus nuancée et nous avons renoncé quant à nous à calculer pour chaque station le "coefficient orographique" nécessaire à son expression.

D'ailleurs cette appréciation du danger d'érosion, si elle permet d'effectuer d'intéressantes comparaisons entre continents, risquerait de masquer le péril pratique à l'échelle locale.

Si dans le sud-ouest littoral l'érosion exporte "peu" c'est parce que dans ce paysage minéral il y a effectivement peu de sol meuble disponible. Il y a donc un intérêt d'autant plus vital à protéger le peu qu'il y en a.

	A1	A2	A	Na	Nh	I3	C'	X
AMPANIHY OUEST	16.5	0.1	8.3	7	1	4.7	31.6	175
AMPOTAKA	14.5	0.1	7.3	8	0	4.2	19.7	184
ANDROKA	9.0	0.2	4.6	8	0	2.8	13.9	237
ANKAZOABO-SUD	19.8	0	9.9	7	3	6.7	55.4	164
BEKILY	23.2	0	11.6	7	3	5.4	45.3	178
BENENITRA	20.7	0.1	10.4	6	2	4.4	36.8	178
BEROROHA	20.5	0	10.2	7	3	6.8	58.8	184
BETIOKY SUD	17.8	0.1	8.9	7	2	6.1	40.8	181
BEZAHA	11.4	0	5.7	7	0	5.4	30.9	
MOROMBE	13.9	0	6.9	8	2	9.2	39.9	189
RANOHIRA	28.8	0.2	14.5	6	4	5.5	57.0	170
SAKARAHA	23.9	0.1	12	7	4	5.5	47.0	147
TULEAR	10.3	0.1	5.2	7	0	4.2	14.9	185
FIANARANTSOA	43.8	0.6	22.2	3	5	4.5	68.9	100
FORT-DAUPHIN	46.4	1.6	24.0	0	9	2.0	36	0
IHOSY	27.5	0.1	13.8	7	4	6.4	60.6	165
MAJUNGA	44.8	0	22.4	6	4	7.5	138	150
VOHEMAR	34.3	1.3	17.8	0	5	2.1	29	0

A1 = aridité annuelle

A2 = aridité du mois le plus sec

A = aridité globale

Na = nombre de mois arides

Nh = nombre de mois humides (BIROT)

I3 = indice de concentration saisonnière (PEGUY)

C' = capacité érosive (FOURNIER)

X = indice xérothermique (GAUSSEN)

DE MARTONNE

3ème Partie : le bilan de l'eau selon THORNTHWAITE

La méthode de THORNTHWAITE (1948) in PEGUY, pp. 157 et 246) consiste à représenter sur un même diagramme la courbe des précipitations (P) et celle de l'évapotranspiration potentielle calculée (ETP). Les surfaces comprises entre les 2 courbes peuvent être évaluées par planimétrie ; elles représentent selon les cas de figure un excédent d'eau (Ex) ou un déficit (Df) compte tenu d'abattelements conventionnels égaux à 100 mm qui correspondent à la réserve d'eau du sol.

On définit donc graphiquement plusieurs valeurs :

Df = le déficit en eau

Er = l'évaporation réelle telle que $Er = ETP - Df$ (1).

$Ex = P - (Er - 100) - 100 = P - Er$

Toute la construction graphique repose sur la valeur mensuelle de ETP calculée à l'aide de formules empiriques, corrigée de surcroît par des coefficients arbitraires. Là est la faiblesse de la méthode.

En 1958, RIQUIER publiait (sous forme de commentaires et de cartes) un ensemble de résultats obtenus à MADAGASCAR par emploi de la formule de THORNTHWAITE.

En 1959, il publiait (sous forme de diagrammes) un nouvel ensemble de résultats obtenus par emploi de la formule de PRESCOTT, plus satisfaisant selon lui dans le cadre de MADAGASCAR.

Enfin, en 1967 et 1968 HERVIEU publiait des cartes renouvelées de la première publication de RIQUIER par l'emploi de la formule de PRESCOTT.

(1) Il arrive fréquemment qu'on trouve pour Er une valeur supérieure à P ce qui est absurde. Cela s'explique aisément : par construction graphique, on diminue en effet le déficit en eau d'une quantité conventionnelle de 100 mm même lorsque la réserve qu'elle représente n'a pas pu se constituer.

Ces travaux représentent la synthèse la plus éloquente des éléments du climat malgache, et la meilleure approche sinon la seule du climat des sols. Les bilans de l'eau permettent en effet d'évaluer théoriquement l'état d'humidité du sol, au-dessus ou au-dessous de la capacité au champ et du point de flétrissement.

Quelques particularités du climat du sud-ouest peuvent être retenues à la lumière de ces cartes et diagrammes. Les variations de ce climat s'ordonnent en fonction des rapports dans l'espace et dans le temps de P et de ETP. Ces deux valeurs décroissent depuis l'intérieur vers le littoral mais l'abaissement de P est plus rapide et ses contrastes saisonniers beaucoup plus marqués.

Le sud-ouest se définit comme la région où l'excédent d'eau est théoriquement nul (négligeable dans le cas de SAKARAHHA : 3) et où Er est partout égale à P.

Sous ce rapport la station de RANOHIRA se sépare nettement de l'ensemble des autres comme il était prévisible. Il convient donc de situer la limite est de la région dans le massif de l'ISALO et non pas dans la dépression qui le borde.

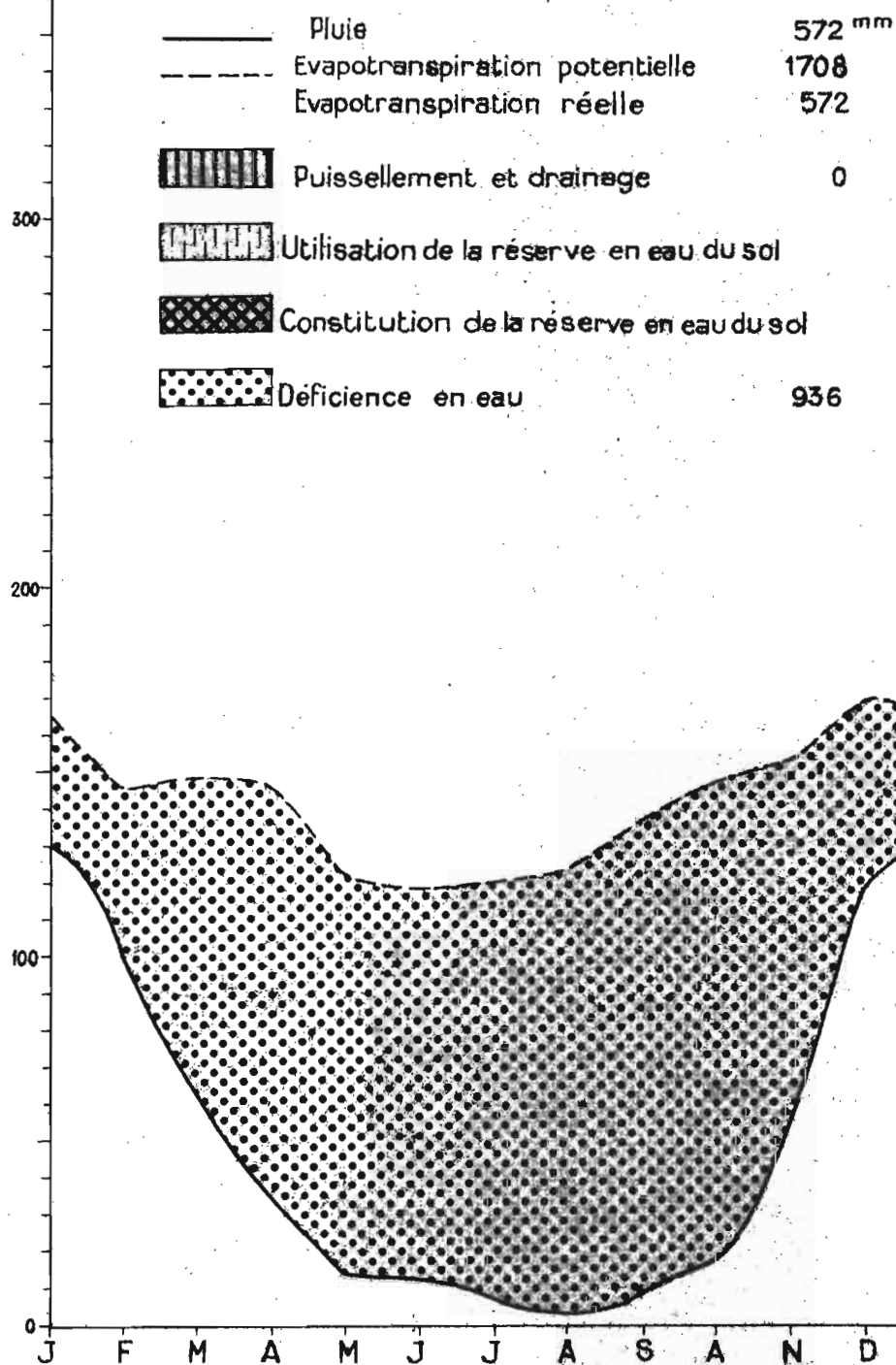
On remarque que les déficits sont au minimum de 881 et le nombre de mois édaphiquement secs au minimum de 7.5 (SAKARAHHA).

L'existence de 12 mois édaphiquement secs réunit un ensemble de 7 stations (AMPANIHY - AMPOTAKA - ANDROKA - BENENITRA - BEZAHHA - BETIOKY - TULEAR) pour lesquelles ETP est constamment supérieure à P. On reconnaît dans cet ensemble la zone de plus grande aridité déjà révélée par le calcul de l'indice de DE MARTONNE ; elle trouve ici sa meilleure définition et on constate combien la vallée de l'ONILAHY constitue une digitation du climat littoral à l'intérieur des terres.

Les 6 autres stations présentent dans les mois de décembre, janvier et février un léger excédent de P sur ETP mais celui-ci est toujours inférieur à 100 mm de sorte que le sol n'atteint théoriquement jamais sa saturation.

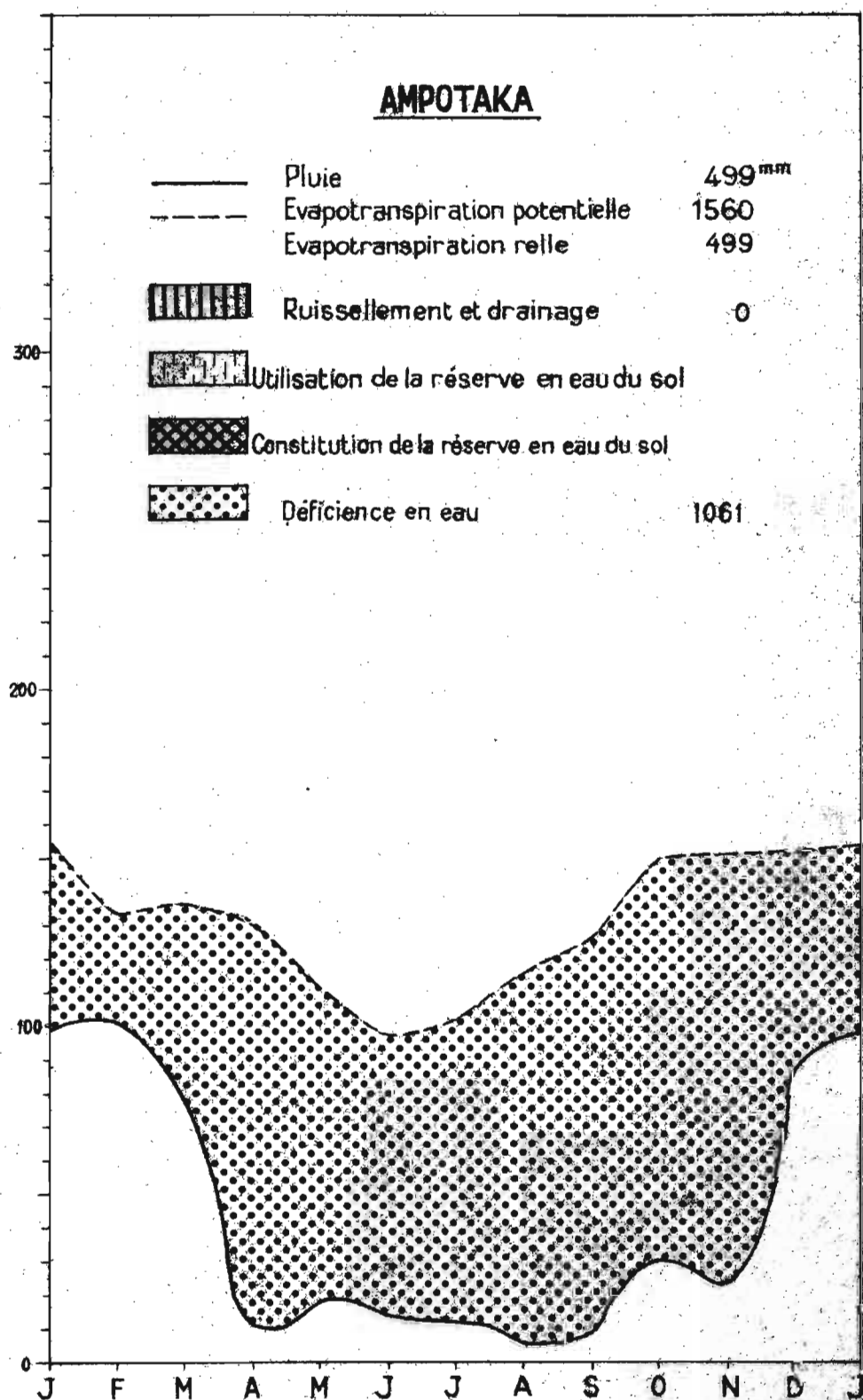
AMPANHY-QUEST

Pluie et évapotranspiration en mm



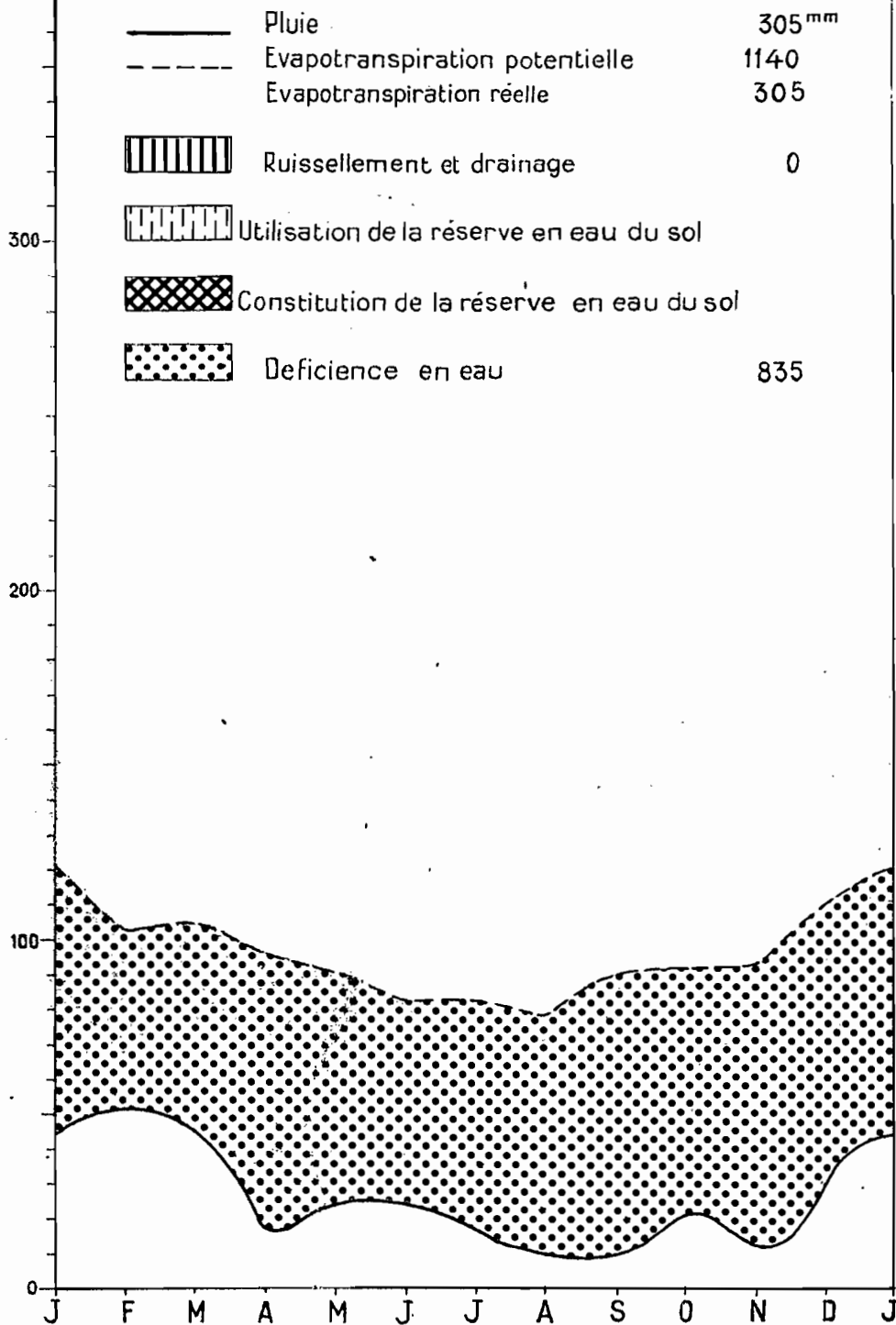
AMPOTAKA

Pluie et évapotranspiration en mm



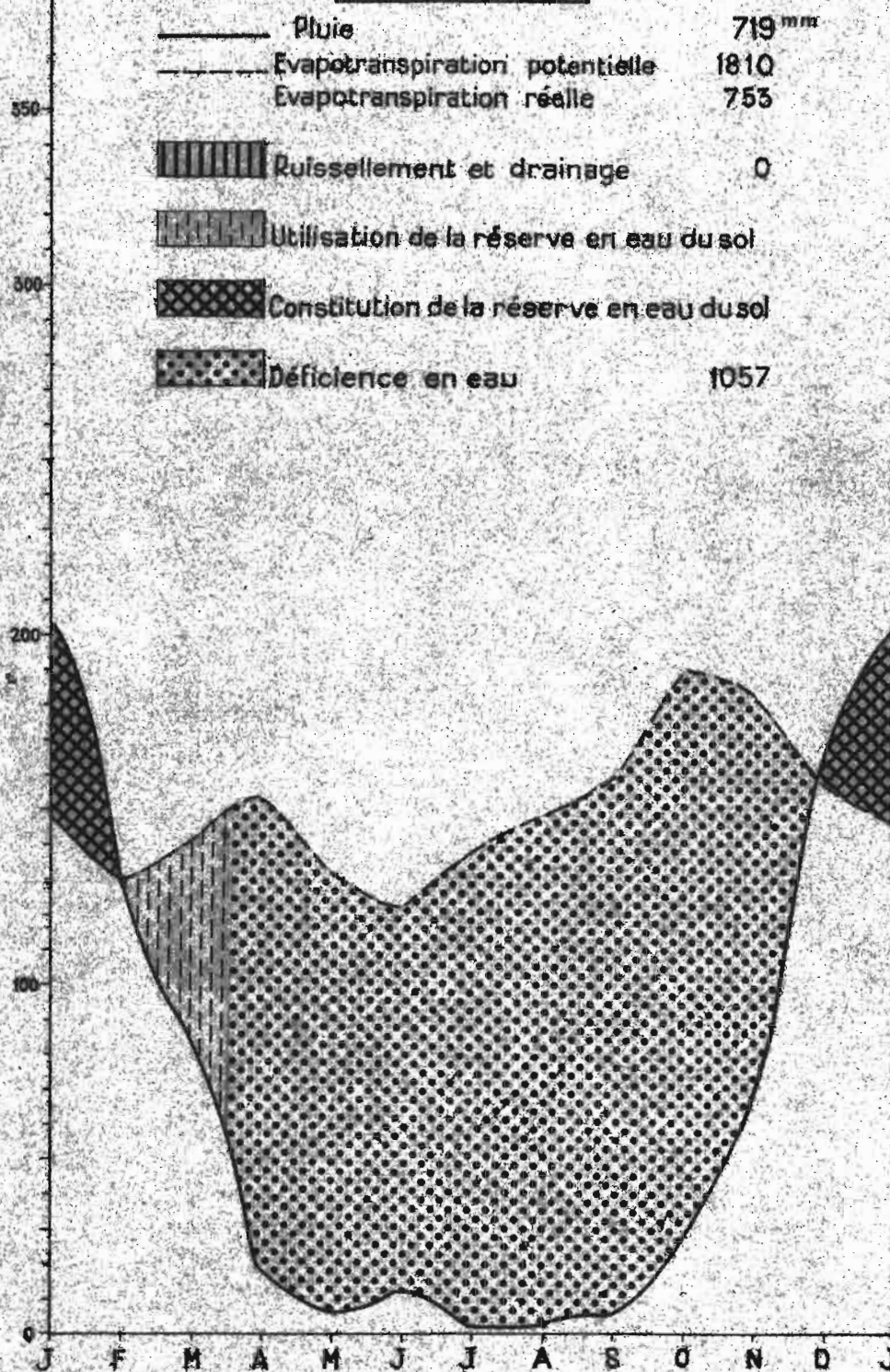
ANDROKA

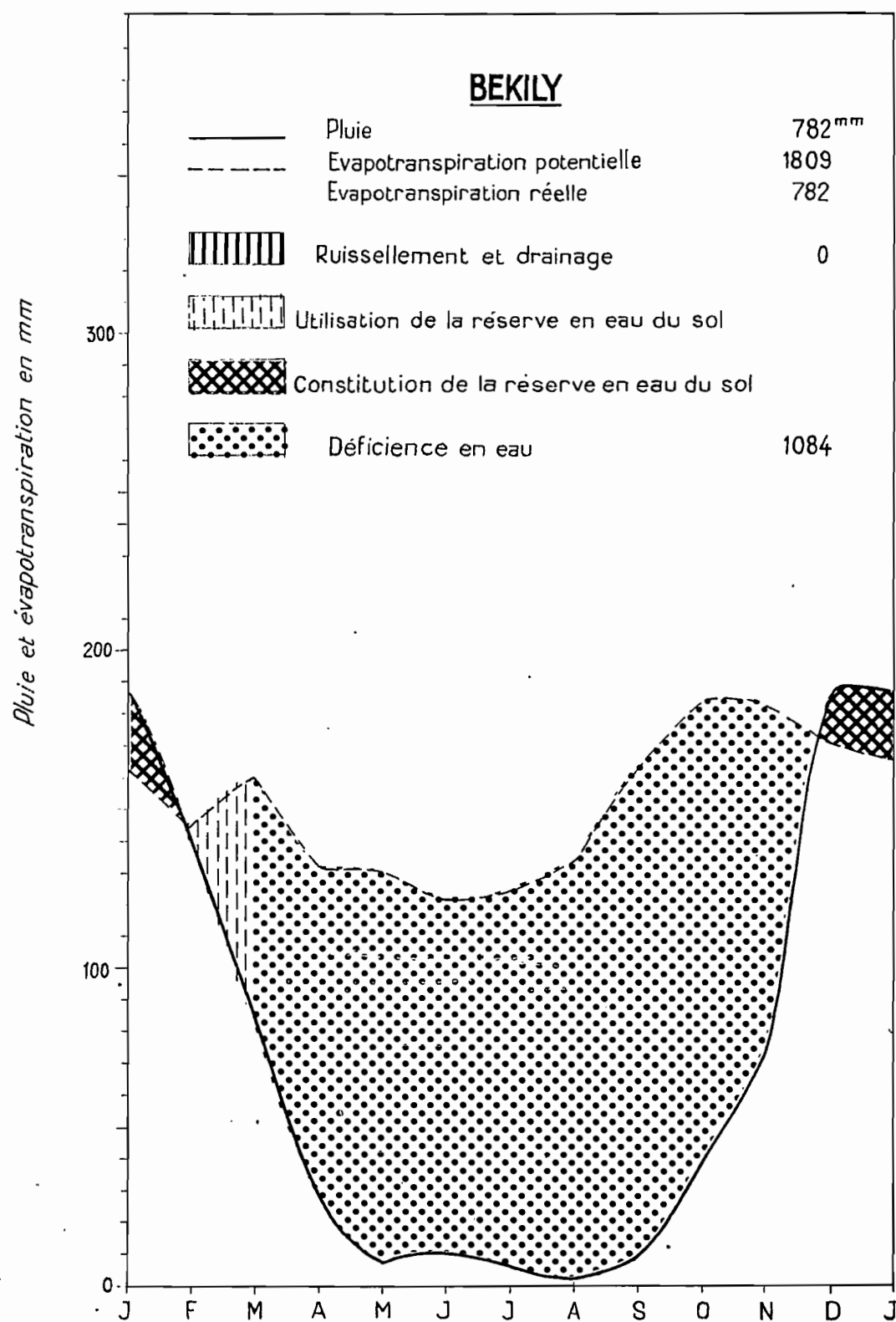
Pluie et évapotranspiration en mm



ANKAZOABO-SUD

Pluie et évapotranspiration en mm

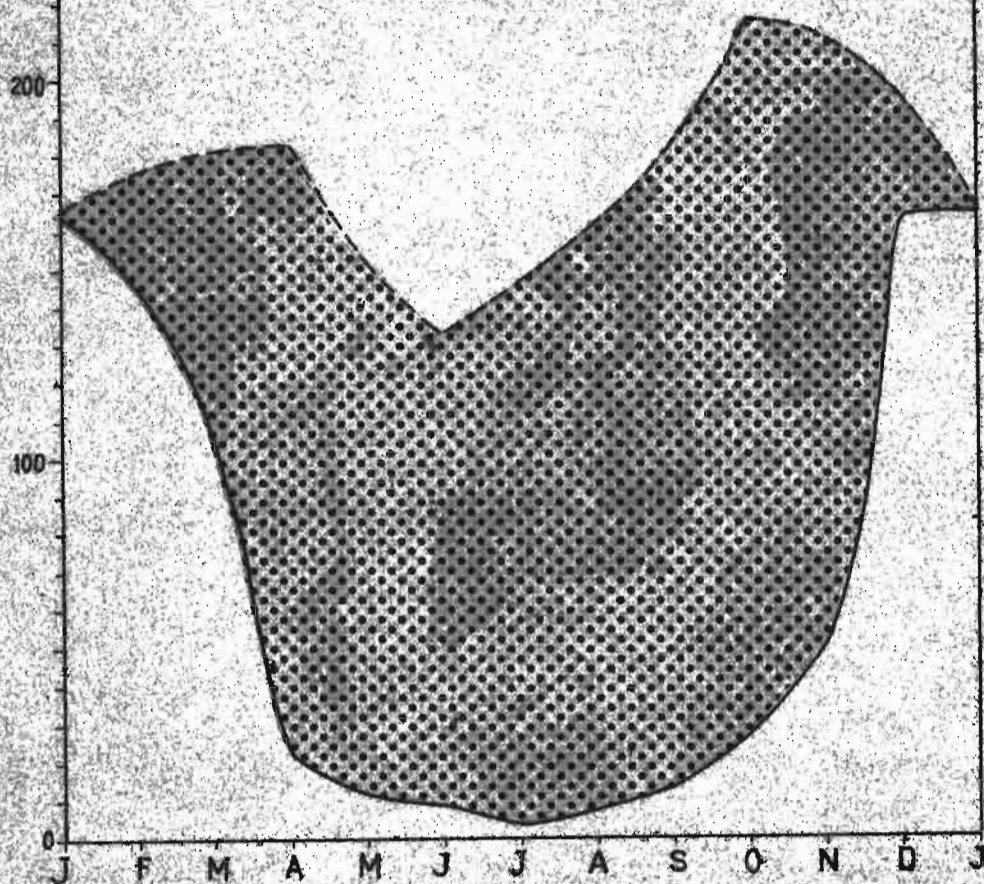




BENENITRA

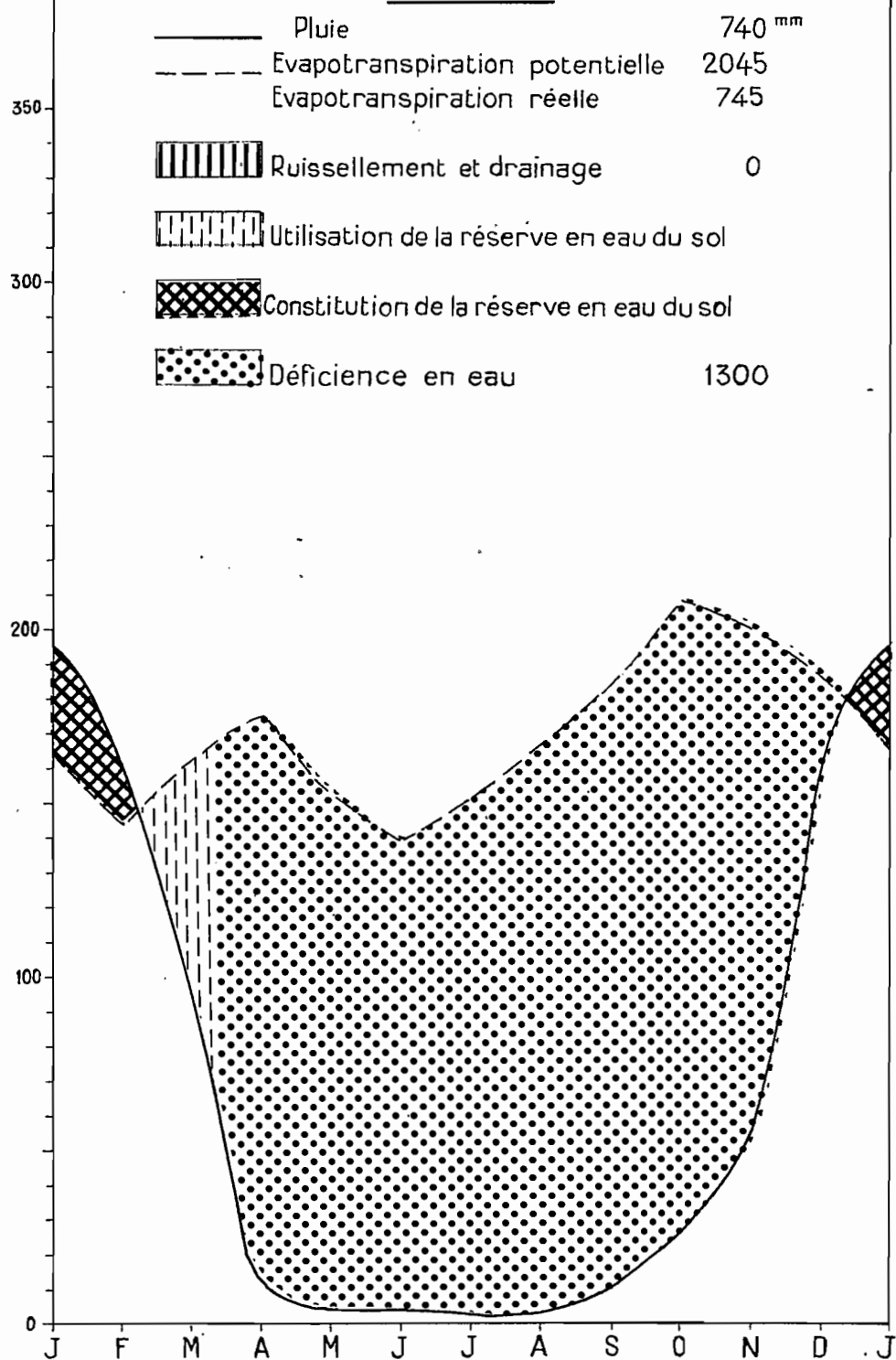
Pluie et évapotranspiration en mm

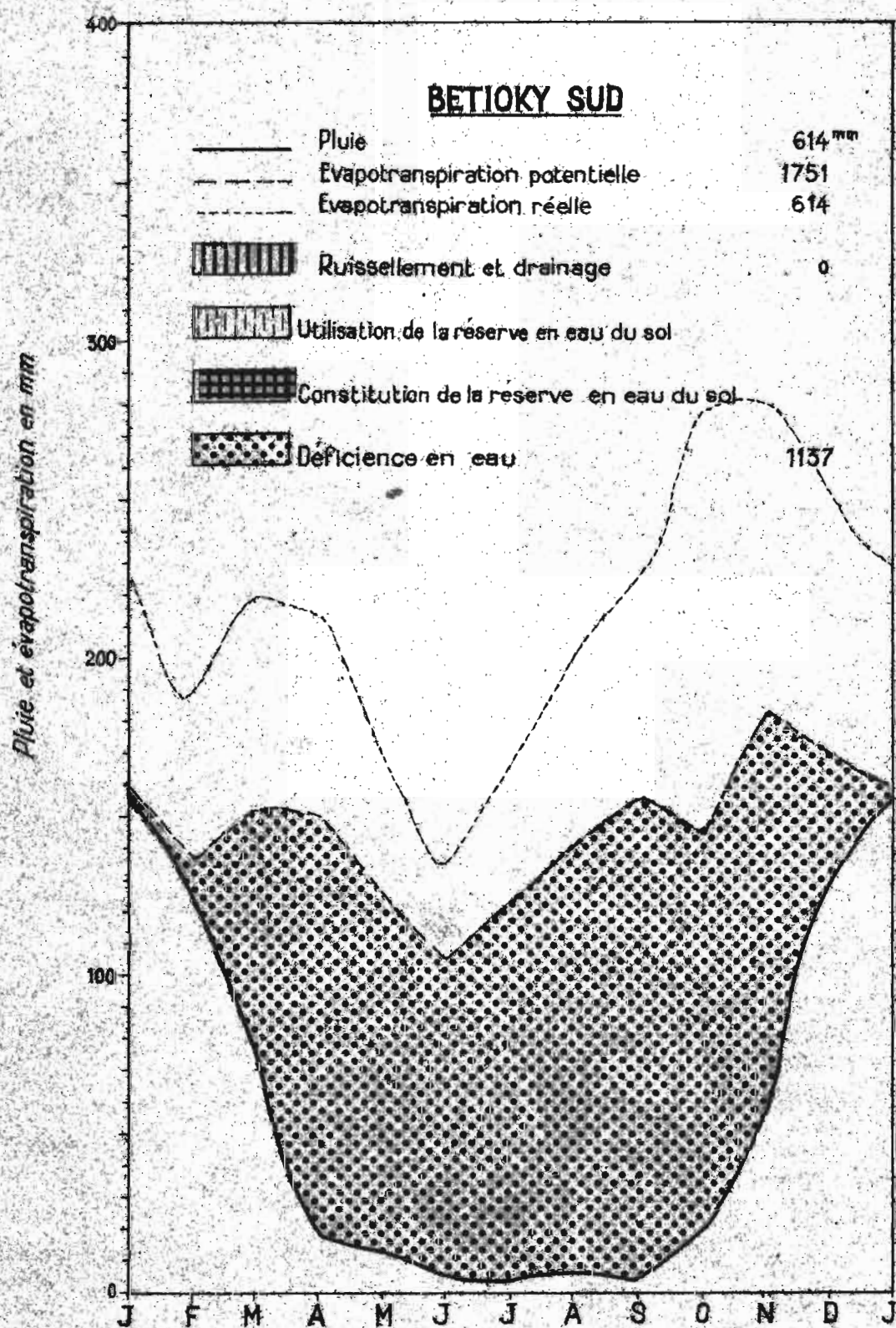
—	Pluie	735 ^{mm}
- - -	Évapotranspiration potentielle	2102
- - -	Évapotranspiration réelle	735
	Ruissellement et drainage	0
	Utilisation de la réserve en eau du sol	
	Constitution de la réserve en eau du sol	
	Déficiencia en eau	1367



Pluie et évapotranspiration en mm

BEROROHA

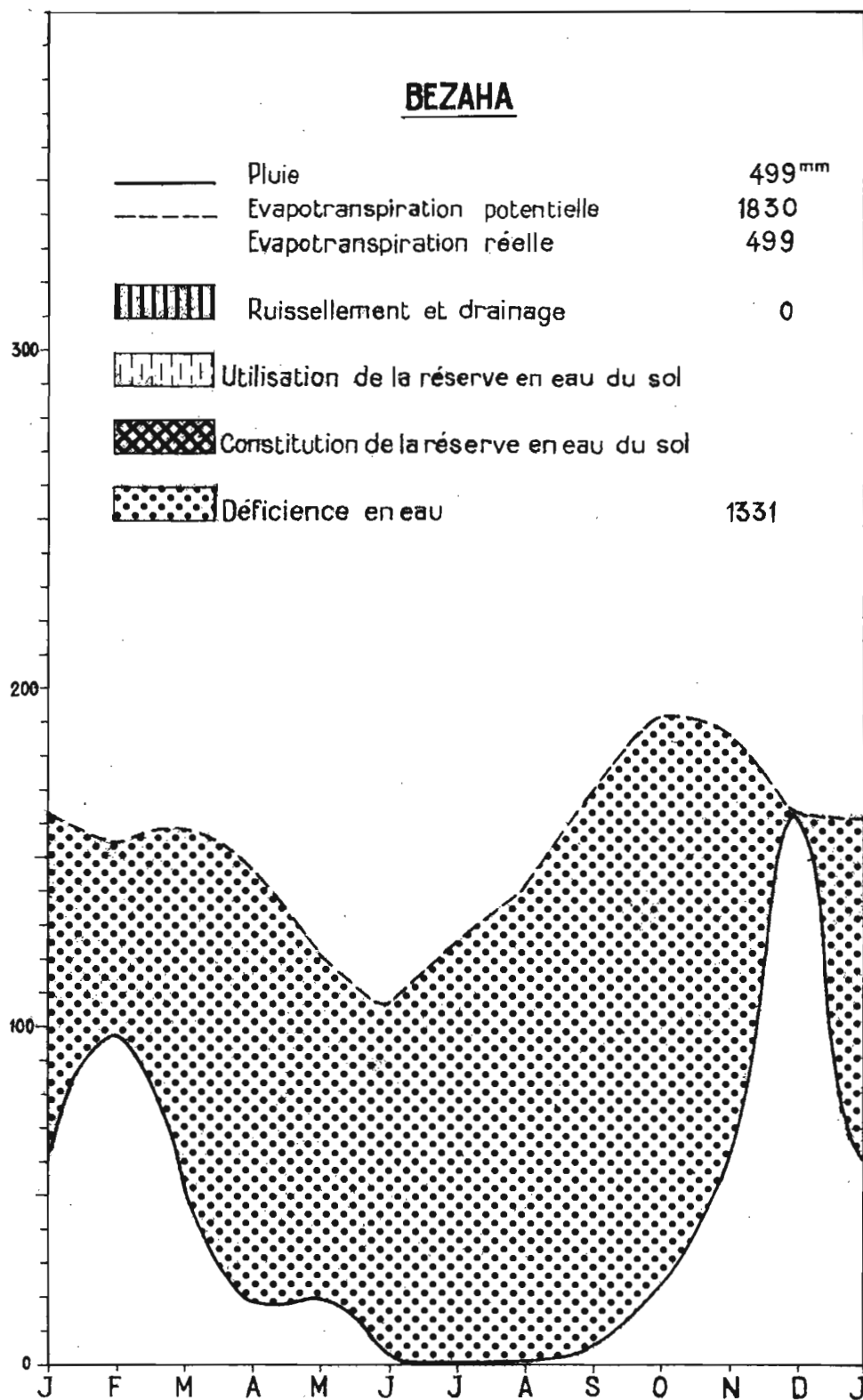




Pluie et évapotranspiration en mm

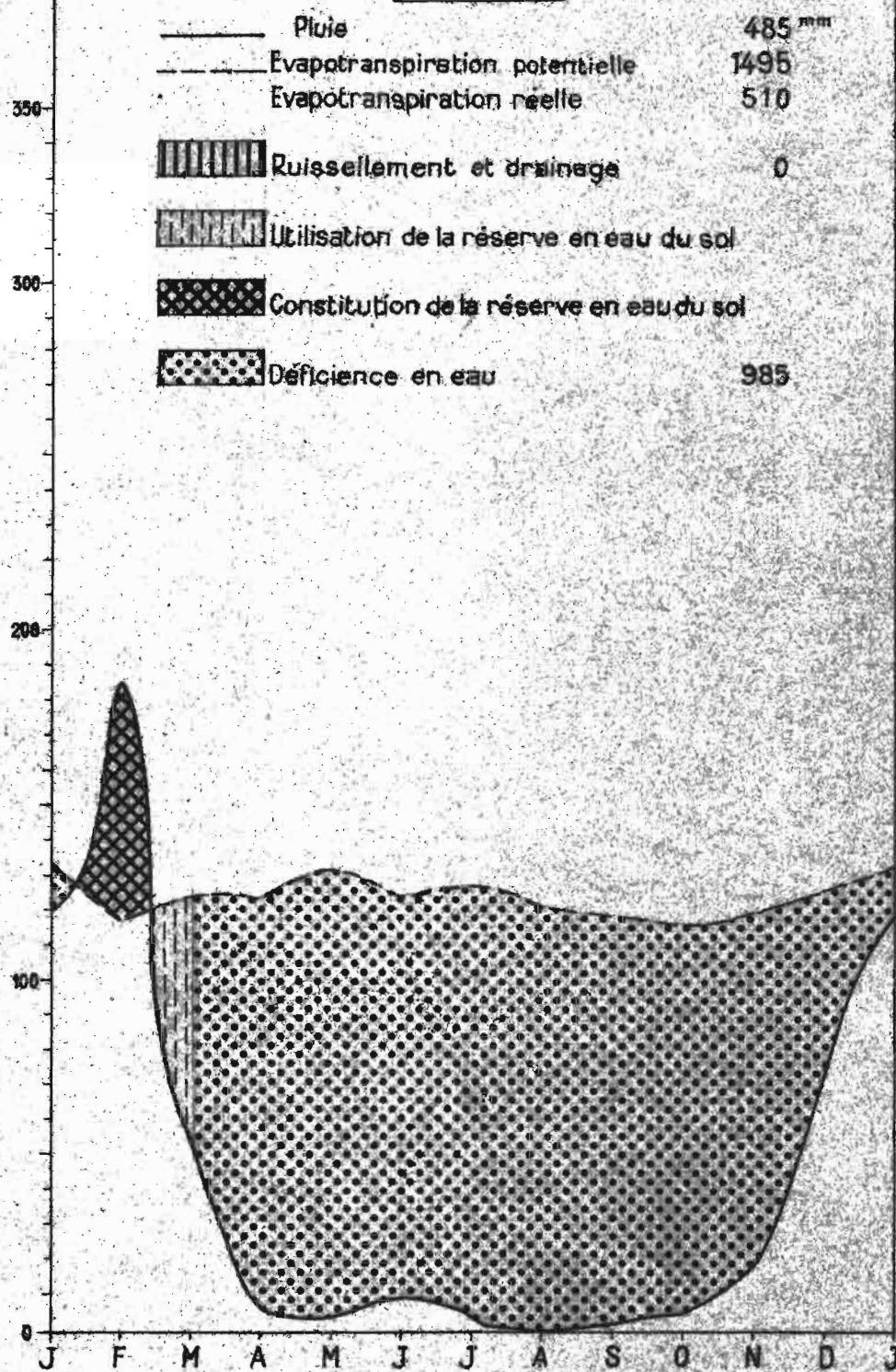
BEZAH

—	Pluie	499 ^{mm}
- - -	Evapotranspiration potentielle	1830
	Evapotranspiration réelle	499
	Ruissellement et drainage	0
	Utilisation de la réserve en eau du sol	
	Constitution de la réserve en eau du sol	
	Déficiencia en eau	1331



Pluie et évapotranspiration en mm

MOROMBE



RANOHIRA

—	Pluie	912 mm
- - -	Evapotranspiration potentielle	1415
- - -	Evapotranspiration réelle	755

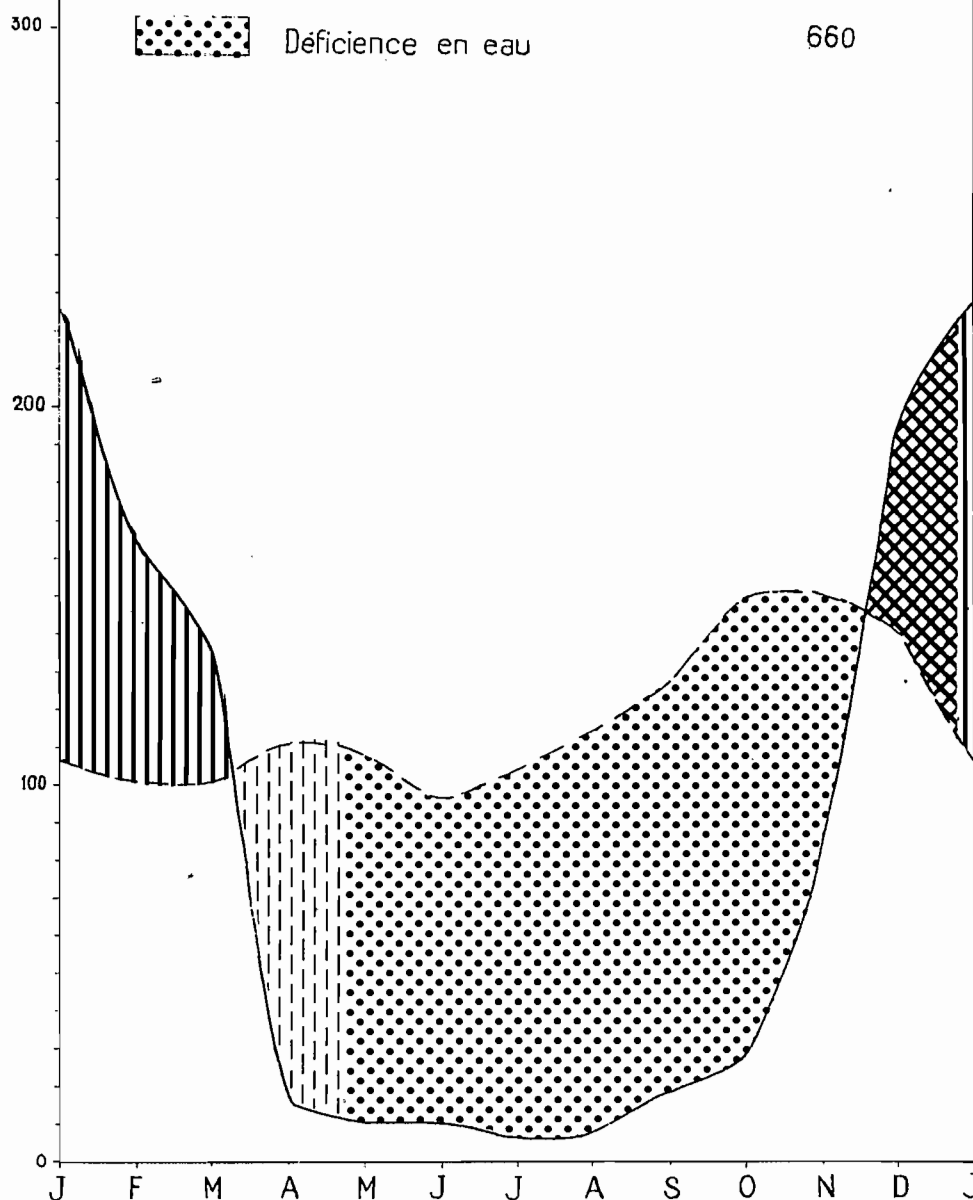
	Ruissellement et drainage	160
---	---------------------------	-----

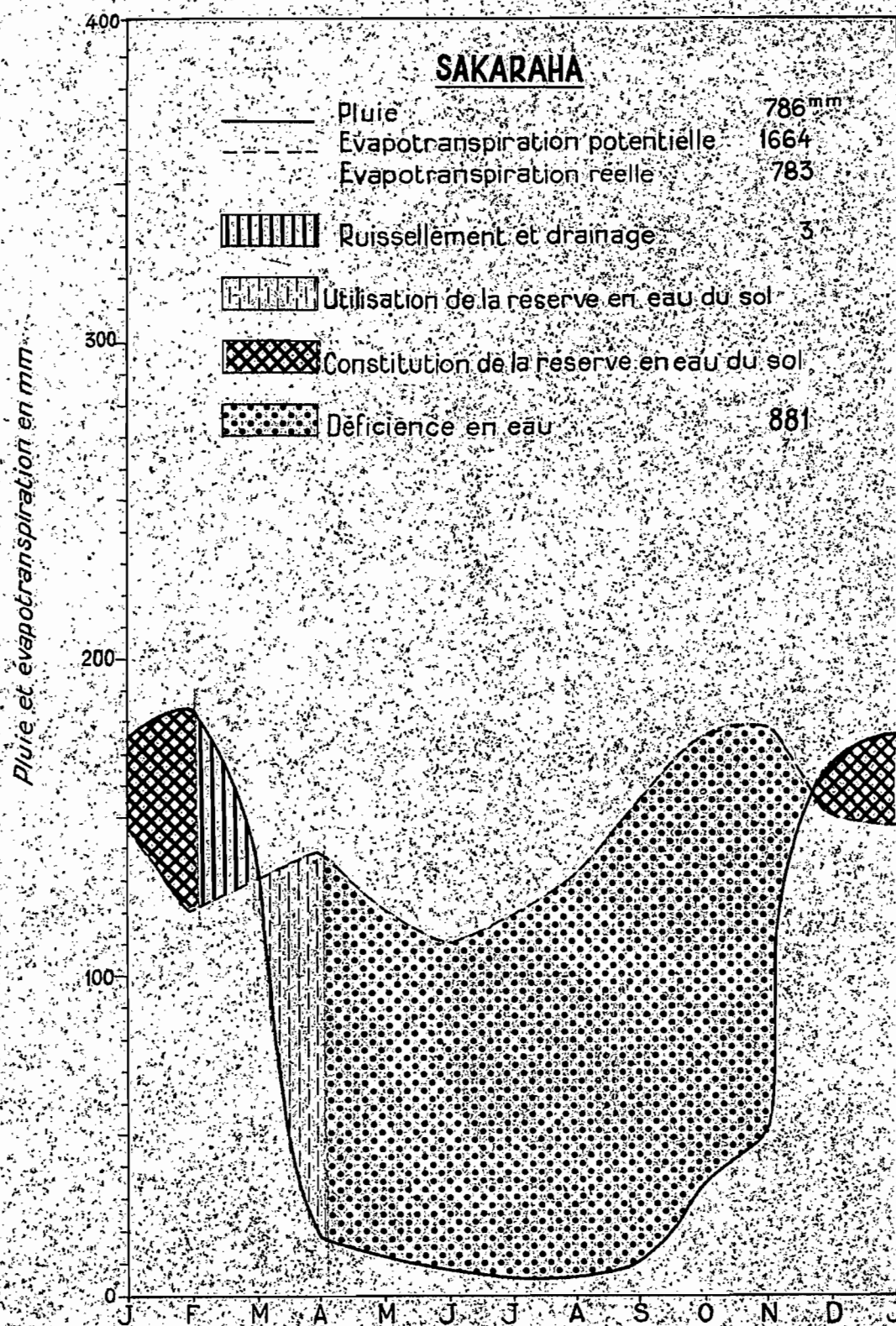
	Utilisation de la réserve en eau du sol	
---	---	--

	Constitution de la réserve en eau du sol	
---	--	--

	Déficiencia en eau	660
---	--------------------	-----

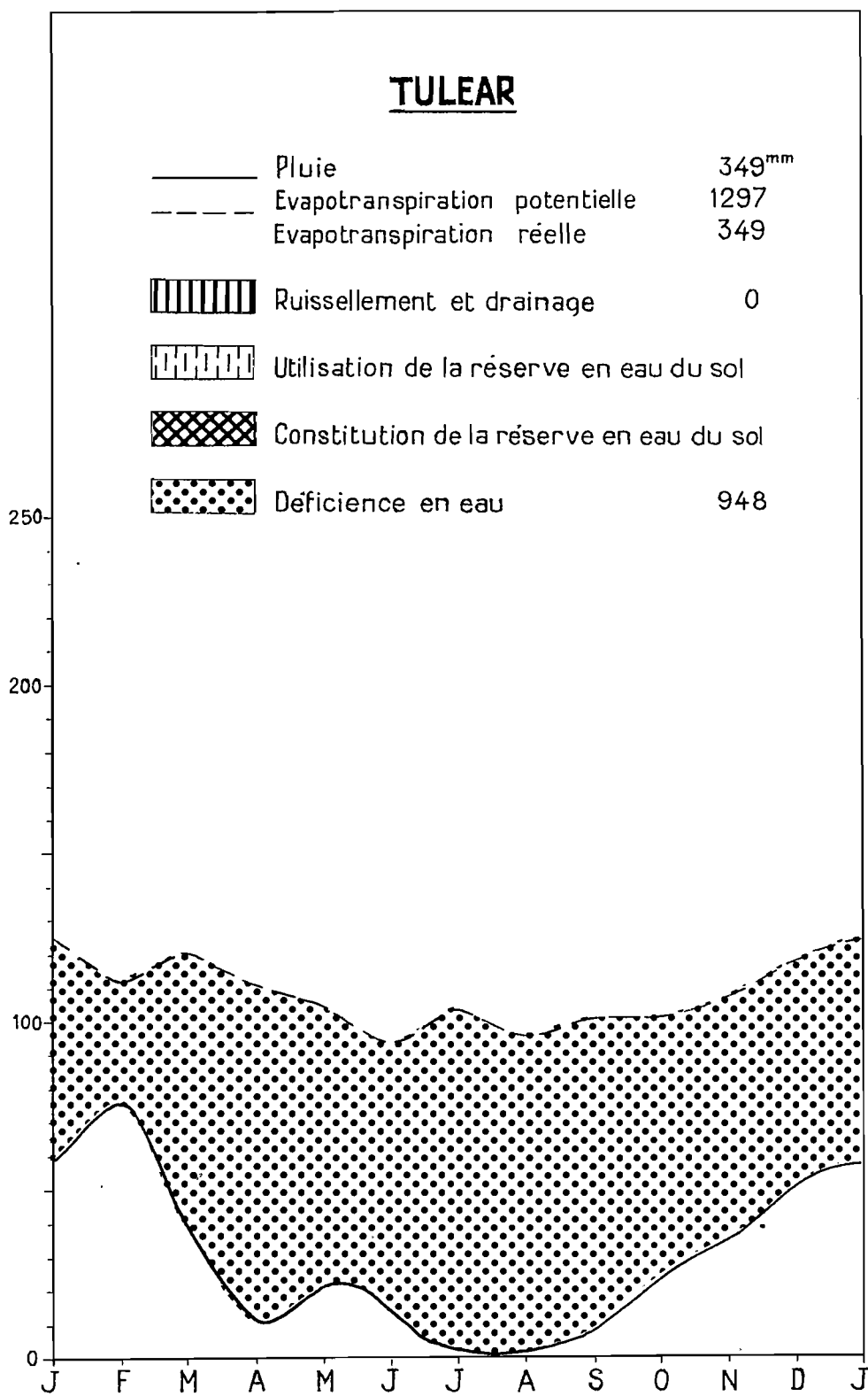
Pluie et évapotranspiration en mm

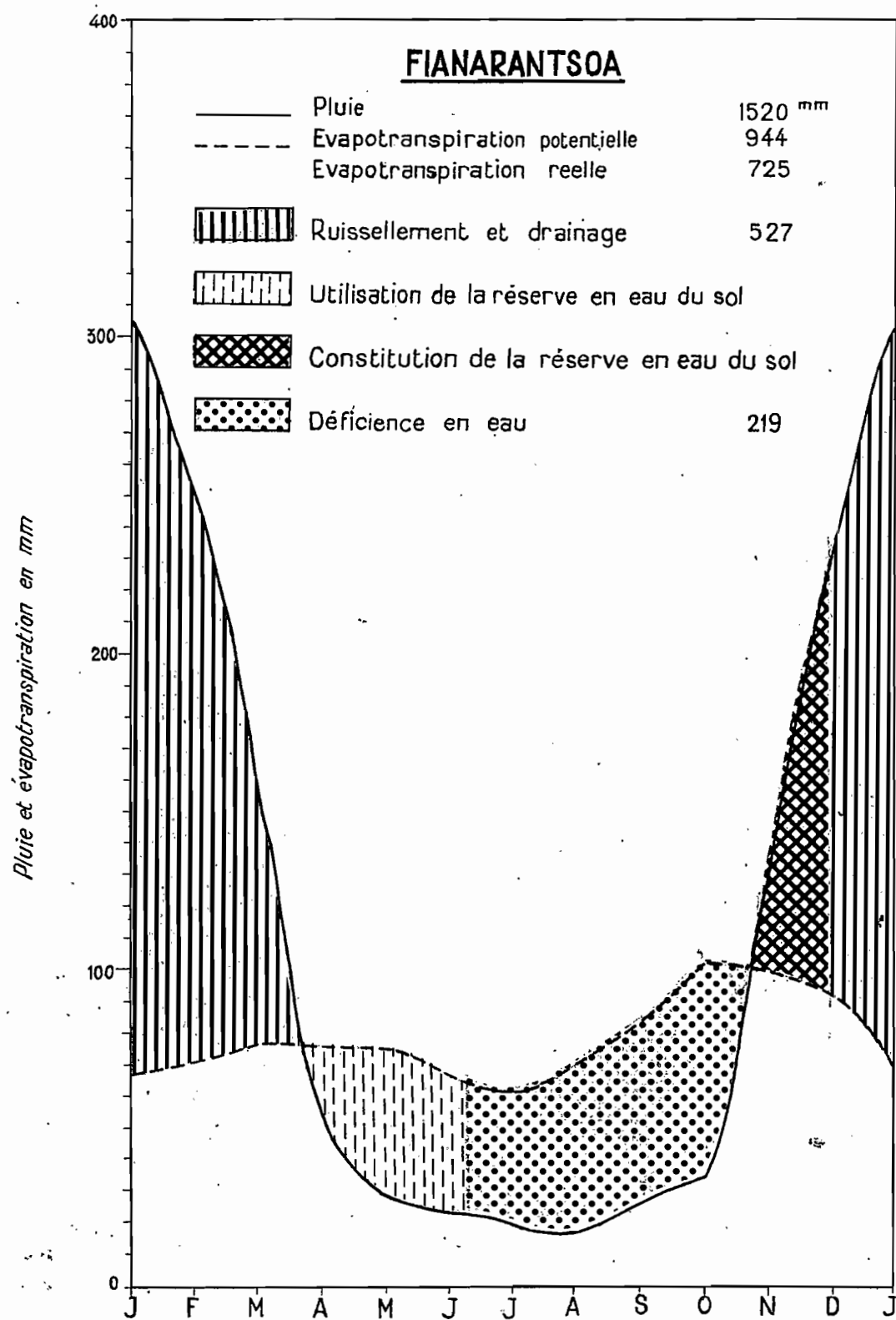




TULEAR

Pluie et évapotranspiration en mm



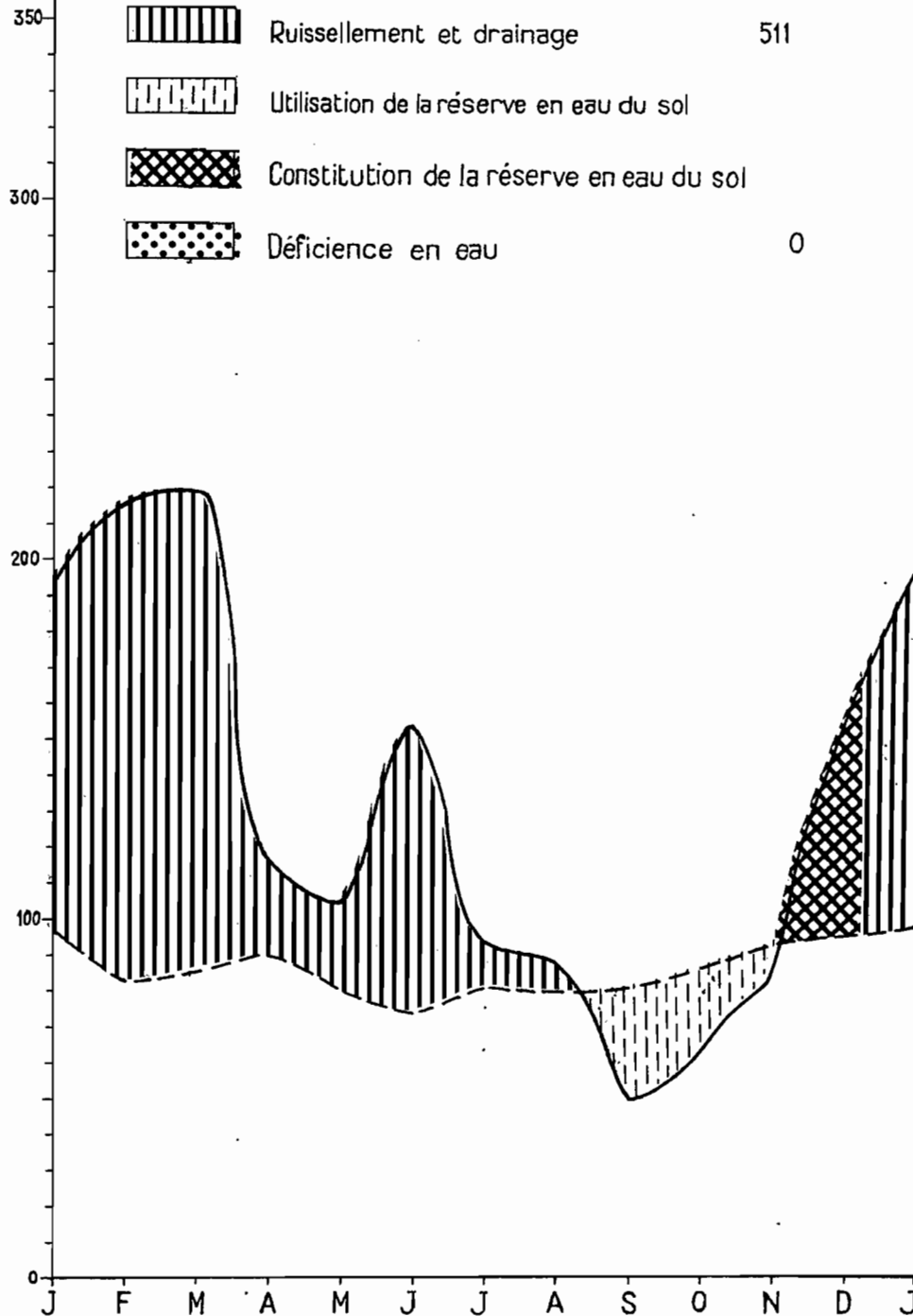


FORT - DAUPHIN

—	Pluie	1527 mm
- - -	Evapotranspiration potentielle	1021
- - -	Evapotranspiration réelle	1021

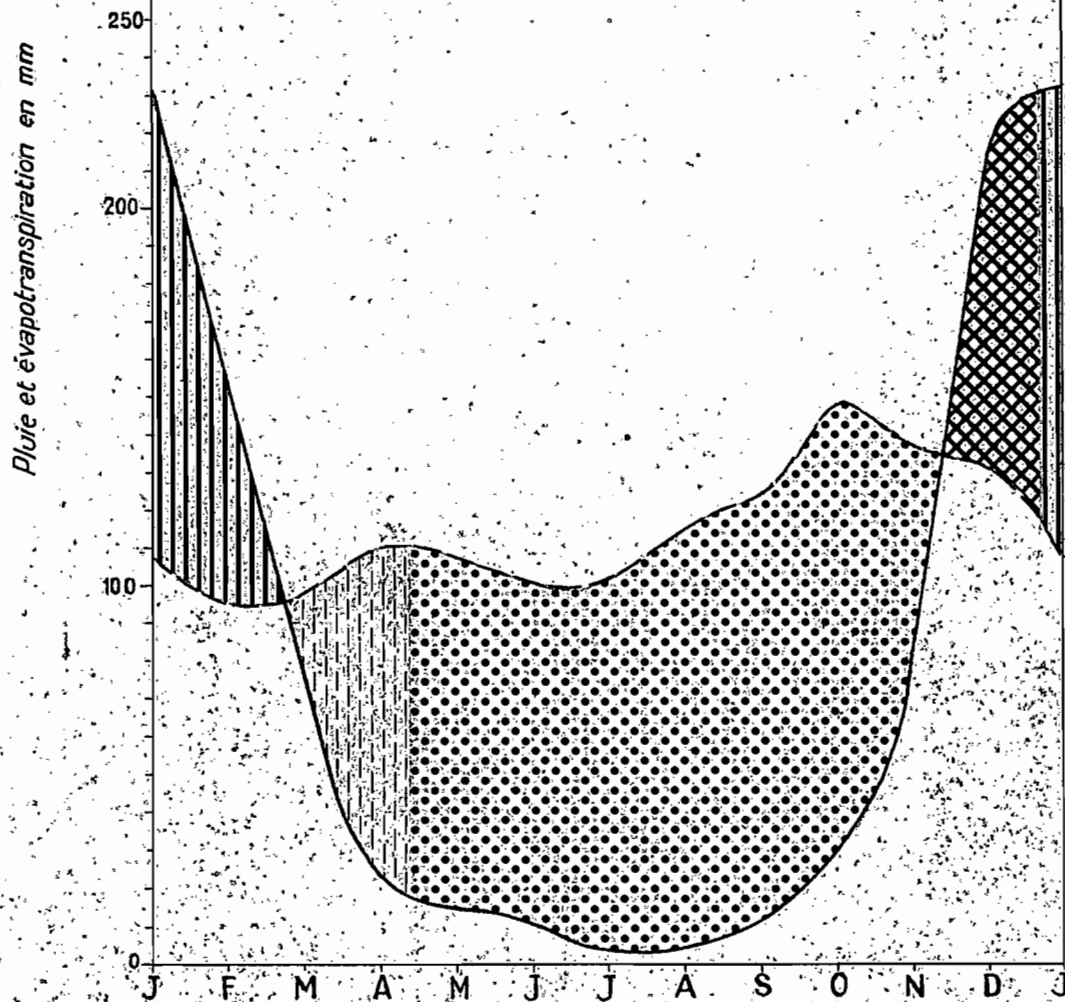
350		Ruissellement et drainage	511
		Utilisation de la réserve en eau du sol	
300		Constitution de la réserve en eau du sol	
		Déficiencia en eau	0

Pluie et évapotranspiration en mm



IHOSY

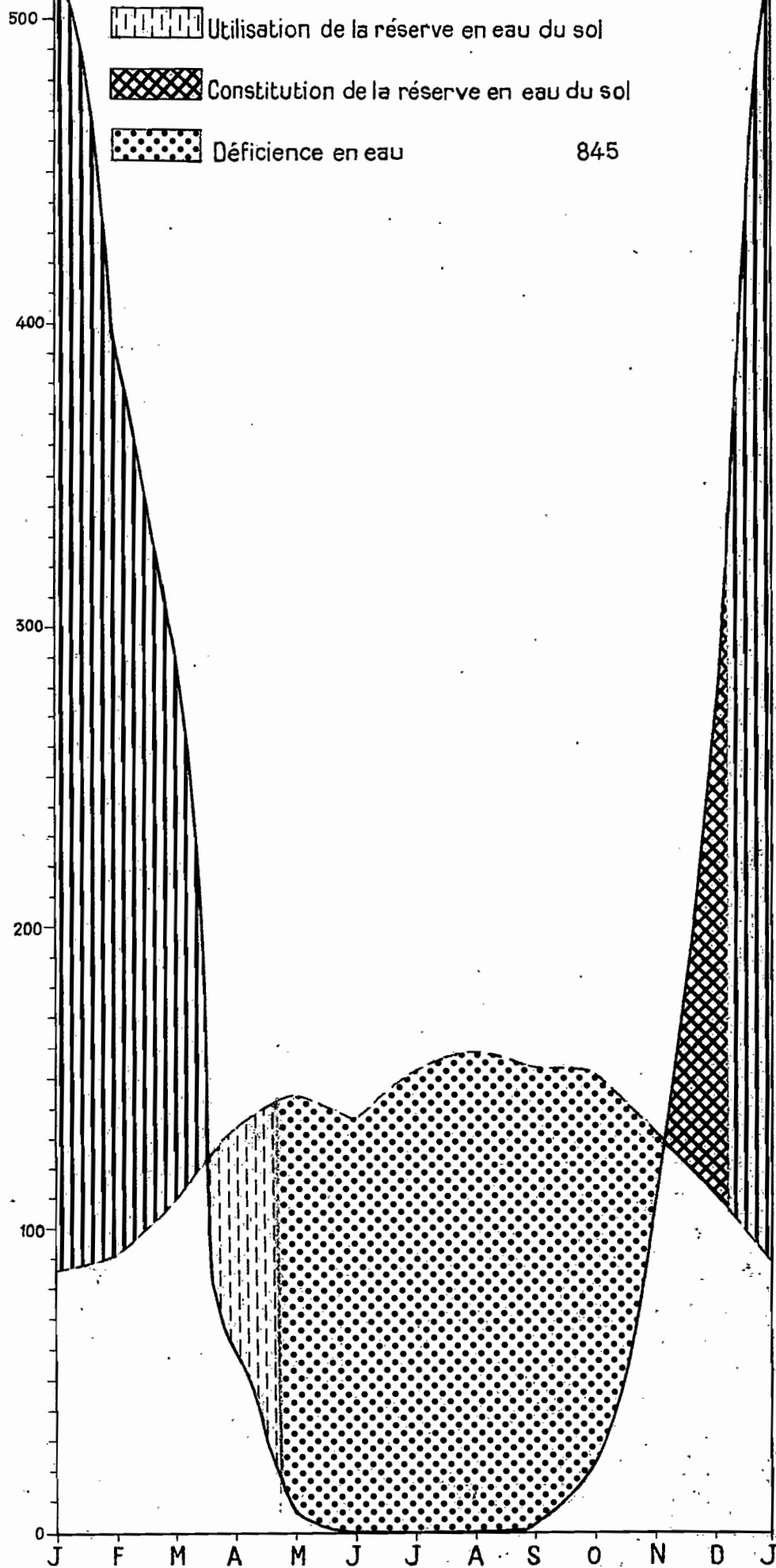
—	Pluie	874 ^{mm}
- - -	Evapotranspiration potentielle	1371
	Evapotranspiration réelle	725
	Ruisellement et drainage	149
	Utilisation de la réserve en eau du sol	
XXXXX	Constitution de la réserve en eau du sol	
●●●●●	Déficiencie en eau	646



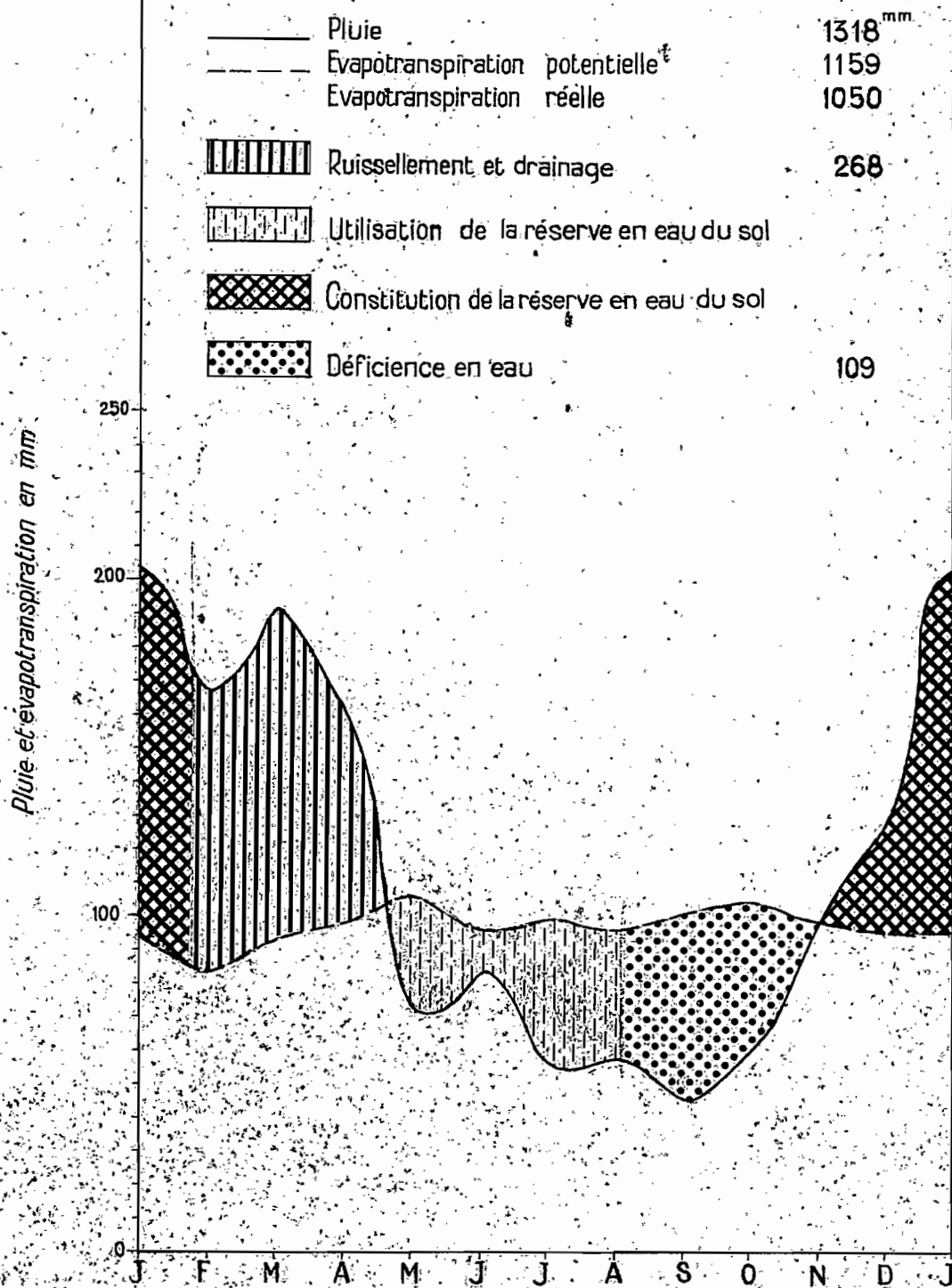
MAJUNGA

Pluie et évapotranspiration en mm

—	Pluie	1659 ^{mm}
- - -	Evapotranspiration potentielle	1573
	Evapotranspiration réelle	728
	Ruissellement et drainage	931
	Utilisation de la réserve en eau du sol	
	Constitution de la réserve en eau du sol	
●●●●●	Déficiencia en eau	845



VOHEMAR



	P	ETP	Df	Er	Ex	Ns	Im
AMPANIHY	572	1702	1130	572	0	12	-33
AMPOTAKA	499	1560	1061	499	0	12	-40
ANDROKA	305	1140	835	305	0	12	-44
ANKAZOABO	719	1810	1057	719	0	8.4	-35
BEKILY	782	1819	1034	782	0	8.8	-34
BENENITRA	735	2102	1367	735	0	12	-39
BEROROKA	740	2045	1300	740	0	9.2	-38
BETIOKY	614	1777	1163	614	0	12	-39
BEZAHA	499	1830	1331	499	0	12	-43
MOROMBE	485	1495	985	485	0	10	-39
RANOHIRA	912	1415	660	755	160	6.8	-16
SAKARAH	786	1664	881	783	3	7.5	-31
TULEAR	349	1297	948	349	0	12	-43
FIANARANTSOA	1252	944	219	725	527	4.5	41
FORT-DAUPHIN	1527	1021	0	1021	506	0	49
IHOSY	874	1371	646	725	149	6.9	-17
MAJUNGA	1659	1573	845	728	981	6.5	30
VOHEMAR	1318	1159	109	1050	268	2.9	17

P = Pluviométrie annuelle

ETP = Evapotranspiration potentielle calculée

Df = Déficit en eau

Er = Evapotranspiration réelle calculée

Ex = Excédent d'eau

Ns = Nombre de mois édaphiquement secs

Im = Indice d'humidité.

4ème Partie : Définition du climat du sud-ouest en fonction de ses caractères actuels et de l'interférence des climats antérieurs.

1) Définitions du climat actuel

Nous avons constaté l'appartenance du sud-ouest au domaine thermique intertropical et le partage de ses stations entre les régimes pluviométriques long et court.

Divers critères que nous avons cités permettent de l'assimiler au climat soudanien de DE MARTONNE, au climat sénégalien de PEGUY. Nous avons qualifié avec DUVERGE le climat littoral de "désertique océanique". Ces termes étant très généraux nous préfererons avec RIQUIER la classification plus différenciée de THORNTWAITE.

Dans cette classification intervient une notion d'efficacité des températures représentée par ETP. Selon l'échelle de THORNTWAITE (PEGUY, p. 154) les stations du sud-ouest qui présentent toute une ETP au moins égale (ANDROKA) à 1140 mm sont incluses dans le type de climat "mégathermal". (Pour mémoire, MAJUNGA, IHOSY, VOHEMAR : mégathermal - FORT-DAUPHIN, FIANARANTSOA : mésothermal).

Il intervient également un critère d'humidité représenté par l'indice

$$I_m = \frac{100E_x - 60D_f}{ETP}$$

Arides - Mégathermals	: $I_m < -40$
AMPOTAKA - ANDROKA - BEZAHA - TULEAR	
	$-40 < I_m < -35$
BENENITRA - BEROROH - BETIOKY - MOROMBE	
Semi-arides - Mégathermals	: $-35 < I_m < -20$
AMPANIHY - ANKAZOABO - BEKILY - SAKARAH	
Sub-humide	: $-20 < I_m < 0$
RANOHIRA (et IHOSY)	

Régions climatiques
(Classification Thornthwaite)
(d'après J. Riquier)

0 200km

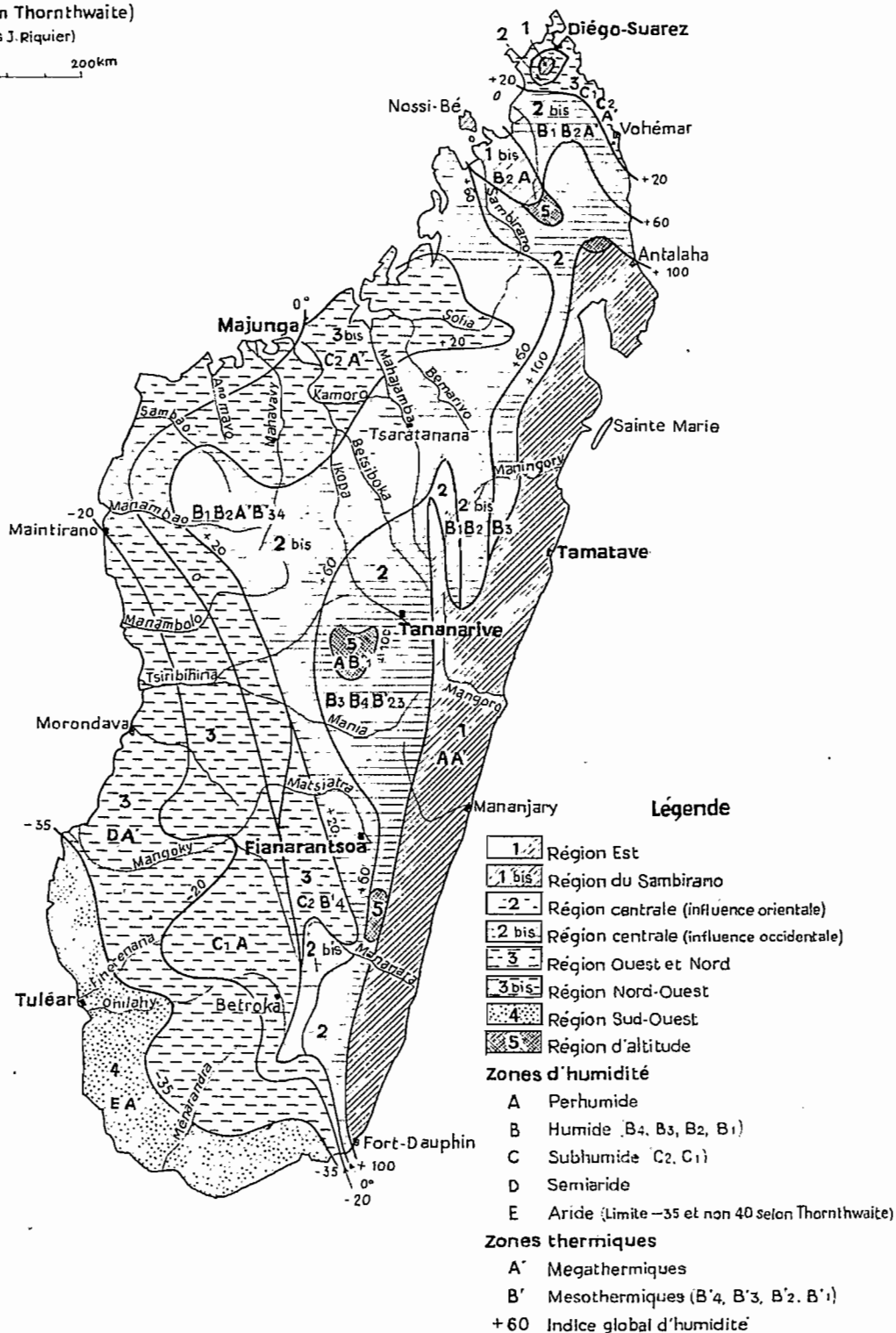


Fig: n:3

Humides : $I_m < 0$

FIANARANTSOA - FORT-DAUPHIN - MAJUNGA - VOHEMAR

2) Les implications pédologiques du climat actuel

La formation d'un sol résulte de l'évolution de la lithosphère au contact de l'atmosphère par l'intermédiaire d'un "milieu" (biosphère) auquel le sol en formation s'intègre progressivement.

En présence d'une roche brute, les agents atmosphériques exercent une action conjuguée d'altération et d'ablation : il ne peut y avoir formation de sols en place que si l'approfondissement est plus rapide que l'ablation ; dans le cas contraire il y a érosion.

L'étude des bilans de l'eau nous a montré que dans la partie littorale du sud-ouest il n'existe théoriquement pas de saison édaphiquement humide et que dans la partie continentale la saison humide n'atteindrait même pas au seuil de la reconstitution des réserves en eau du sol. Dans ces conditions, l'altération des minéraux qui ne peut se faire que par voie humide sera extrêmement limitée ; les sols pourront d'autant moins s'approfondir qu'en raison de la concentration et de la brutalité des précipitations tous les produits de l'altération seront exportés.

Effectivement on observe dans le sud-ouest que l'affleurement de matériaux bruts ne donne lieu qu'à une pédogénèse peu approfondie et peu poussée, en ce qui concerne la désagrégation des roches et la libération d'éléments.

La seule pédogénèse qui s'exprime avec intensité consiste à la mobilisation des sels solubles, en milieu salin ou calcaire, et au développement de certains types d'humus liés ou non à la répartition du calcaire.

Le climat actuel impliquerait donc la formation de sols non évolués, peu évolués, calcimorphes, isohumiques, salins ou hydromorphes. Il contribuerait, conformément à sa définition à la formation d'un paysage de type semi-aride ou aride.

Cependant, l'évolution des sols, le développement des formations végétales et l'activité biologique en général sont beaucoup plus intenses que l'analyse des données météorologiques et de leurs implications théoriques ne le laissent présager (1). Cette contradiction résulte de l'héritage des climats antérieurs et de la prolongation à travers l'épisode actuel de processus amorcés à la faveur des épisodes précédents.

3) L'interférence des climats passés

Les conditions de la pédogénèse - et celles de l'activité biologique en général - sont tout à fait différentes si l'on admet entre lithosphère et atmosphère la médiation d'une biosphère héritée de climats différents plus favorables à l'activité chimique et biologique comme à la préservation d'un "milieu" protecteur.

Les modifications cycliques des climats de Madagascar sont maintenant bien établies. Diverses observations attestent l'emprise sur le sud-ouest de climats tropicaux sub-humides ou humides, qui devaient présenter entr'autres caractères très différents de ceux du climat actuel un bilan de l'eau nettement positif.

- la présence de sols rouges ferrallitiques profonds sur basaltes au sommet de l'ANALAVELONA à 90 km au NE de TULEAR ;
- la présence de matériau gibbsitique piégé dans un karst très disséqué à la surface du plateau de VINETA ;
- la décarbonatation complète et la rubéfaction profonde de l'appareil dunaire littoral.

L'héritage des climats passés peut être considéré sous un aspect statique : c'est l'existence de sols dont la formation est incompatible avec la seule action des facteurs climatiques actuels. D'où la notion de paléosols.

(1) On constate dans le sud-ouest l'existence de pédogénèse des types à sesquioxydes et même podzolique .

Elle peut être considérée sous un aspect dynamique : c'est la rémanence au sein des matériaux hérités de phénomènes d'altération et de différenciation qui ne pourraient pas s'amorcer dans les conditions actuelles mais qui se poursuivent. Il y a hystérésis.

- C'est ainsi que l'altération pelliculaire du calcaire s'observe au sein des vieux sols rouges qui couvrent les karst, avec libération de produits résiduels qui se rubéfient alors qu'en affleurements les calcaires ne s'altèrent pas mais s'encroutent.

Il est probable que l'activité biologique - celle de la flore notamment - met à profit l'existence de facteurs édaphiques qui prolongent sous le climat aride actuel l'emprise de climats plus humides antérieurs.

- C'est ainsi que des réserves d'humidité se constituent dans les karsts ou dans les formations sableuses à la faveur de morphologies anciennement acquises.

CONCLUSIONS

Cette étude n'a pas dépassé le but modeste que nous avions fixé à savoir de regrouper les données connues qui concernent le sud-ouest, et de montrer de quelle façon s'établit la transition entre les domaines climatiques adjacents.

Il est utile de connaître la valeur de certains indices dont l'emploi est répandu internationalement, et qui permettent d'établir des comparaisons à l'échelle des continents. A l'échelle locale leur emploi est néanmoins décevant. C'est le propre des indices de ne livrer aucune connaissance qu'on ne possède déjà puisqu'ils sont établis empiriquement par ajustement à la réalité connue.

La confrontation des études climatiques et des phénomènes pédologiques est particulièrement ardue dans le sud-ouest de MADAGASCAR où subsiste l'héritage de pédogénèses anciennes, en rapport avec des climats plus humides ou plus chauds que ceux que nous subissons.

Nous avons avancé plus haut le terme d'hystérésis : il rend compte de la rémanence au sein du "milieu" actuel des implications biostatiques des climats quaternaires en dépit des implications rhéostatiques du climat actuel.

Cette notion échappe évidemment à toute analyse des données météorologiques et n'est exprimée par aucune classification. Il est néanmoins indispensable de la prendre en considération.

B I B L I O G R A P H I E

1) Les ouvrages suivants sont cités dans le texte.

BATTISTINI (R.) - 1964

L'Extrême-Sud de Madagascar. Etude géomorphologique. Thèse de Doc. Lettres. Etudes malgaches n° 10 et 11, 636 p.

DUVERGE (P.) - 1949

L'indice d'aridité à Madagascar. Pub. du Serv. Météor. Tananarive, multigr., 44 p., n° 18

FOURNIER (F.) - 1960

Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. P.U.F., Paris, 198 p.

FOURNIER (F.) - 1962

Carte du danger d'érosion en Afrique au sud du Sahara, fondé sur l'agressivité climatique et la topographie. Carte au 1/10.000.000 (avec Madagascar) et notice C.C.T.A.

GRISOLLET (H.), GUILMET (B.) et ARLERY (R.) - 1962

Climatologie. Méthodes et pratiques. Coll. Monographies de météorol. Gauthier-Villars edit. Paris, 401p.

HERVIEU (J.) - 1967

Géographie des sols malgaches. Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. 1, 1967, 82 p., 5 cartes.

HERVIEU (J.) - 1968

Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Thèse doct. ORSTOM, Paris, Mémoire n° 24, 465 p., bibliogr. et photos.

METEO - 1956

Températures de l'air sous abri à Madagascar, aux Comores et à la Réunion. Pub. du Serv. Météorol. Tananarive n° 25. Données établies sur 10 années antérieures à 1950.

METEO - 1964

Les pluies à Madagascar. Normales standard 1931-1961. Moyennes de 1936-1960. Pub. du Serv. Météo. Tananarive n° 29.

MORAT (P.) - 1969

Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviométrique d'Emberger. O.R.S.T.O.M. Tananarive, multigr., 13 p. et annexes

PEGUY (Ch.P.) - 1961

Précis de Climatologie. Masson & Cie Edit. Paris, 347 p.

RIQUIER (J.) - 1958

Note sur l'évapotranspiration de Thornthwaite et le bilan hydrique des sols. Le Naturaliste Malgache, t. X, fasc. 1/2, pp. 1-18, 9 cartes.

RIQUIER (J.) - 1959

Note complémentaire sur le bilan hydrique des sols. Le Naturaliste Malgache, t. XI, fasc. 1/2, pp. 2-8.

RIQUIER (J.) - 1959

Le bilan hydrique des sols calculé d'après les données météorologiques courantes. Doc. multigr. n° A 1507, Serv. Géol. Madagascar, 113 p., 4 cartes, 105 graph.

RIQUIER (J.) - 1963

Formules d'évapotranspiration. En annexe, tables utilisables à Madagascar (10° à 25° de lat. Sud). Cah. O.R.S.T.O.M., série Pédol., n° 4, pp. 33-50.

THORNTWHAITE (C.W.) - 1948

An approach toward a rational classification of climate. Géogr. Rev., t. 38, pp. 55-94.

- 2) Quelques études d'intérêt local contiennent des données et des commentaires climatologiques.

CASABIANCA (F. de) - 1966

Les sables roux malagasy entre la désertification et l'expansion agricole. L'alternative de la mise en culture. Résultats 1962-1966. IRAM, Tananarive, doc. n° 85, t. I, synthèse, 68 p. et II, Annexes.

CHAMPSOLOIX (R.) - 1961

Reboisement et conservation des sols dans la province de Tuléar. C.T.F.T., Tananarive, multigr., 52 p. + photos et annexes.

GRAFFIN (Ph.) - 1964

Etude de la station des sols salés de Tuléar. Centre ORSTOM, Tananarive, 75 p., multigr.

KILLIAN (J.) - 1966

Etude pédologique de la cuvette d'Ankazomanga. Recherche des sols à arachides. IRAM Tananarive, doc. n° 58 et Agronomie Tropicale, série Agro. géné. et études techniques, vol. V, 1966, pp. 633-658.

ROCHE (P.), TREYER (M.) - 1962

Périmètre du Fiherenana (province de Tuléar). Etude Agronomique, IRAM, Tananarive, multigr., 108 p.

SEGALEN (P.), MOUREAUX (C.) - 1949

Contribution à l'étude des sols de la vallée de la Taheza. Mém. IRSM, série D, t. 1, fasc. 2, pp. 129-152.

WEISS (H.) - 1967

Introduction à l'étude botanique des mangroves de la région de Tuléar (Madagascar). Thèse Univ. Aix-Marseille, multigr., 267 p.