

A. 1507

LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS
CALCULE D'APRES LES DONNEES
METEOROLOGIQUES COURANTES

par

Jean RIQUIER
(Institut de Recherches Scientifiques de Madagascar)

SERVICE GEOLOGIQUE
TANANARIVE
1959

LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS CALCULE
D'APRES LES DONNEES METEOROLOGIQUES COURANTES

per J. RIQUIER

(Institut de Recherches Scientifiques de Madagascar)

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
Première note	1
Deuxième note	4a

ILLUSTRATIONS

	<u>Page</u>		<u>Page</u>
Evapotranspiration po-		Antsakarary	31
tentielle Prescott ...	5	Antsirebe-Ecole	32
Evapotranspiration		Antsirebe-Pep	33
réelle Prescott	6	Antsohihy	34
Drainage Prescott	7	Bealana na-Betsik.	35
Déficit en eau et mois		Befandriana-Nord	36
sec Prescott	8	Behera	37
Ambahivahibe	9	Bekily	38
Ambanja	10	Bekodoka	39
Ambato-Boéni	11	Beloha	40
Ambatomainy	12	Benenitra	41
Ambilobe	13	Beroroza	42
Ambohibary	14	Besale mpy	43
Ambositra	15	Betioky Sud	44
Ambovombe	16	Betomba	45
Ampanihy Ouest	17	Beronono	46
Ampanihy Est	18	Bezaha	47
Ampasipolaka	19	Diégo-Suarez	48
Ampotaka	20	Dzeoudzi	49
Anelalava	21	Farafangana	50
Andranomavo	22	Faratsiho	51
Androka	23	Faux-Cap	52
Ankavandra	24	Fanérive Est	53
Ankazoabo Sud	25	Pianerantsoa	54
Ankazobe	26	Folakara	55
Anosibe	27	Fort-Dauphin	56
Antaleha	28	Ifenediana	57
Antanimora	29	Ihoay	58
Antokazo	30	Ivoloina	59

	<u>Page</u>		<u>Page</u>
Kandreho	60	Nanokely	87
Maevatanana	61	Nossi-Be	88
Mahanoro	62	Nosy-Varika	89
Maintirano	63	Perinet	90
Majunga	64	Port-Berge	91
Malaimbandy	65	Sambava	92
Mankara	66	Sainte-Marie	93
Mananjary	67	Soalala	94
Mananara Nord	68	Soavinandriana	95
Mandritsara	69	Soanierana - Ivongo	96
Mangindreno	70	Sakaraha	97
Mantasoa	71	Tanetsave	98
Marolambo	72	Tambohorano	99
Maroantsetra	73	Tanenarive-Obs	100
Marotandrano	74	Tanenarive-Palais	101
Marovitsika	75	Tanoroa	102
Marovoay-Madirovalo	76	Tsarmandroso	103
Miandrivo	77	Tsarstanana	104
Midongy Sud	78	Tsihombe	105
Morafenobe	79	Tsimbazaza	106
Morenanga	80	Tsinjoarivo	107
Morombe	81	Tsiroanomandidy	108
Morondava	82	Tsivory	109
Moroni	83	Tuléar	110
Mtsemudu	84	Vatomandry	111
Nahampoana	85	Vohémar	112
Nanisaana	86	Vohidiale	113

LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS CALCULE
D'APRES LES DONNEES METEOROLOGIQUES COURANTES
par J. RIQUIER
(Institut de Recherches Scientifiques de Madagascar)

Les données climatologiques pluie et température sont insuffisantes pour établir le bilan hydrique des sols. Il manque en particulier l'évaporation qui est difficilement mesurable, aucun instrument n'étant jusqu'à présent bien adapté.

THORNTHWAITE à l'aide d'une formule empirique assez compliquée prétend calculer l'évaporation d'après la température et la latitude du lieu considéré. L'emploi de cette formule à Madagascar s'est révélé décevant surtout sur la côte Est, l'évaporation forte, selon THORNTHWAITE, est en réalité limitée par l'humidité de l'air.

A - Du travail de THORNTHWAITE nous avons retenu a) la notion d'évapotranspiration réelle et potentielle et b) son mode de représentation.

- L'évapotranspiration potentielle est la somme de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes donc la quantité d'eau qui retourne à l'atmosphère lorsque le sol est bien pourvu en eau toute l'année et porte une végétation optimale.

- L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau retournant à l'atmosphère chaque année pour un sol et un climat déter-

miné. C'est la quantité d'eau exprimée en millimètres qui correspond au déficit d'écoulement des fleuves.

THORNTHWAITTE porte sur un même graphique la pluie et l'évapotranspiration potentielle. Lorsque la courbe pluie passe au-dessus de la courbe évapotranspiration potentielle, il y a excès d'eau. Cette eau s'accumule d'abord dans le sol (constitution de la réserve en eau du sol = 100 mm par convention) puis, lorsque le sol est saturé, l'eau draine à travers le sol et va enrichir la nappe phréatique ou ruisselle en surface. C'est la partie drainage + ruissellement qui va à la rivière.

Lorsque la courbe pluie passe en dessous de la courbe évapotranspiration potentielle, l'évaporation est supérieure à la pluie, donc le sol s'assèche. Lorsqu'il a perdu sa réserve en eau (toujours = 100 mm) l'évapotranspiration réelle devient égale à la pluie mais la différence entre l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle est le déficit en eau, c'est la quantité d'eau nécessaire à apporter au sol sous forme d'irrigation. Le nombre de mois qui s'écoule entre l'épuisement de la réserve en eau du sol et l'époque où la pluie devient supérieure à l'évaporation constitue la saison sèche.

B - Nous avons remplacé l'évapotranspiration calculée par THORNTHWAITTE par l'évapotranspiration calculée par la formule de PRESCOTT (formule inspirée de celle de DALTON). Tenant compte de l'humidité de l'air, elle est beaucoup plus proche de la réalité. On calcule d'abord l'évaporation d'une nappe d'eau libre puis on passe à l'évapotranspiration.

$E_w = 21,9$	sd	pour un mois de	31	jours
21,2	sd	-id-	30	-
19,8	sd	-id-	28	-

E_w = évaporation en mm par mois d'une surface d'eau libre.

d_s = déficit de saturation en mm de mercure.

sd = tension de vapeur saturante à la température moyenne du mois (trouvée dans les tables) x déficit relatif.

déficit relatif = $1 - \text{humidité moyenne mensuelle}$.

et d'autre part :

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

E_t = Evapotranspiration potentielle

K = coefficient variable avec la végétation

$K = 1,5$ dans le système métrique pour la végétation moyenne d'un bassin versant.

Tous les graphiques présentés ont été calculés de cette manière avec les données : pluie, température, humidité de l'air du Service Météorologique de Madagascar.

Des comparaisons avec des cuves lysimétriques, des cuves Colorado, des évaporomètres Piche, etc... se sont révélées satisfaisantes, de même que les déficits d'écoulement des fleuves ont en partie vérifié ces calculs. L'évaluation de l'évaporation ainsi calculée s'est révélée meilleure que celle obtenue par la formule de BLANEY et CRIDDLE utilisée par les ingénieurs chargés de l'irrigation.

Pour des études particulières, il est possible de serrer le problème de plus près : 1°) La réserve en eau, prise par convention égale à 100 mm sur les graphiques, peut varier de 50 mm pour un sol sableux à 150 mm pour un sol argileux, de 25 mm pour un semis de plante à très faible enracinement à 250 mm pour des arbres. 2°) On peut étaler la réserve dans le temps en supposant l'évapotranspiration réelle proportionnelle à la quantité d'eau restant dans le sol (une construction graphique de la courbe est possible. 3°) Enfin, on peut faire varier le coefficient K suivant la plante.

$K = 3,1$ pour une rizière de fort rendement

2,4 -id- faible rendement

2,0 pour les plantes évaporant énormément (culture de céréales, pâturage intensif, engrais vert),

1,5 pour les plantes d'évaporation moyenne (prairie naturelle)

1,0 pour les plantes évaporant peu (vignoble, culture arbustive)

0,5 valeur limite pour toute spéculation agricole ou pastorale.

Outre l'intérêt pour une étude de la pédogenèse en fonction du climat, les chiffres obtenus peuvent être utilisés par les ingénieurs de l'E.D.F. (calcul d'un barrage, débit d'un fleuve, évaporation d'un lac), les ingénieurs du Génie Rural (nombre d'hectares irrigables avec un volume d'eau déterminé), les ingénieurs de l'agriculture (époque de semis, longueur de la saison humide, importance du lessivage des engrais). Enfin, les hydrogéologues trouveront dans ces tableaux des chiffres particulièrement utiles.

LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS

Deuxième note

Pour beaucoup de techniciens, tels que les hydrologues, les ingénieurs électriciens, les spécialistes de l'érosion, les écologistes, les agriculteurs, il est désirable de connaître la quantité d'eau qu'un sol reçoit dans une région déterminée. Cette quantité d'eau n'est pas égale à la quantité de pluie tombée, comme il semble au premier abord. Un facteur soustractif intervient, c'est l'évaporation ou mieux l'évapotranspiration. Ce terme proposé par THORNTHWAITE comprend, comme son nom l'indique, l'évaporation du sol et la transpiration de la plante qui pousse sur ce sol. L'évapotranspiration est bien l'inverse de la pluie, c'est la quantité d'eau prise au sol qui retourne à l'atmosphère.

Mesure de l'évapotranspiration. - Malheureusement ce terme est très difficile à évaluer dans la pratique. Le déficit d'écoulement des fleuves, c'est-à-dire la différence entre la quantité de pluie tombée sur un bassin versant et la quantité d'eau écoulée par le fleuve à la mer, donne une appréciation de l'évapotranspiration mais des pertes ont toujours lieu par drainage profond, d'autre part il est difficile de faire une bonne évaluation du débit à cause des nappes de vallée, etc... et enfin l'évaluation n'est possible que sur une période d'un an, en supposant que les réserves d'eau du sol sont équivalentes au début et à la fin de l'année. Les chiffres de déficit d'écoulement dont nous disposons actuelle-

ment à Madagascar sont publiées dans l'annuaire hydrologique de l'ORSTOM.

Un autre procédé de mesure de l'évapotranspiration est fourni par les lysimètres. Il y en existe trois au bassin versant expérimental de l'IRSM, à 22 km au Sud de Tananarive. Ce sont de grandes cuves remplies de terre dont on mesure la quantité d'eau drainée. Par différence avec la quantité d'eau de pluie tombée sur la cuve on obtient l'évapotranspiration, la terre de la cuve pouvant être nue ou couverte d'une plante déterminée, le plus souvent d'un gazon. Lorsque le sol s'assèche, il devient incapable d'évaporer. A l'aide du lysimètre on peut établir une deuxième notion, celle d'évapotranspiration potentielle. Le sol de la cuve est maintenu complètement humide par arrosage, on obtient donc au cours de l'année une évapotranspiration maximum compatible avec les données climatiques de l'endroit. Nous allons voir plus loin que cette notion d'évapotranspiration potentielle, donc d'évaporation d'un sol toujours bien fourni en eau et couvert d'une végétation continue, est aussi intéressante à considérer que l'évapotranspiration réelle. Elle permet d'une part de connaître le bilan hydrique d'un sol, d'autre part, elle peut se calculer d'après des formules empiriques tenant compte des données climatiques : cas des formules de **BIANEY** et **CRIDDIE**, **THORNTHWAITE**, **PRESCOTT**, **PENMAN**, etc...

Enfin on doit pouvoir passer par un facteur approprié de l'évapotranspiration potentielle d'un sol à l'évaporation d'une nappe d'eau libre d'un lac par exemple et inversement. Si on connaît l'évaporation d'une cuve Colorado, on doit pouvoir calculer l'évapotranspiration d'un sol, donc son bilan hydrique et par suite, la quantité d'eau à apporter par irrigation, la quantité drainant à travers le sol, etc...

Bilan hydrique d'un sol. - Examinons maintenant comment, connaissant l'évapotranspiration potentielle soit par mesure lysimétrique, soit par évaporation de l'eau dans une cuve Colorado, soit par calcul d'après les données météorologiques, on peut établir le bilan hydrique d'un sol.

Nous nous placerons d'abord à l'échelle de Madagascar et nous envisagerons le bilan hydrique mois par mois. Car ces études ont été entreprises à l'origine pour connaître l'influence du climat sur les sols. Il nous suffisait donc d'utiliser des chiffres moyens mensuels de la pluie et de la température.

Pour établir le bilan hydrique nous avons utilisé le graphique de THORNTHWAITE qui est le suivant : on porte sur un même graphique la courbe des pluies mois par mois et la courbe d'évapotranspiration potentielle. Si la courbe des pluies est au-dessus de la courbe évapotranspiration, l'eau qui tombe est supérieure à l'eau d'évaporation, donc le sol gagne de l'eau. Lorsqu'il est saturé, ce que nous admettrons lorsqu'il aura reçu 100 mm, chiffre moyen, le surplus d'eau draine en profondeur. Ce surplus est mesuré par la surface comprise entre les deux courbes moins 100 mm. Lorsque la courbe évapotranspiration est au-dessus de la courbe pluie, le sol perd plus d'eau qu'il n'en gagne, il s'assèche donc, perdant d'abord les 100 mm de réserve. La surface comprise entre les deux courbes - 100 mm correspond à l'eau qu'il faut apporter sous forme d'irrigation si l'on veut que le sol produise une récolte, c'est le déficit en eau du sol.

Nous avons établi ces graphiques pour 120 stations météorologiques de Madagascar. On les trouvera ci-joint.

Utilisant ces graphiques, nous avons pu tracer des cartes de Madagascar avec des lignes d'égal surplus en eau en saison des

pluies, d'égal déficit en eau en saison sèche, une carte indiquant le nombre de mois secs, etc... Ce sont ces cartes que j'ai fait circuler.

Ces cartes peuvent servir 1°) au pédologue, exemple : la limite des sols ferrallitiques et des sols ferrugineux tropicaux correspond à la limite 20 de l'indice d'humidité de THORNTHWAITE ; 2°) aux écologistes : la zone de la forêt primitive de l'Est correspond à la zone où le sol ne s'assèche jamais, c'est-à-dire aucun mois sec ; 3°) aux hydrologues : l'évapotranspiration réelle permettant de calculer approximativement le débit annuel d'un bassin versant ; 4°) aux agronomes : le nombre de mois humide correspond à la période de végétation des cultures non irriguées ; 5°) aux ingénieurs du génie rural : le déficit en eau de la saison sèche correspondant à l'eau à apporter sous forme d'irrigation, etc...

Cependant, comme nous l'avons souligné au début, ces chiffres ne sont valables que pour les très grands projets et ne sont que des évaluations moyennes. Si, par exemple, la région d'Ambovombe est notée comme zone endoréique, c'est-à-dire sans drainage puisque l'évapotranspiration est toujours supérieure à la pluie, il y a des années, notamment le cyclone de 1951, où le graphique nous montre qu'il y a eu un drainage très fort.

Cette méthode d'établissement du bilan hydrique des sols à l'aide de l'évapotranspiration peut aussi être appliquée au jour le jour ou tous les 10 jours par exemple pour déterminer la dose d'irrigation de telle culture. Il est alors évident que les données moyennes ne servent à rien, il faut faire le calcul chaque jour en fonction de la pluie tombée et de l'évaporation calculée du jour précédent. On dresse un tableau.

Jour	Pluie	Evapo- transpiration	Gain ou perte en eau du sol	Eau drainée en supposant le sol satu- ré le 30 Déc.	Eau d'irri- gation
1 Jan- vier	21 %	5	+ 16	+ 16	0
2 Jan- vier	0	4	- 4	0	+ 4

Dans chaque ligne de ce tableau, on fait la différence entre pluie et évapotranspiration qui donne le gain ou la perte en eau du sol selon qu'elle est positive ou négative. Lorsque les gains additionnés de plusieurs jours dépassent la capacité en eau utile du sol on compte le surplus comme drainage, si les pertes additionnées descendent au-dessous de la capacité en eau du sol, il faut apporter de l'eau d'irrigation qui compense exactement les pertes. On attend en général que l'assèchement ait atteint 75 % de la capacité pour apporter l'eau d'irrigation en une seule dose d'arrosage.

Une petite parenthèse pour définir la capacité en eau utile d'un sol, c'est la différence entre la capacité en eau aux champs, que l'on peut mesurer au laboratoire par l'humidité équivalente, et la capacité en eau du sol lorsque la plante commence à se flétrir et cela dans le volume de terre explorée par les racines. Dans les graphiques précédents nous avons utilisé un chiffre moyen de 100 mm, en réalité ce chiffre varie de 50 mm pour un sol sableux à 150 mm pour un sol argileux, de 50 mm pour une plante de faible enracinement à 250 mm pour une forêt.

Evaluation de l'évapotranspiration par les données climatiques.-

La plus grosse difficulté dans l'établissement du bilan hydrique d'un sol est donc l'évaluation correcte de l'évapotranspiration.

Nous avons dit que les mesures lysimétriques, même les cuves Colorado, n'étaient pas à la portée des particuliers. Quel-

ques appareils d'un emploi plus facile sont aux essais, notamment des atmomètres à boule poreuse peinte en noir, des intégrateurs de radiation, type Bellani, mais les relations des lectures de ces appareils avec l'évapotranspiration ne sont pas encore bien établies. Nous en sommes donc réduits à utiliser les formules empiriques reliant l'évapotranspiration aux données météorologiques courantes : température, humidité de l'air. Nous avons essayé de nombreuses formules, les confrontant avec les maigres données sur l'évapotranspiration que nous avons à Madagascar. Un article du "Naturaliste Malgache" paraîtra prochainement où nous avons étudié la formule de THORNTHWAITE :

$$e = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad \text{avec } I = \sum i \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

des tables et des abaques très pratiques permettant heureusement ce calcul. Si cette formule qui a été utilisée effectivement pour classer les climats mondiaux, et pour calculer l'irrigation de certains concessions des Etats-Unis, convient assez bien en général, elle a un grave défaut qui est surtout sensible à Madagascar. Elle ne tient compte pratiquement que de la température et non de l'humidité de l'air. Or, pour une même température sur la côte Est et sur la côte Ouest, nous avons des évaporations différentes car l'humidité de l'air n'est pas la même.

Nous nous sommes alors adressé à la formule de Prescott d'où un nouvel article qui paraîtra aussi dans le "Naturaliste Malgache". Elle est de la forme suivante :

$$E = 21 \text{ sd}$$

E = évaporation d'une nappe d'eau libre en mm par mois

sd = déficit de saturation en mm de Hg, déficit calculé

à partir de la température et de l'humidité relative de l'air.

On passe ensuite de l'évaporation d'une nappe d'eau libre à l'évapotranspiration selon l'équation suivante :

$$E_v = K E 0,75$$

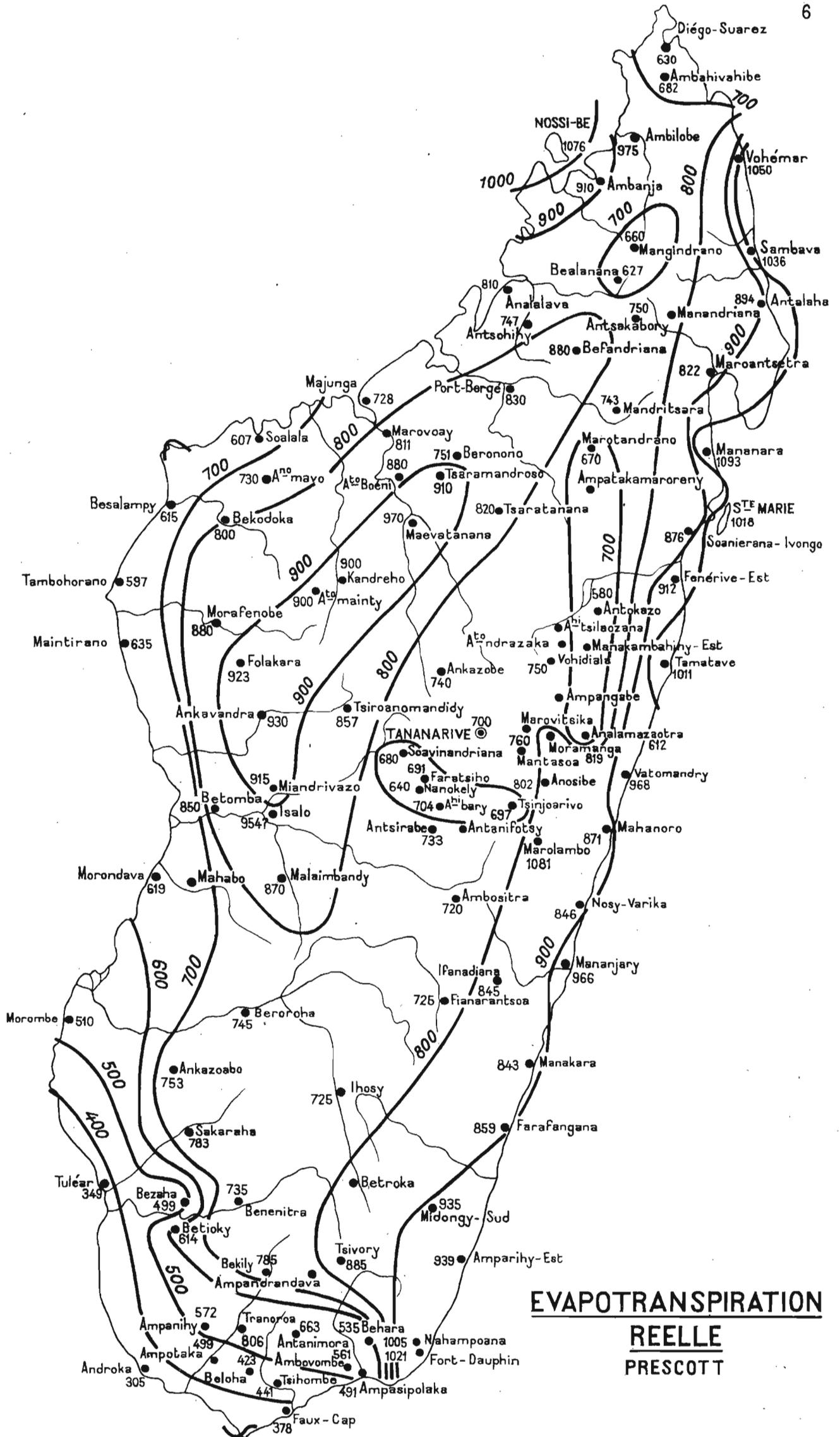
Fait très important K est un facteur dépendant de la végétation qui recouvre le sol. Lorsqu'on calcule les besoins en eau d'une culture on peut donc faire varier K suivant l'état de développement de la plante.

C'est cette formule qui a servi à l'établissement des graphiques que je vous ai fait passer. Dans ces graphiques, nous avons utilisé un facteur K = 1,5 qui correspond à une végétation moyenne de prairie.

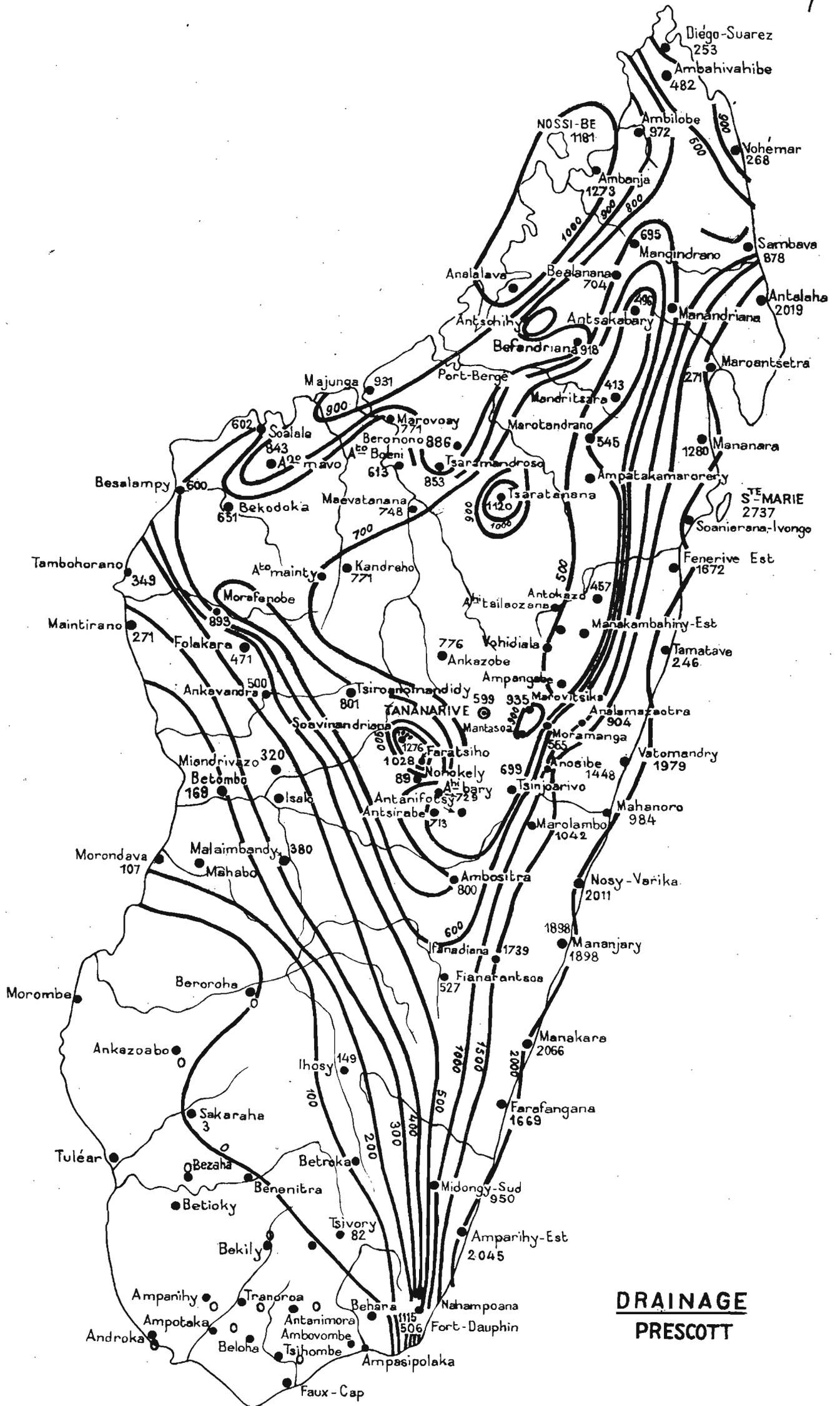
La meilleure formule pour calculer l'évapotranspiration est évidemment celle de PENMAN qui fait entrer en ligne de compte : le vent, la température, l'humidité, la radiation solaire, mais elle est difficilement applicable à Madagascar où la radiation solaire n'est connue pratiquement qu'à Tananarive et au Lac Alaotra. La formule de Prescott n'est donc pour nous qu'un compromis en attendant mieux.

Conclusion.- Donc deux voies s'offrent à la recherche pour établir l'évapotranspiration d'un lieu. 1°) le choix d'une formule climatique convenant à la région envisagée et nous préconisons actuellement la formule de Prescott. 2°) l'utilisation d'un instrument météorologique simple tel que l'évaporomètre Piche, l'atmomètre, le Bellani, mais en établissant les relations entre les données de ces instruments et l'évapotranspiration réelle évaluée aux champs, ce qui reste à faire. De nombreuses stations agronomiques dans le monde s'y emploient.

A l'échelle de Madagascar et avec des données moyennes annuelles, le problème paraît être résolu par la formule de Prescott, par contre à l'échelle d'un réseau d'irrigation, on demande plus de précision et des études sont encore nécessaires. Mais nous avons voulu surtout souligner dans cette communication l'intérêt de l'évapotranspiration dans l'établissement du bilan hydrique des sols et souligner l'extrême importance de cette notion pour beaucoup de techniciens et de chercheurs.

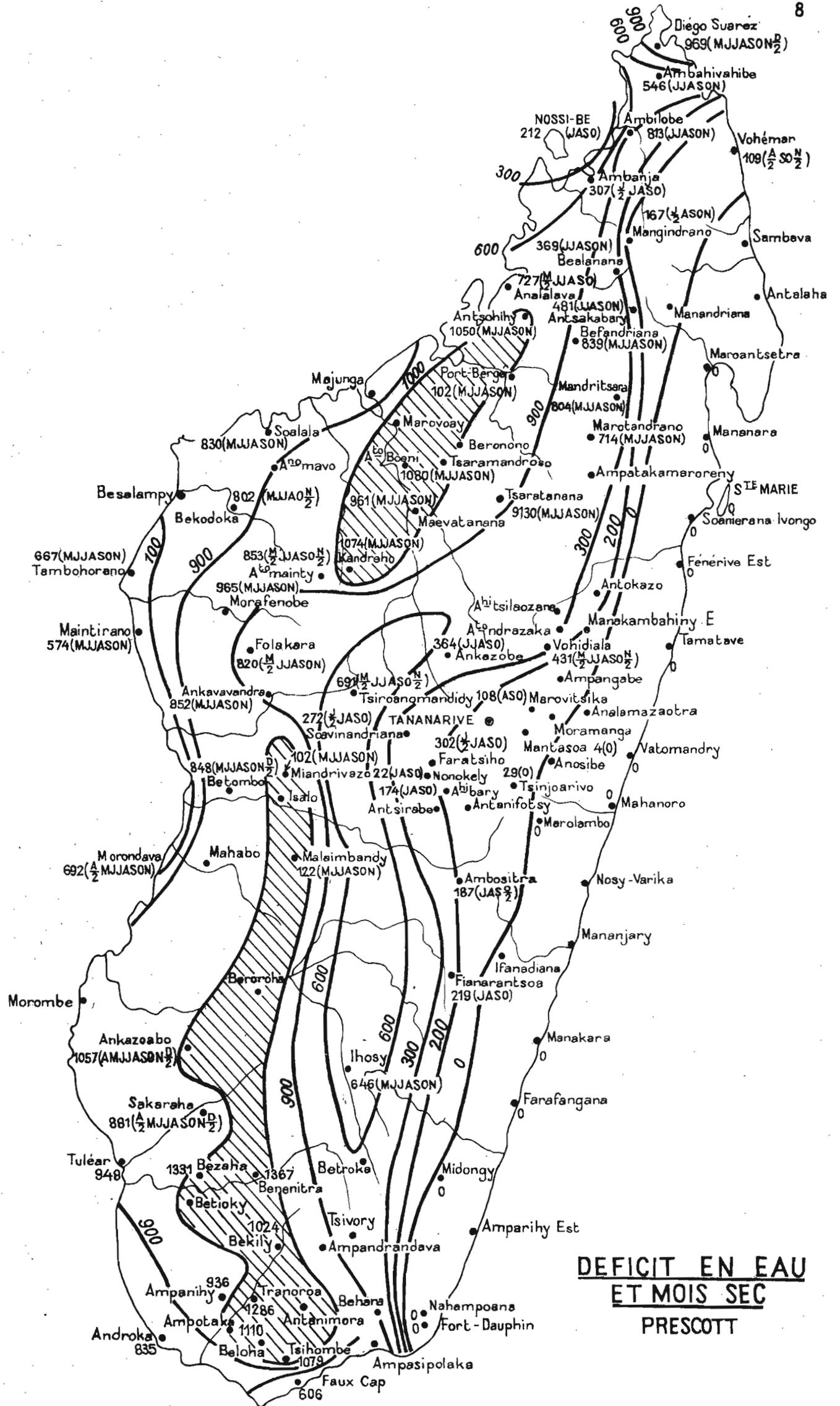


EVAPOTRANSPIRATION
REELLE
PRESCOTT

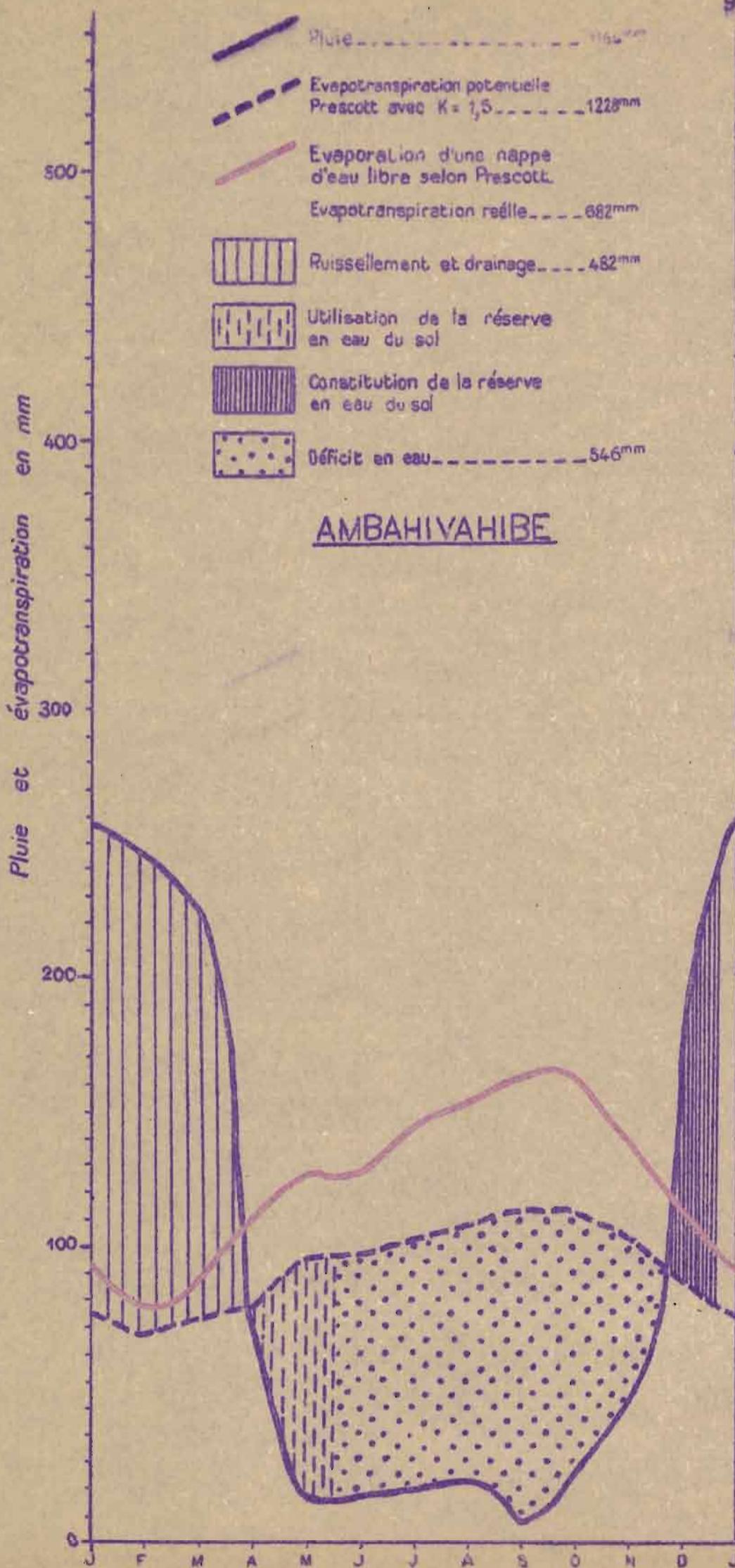


DRAINAGE
PRESCOTT

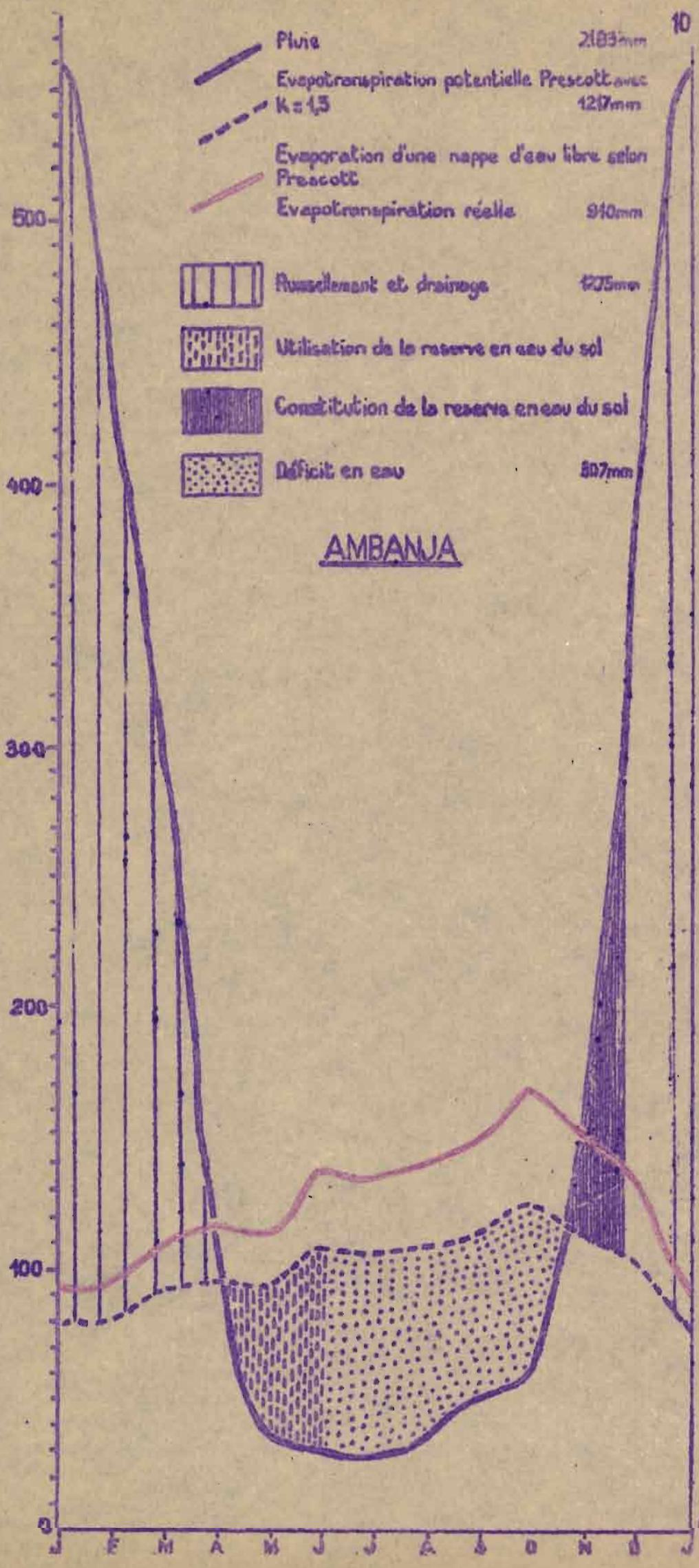
TANANARIVE

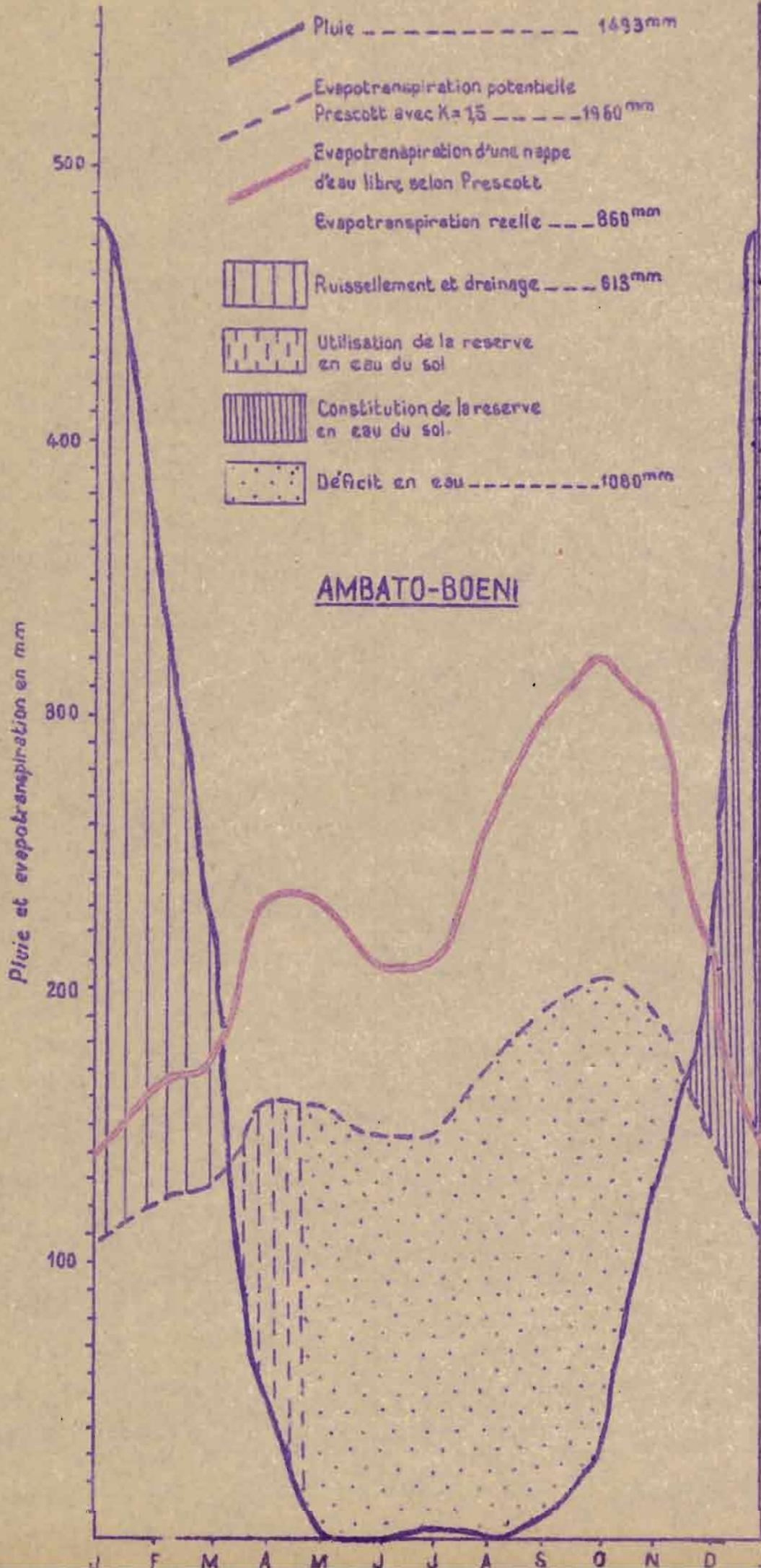


**DEFICIT EN EAU
ET MOIS SEC
PRESCOTT**

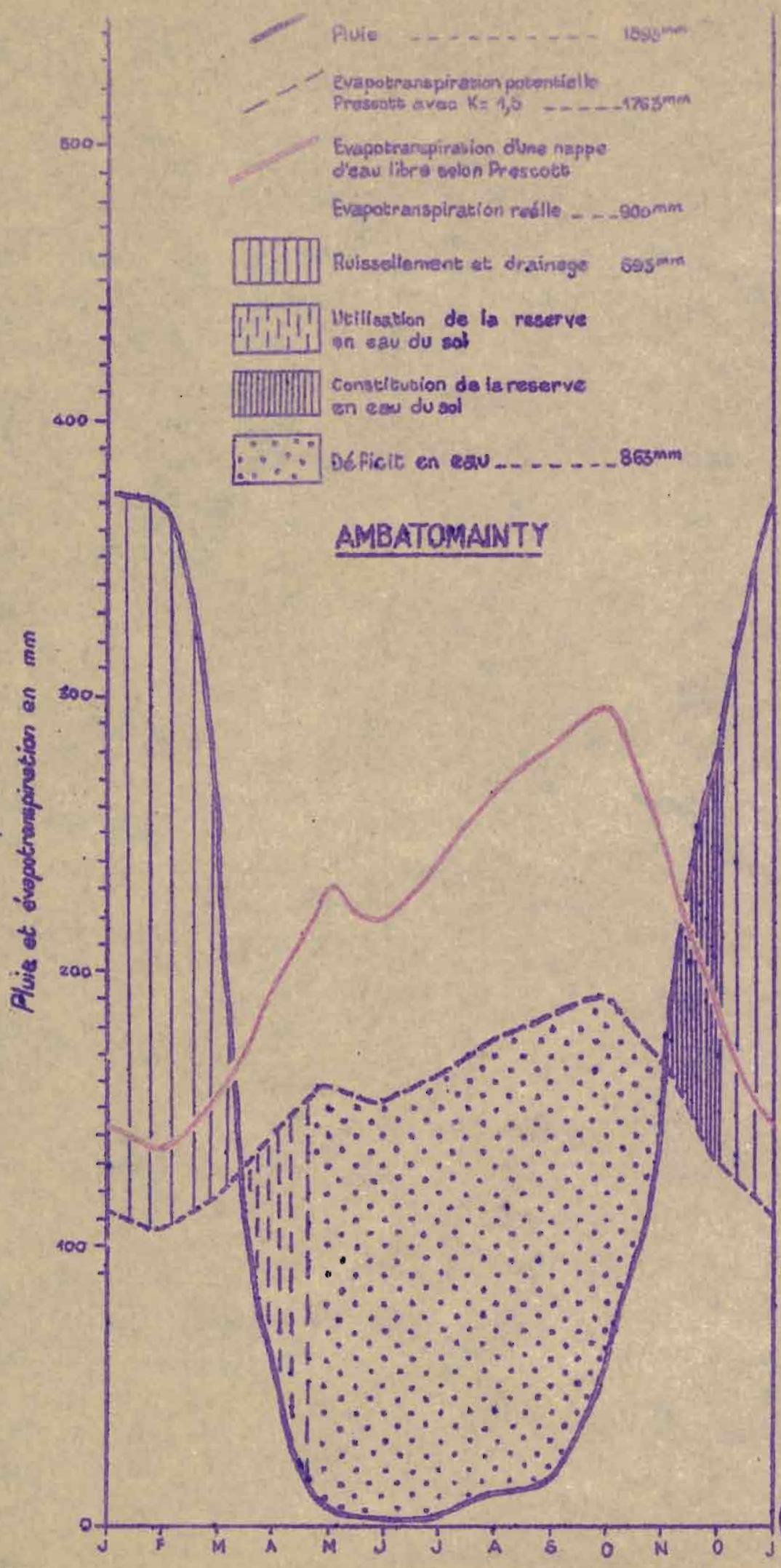


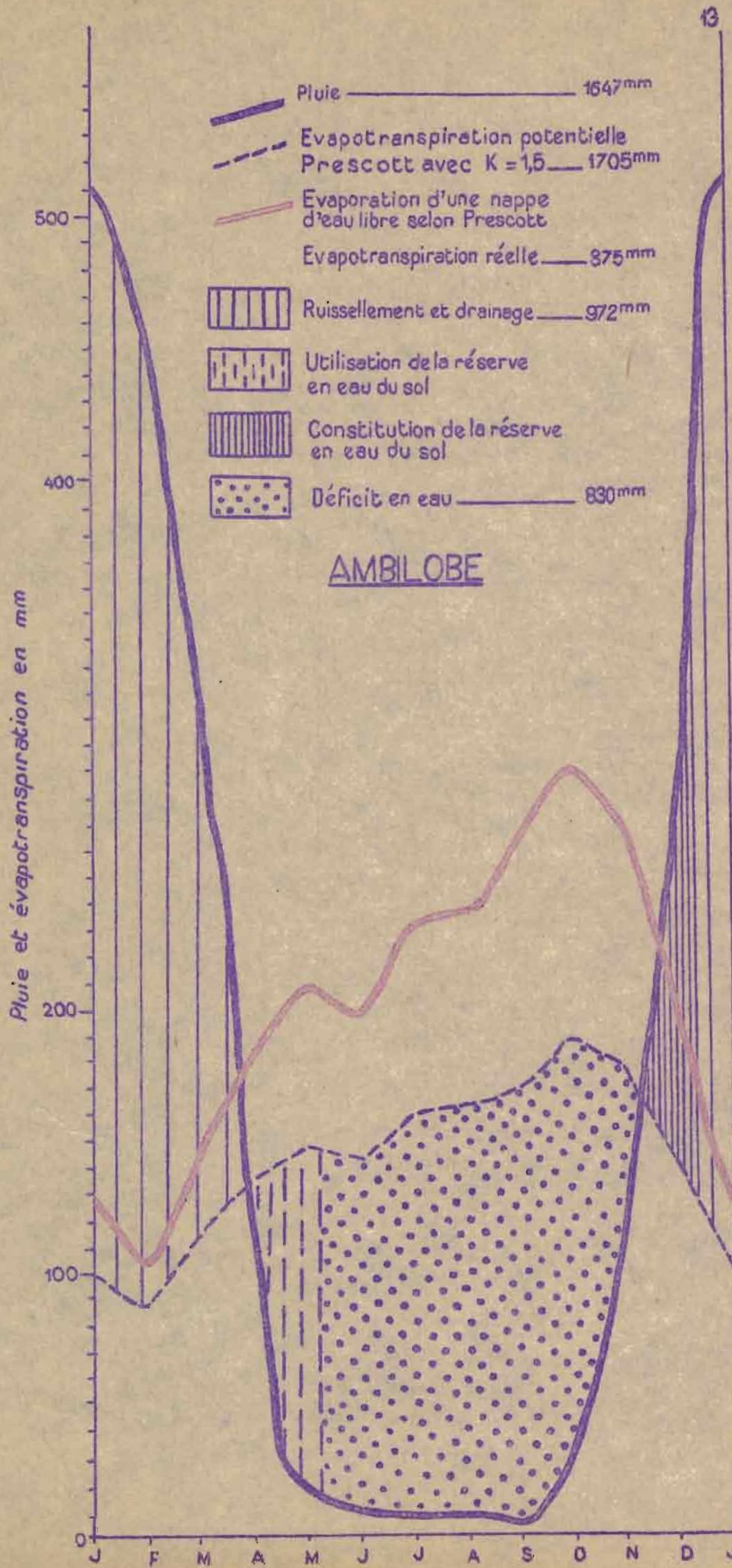
Pluie et évapotranspiration en mm

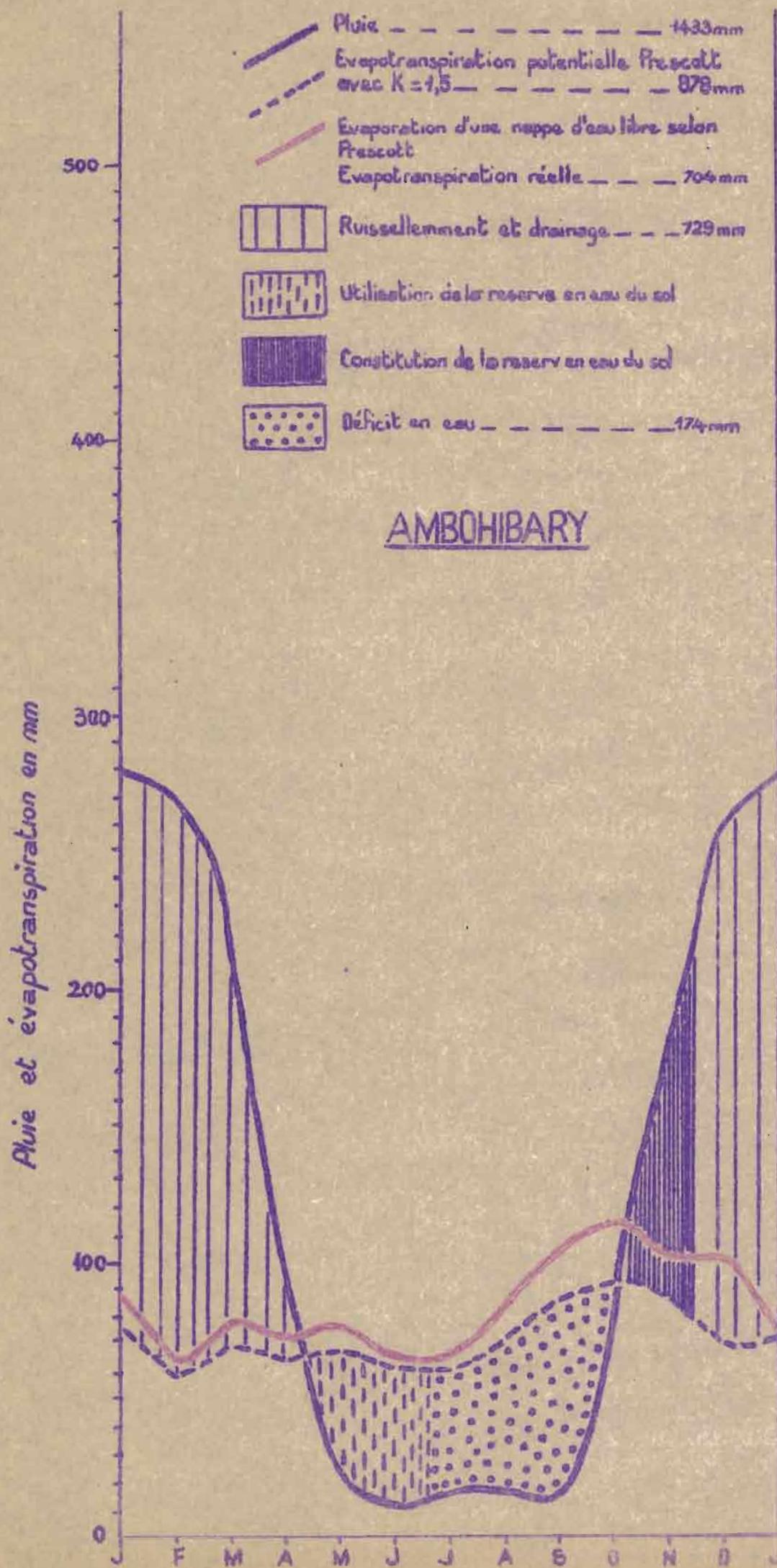




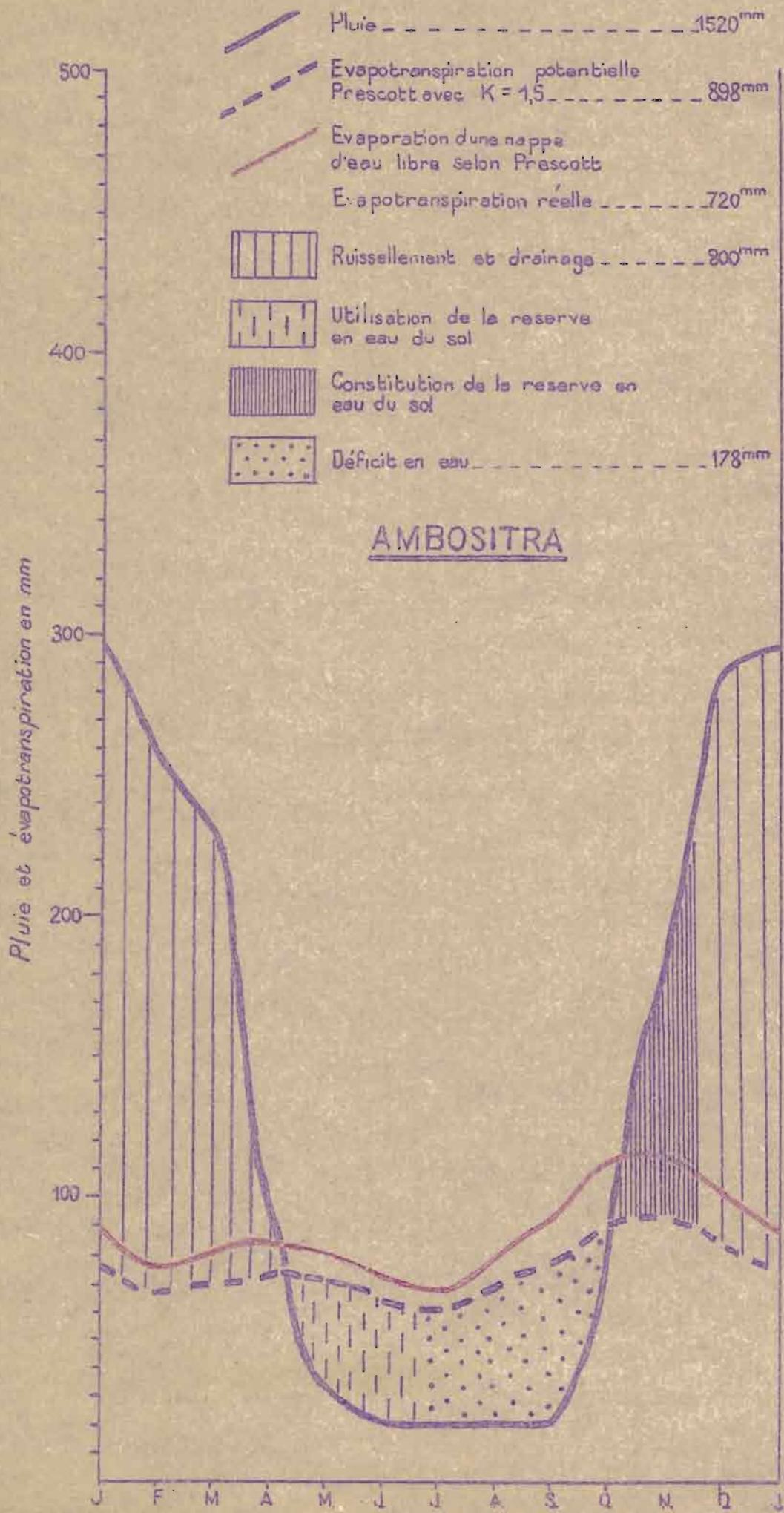
3

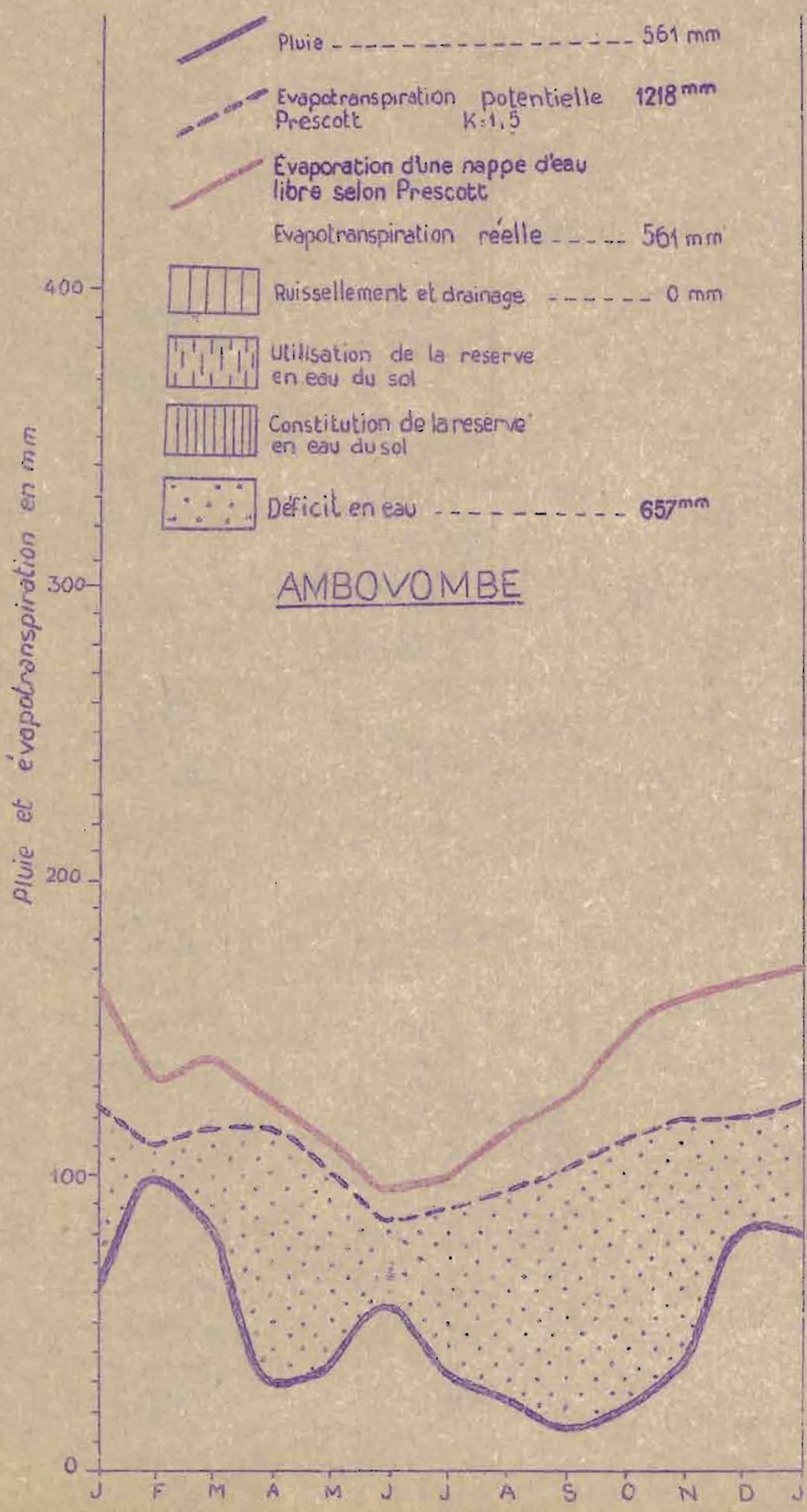




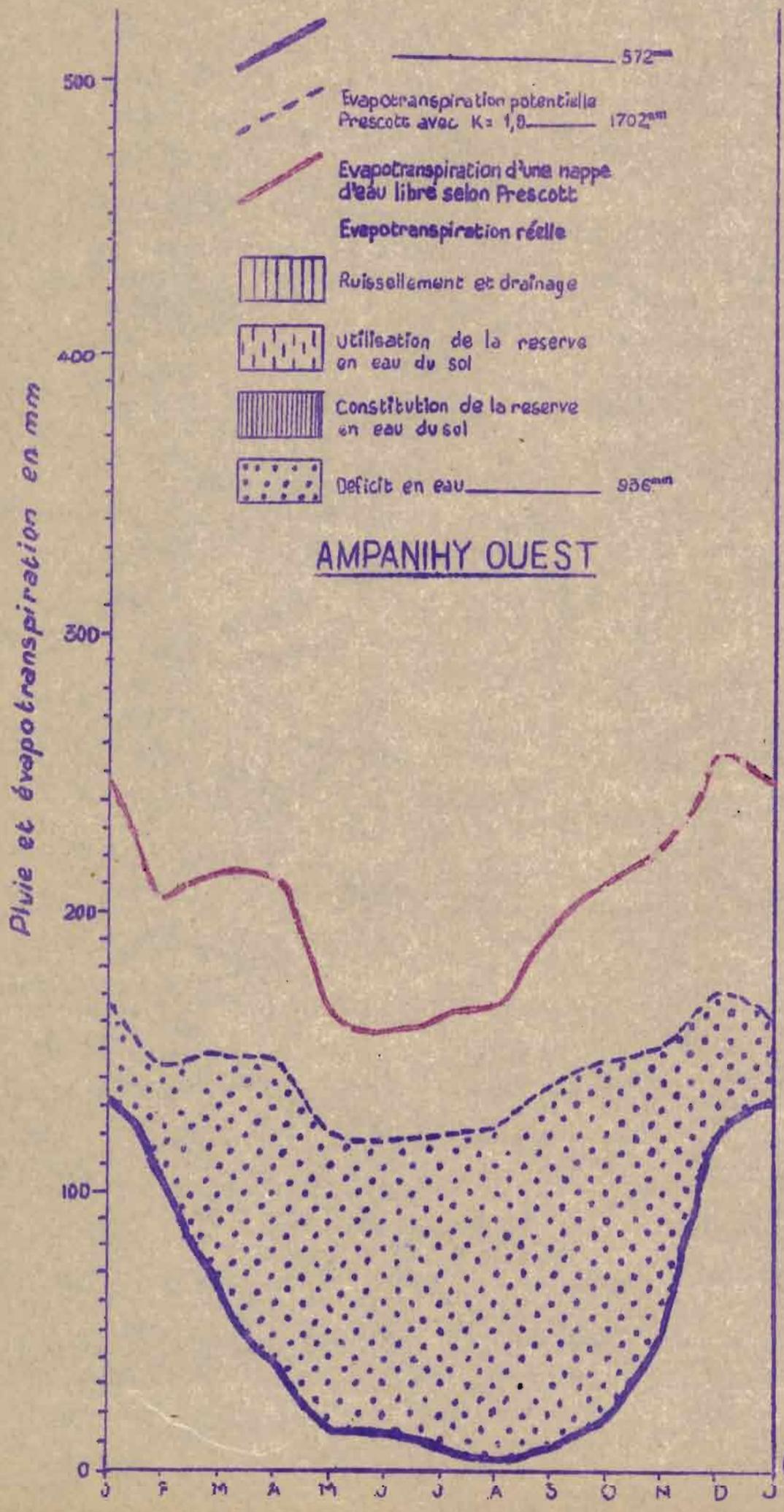


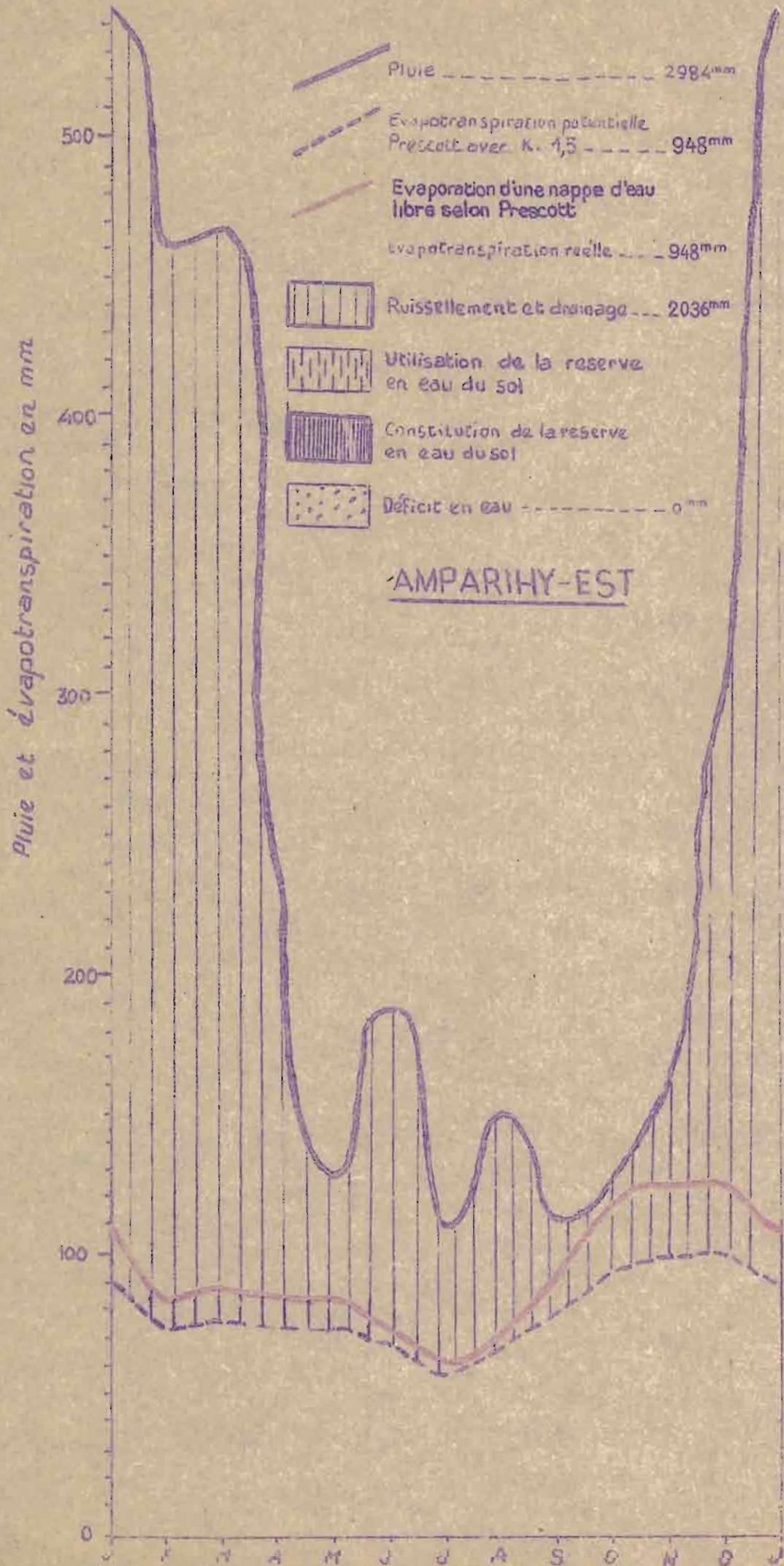
Reservoir E.



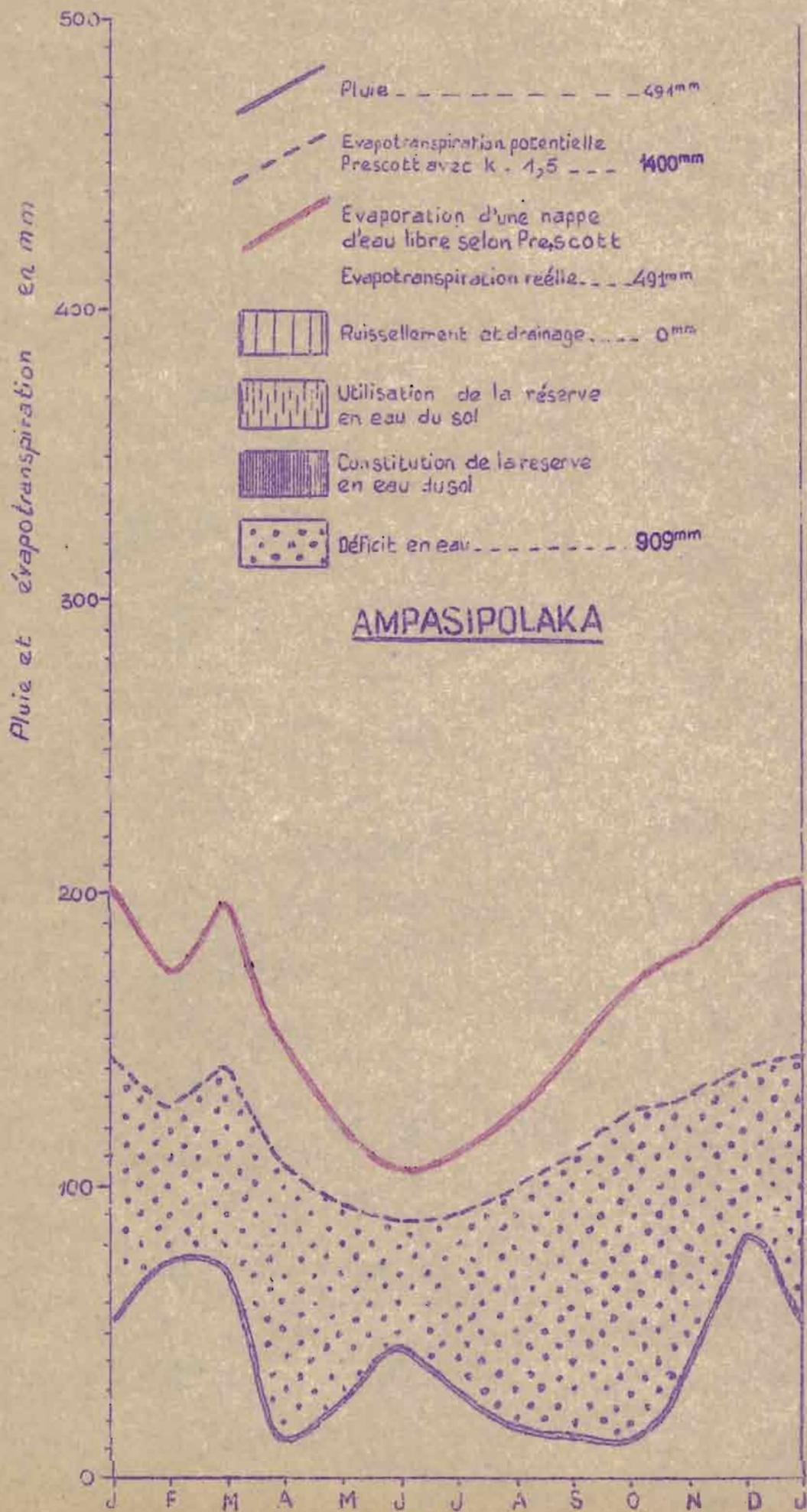


Rakotondratsima J.

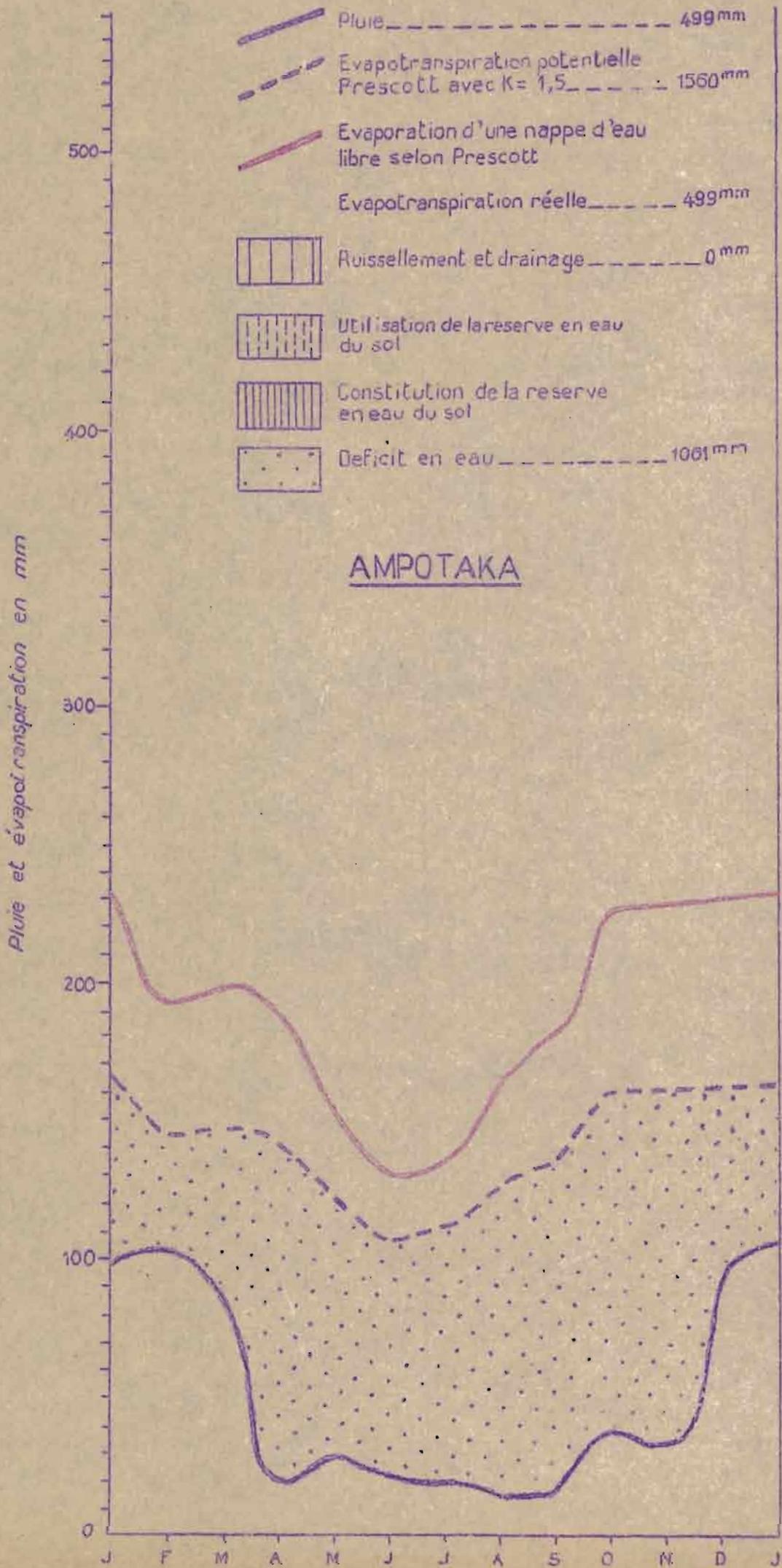




Raharison R.

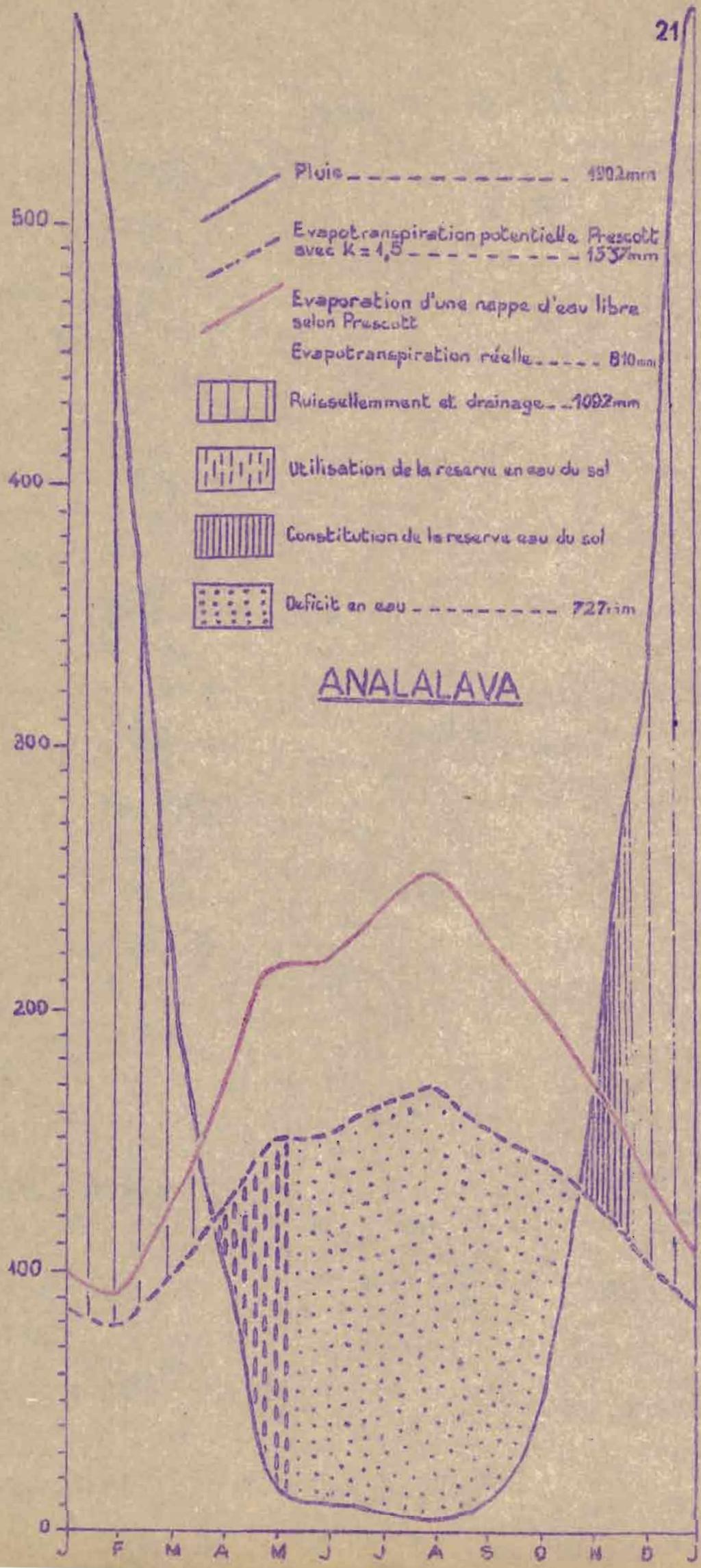


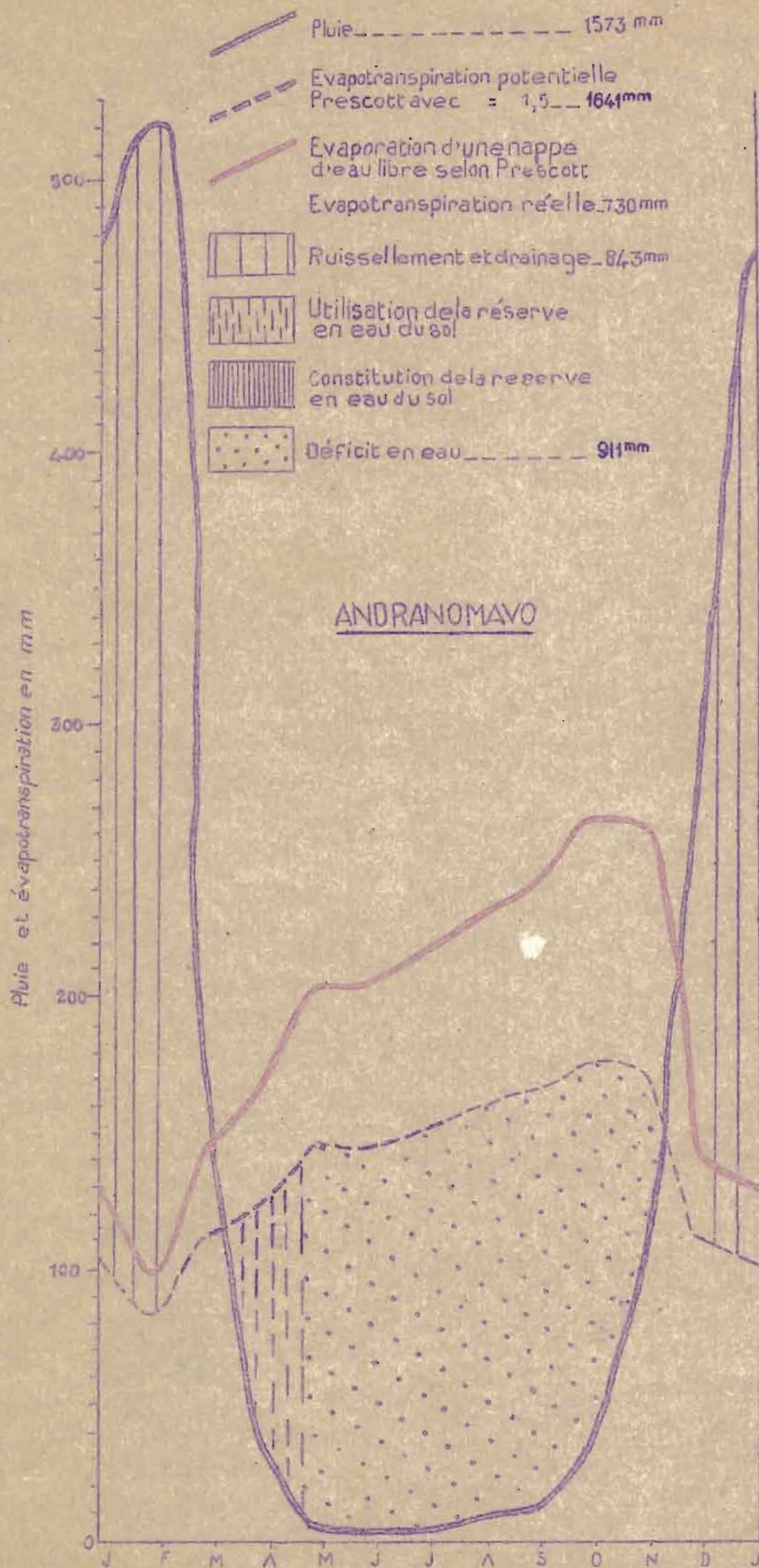
Raharison. P



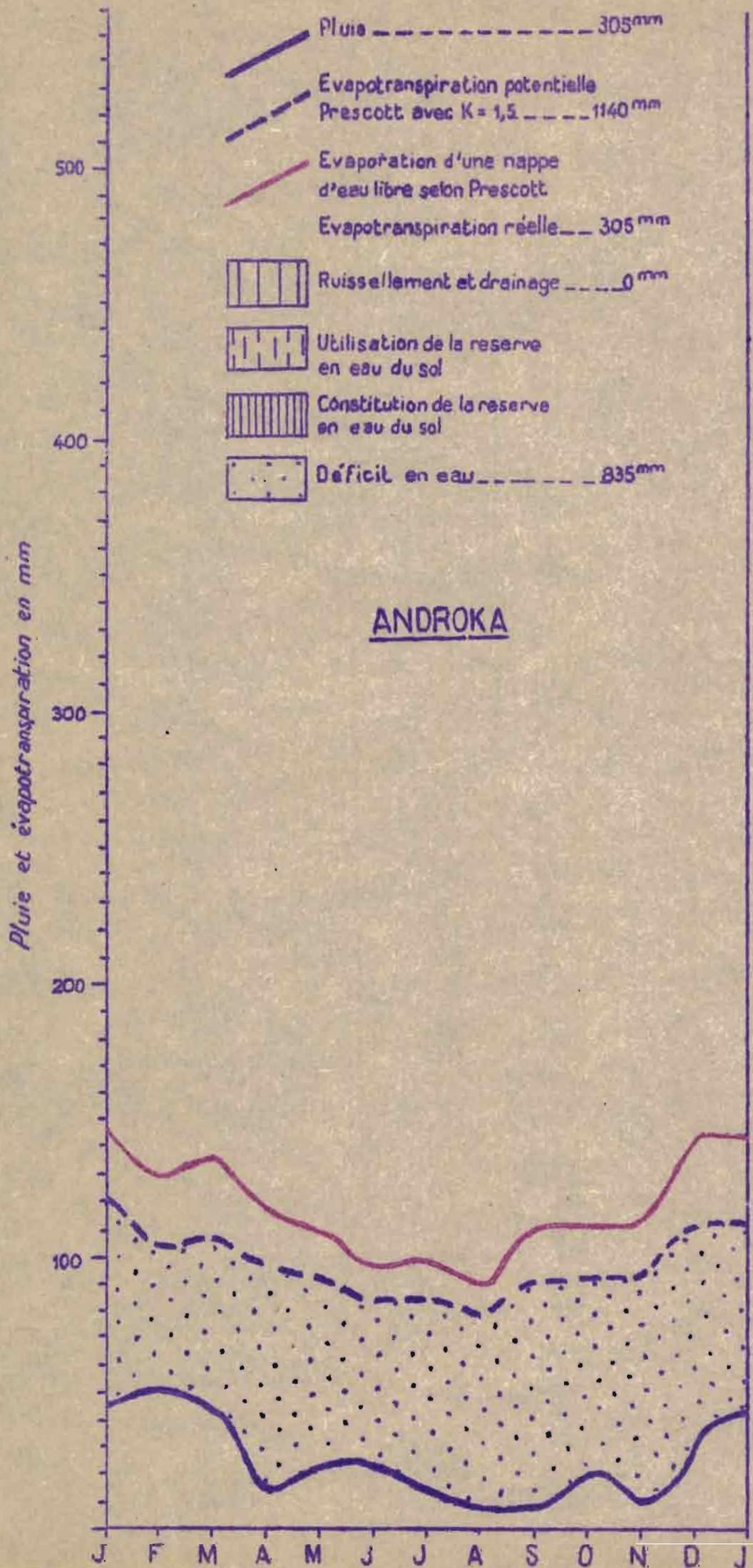
Robin R.

Pluie et évapotranspiration en mm



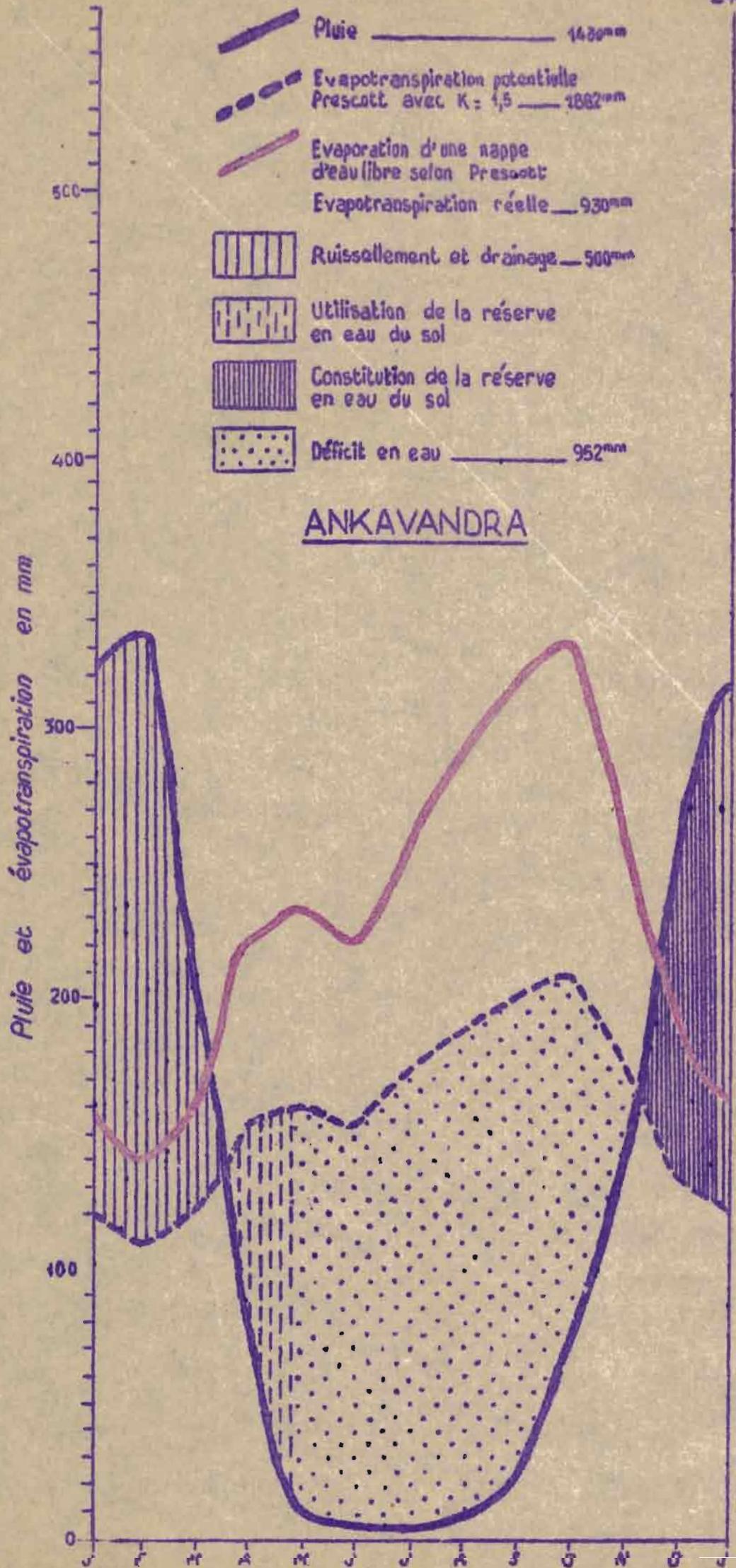


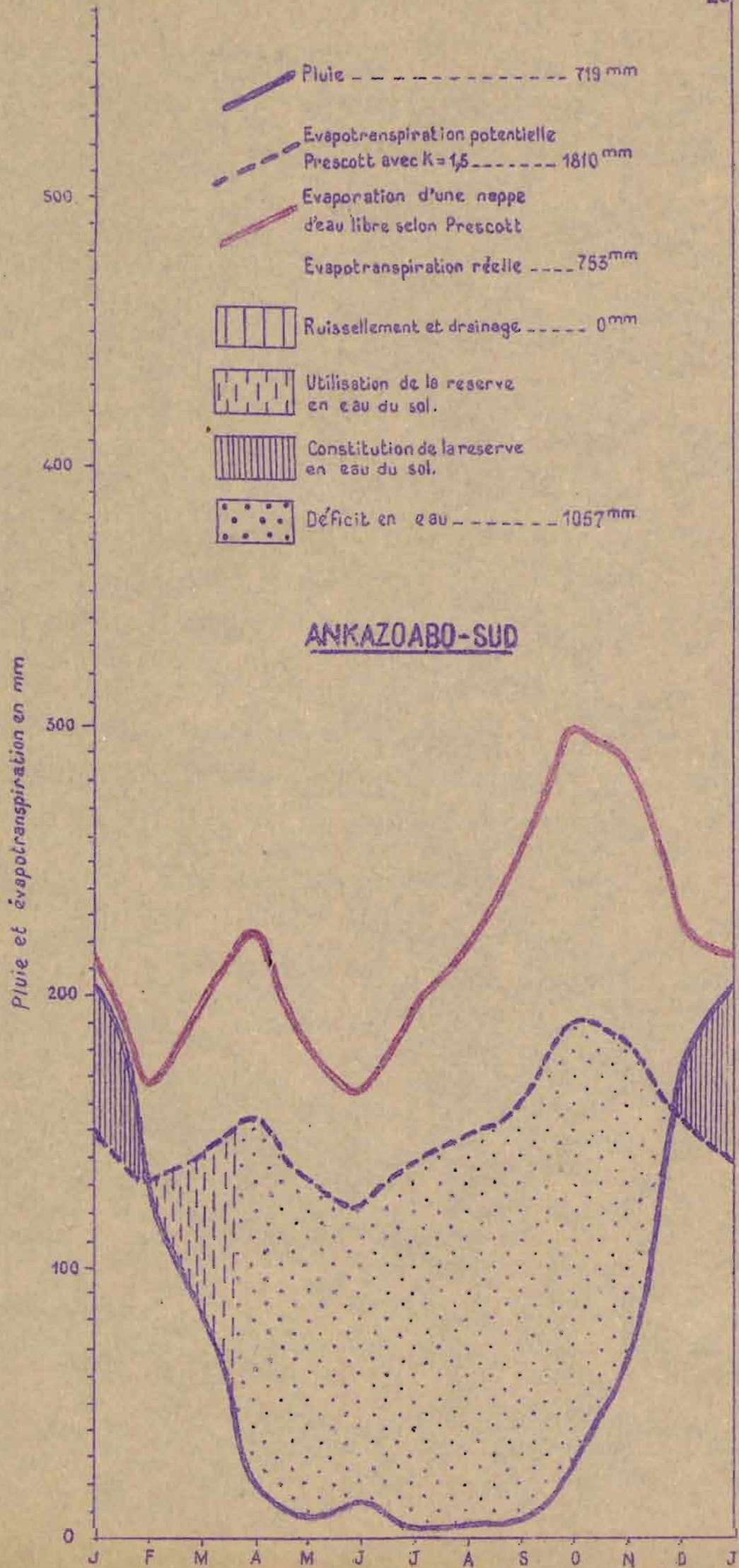
Ména

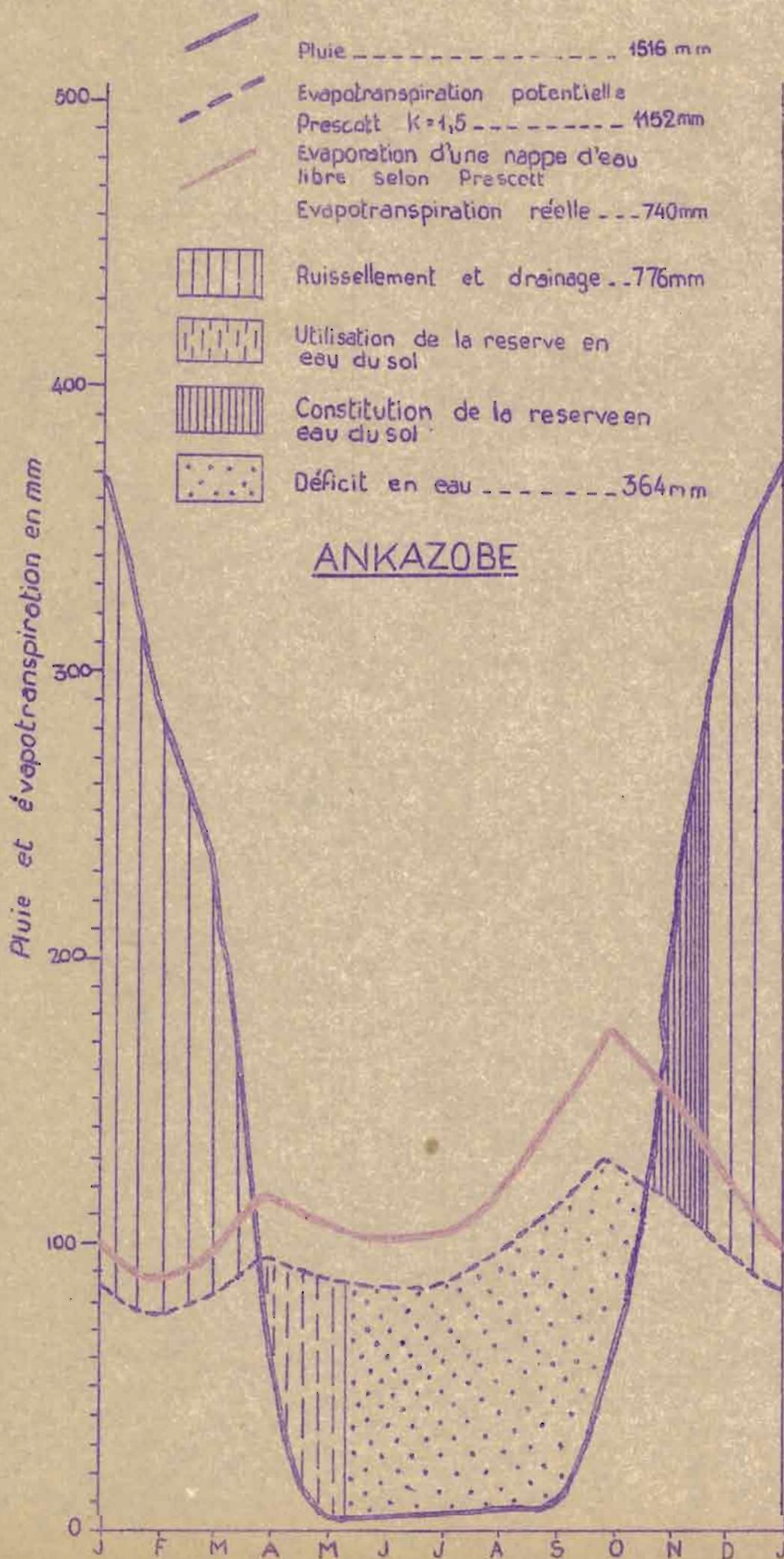


Robin R.

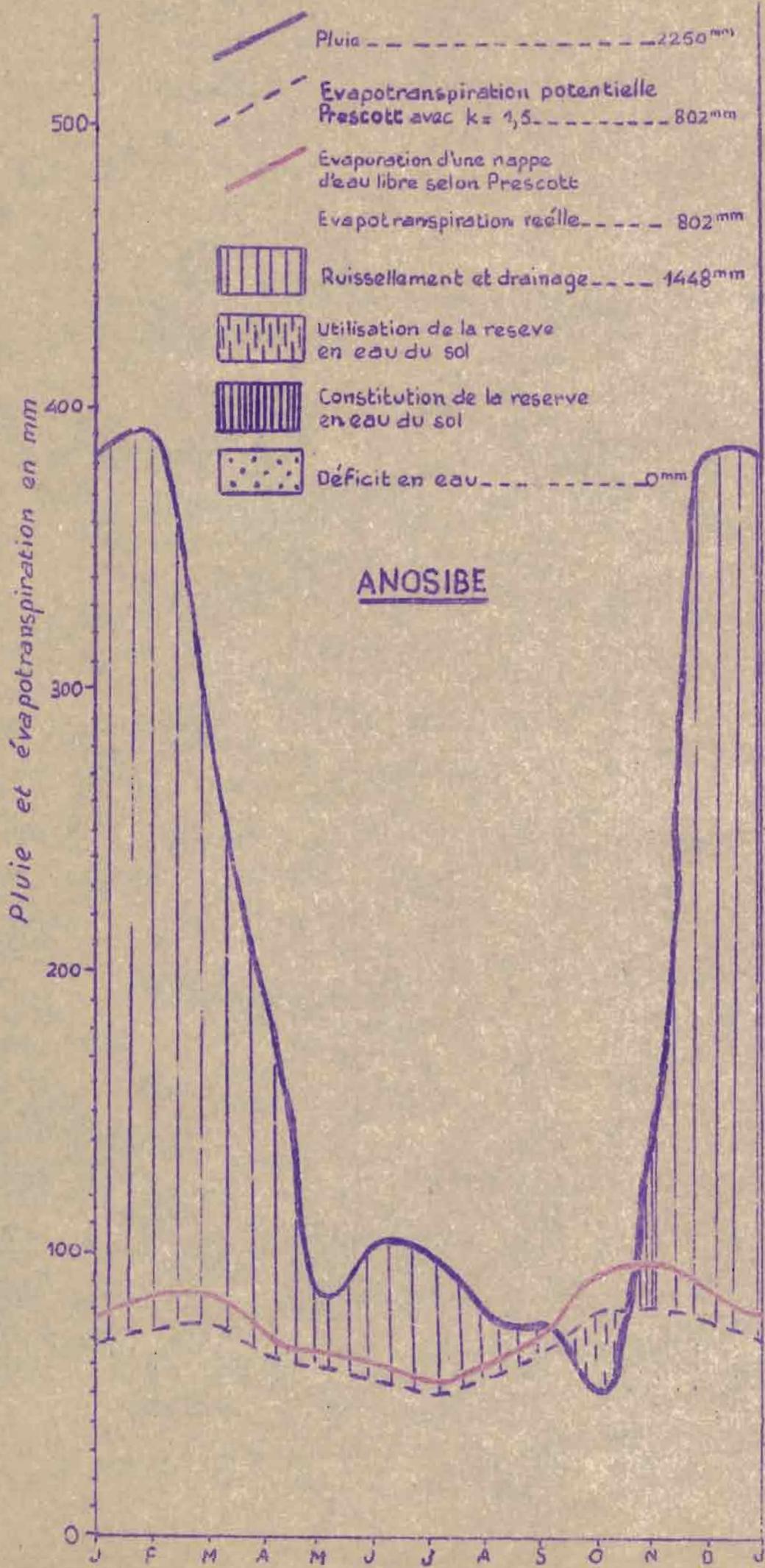
15



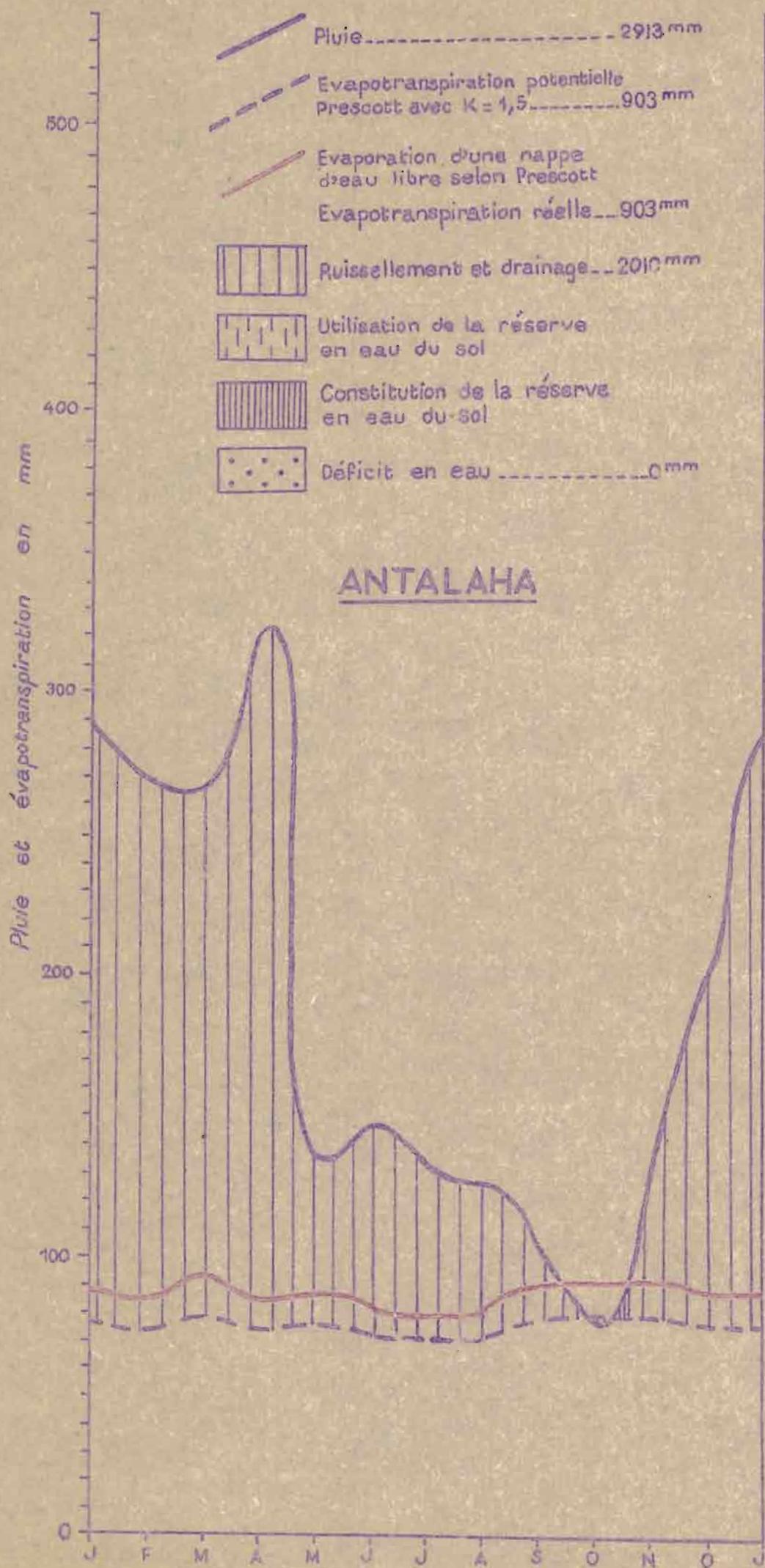




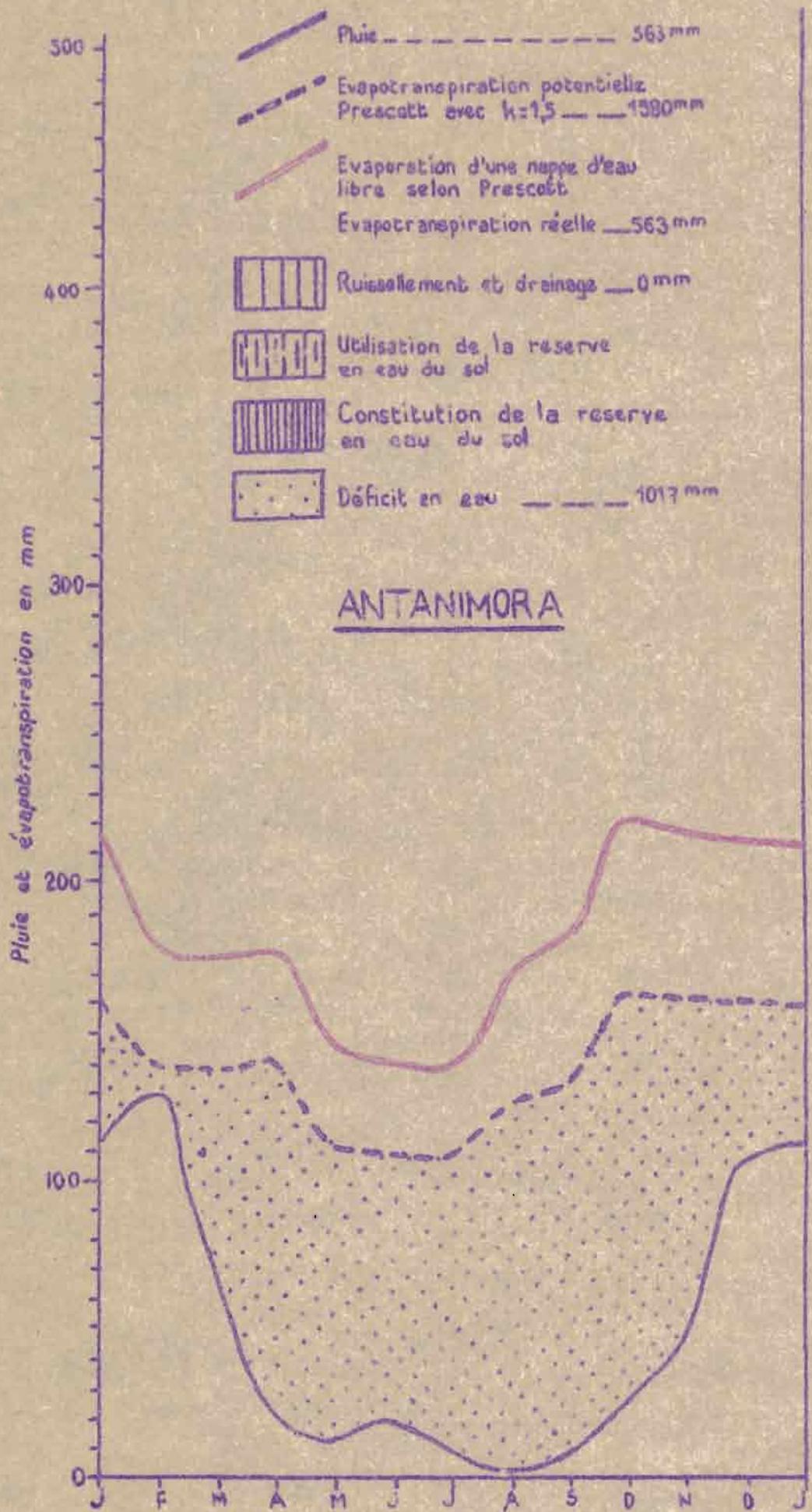
Rakotondratsimo



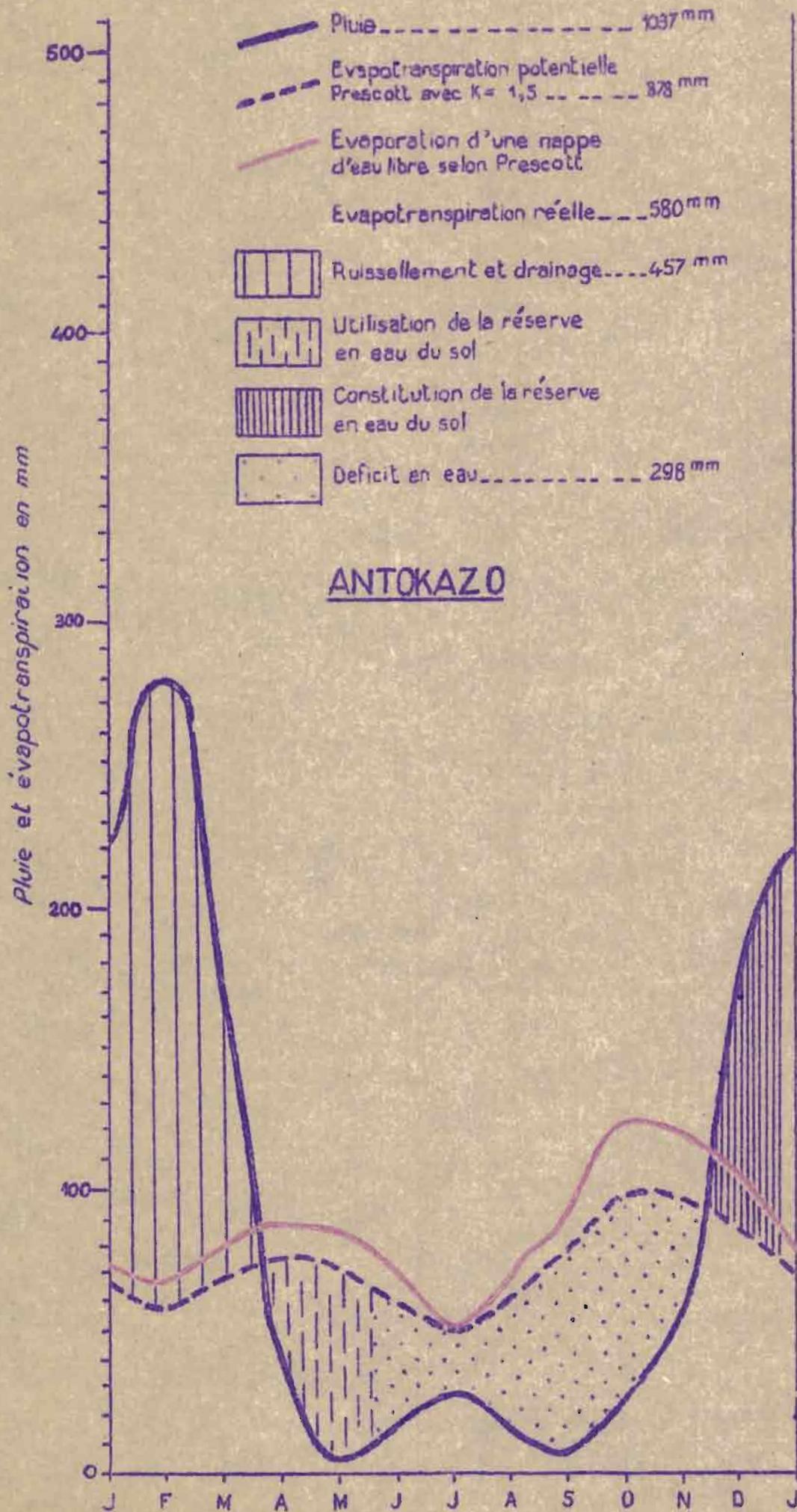
Roharison.P

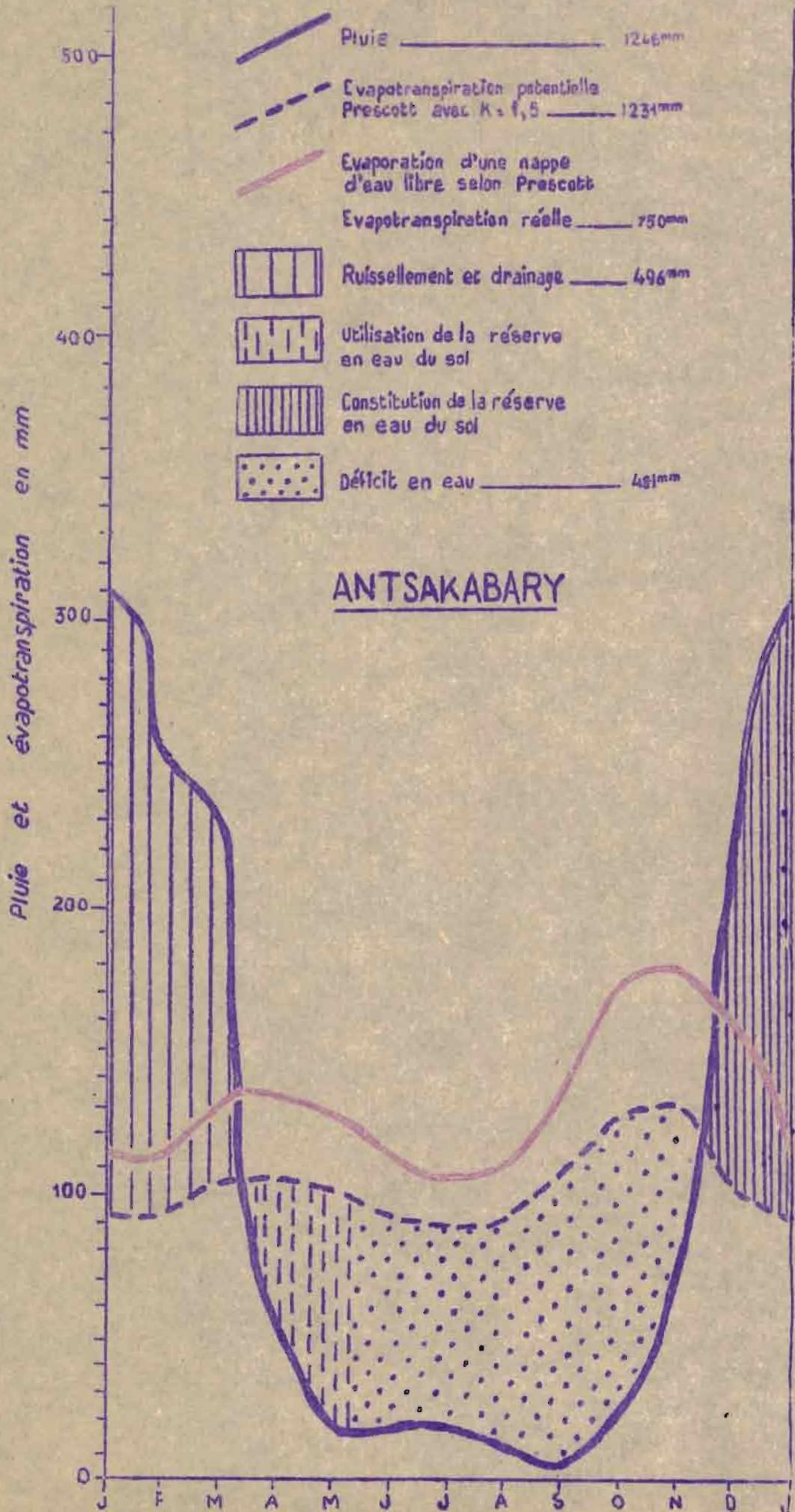


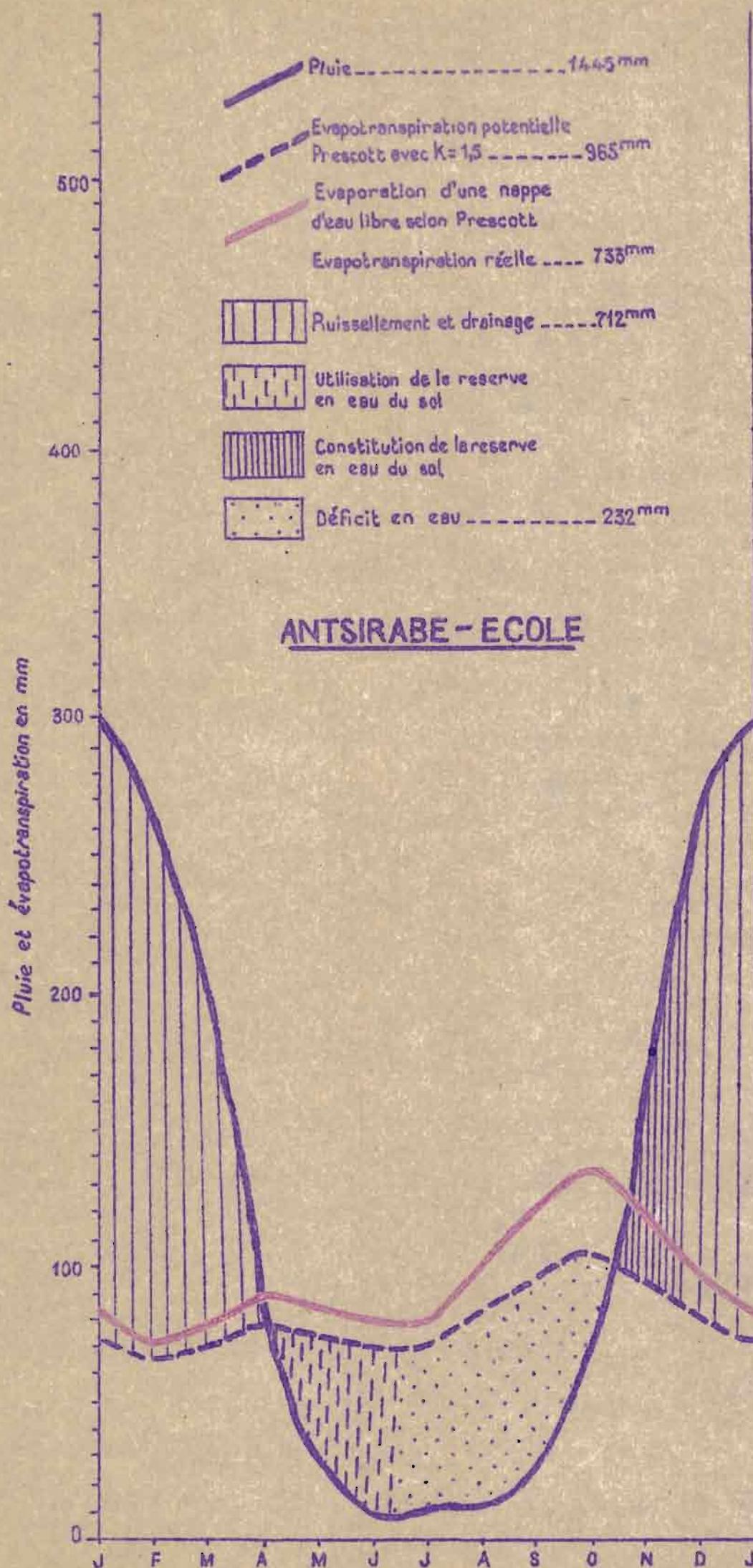
Rakotonirainy B.

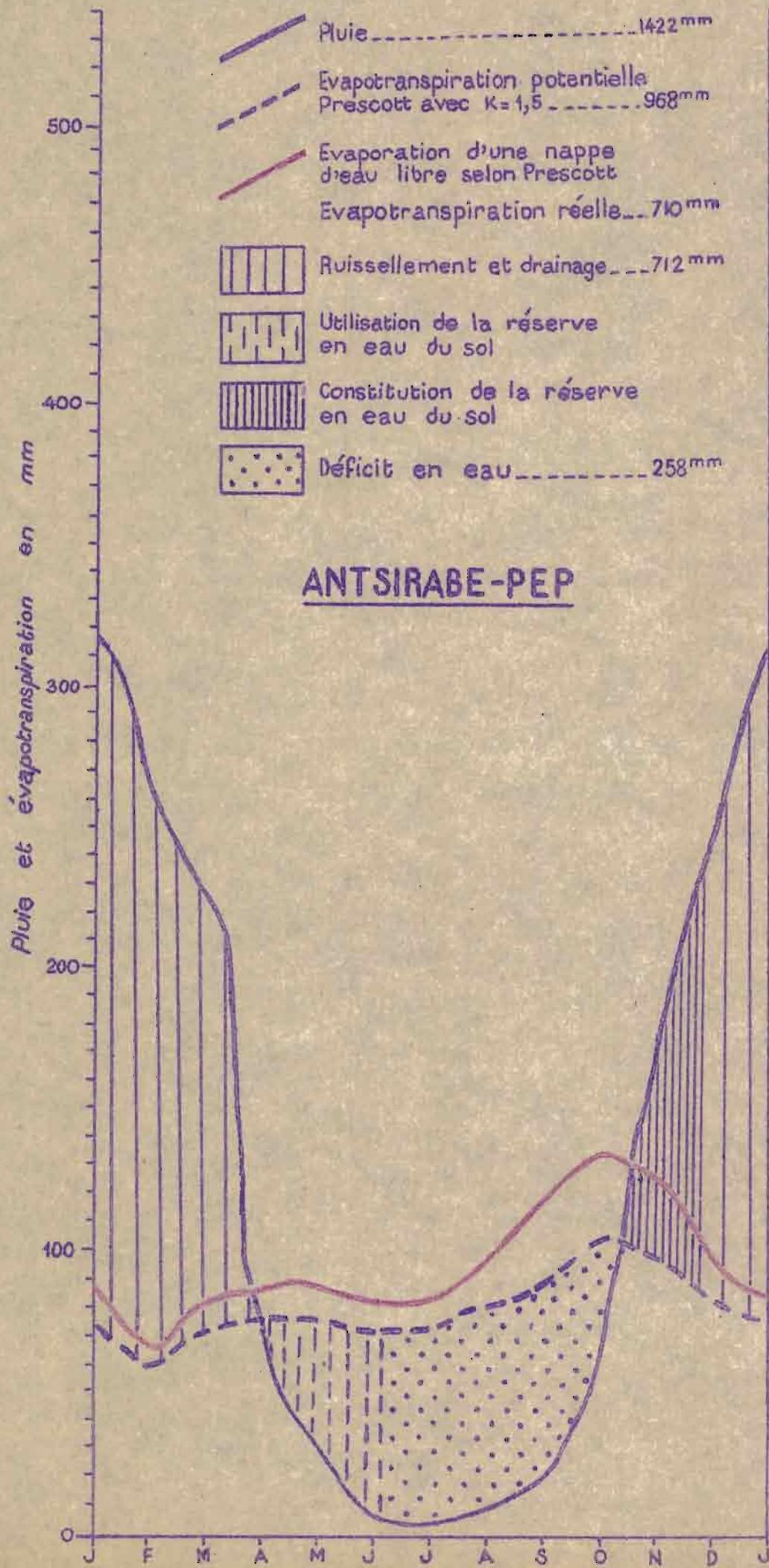


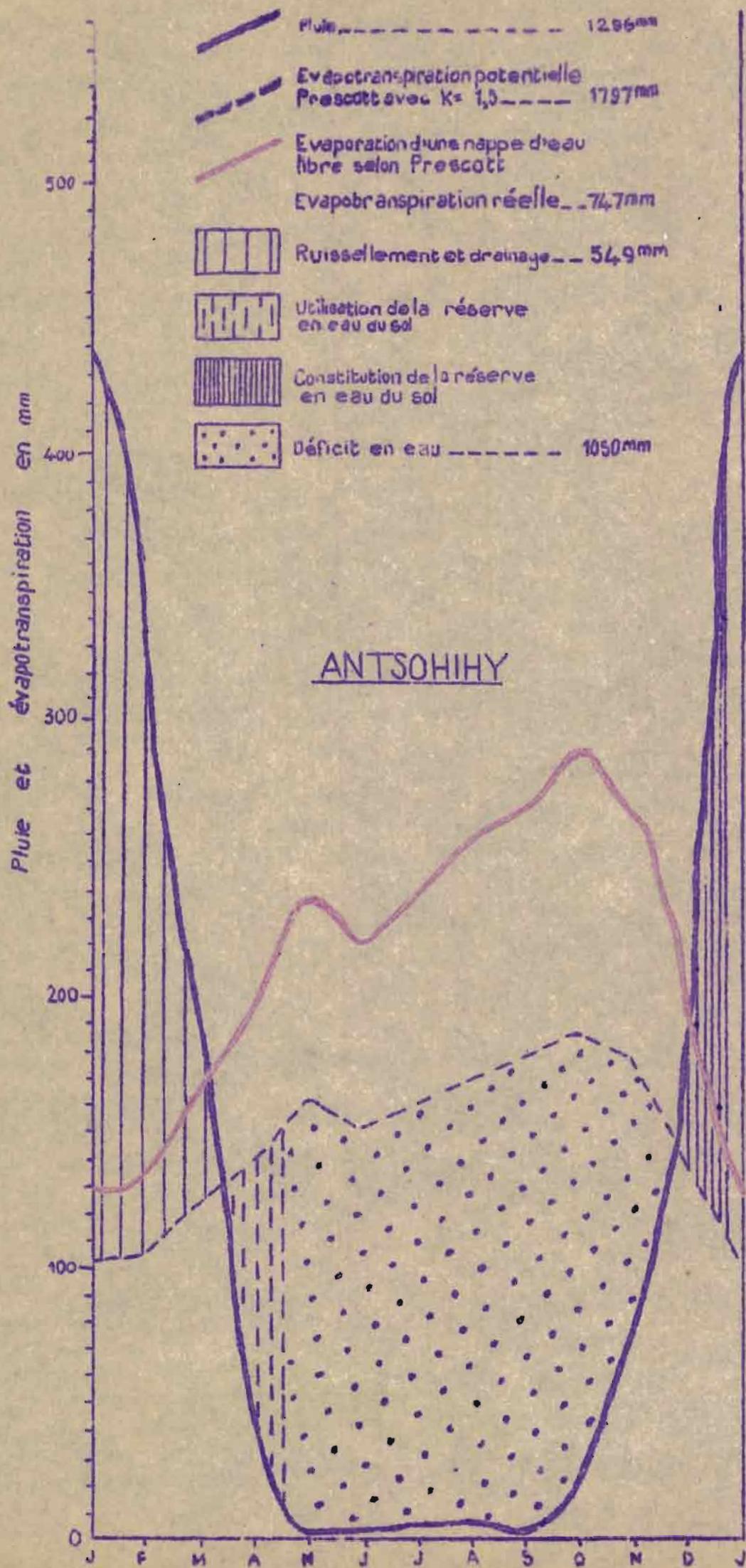
Rakotomendimby

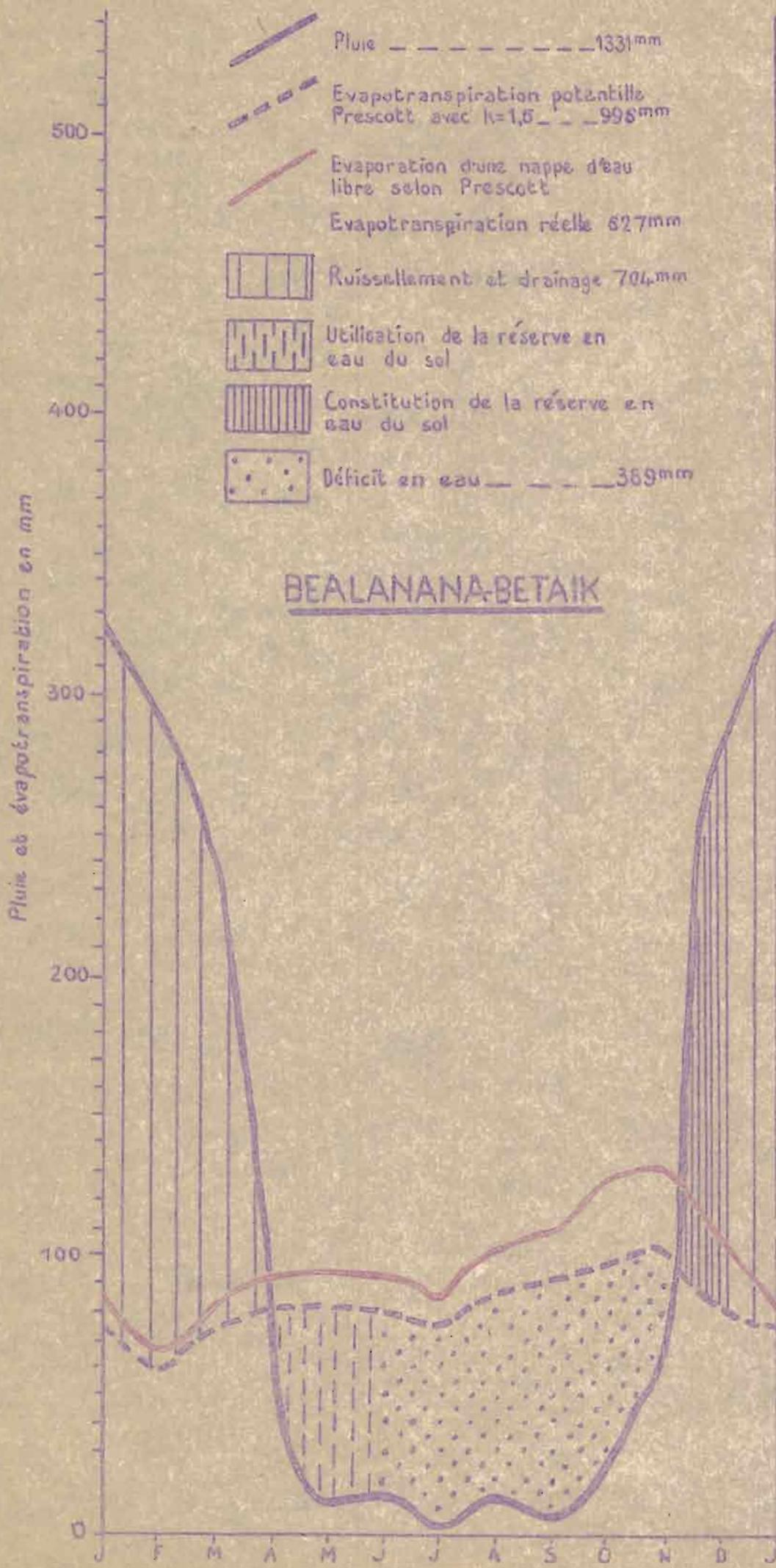




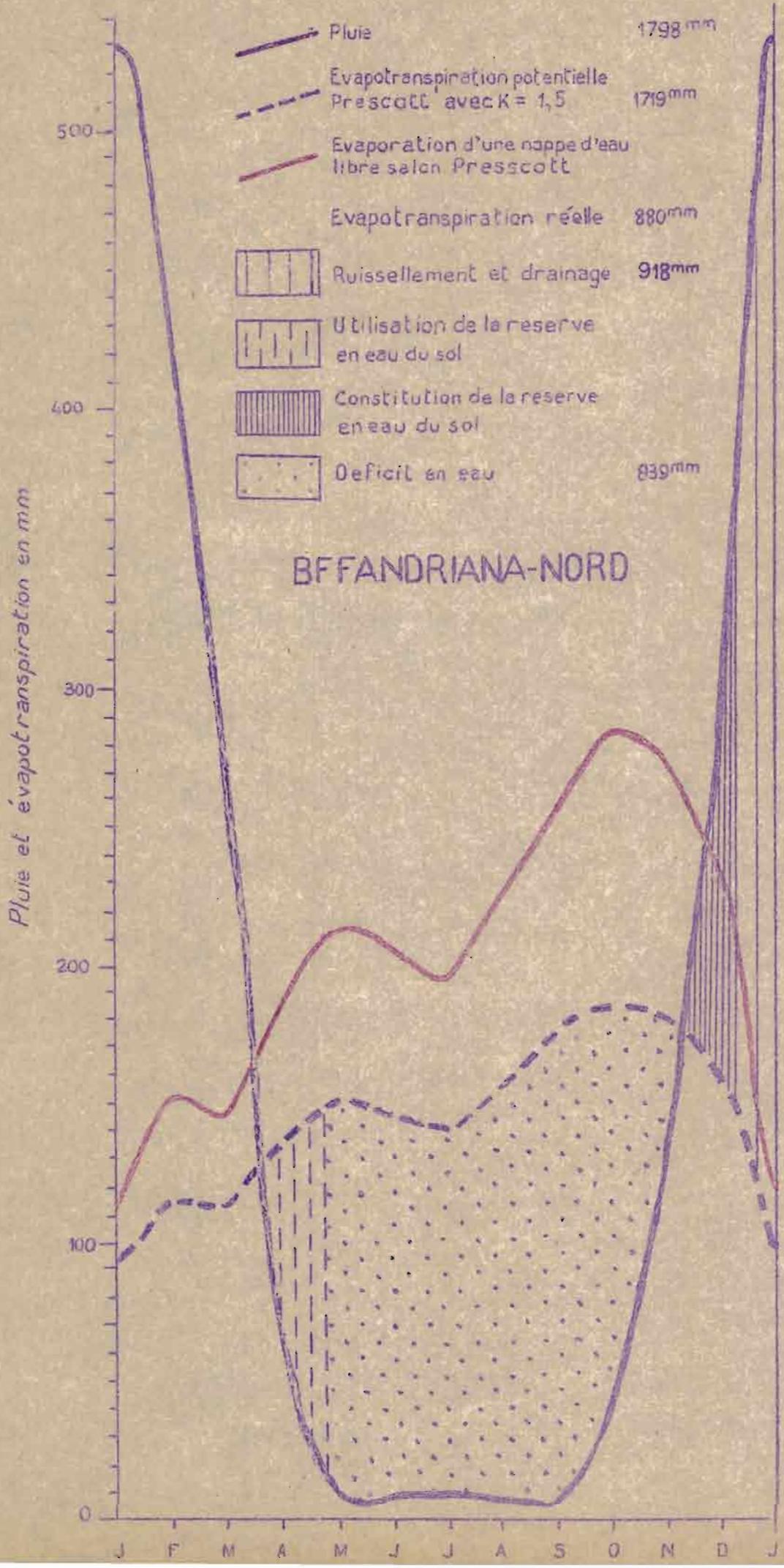


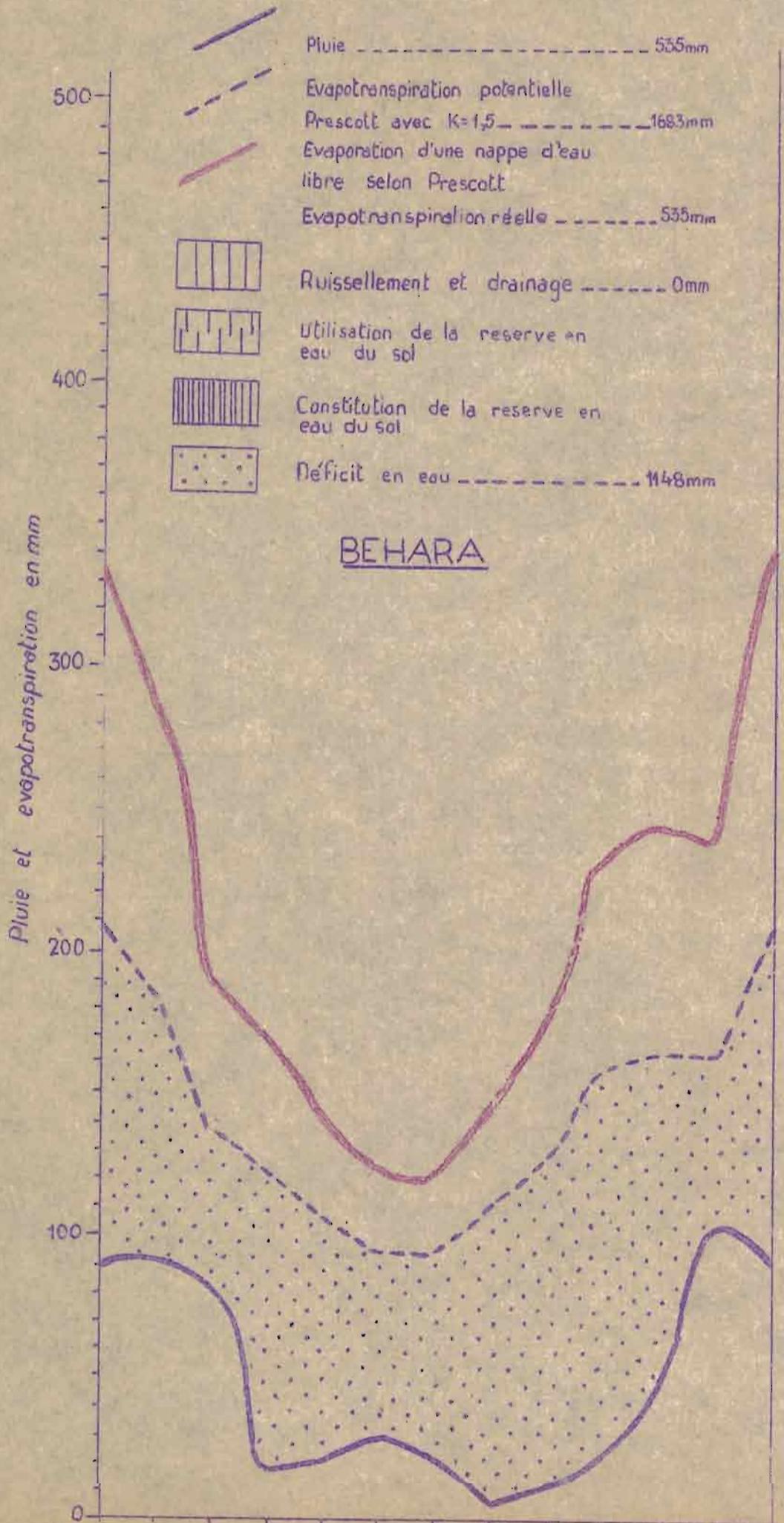




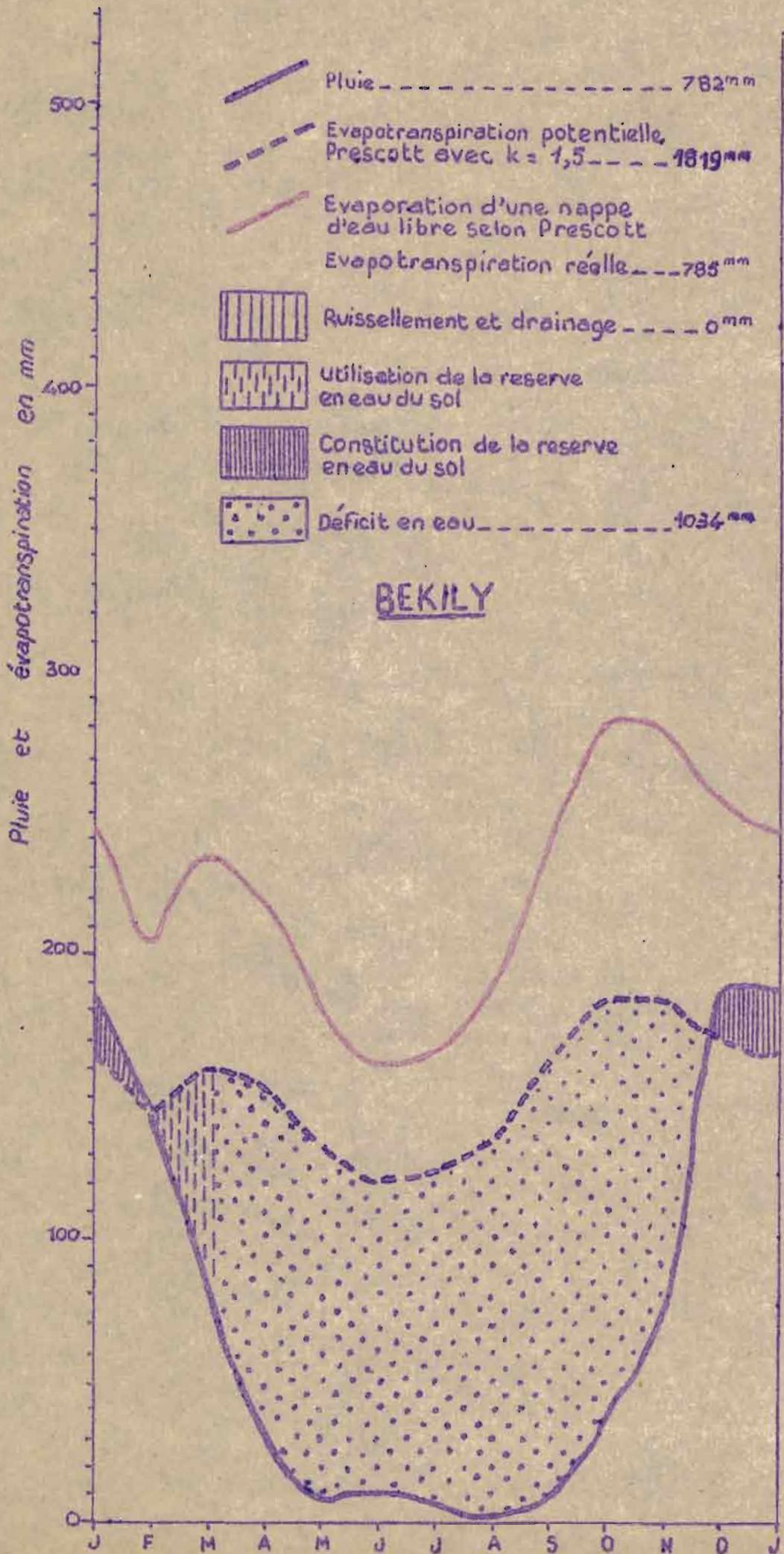


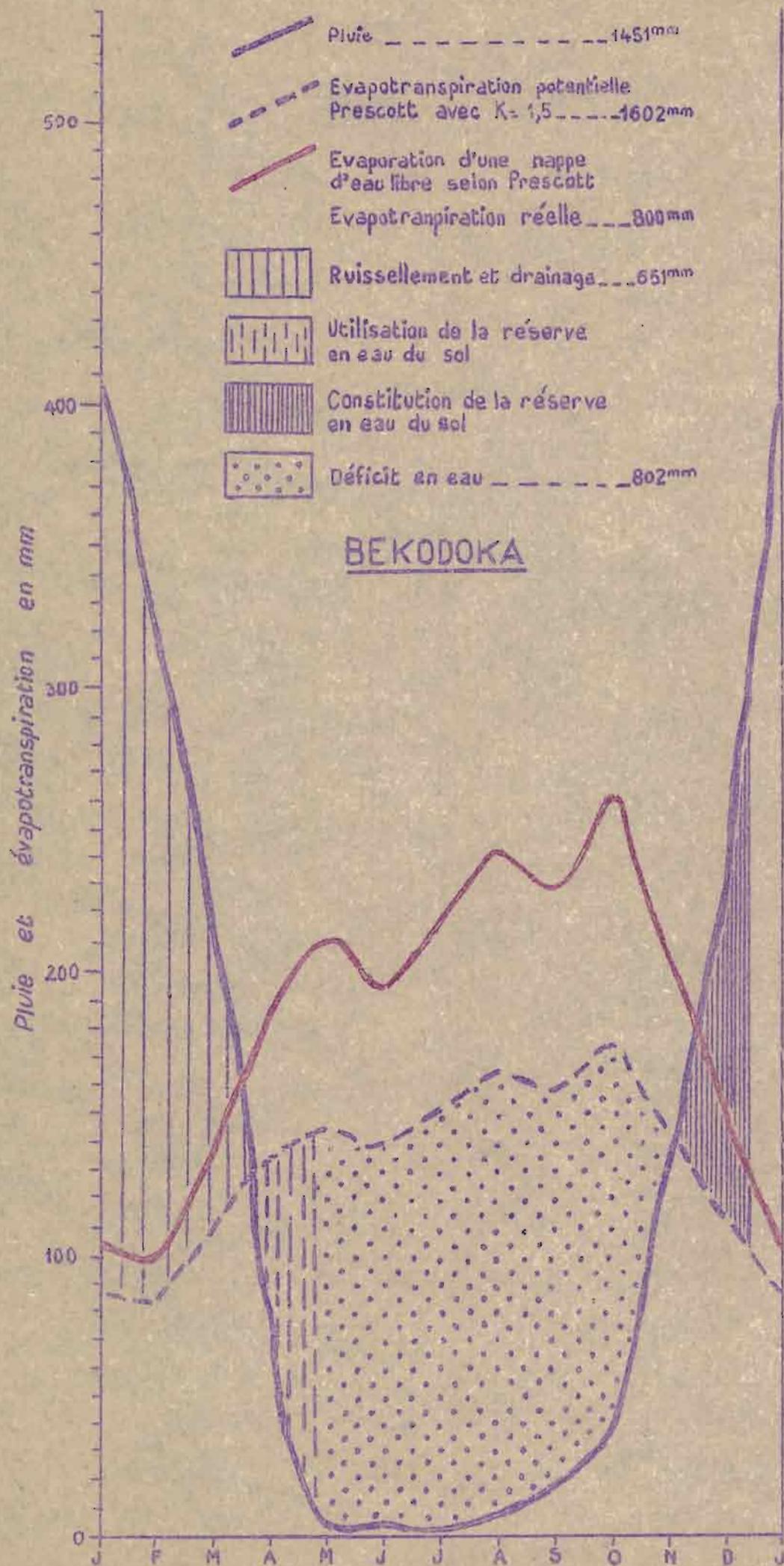
Rakotonirainy

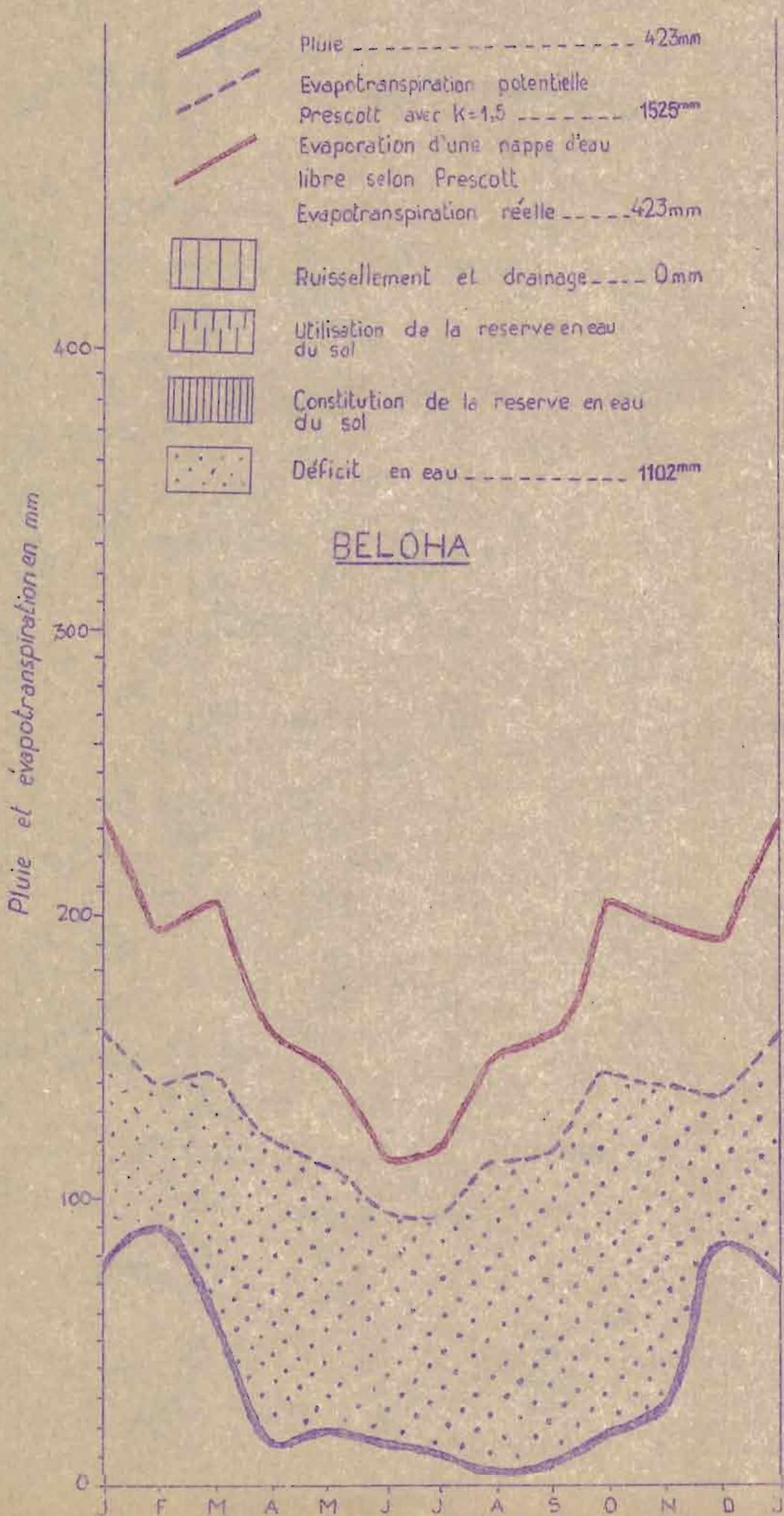




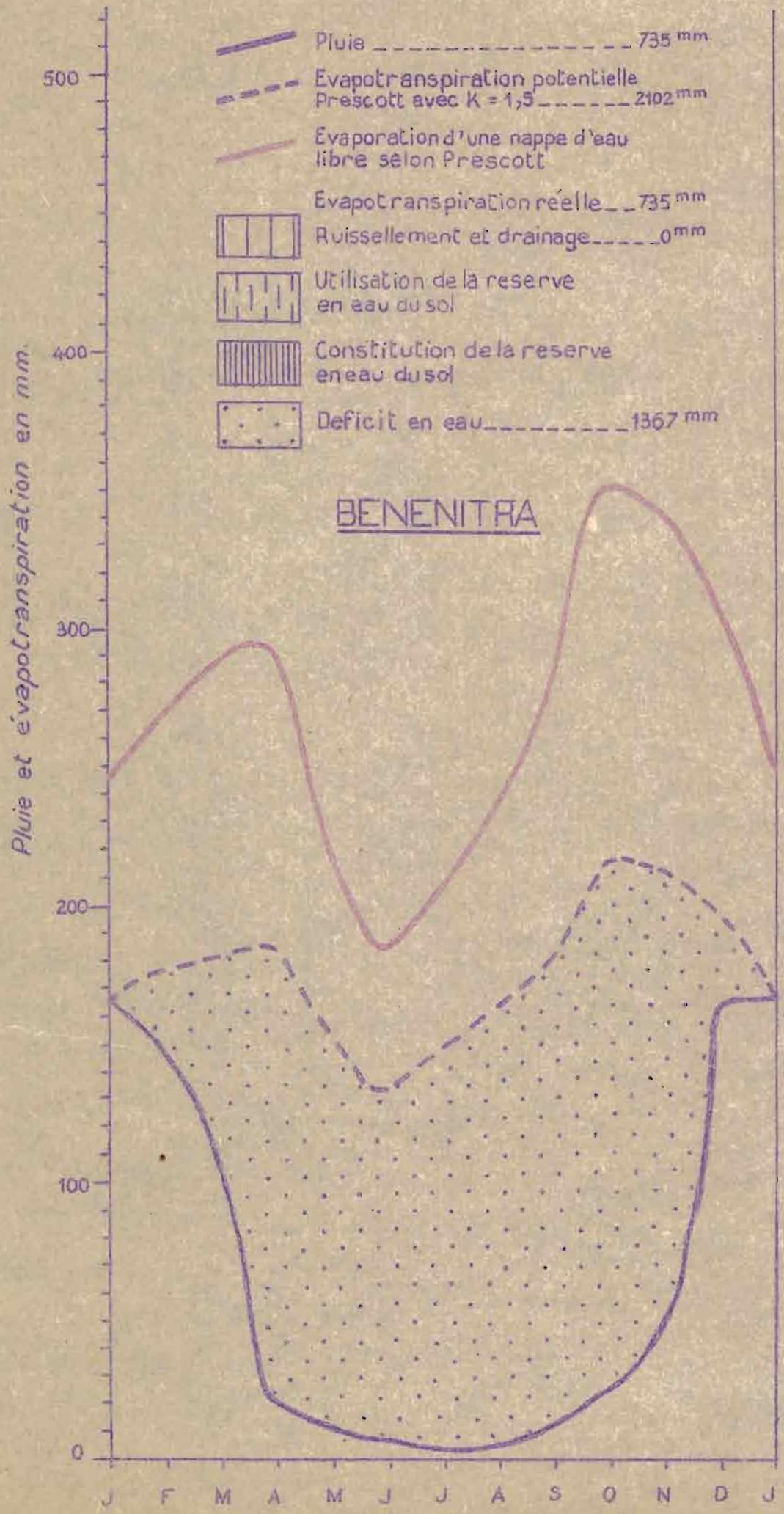
Rakotondralsimà J.



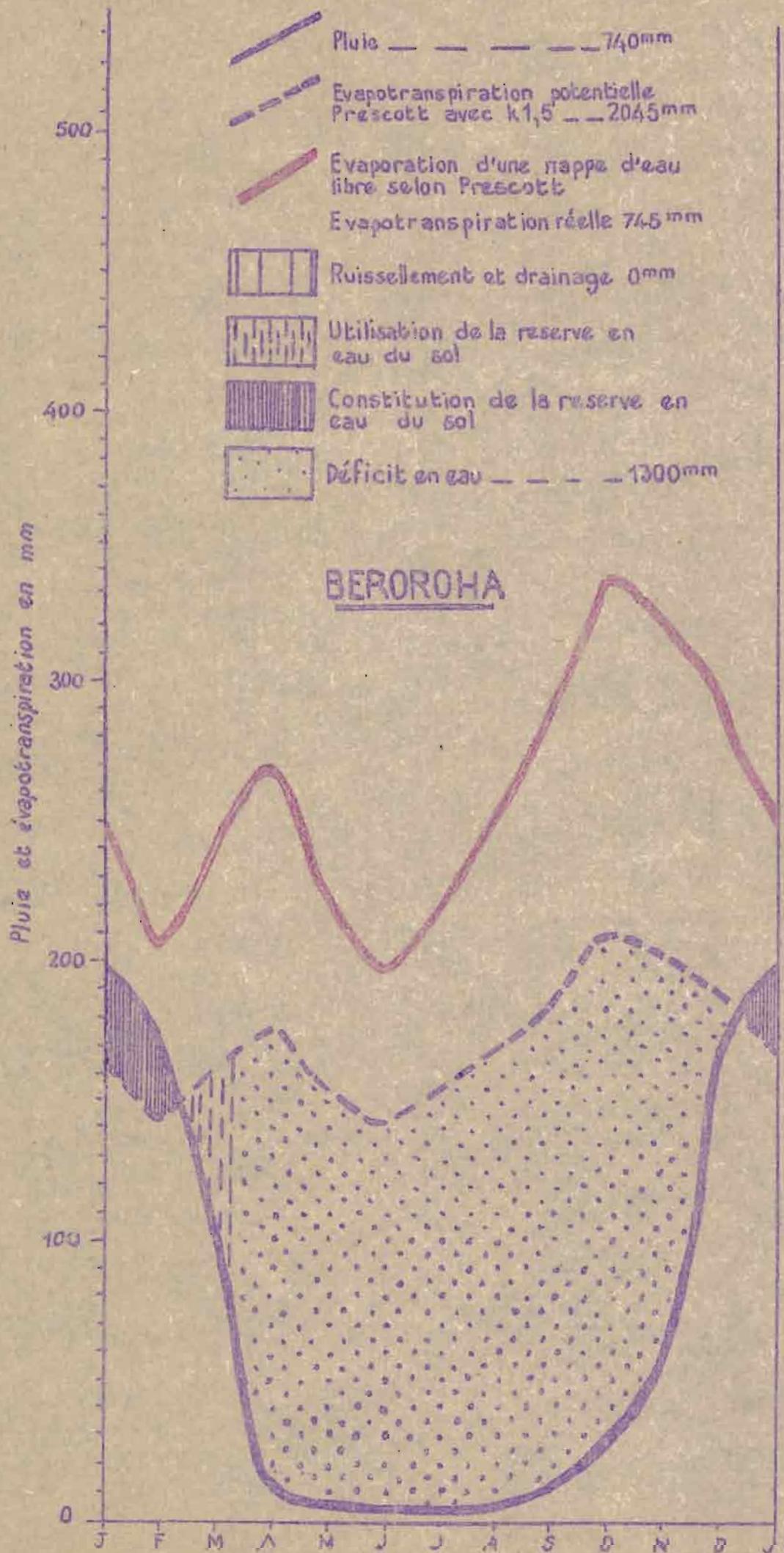


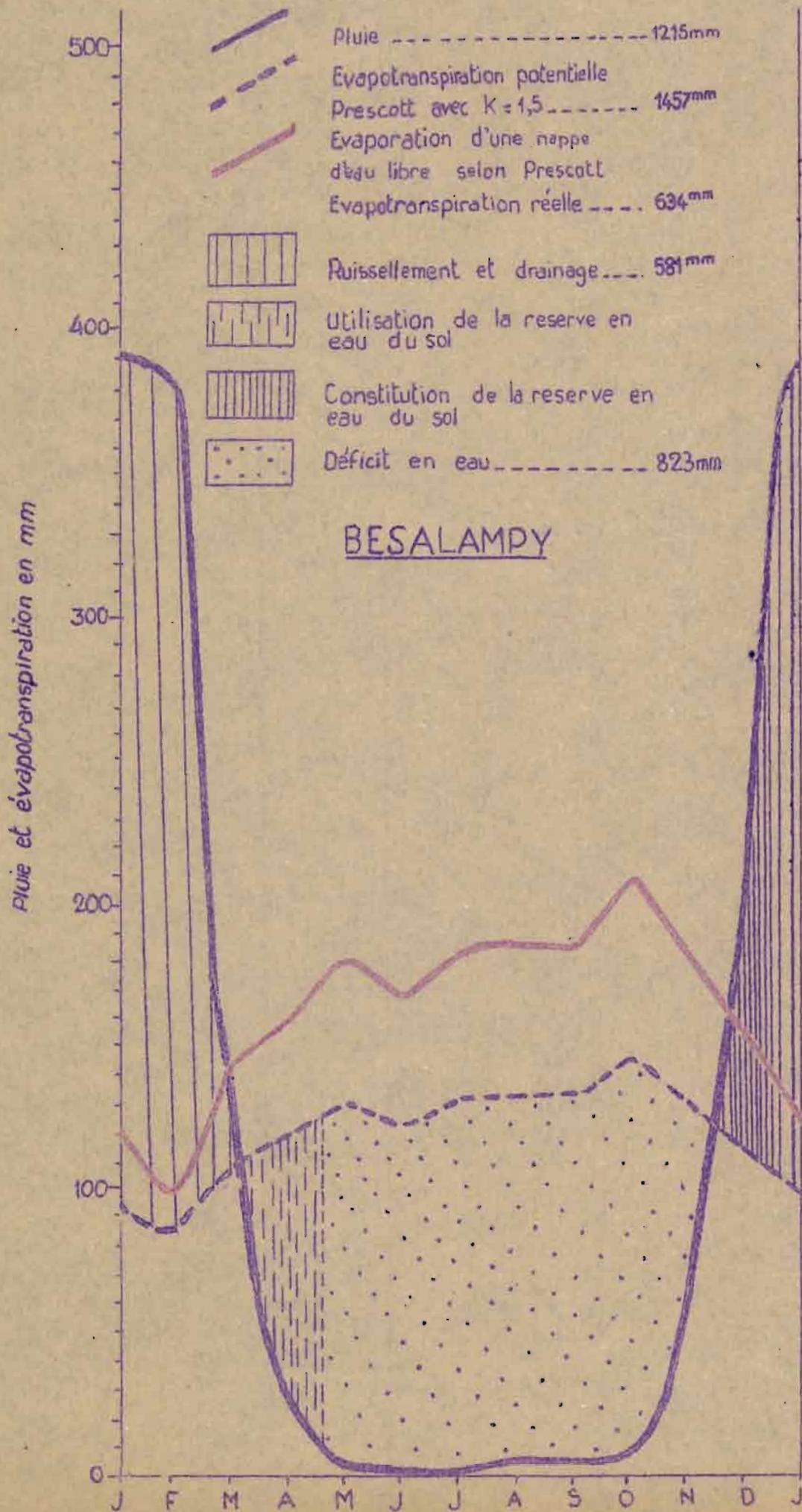


Aekkolondratsime J.

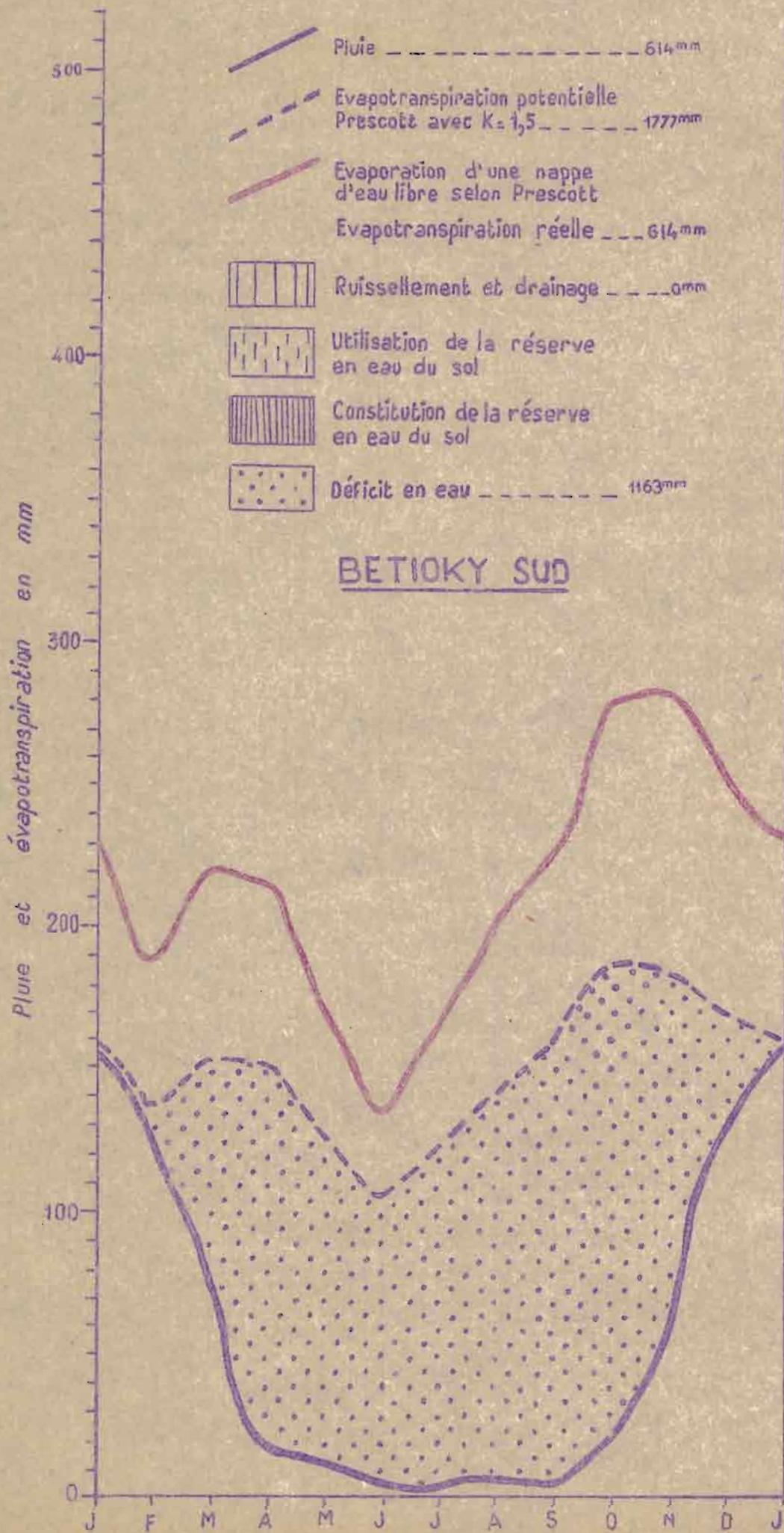


R. Robin.

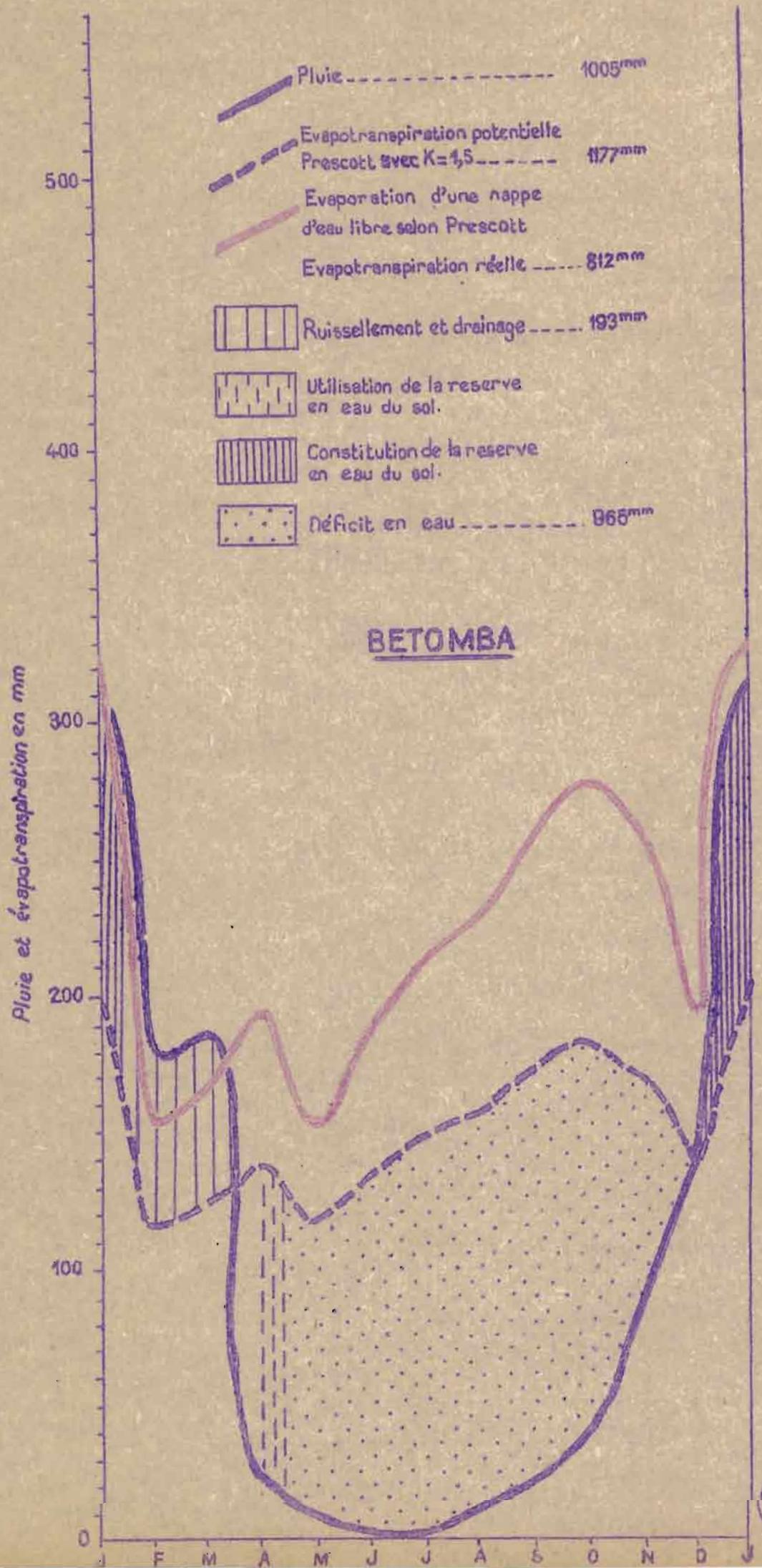




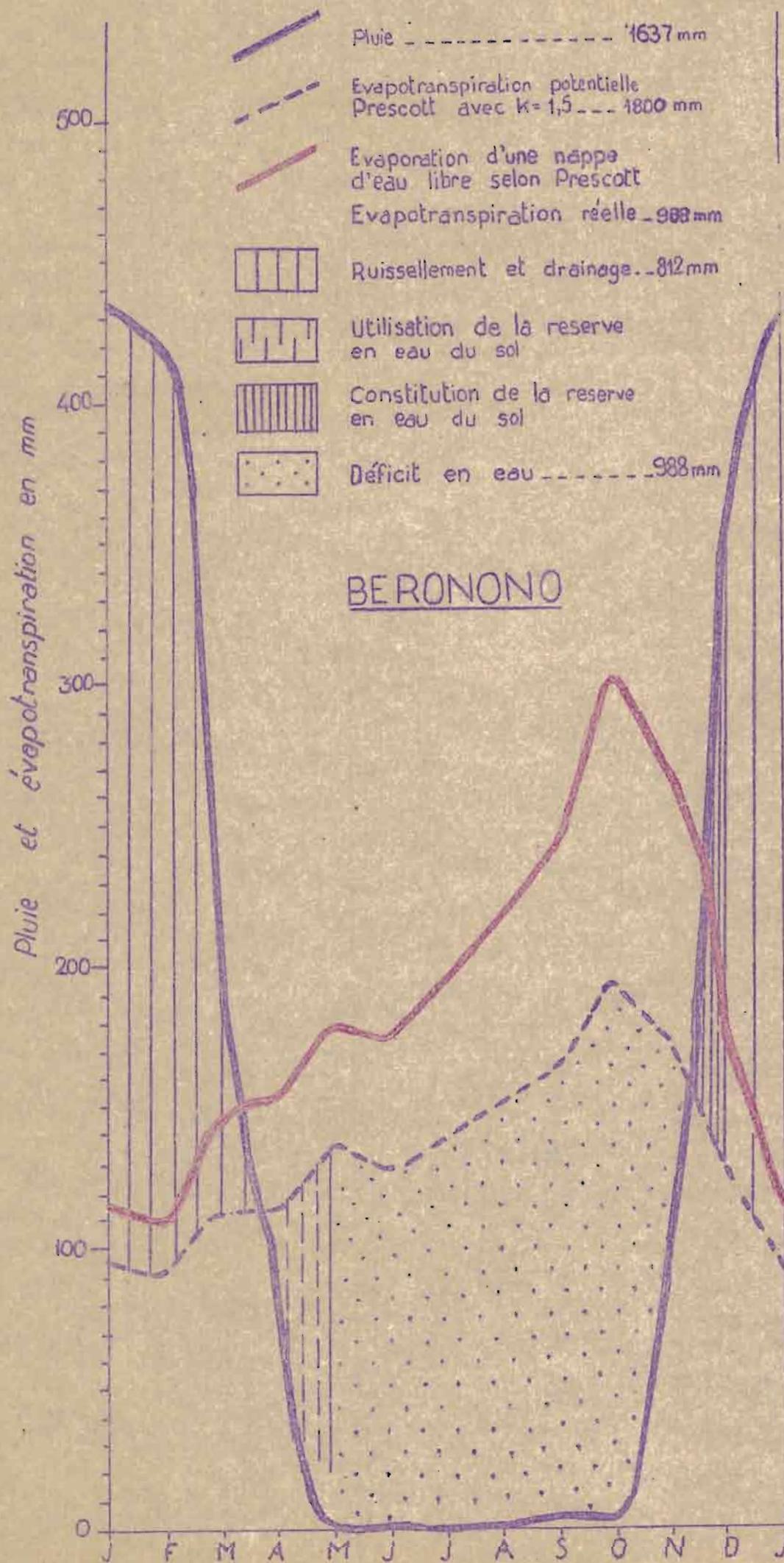
Rekondratsima J.



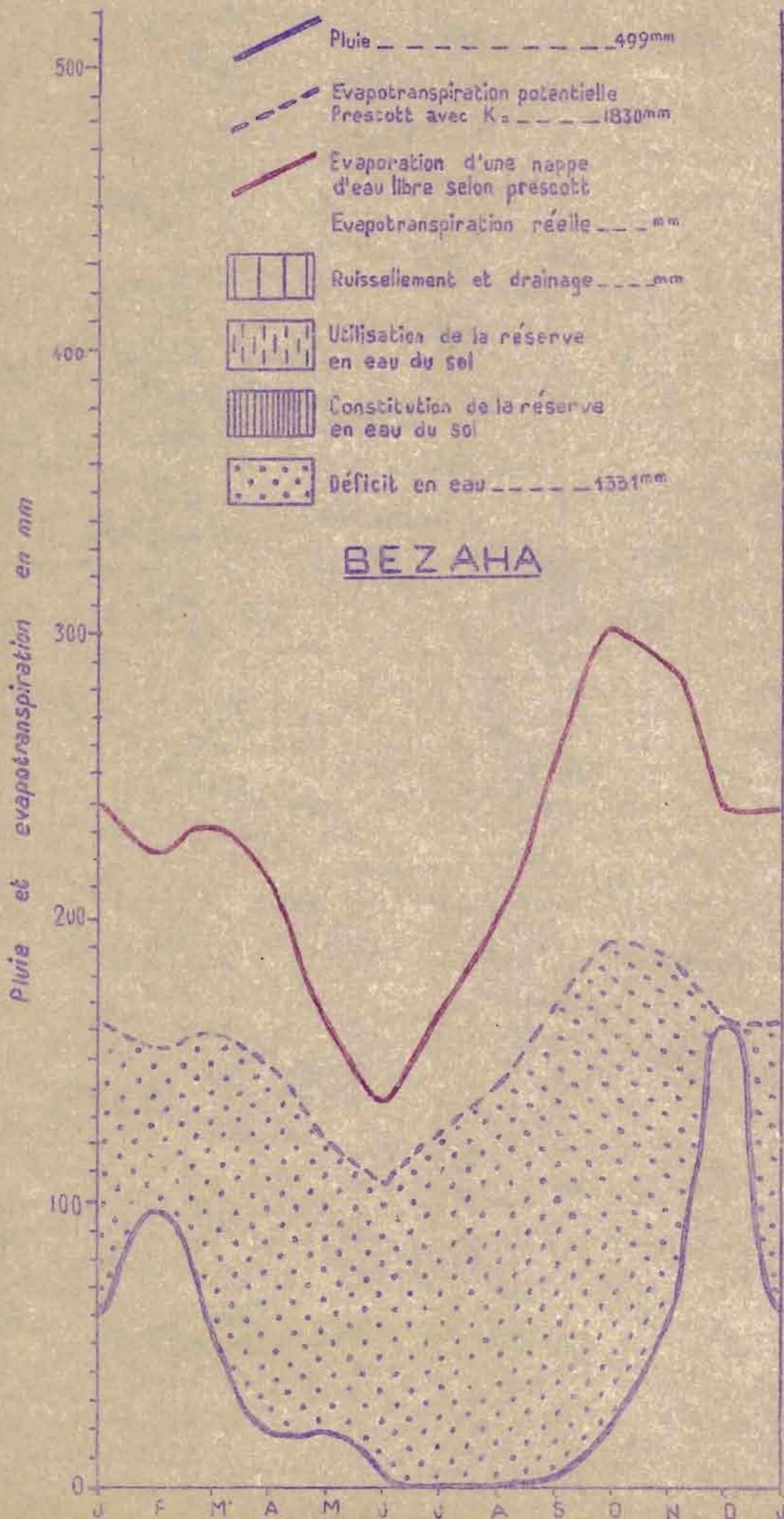
Rakotomanga JM



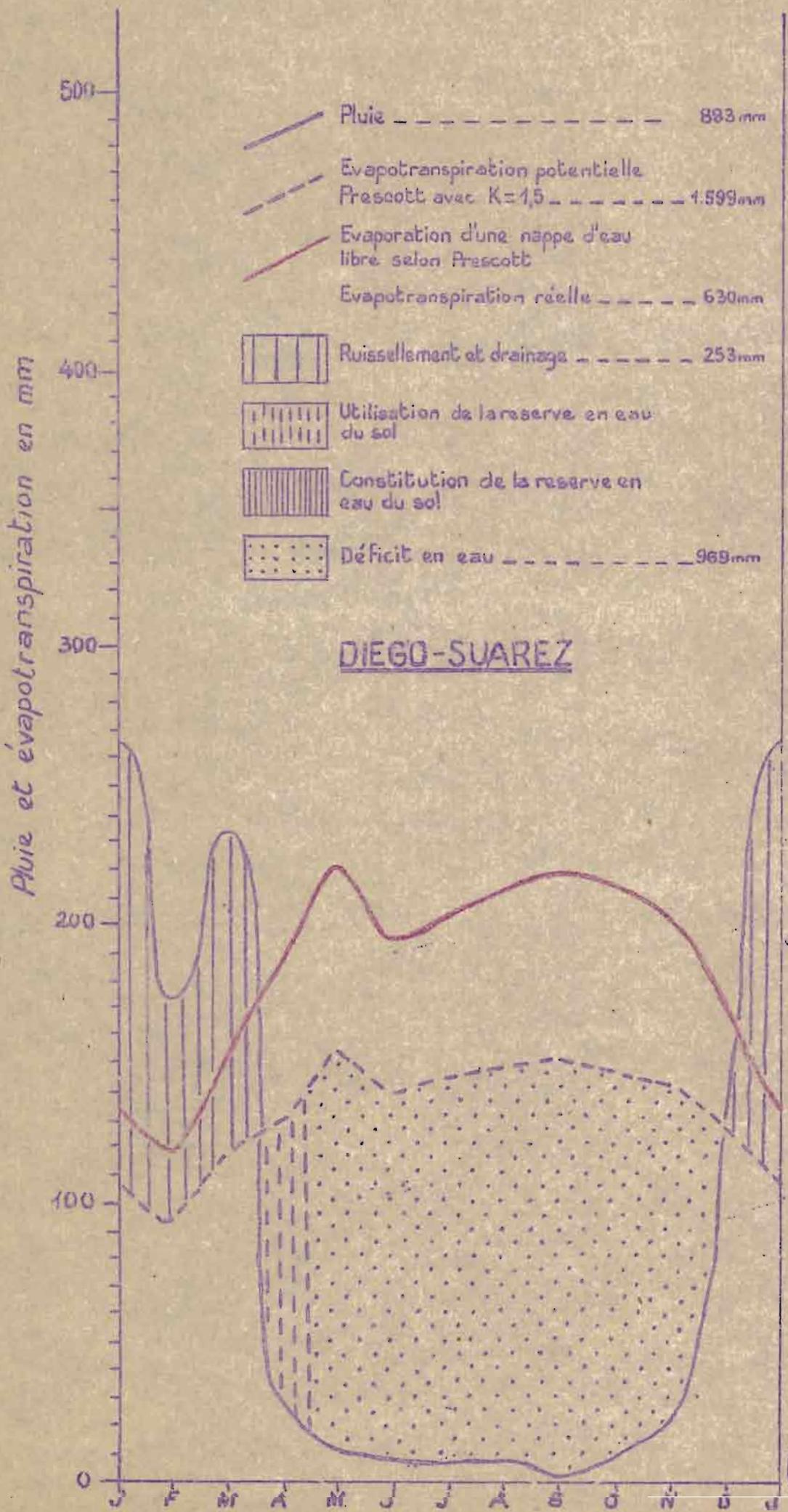
Raholimainga M.



Rekotondratsima J.

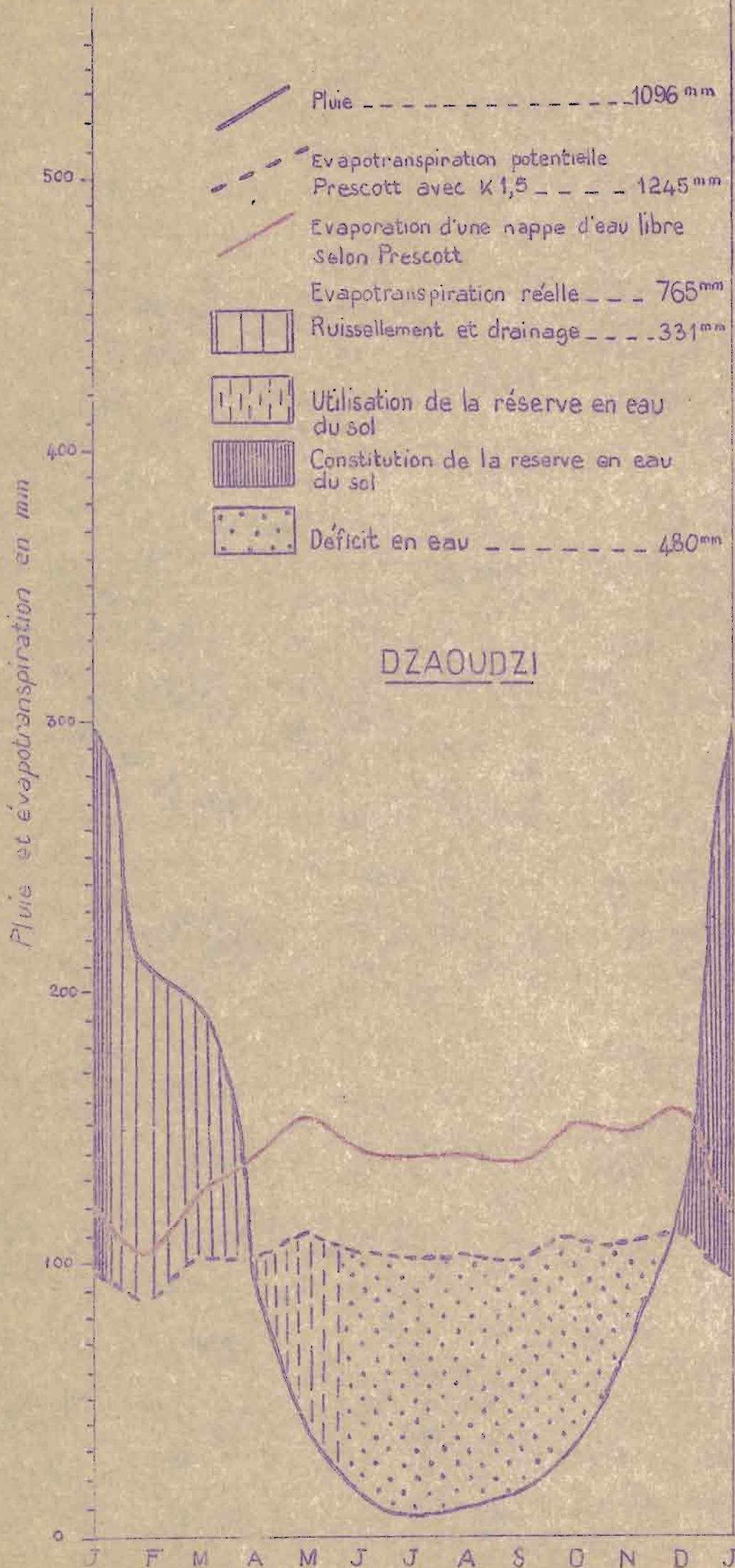


Rakotonanga J-M



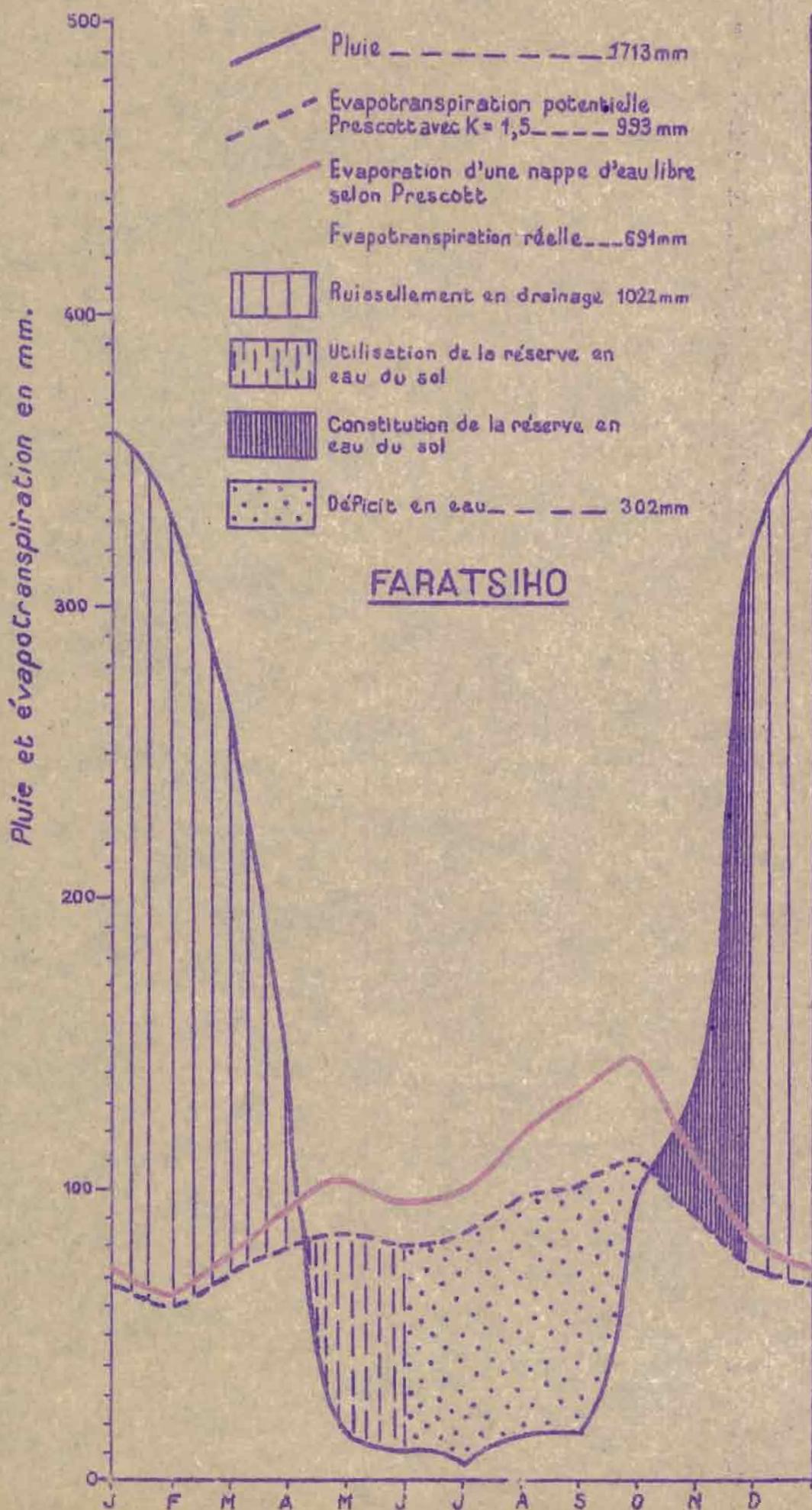
Rasoanaino

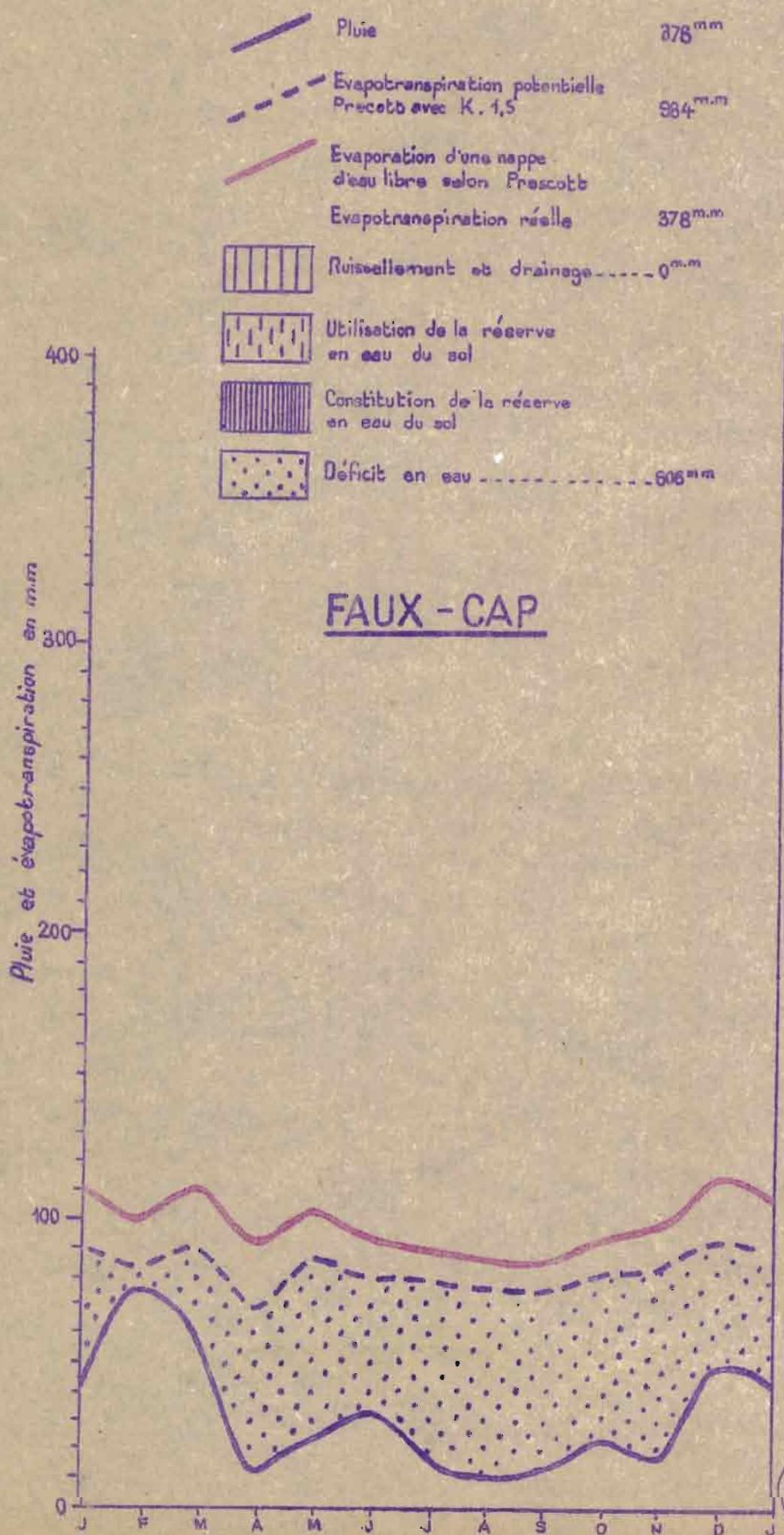
40

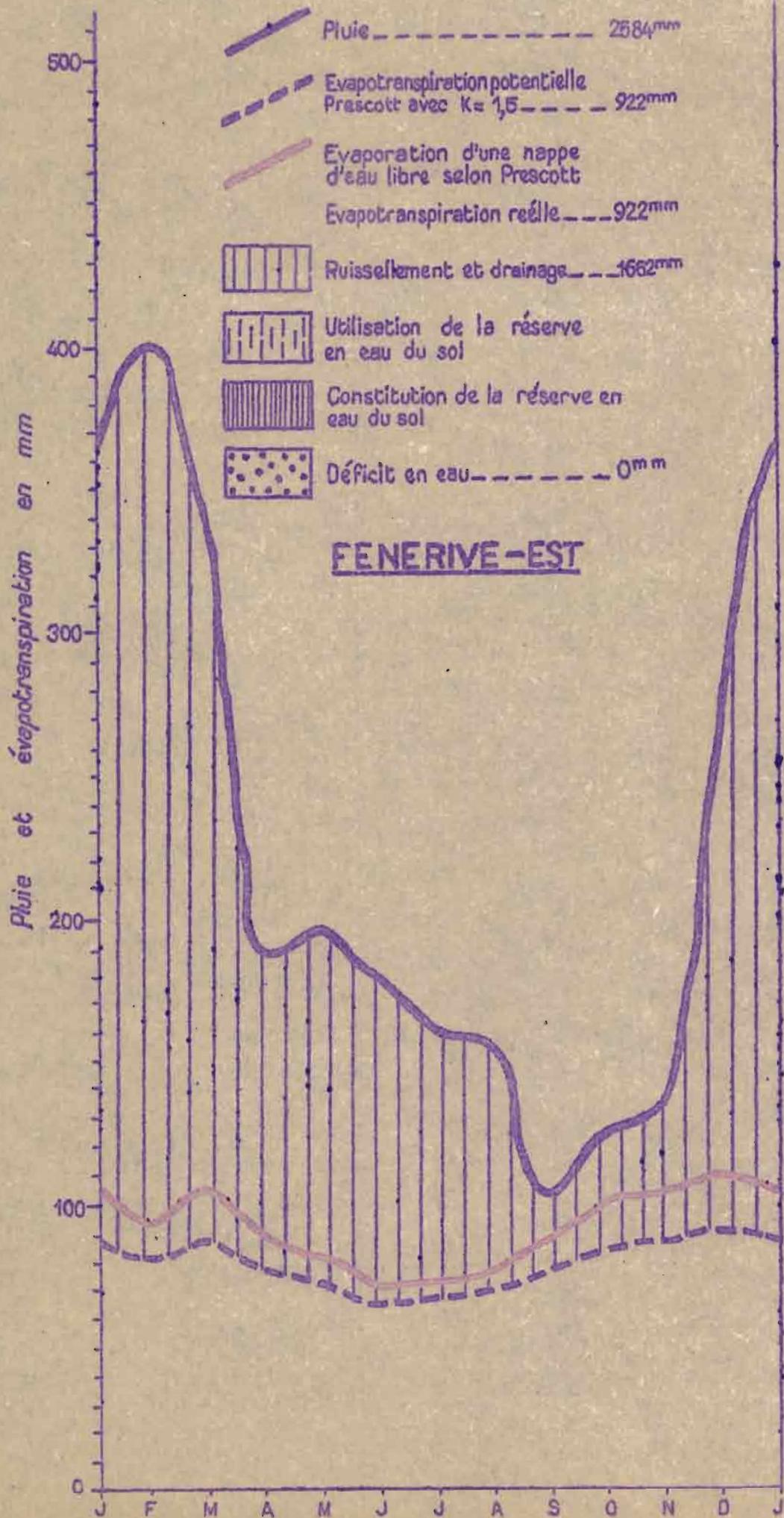


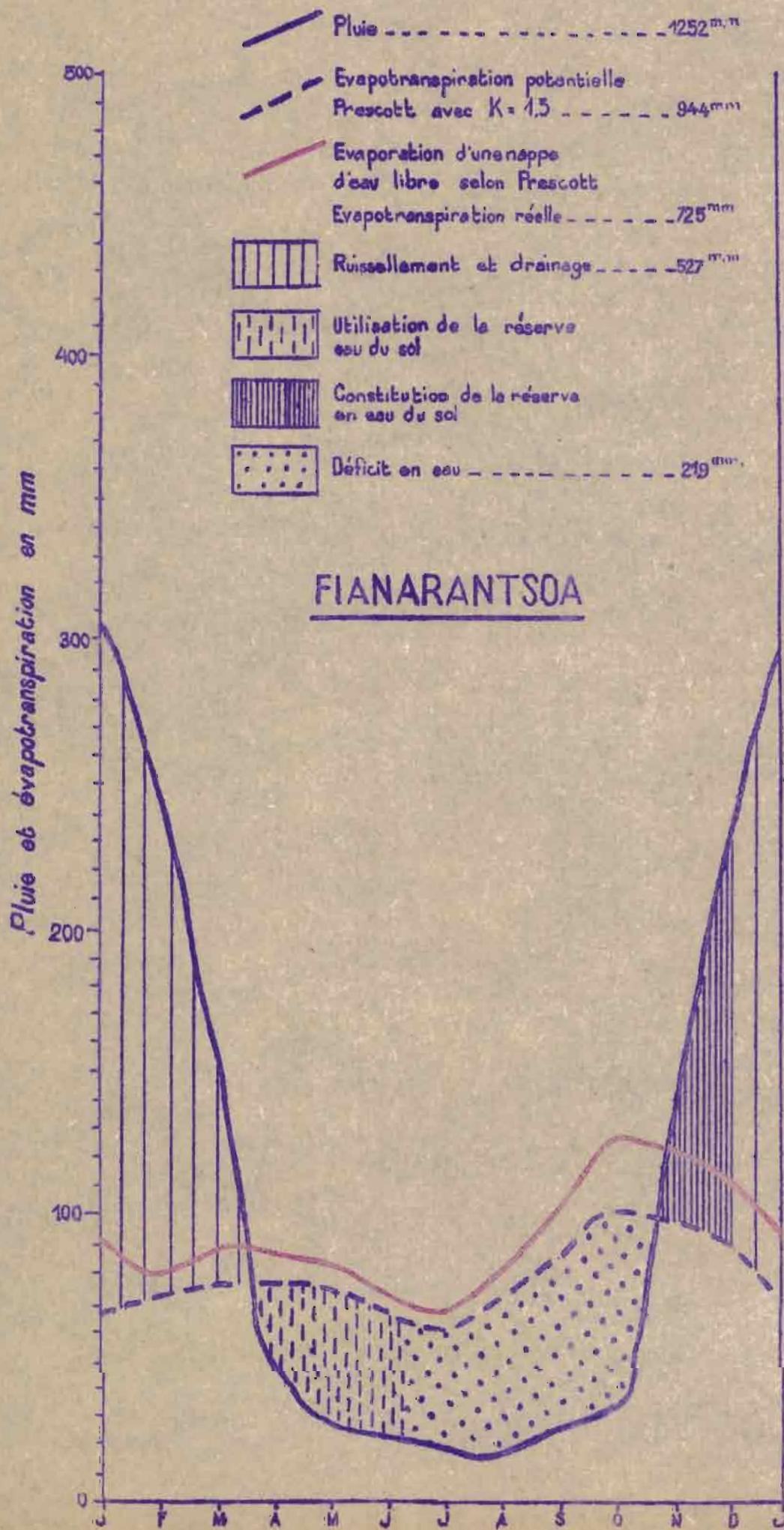
41

Rakotoniranga Marcel

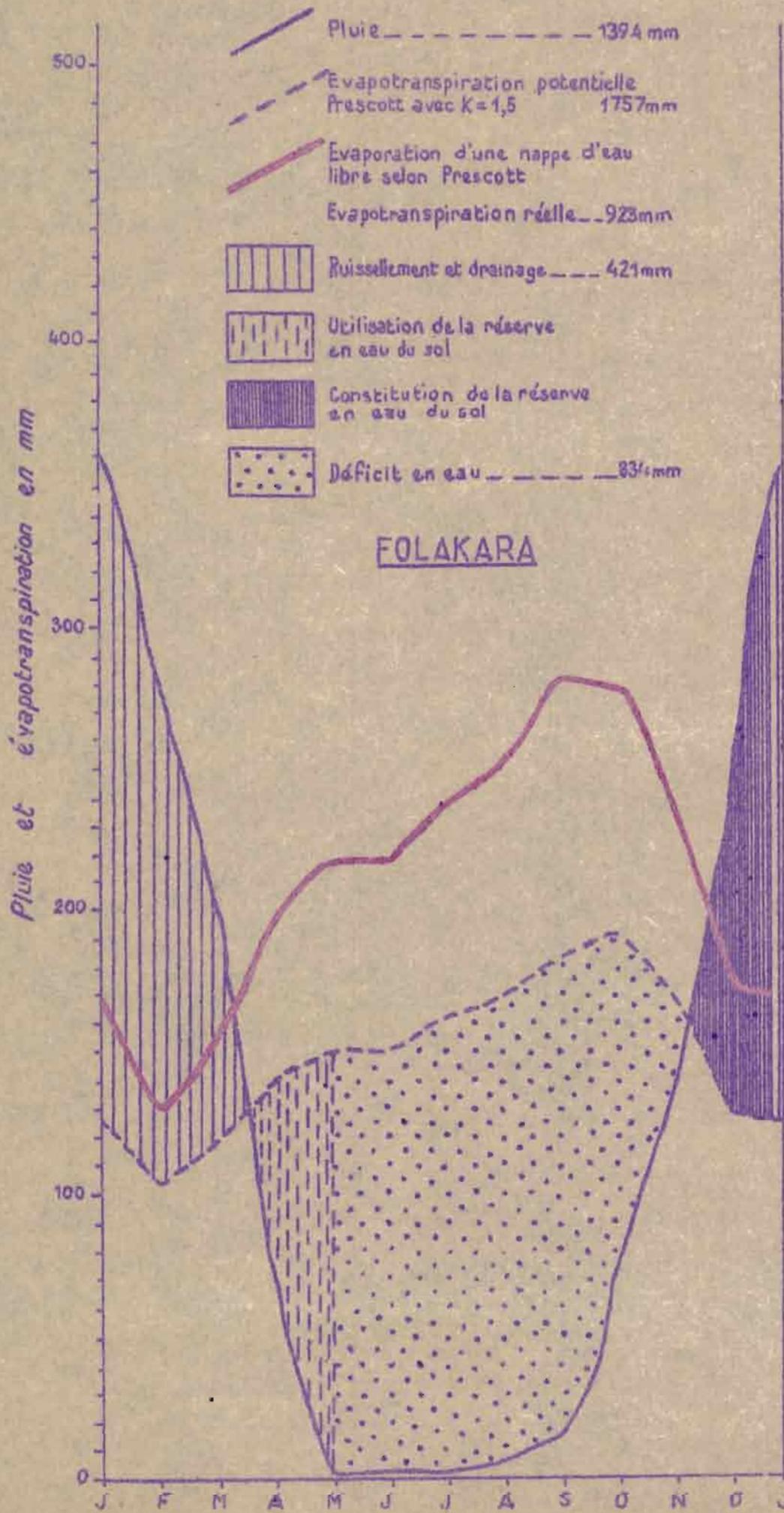


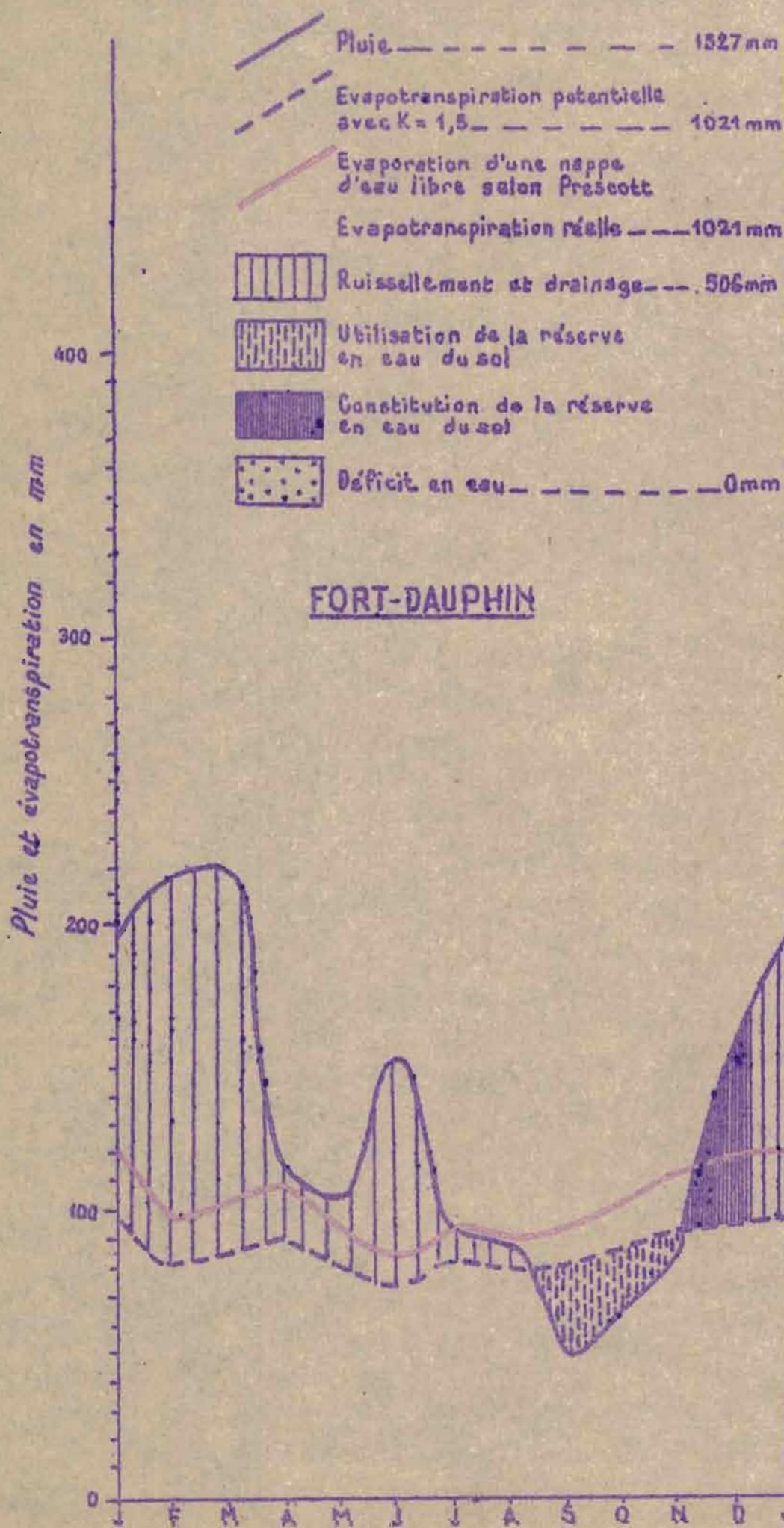


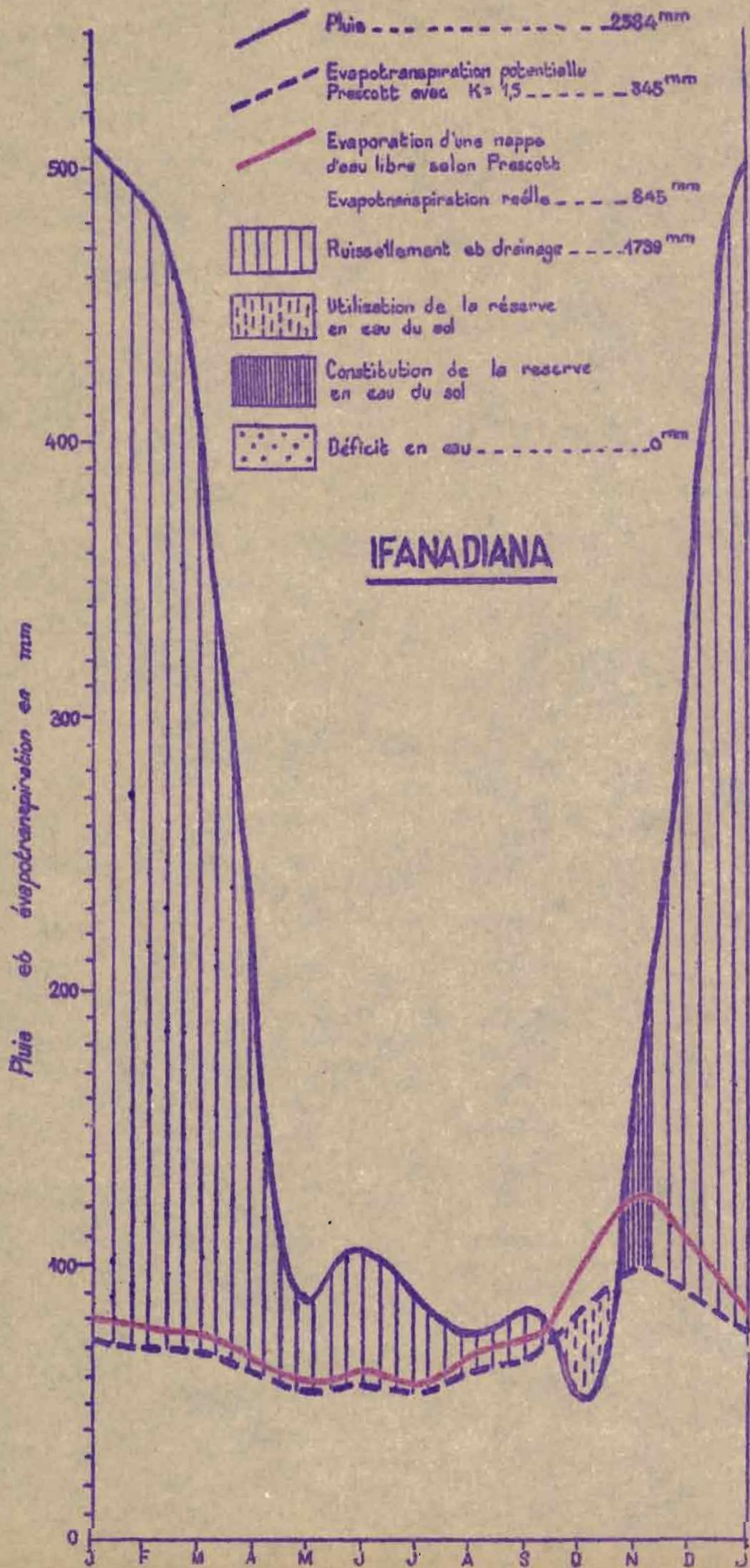


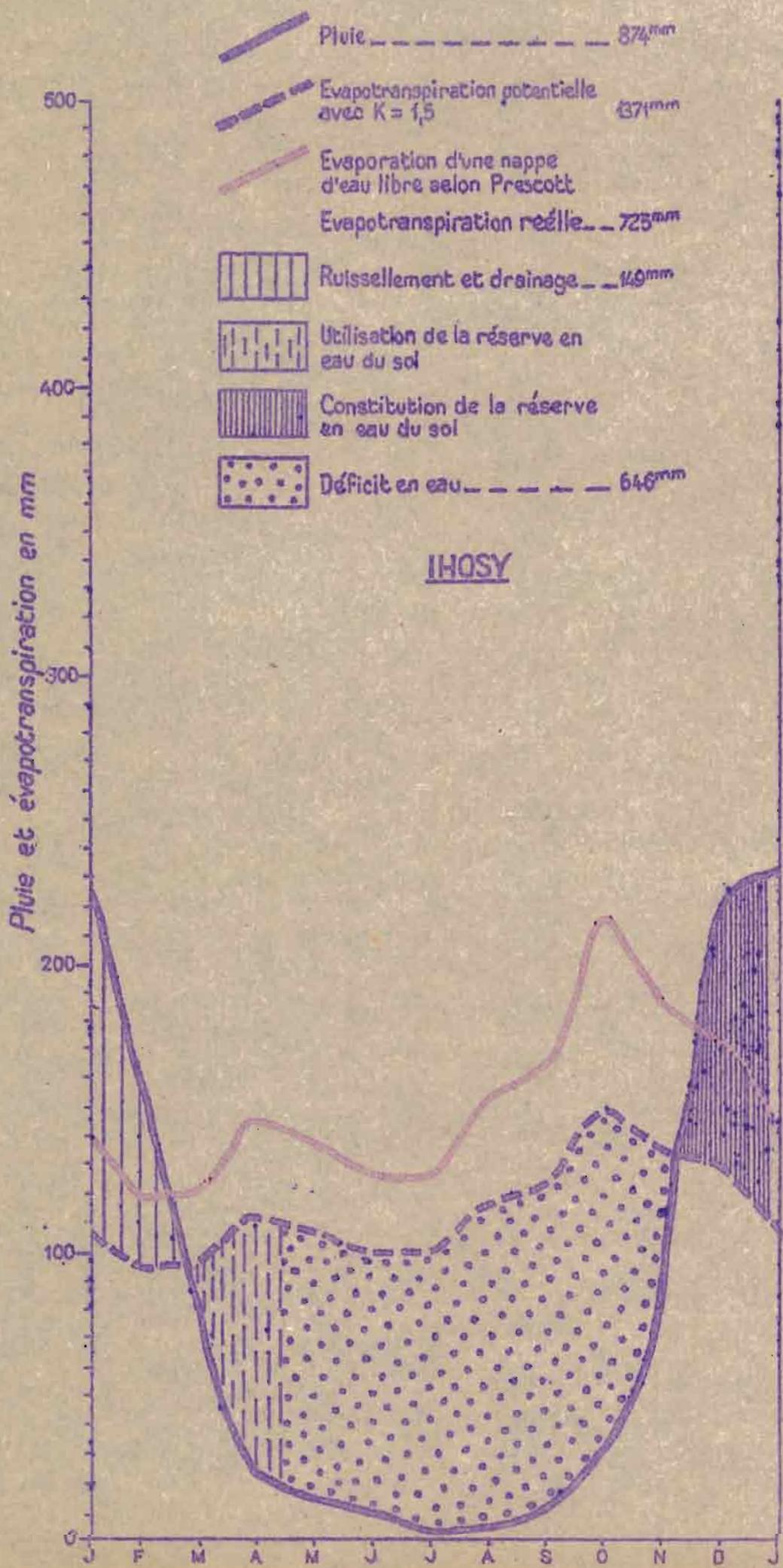


Deure

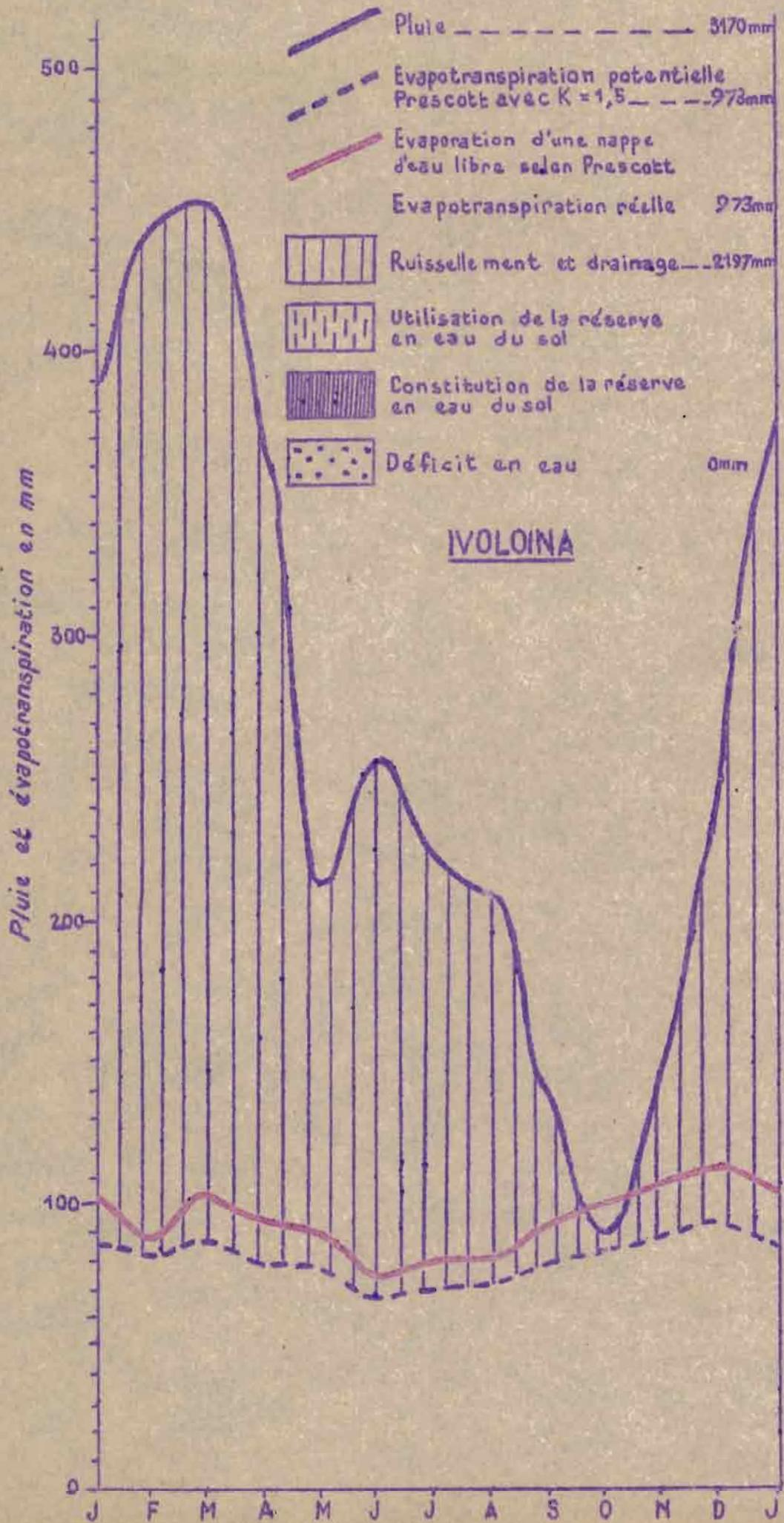


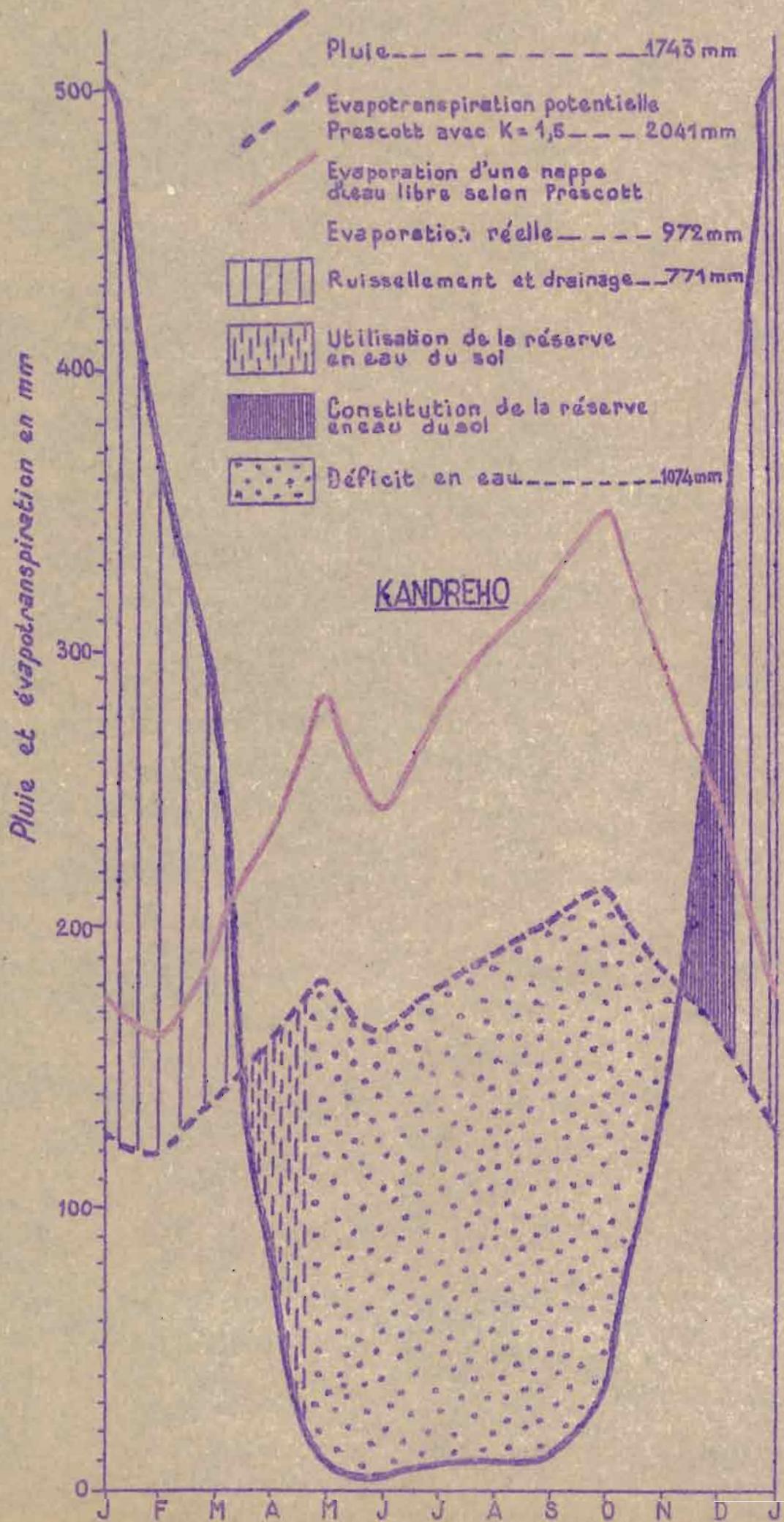


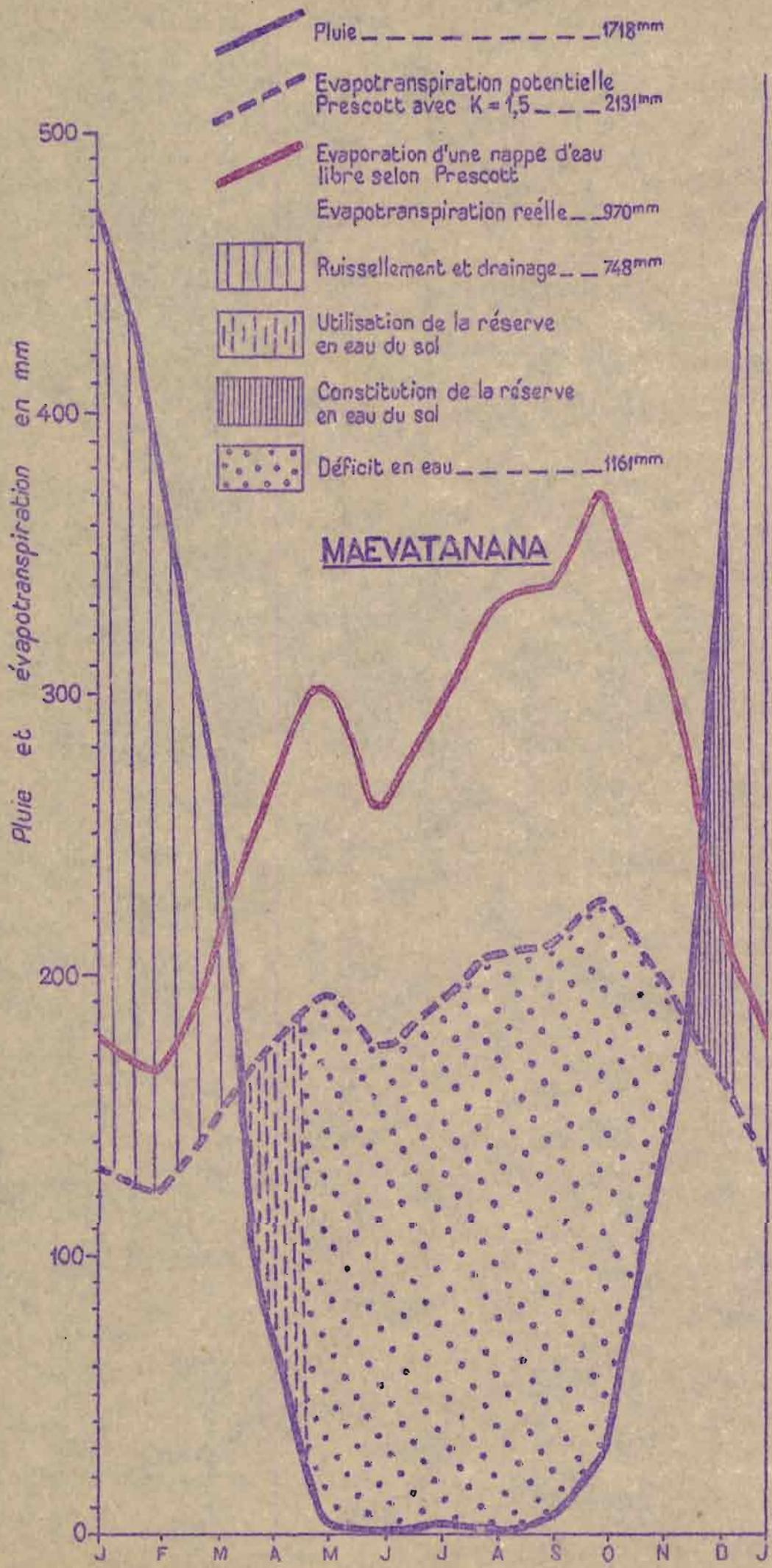


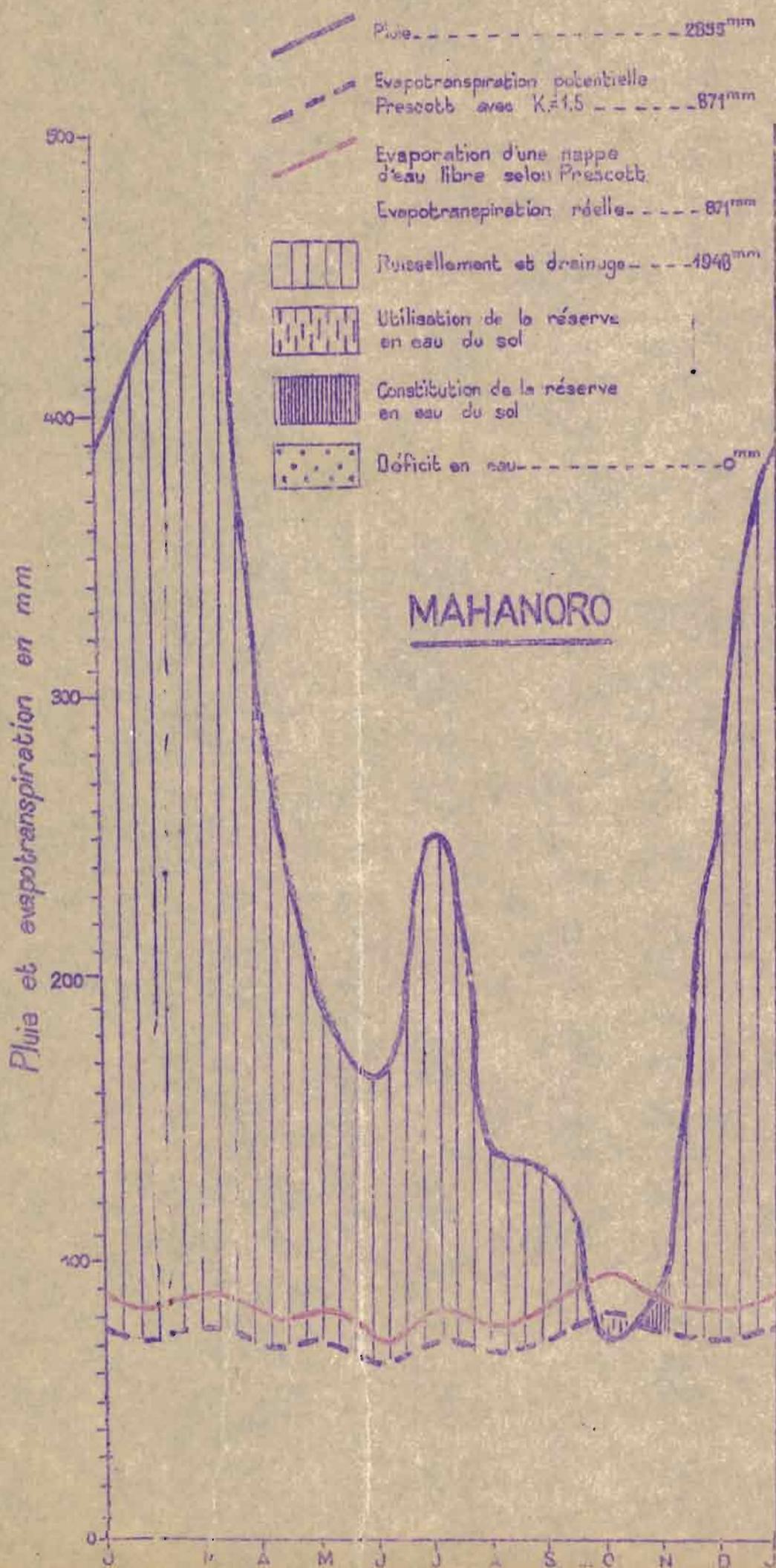


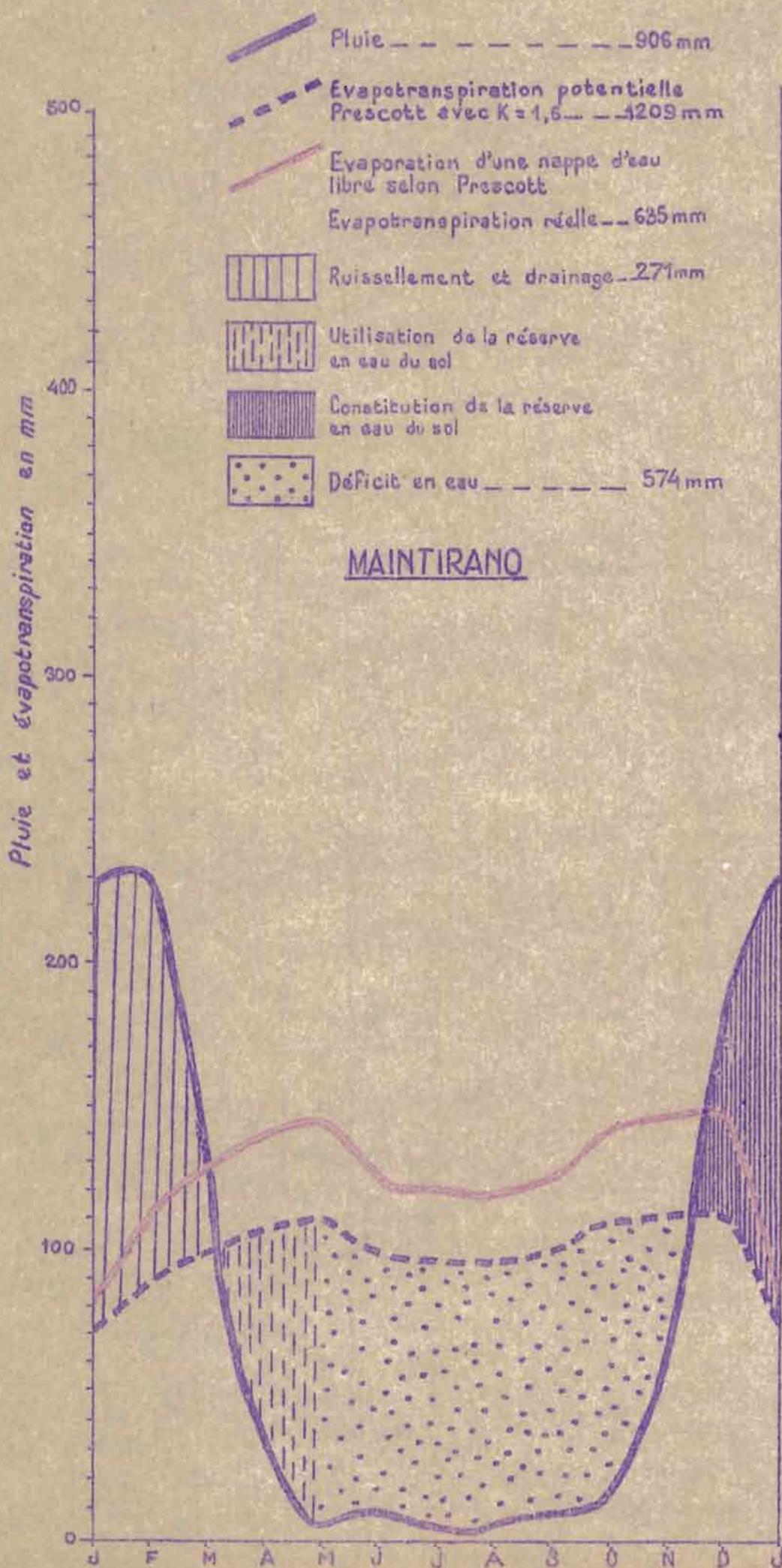
128/120-6.

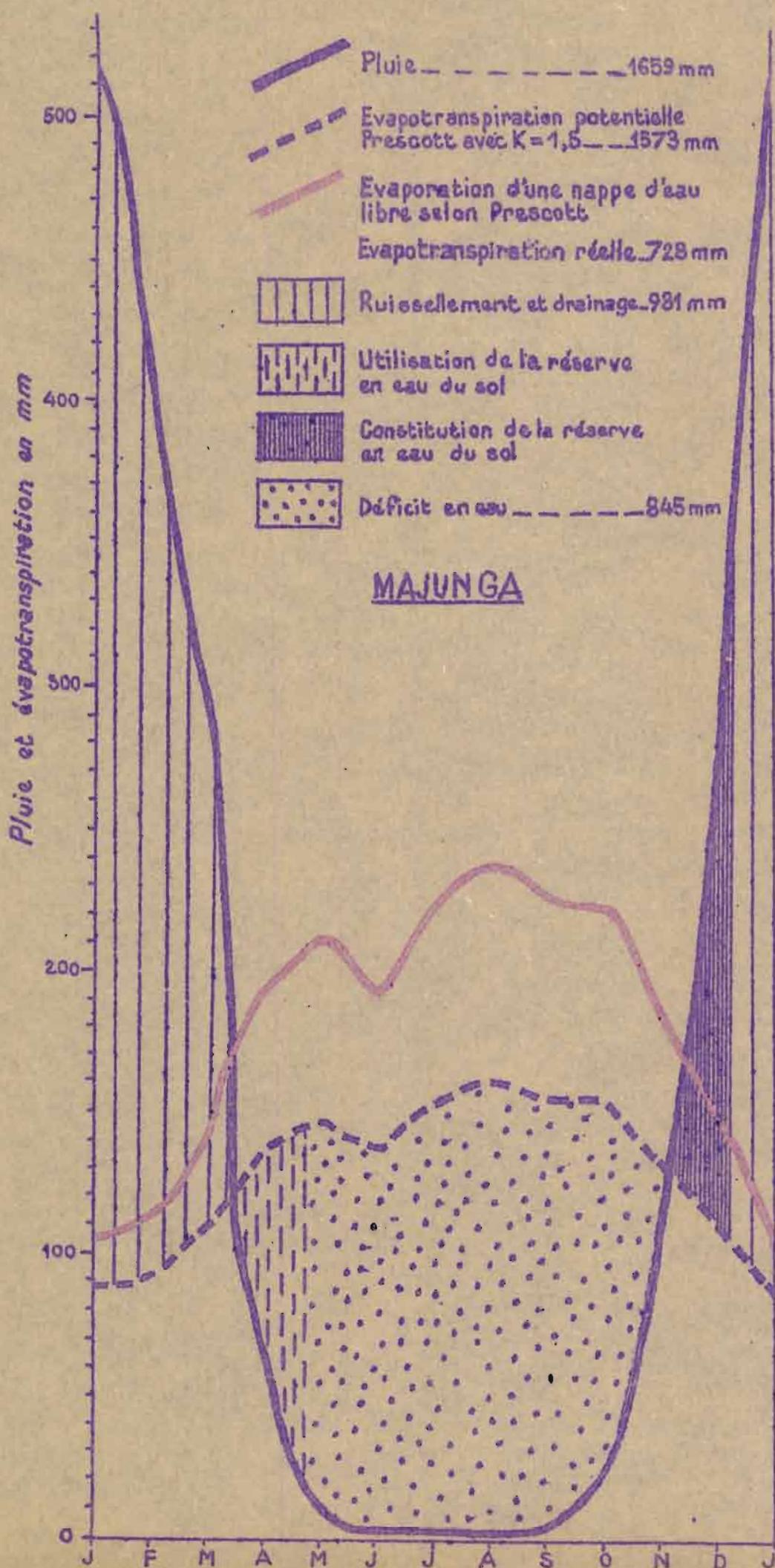


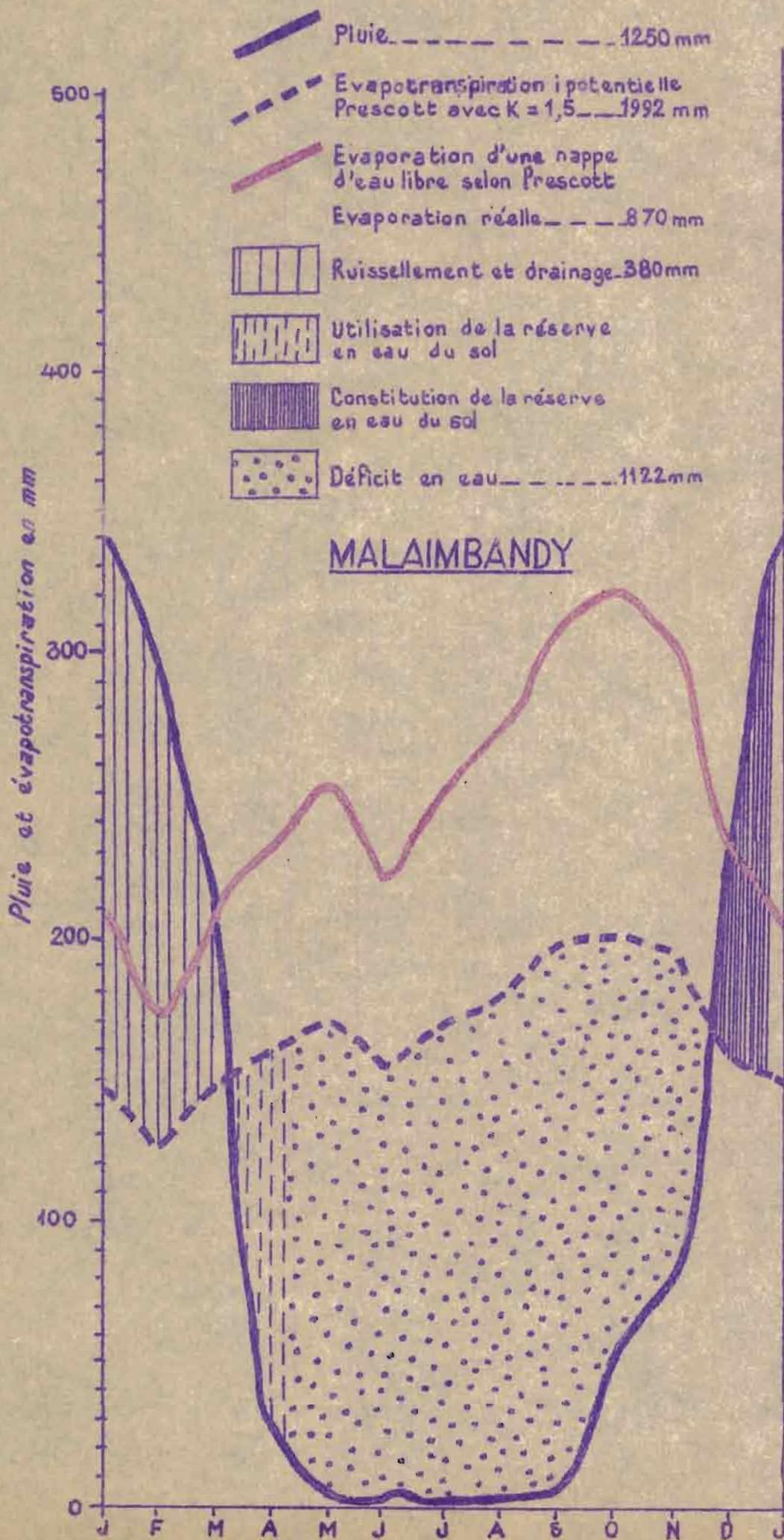


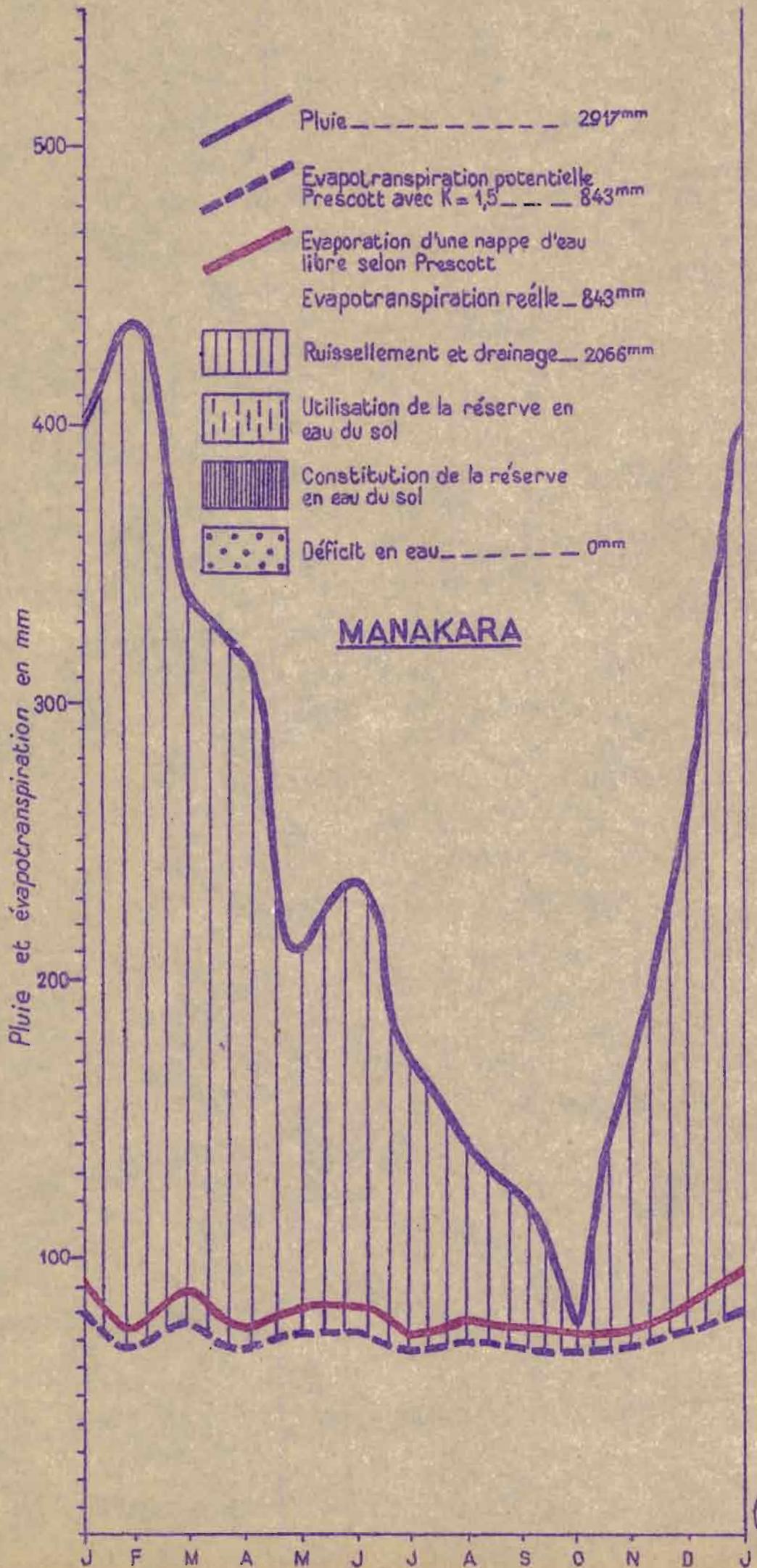


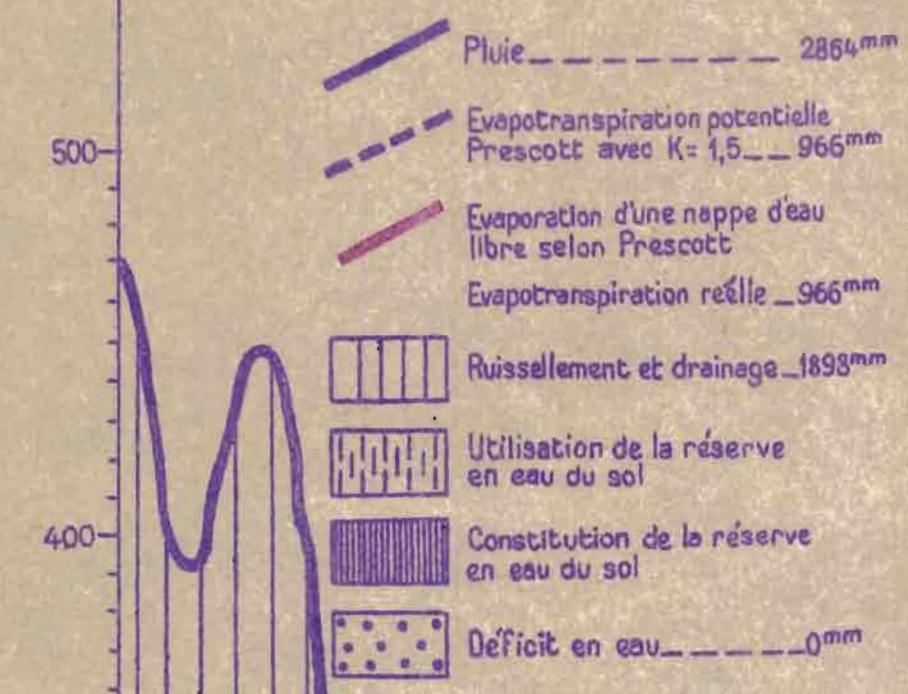




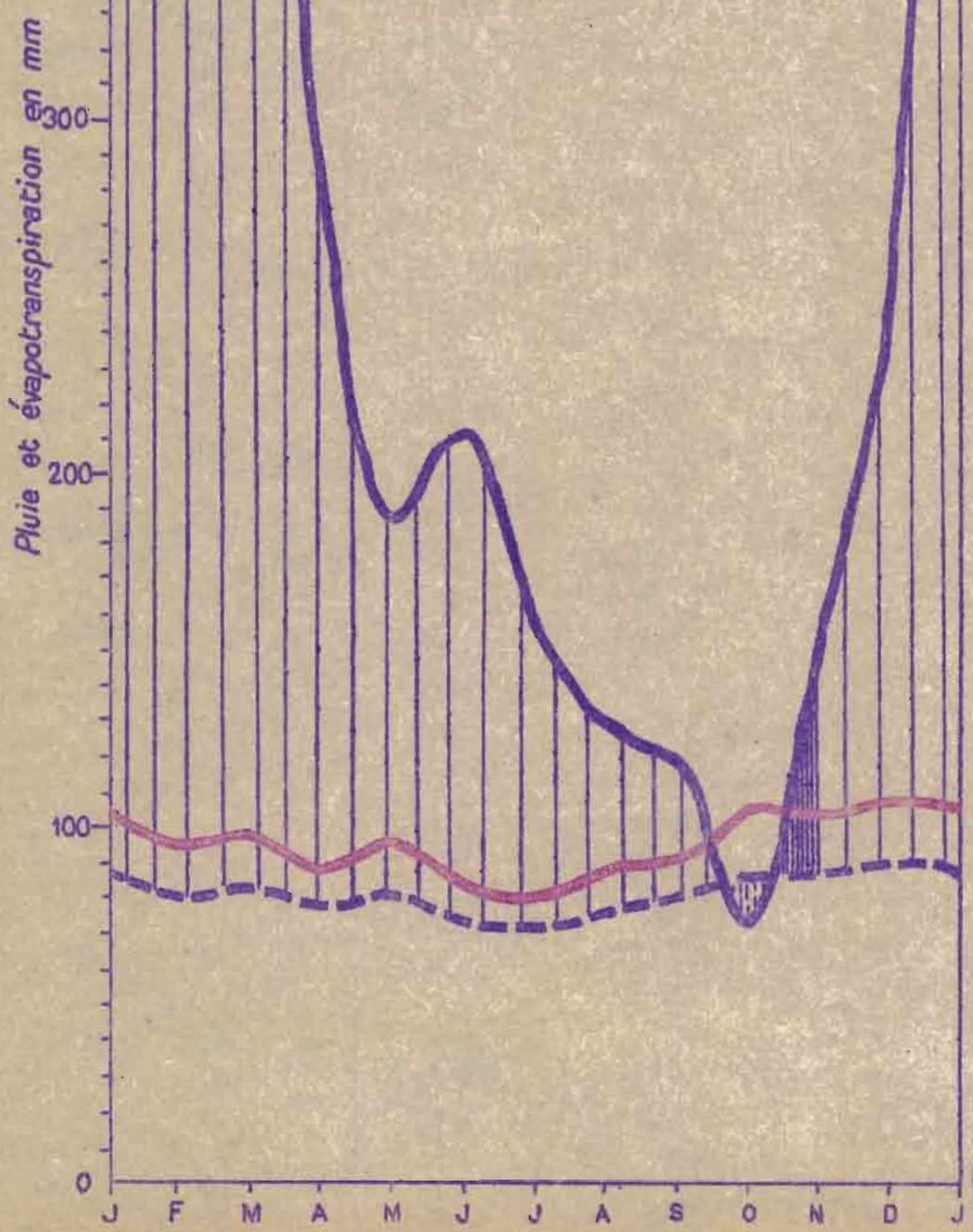


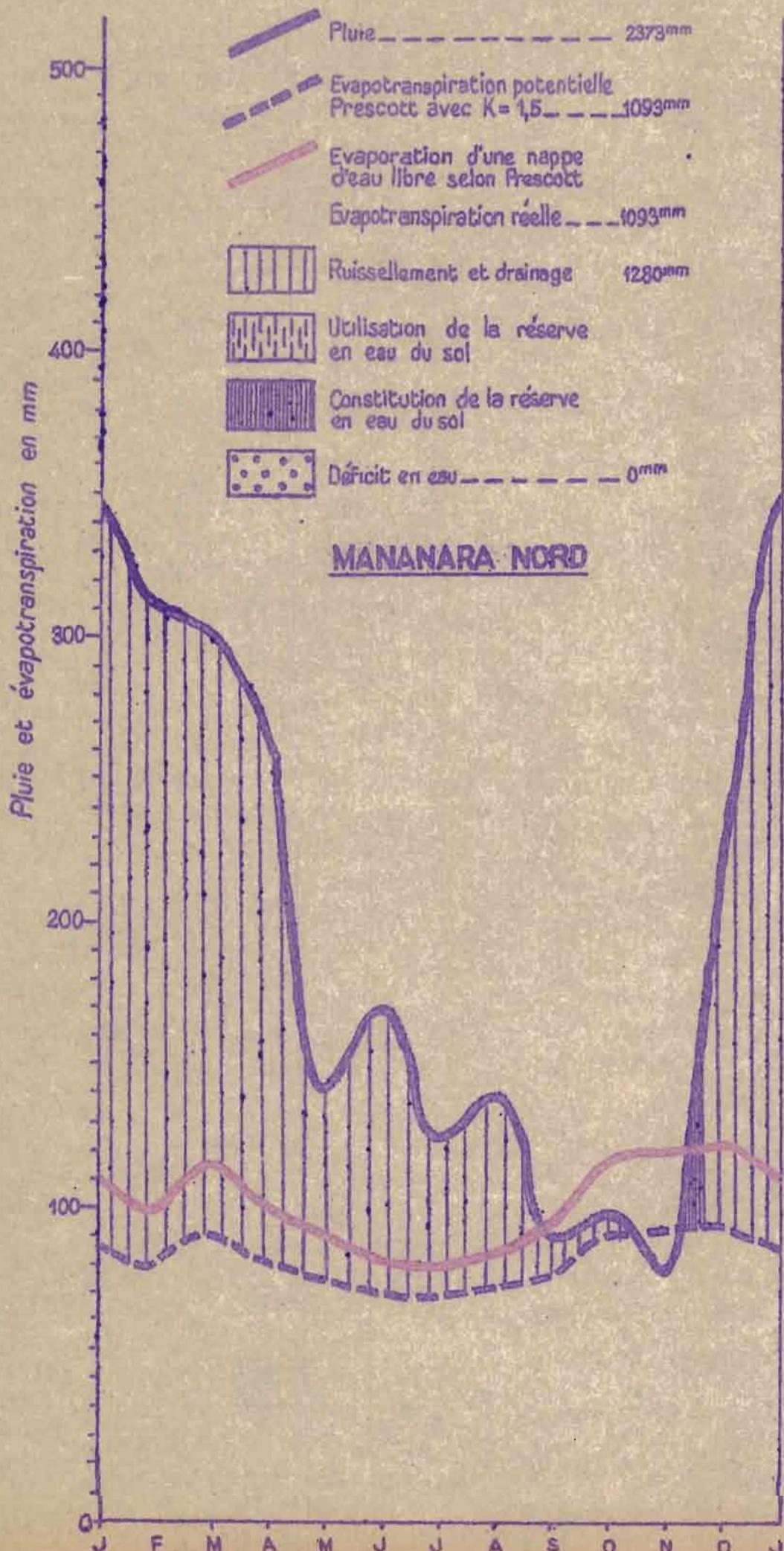


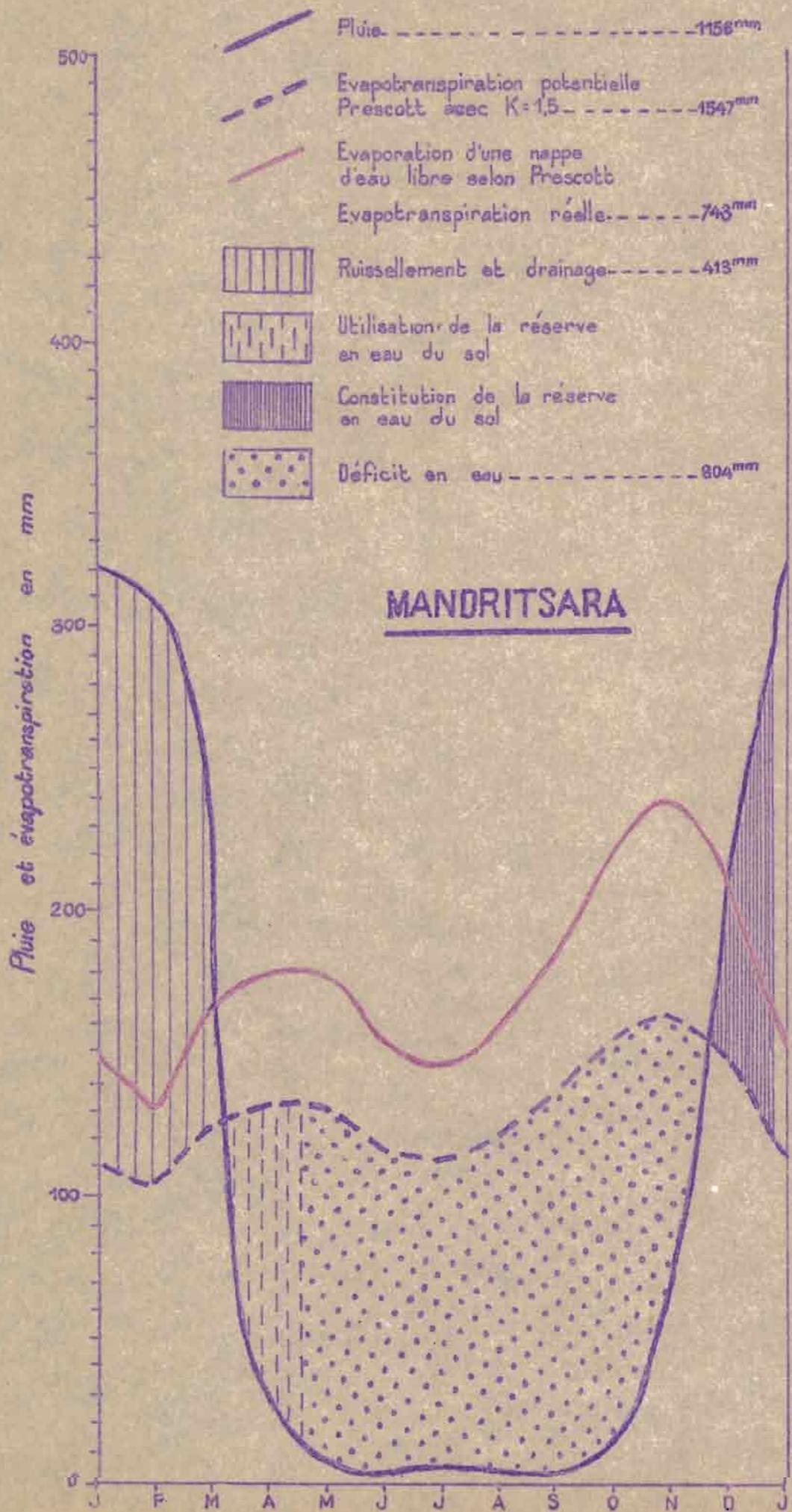




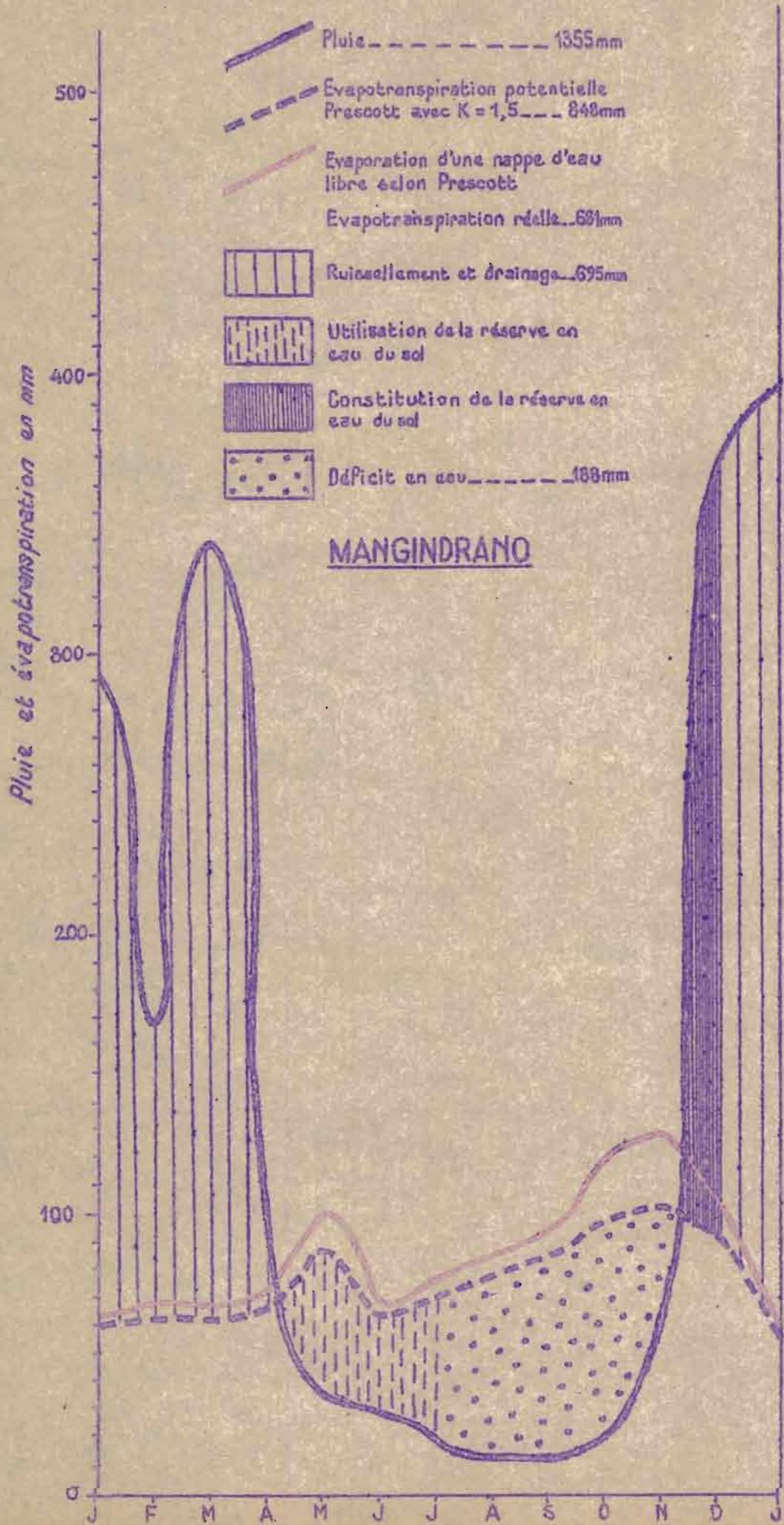
MANANJARY



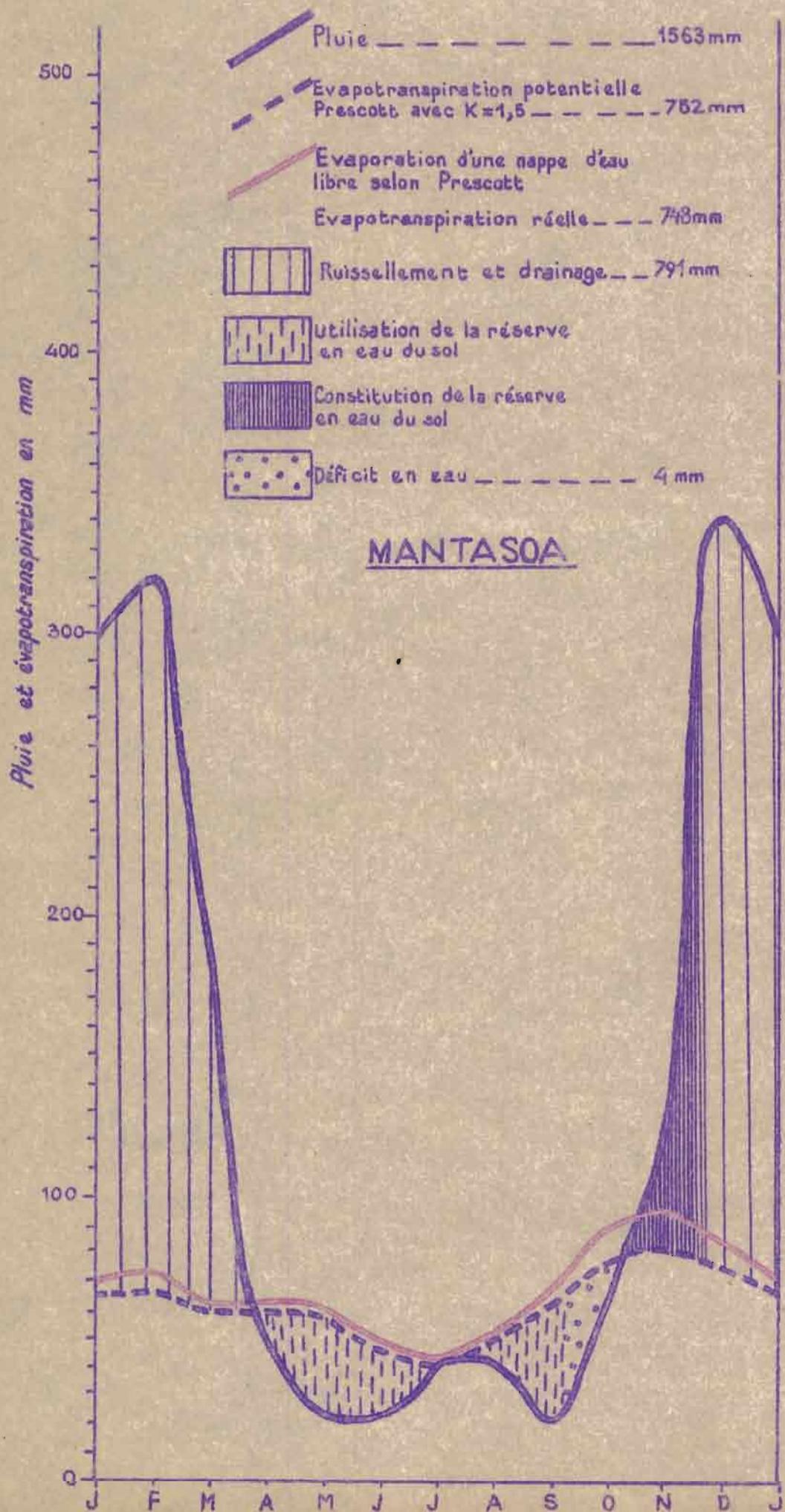


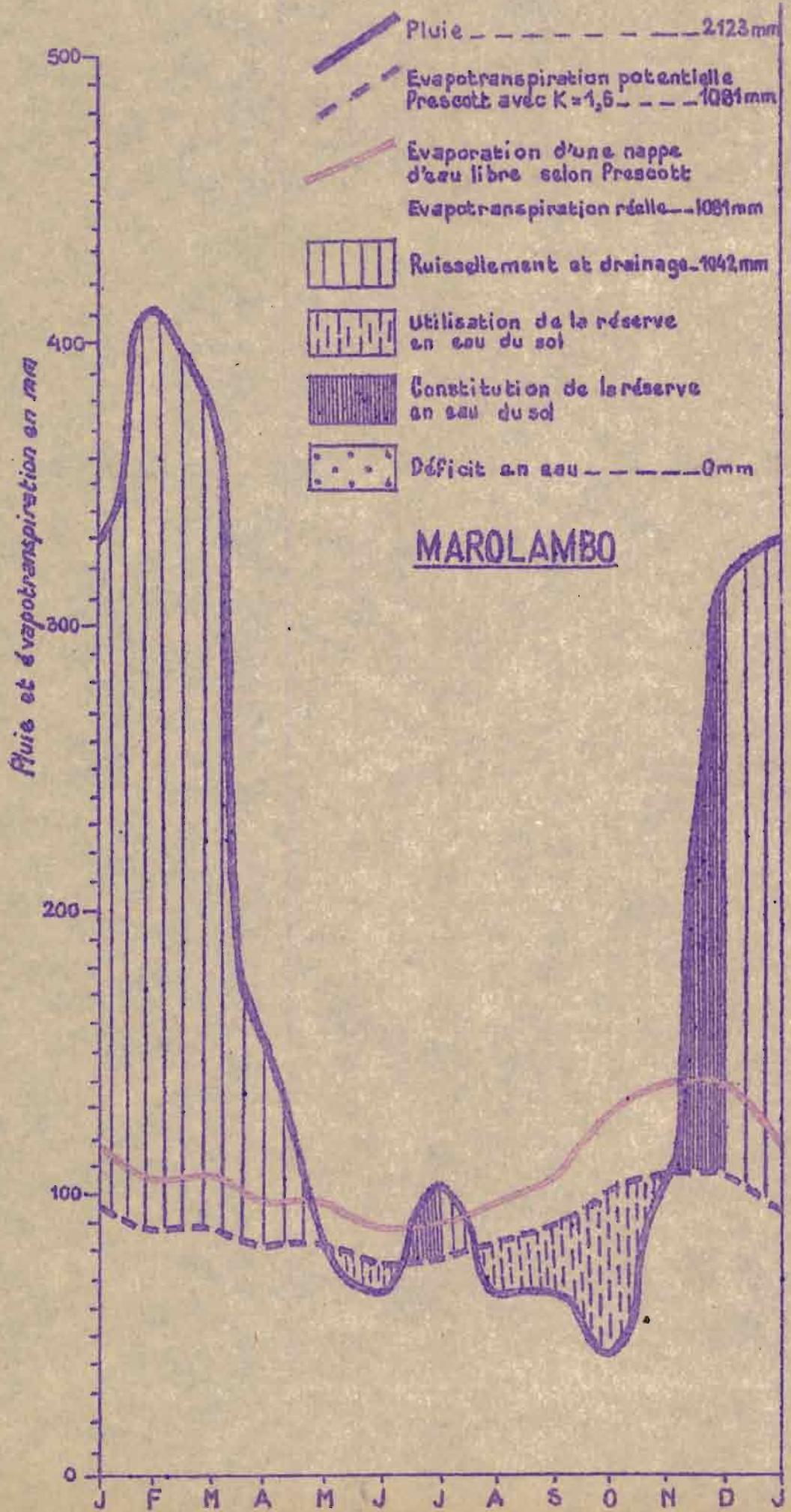


Désiré

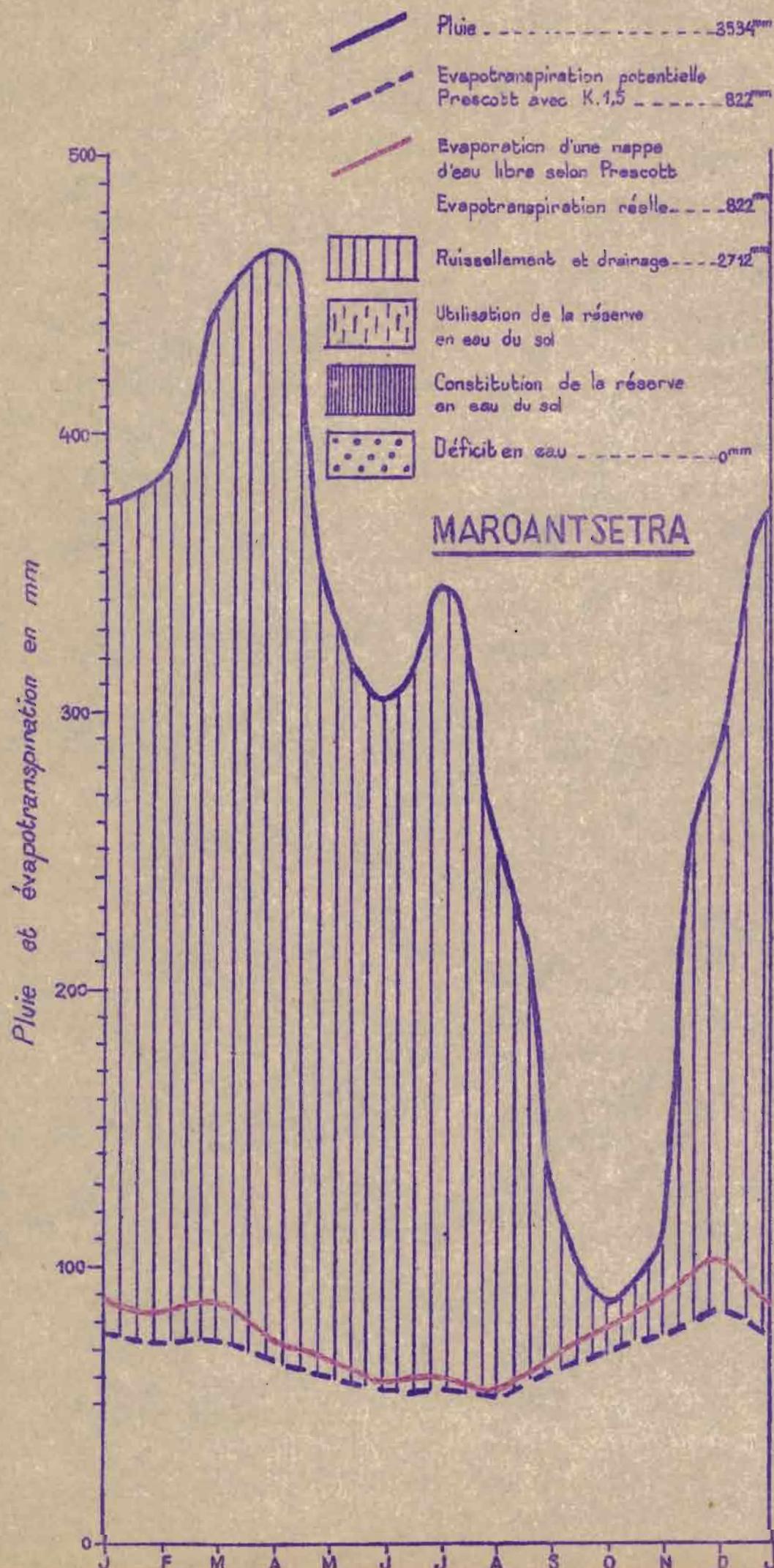


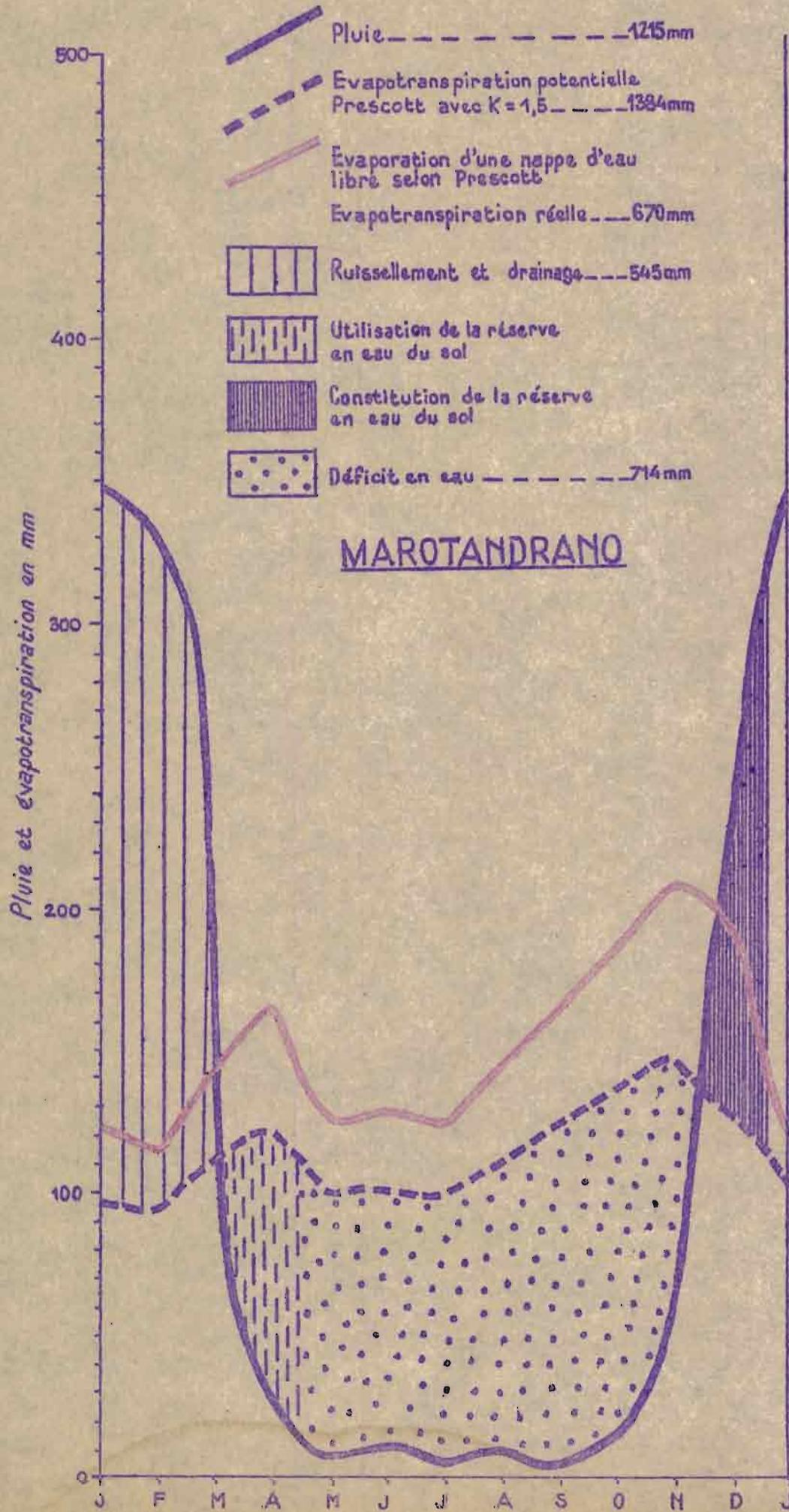
Ratsamantz



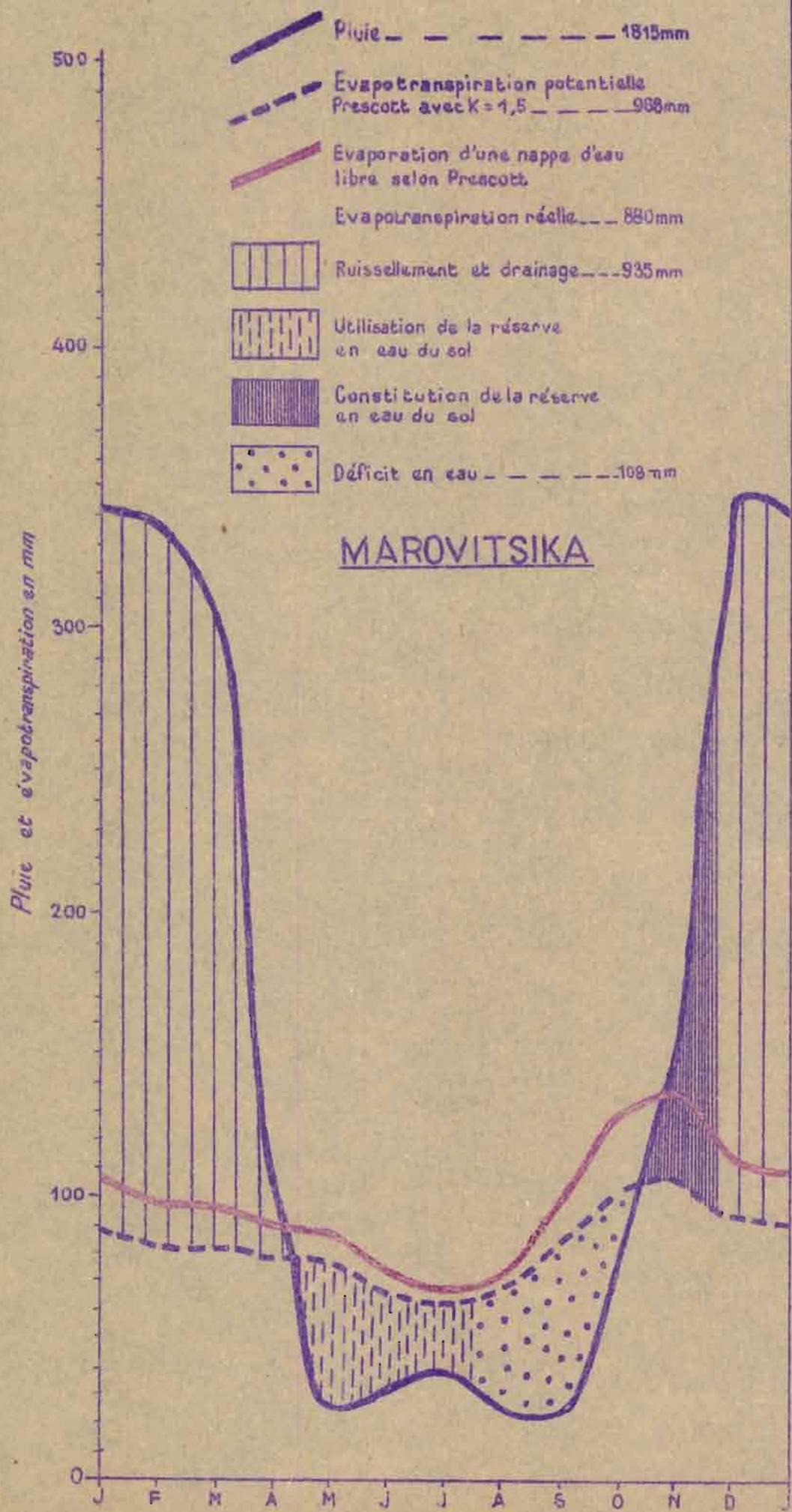


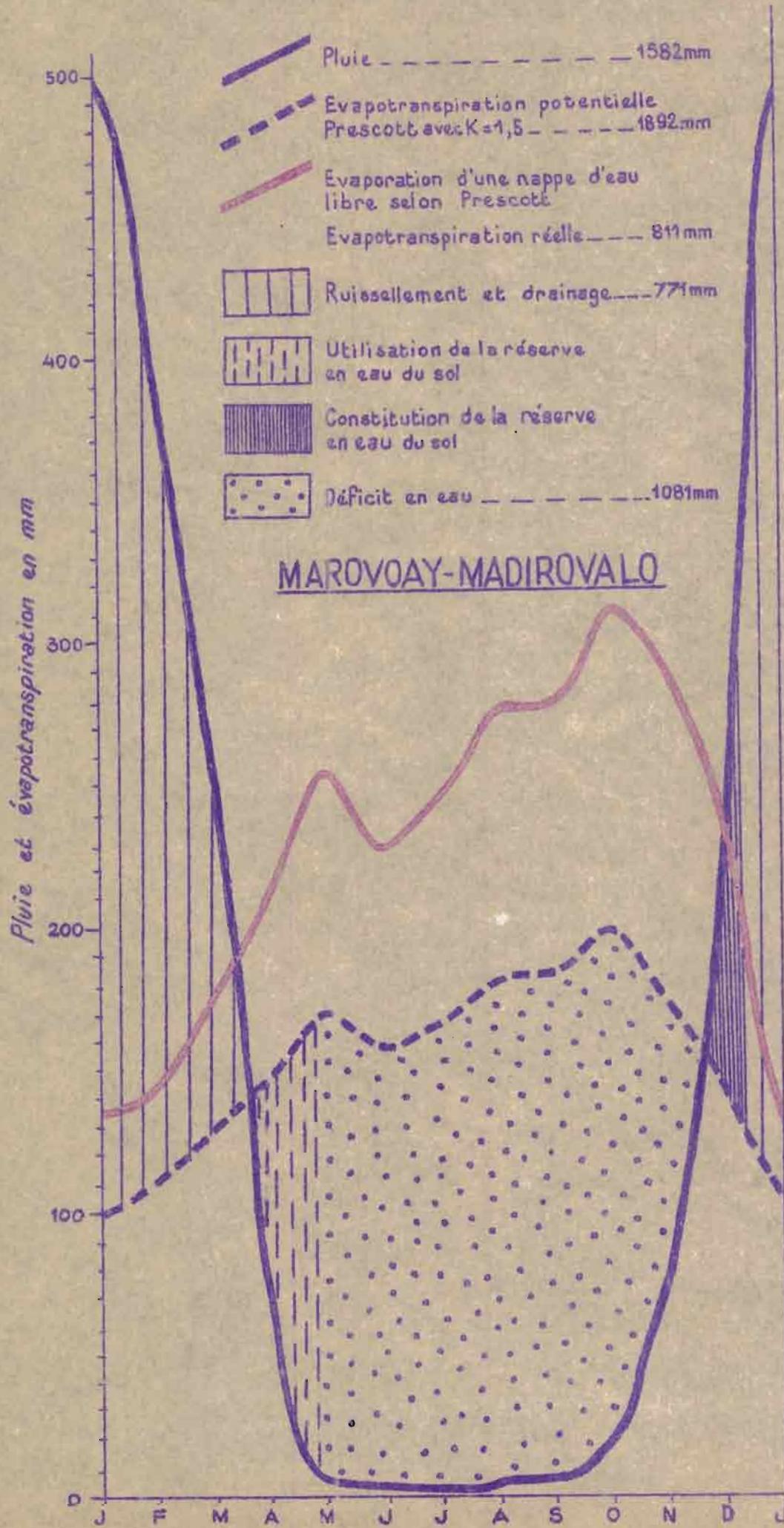
R. Boumanga



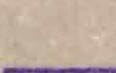


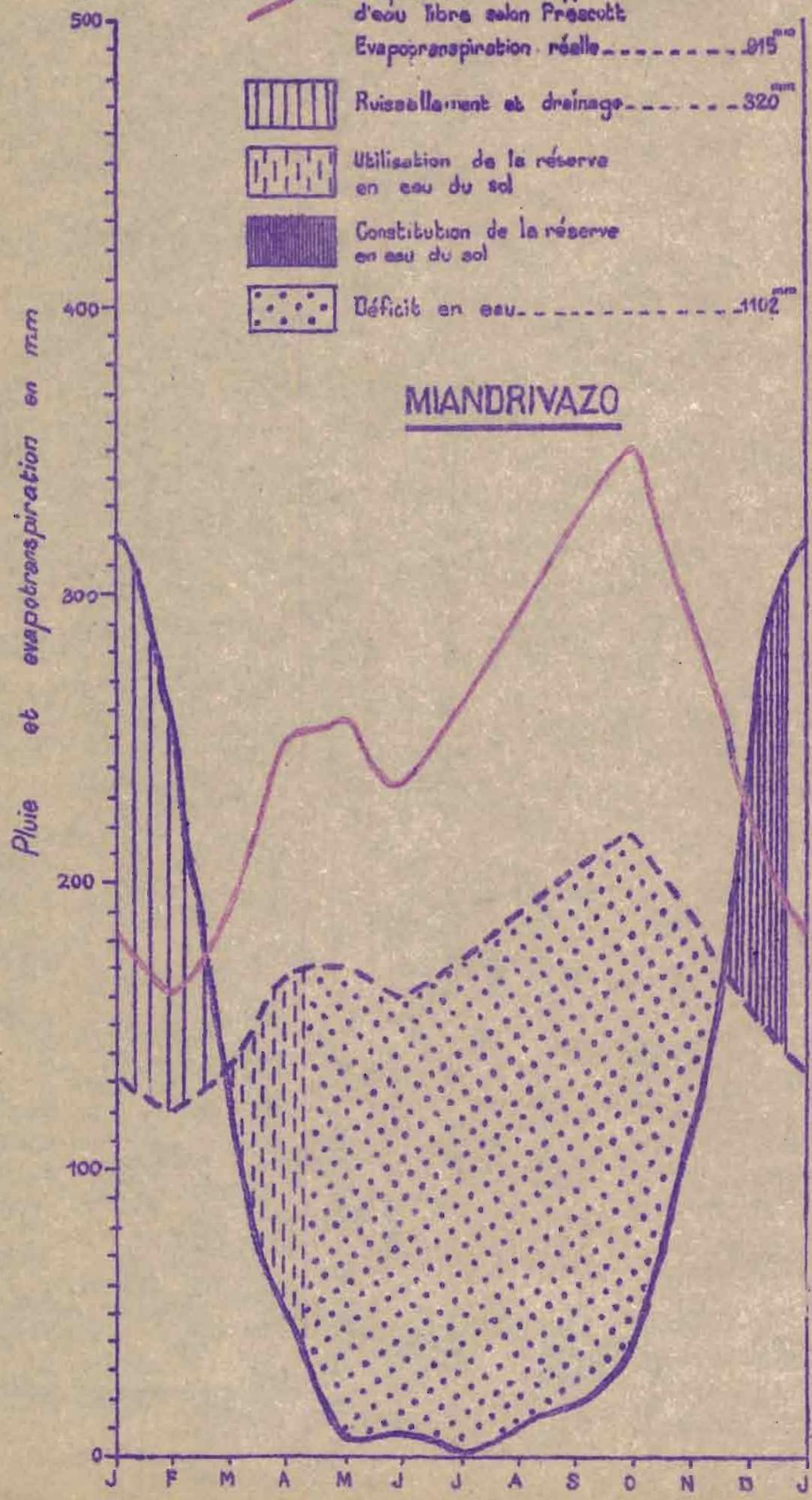
K. 2500m aha

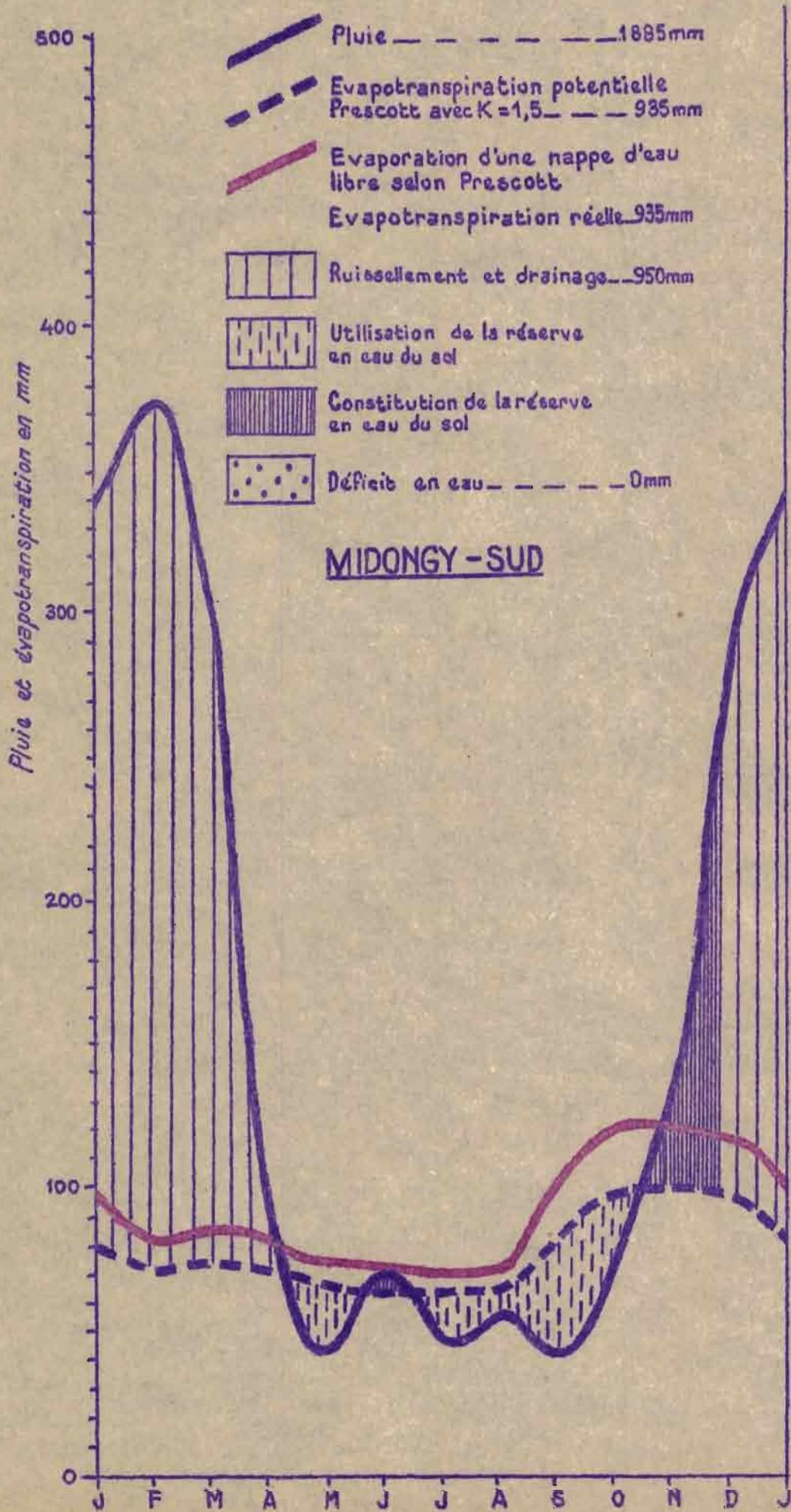


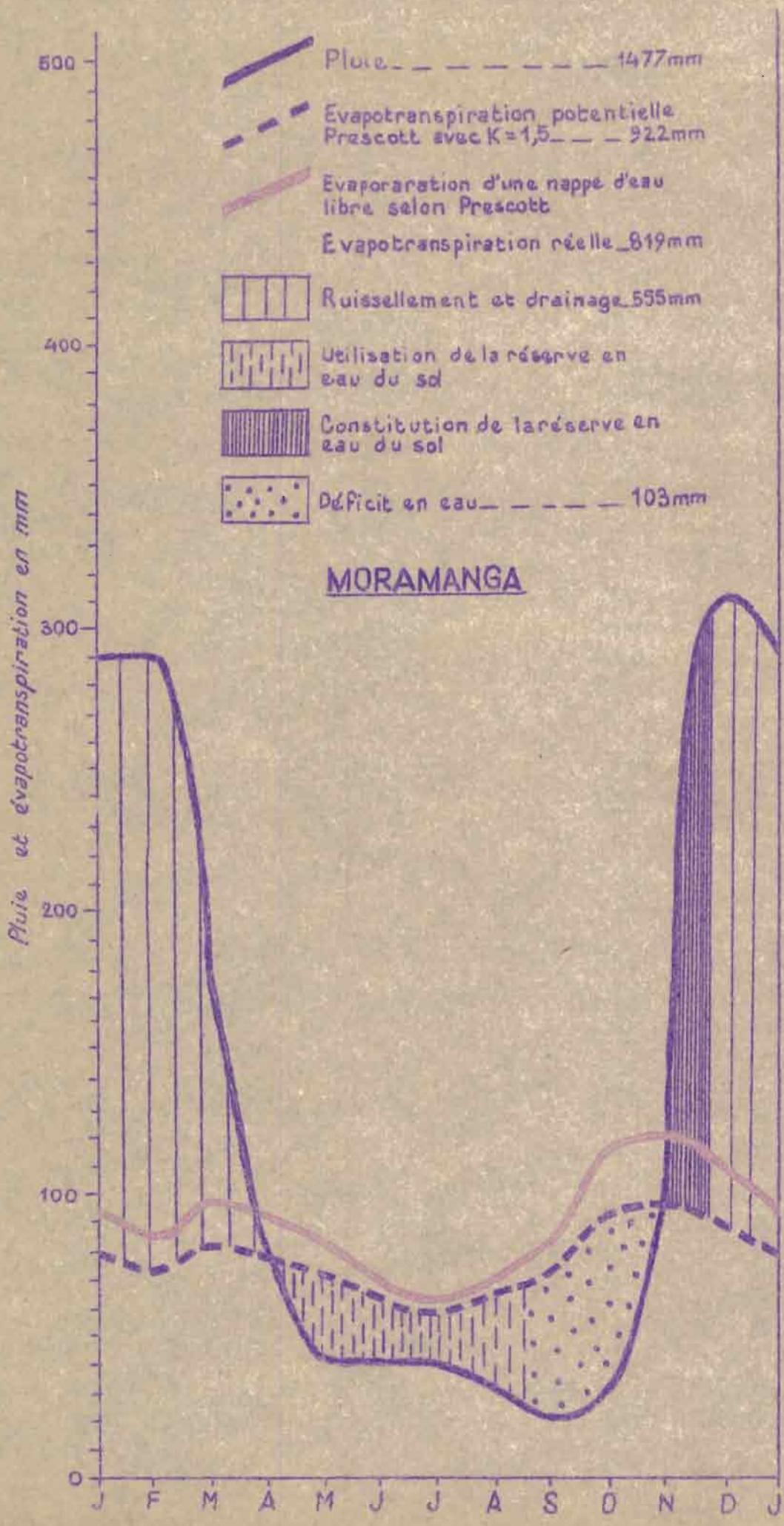


Rajonmida an. 2002

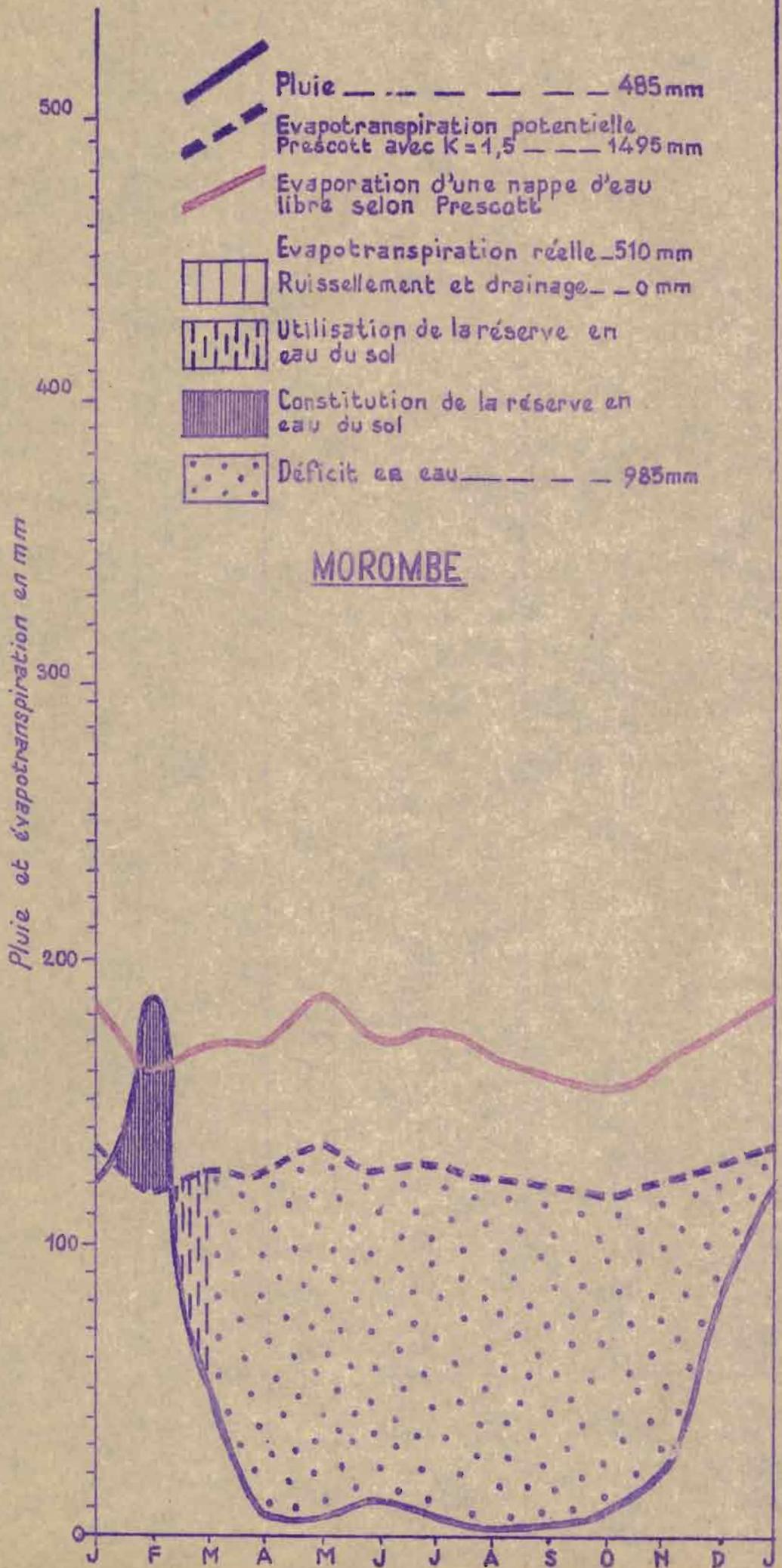
-  Pluie 1235^{mm}
-  Evapotranspiration potentielle Prescott avec $K=1,5$ 2017^{mm}
-  Evaporation d'une nappe d'eau libre selon Prescott
-  Evapotranspiration réelle 915^{mm}
-  Ruissellement et drainage 320^{mm}
-  Utilisation de la réserve en eau du sol
-  Constitution de la réserve en eau du sol
-  Déficit en eau 1102^{mm}



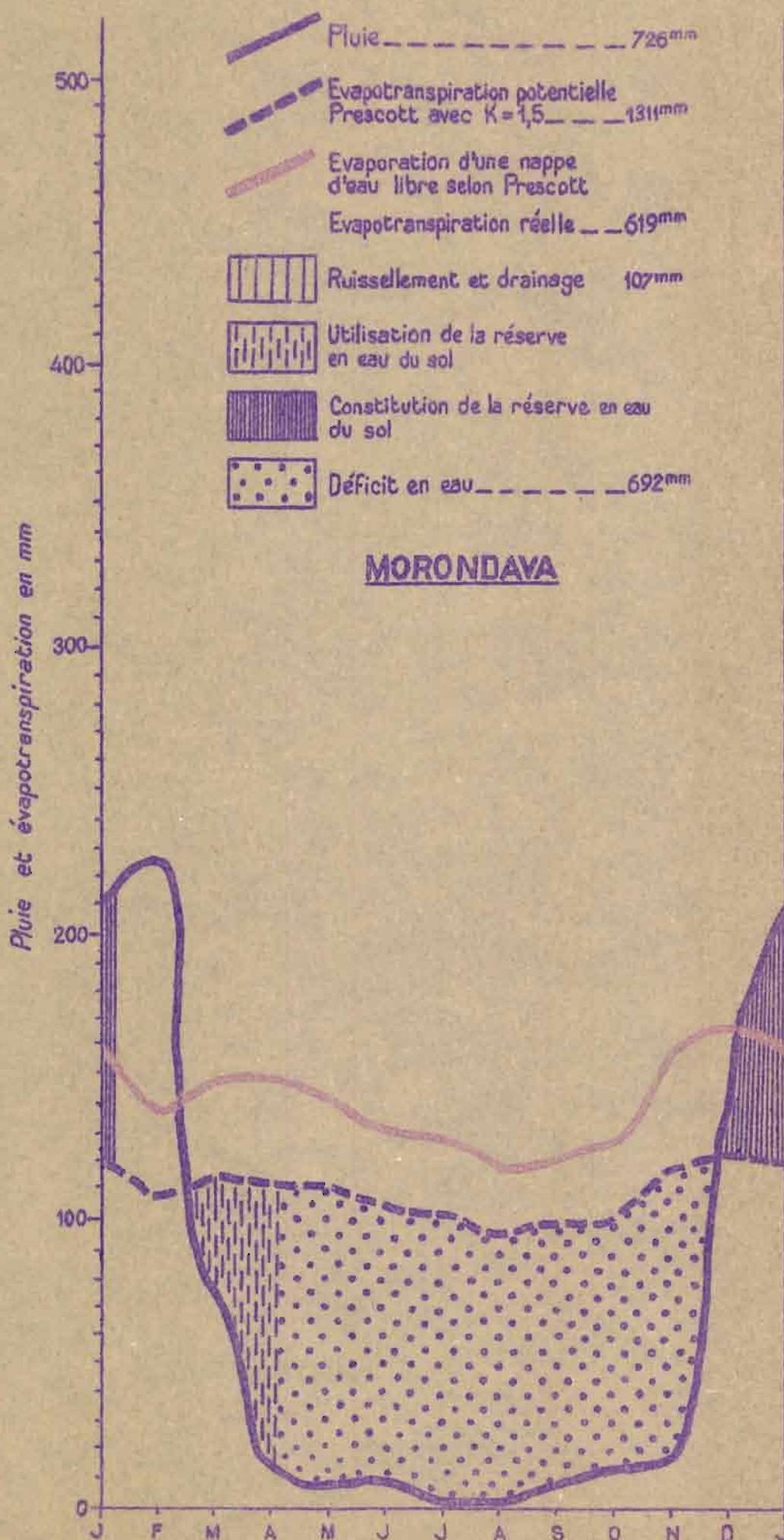


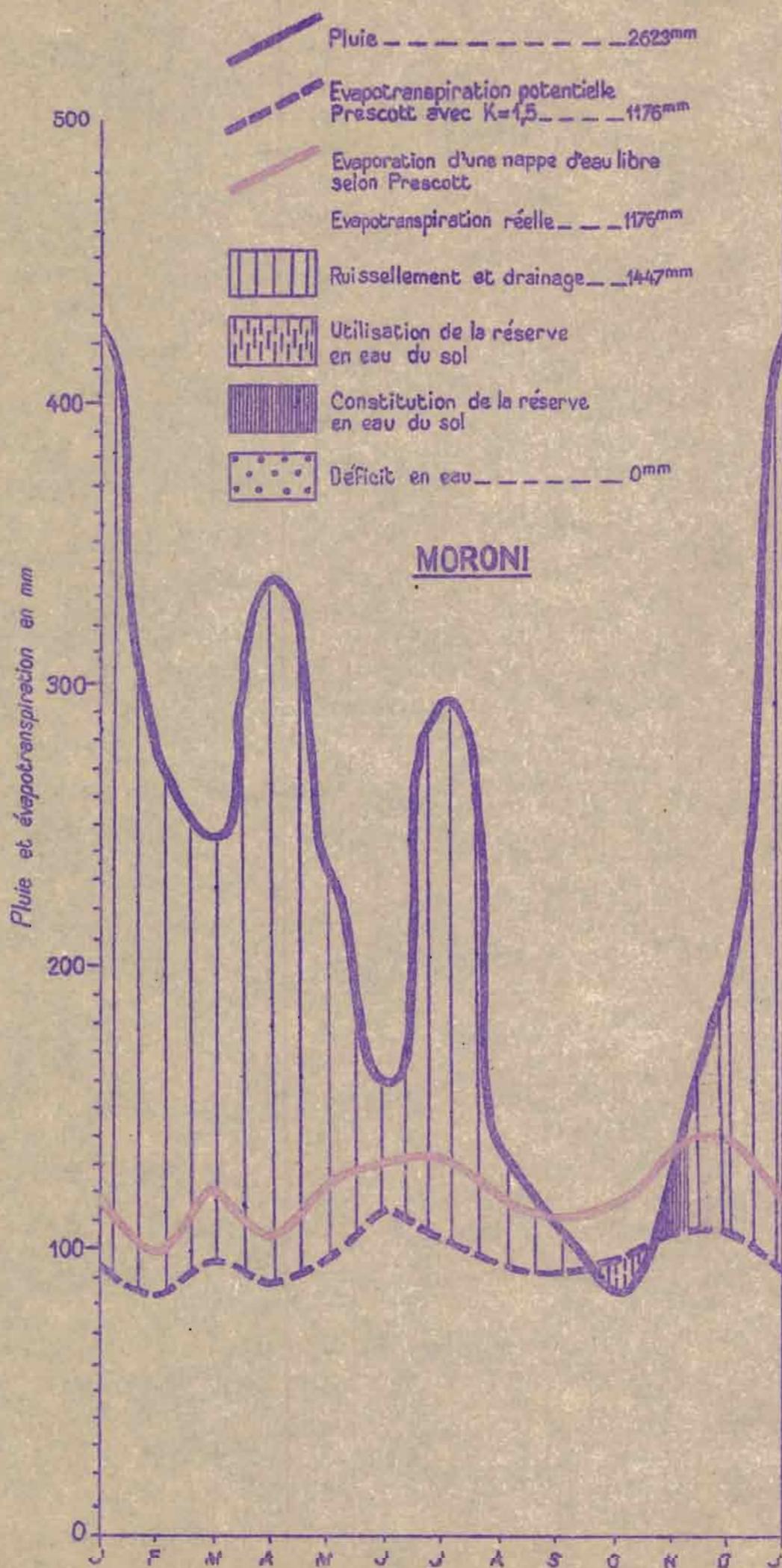


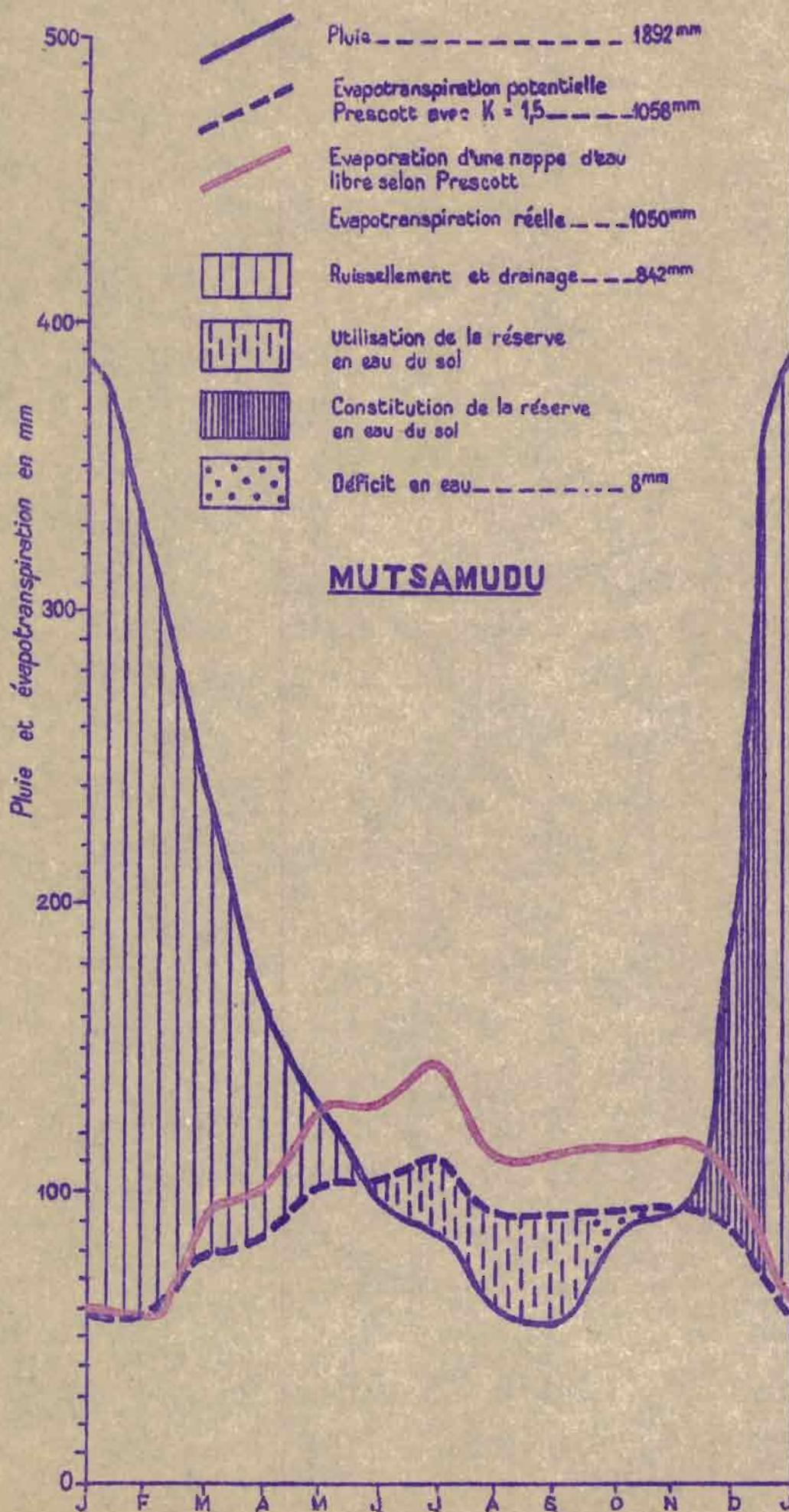
BUREAU D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES



Ag. 2208mm 1972/73

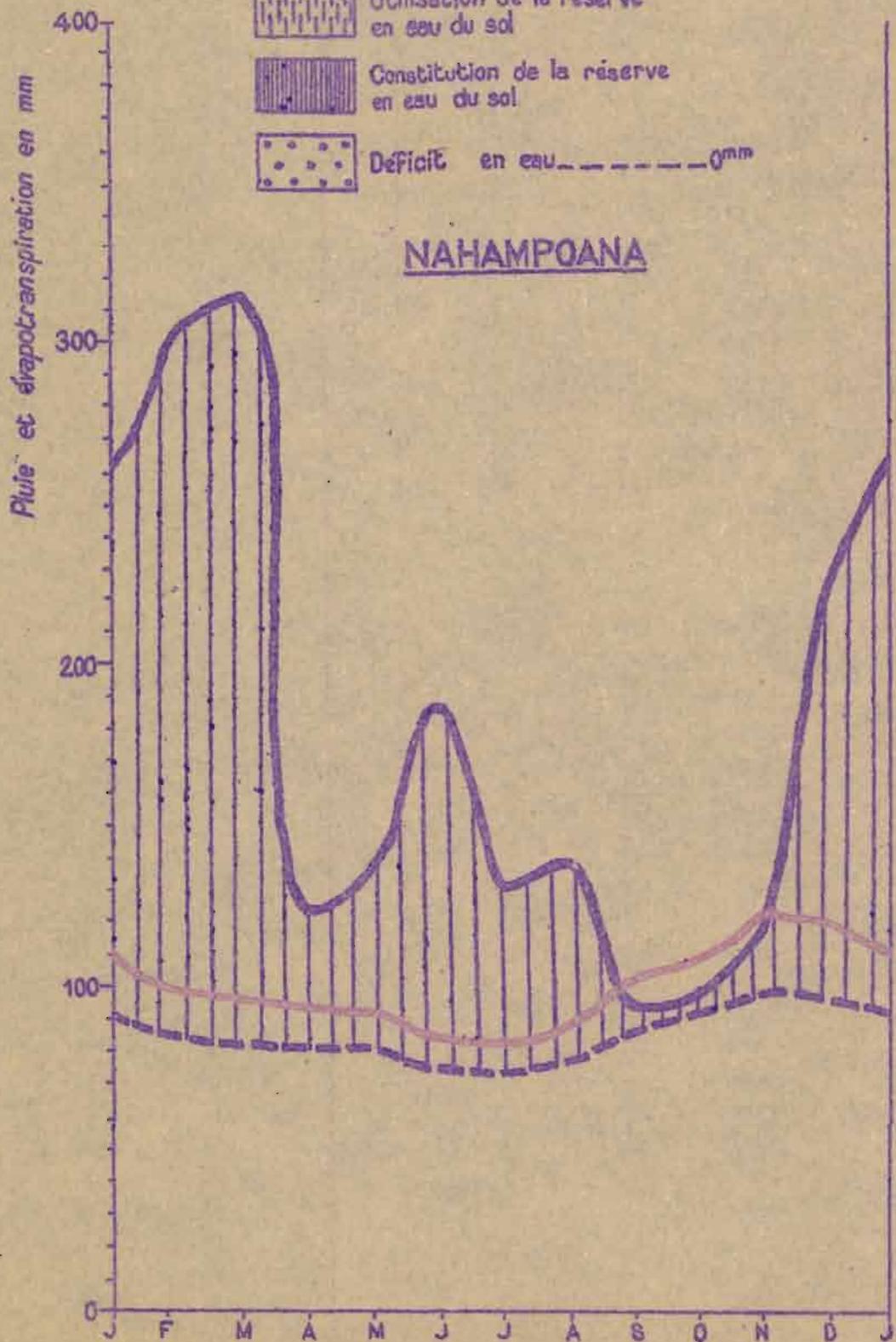


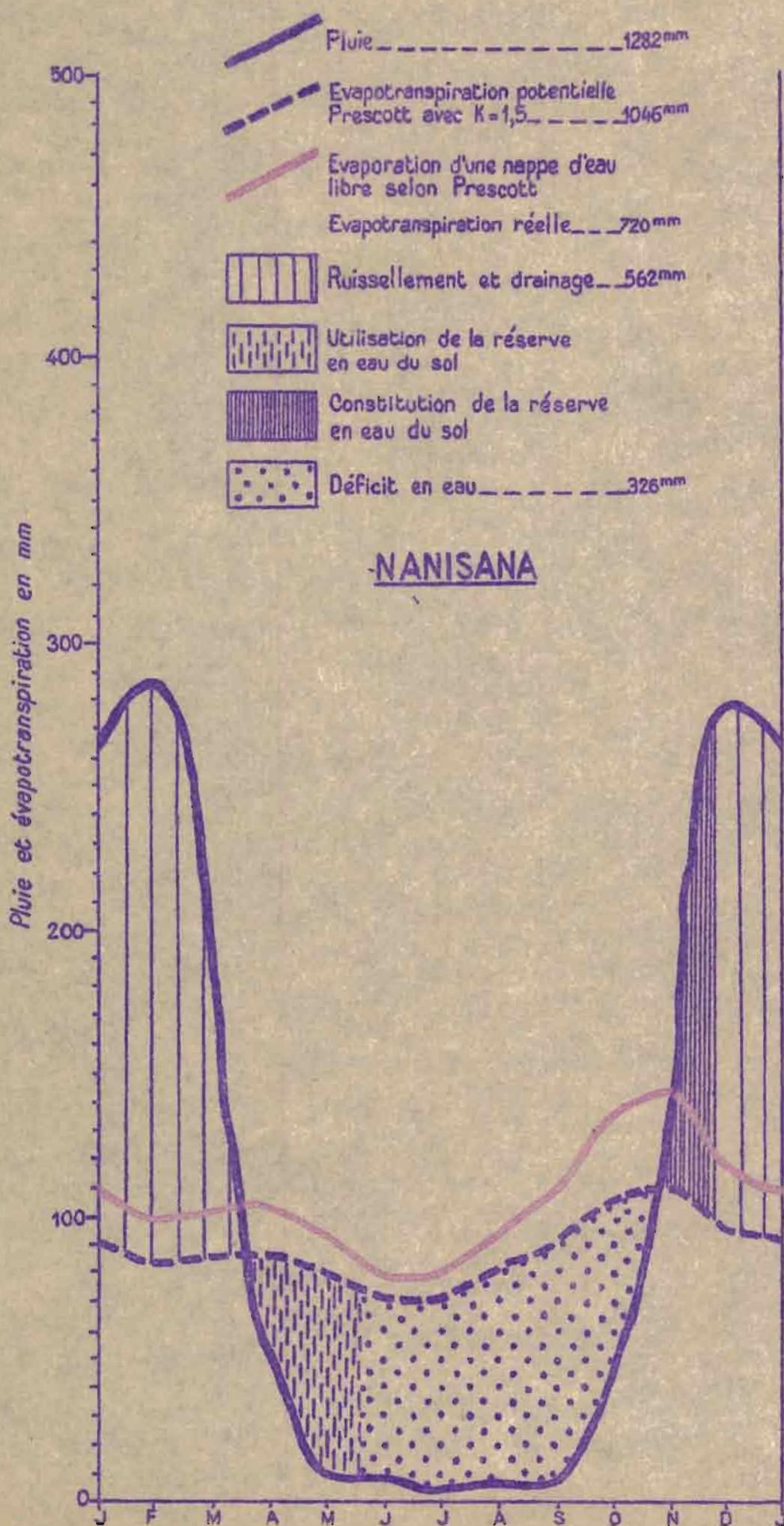


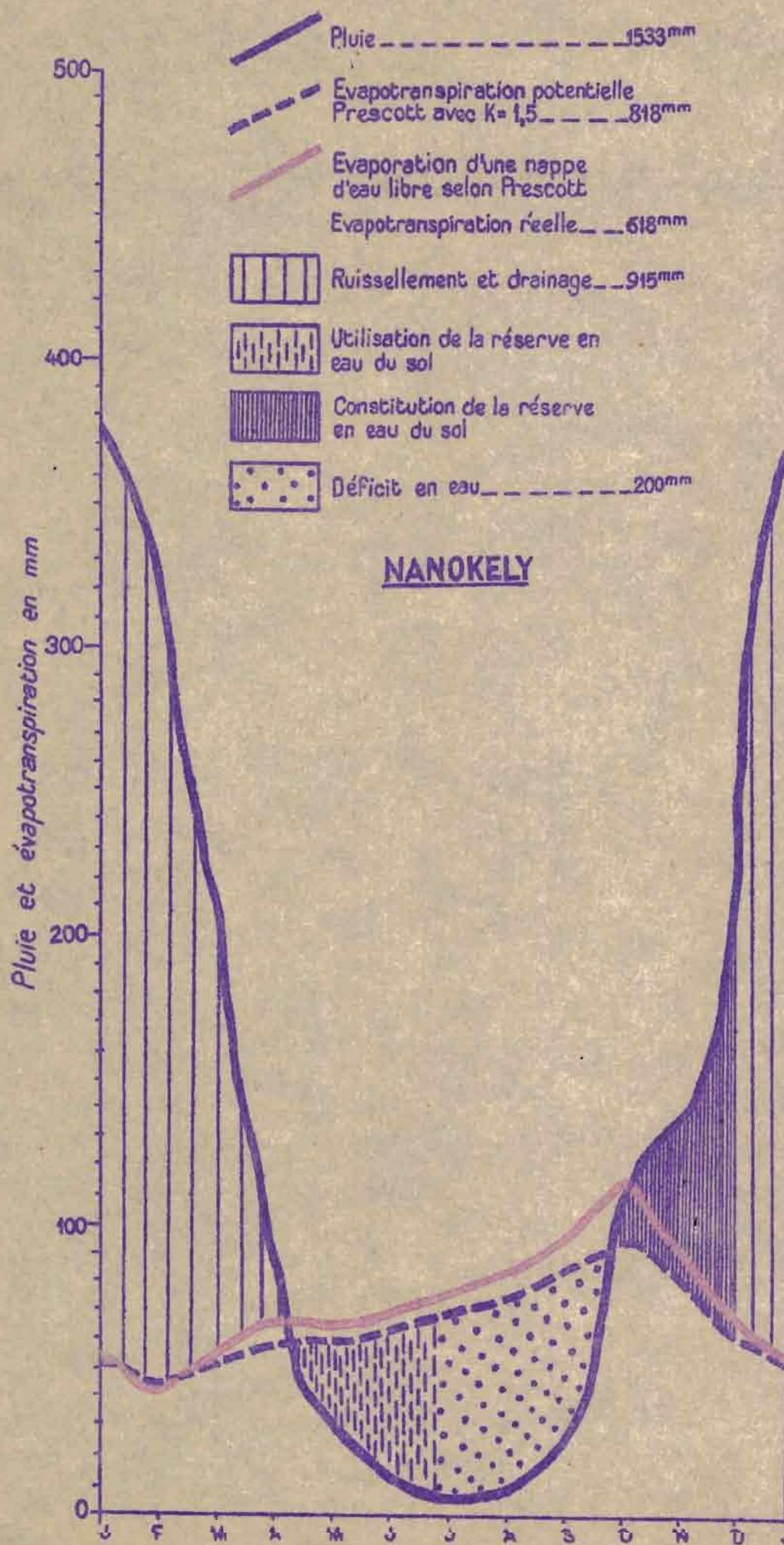


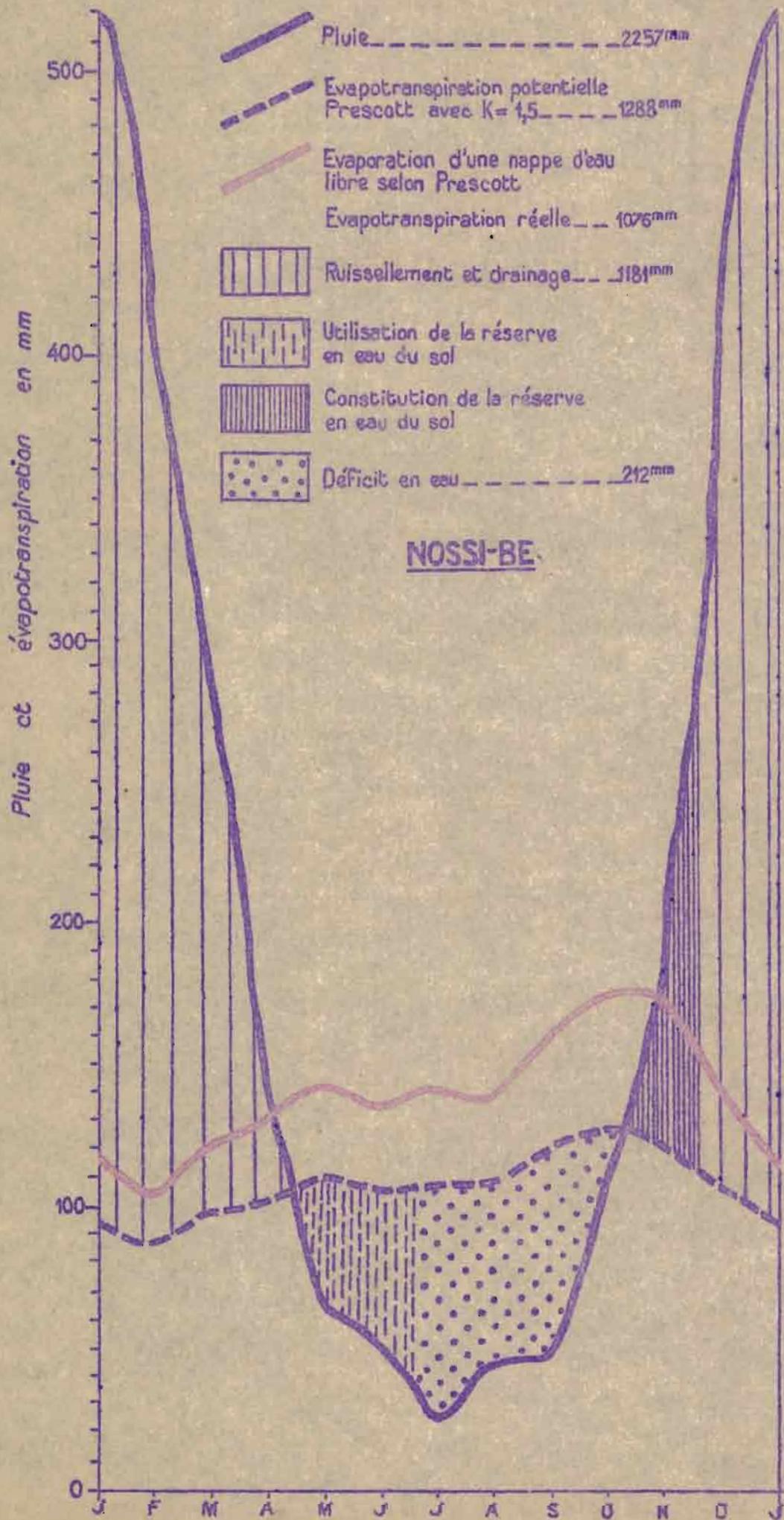


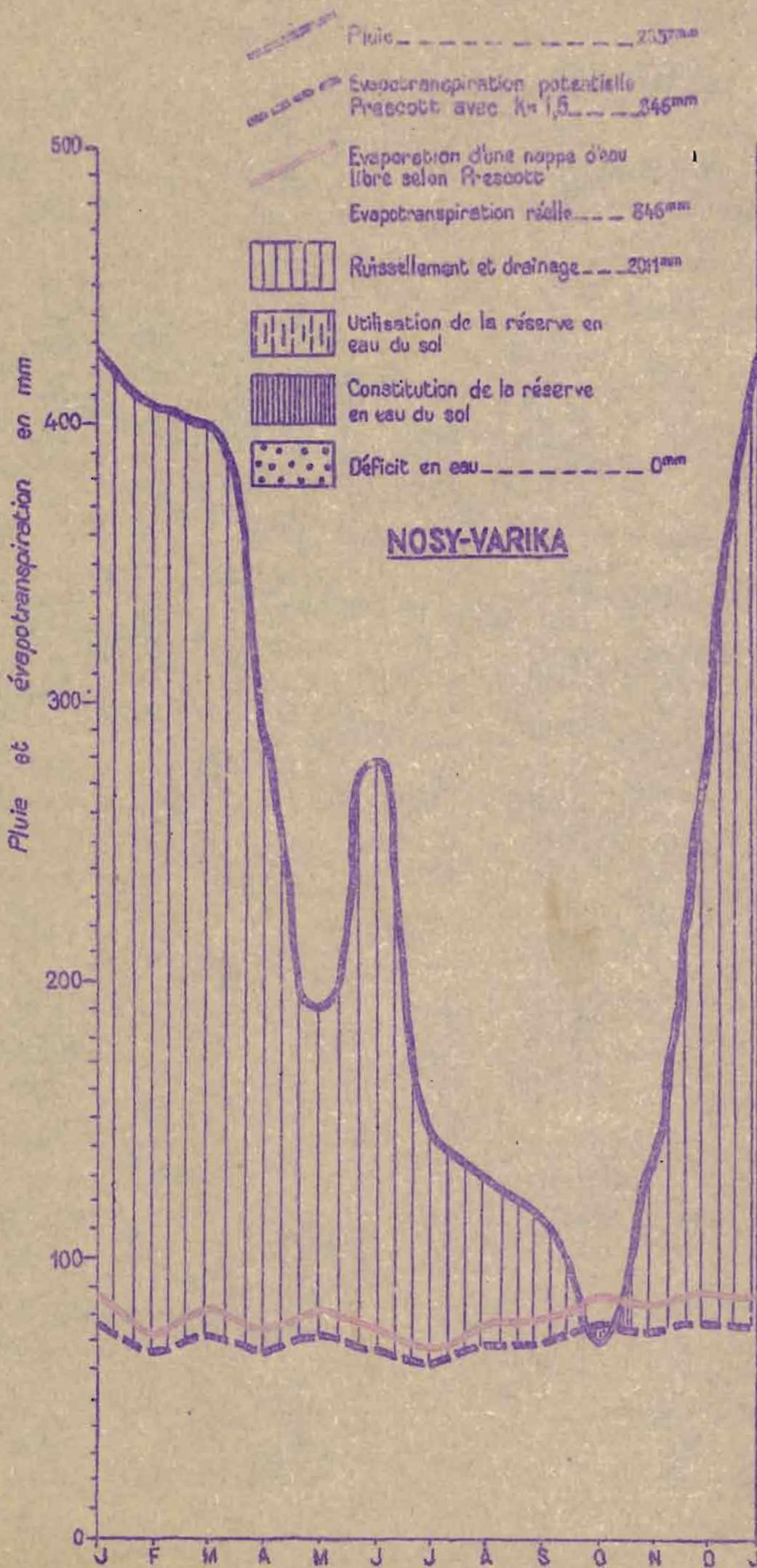
NAHAMPOANA

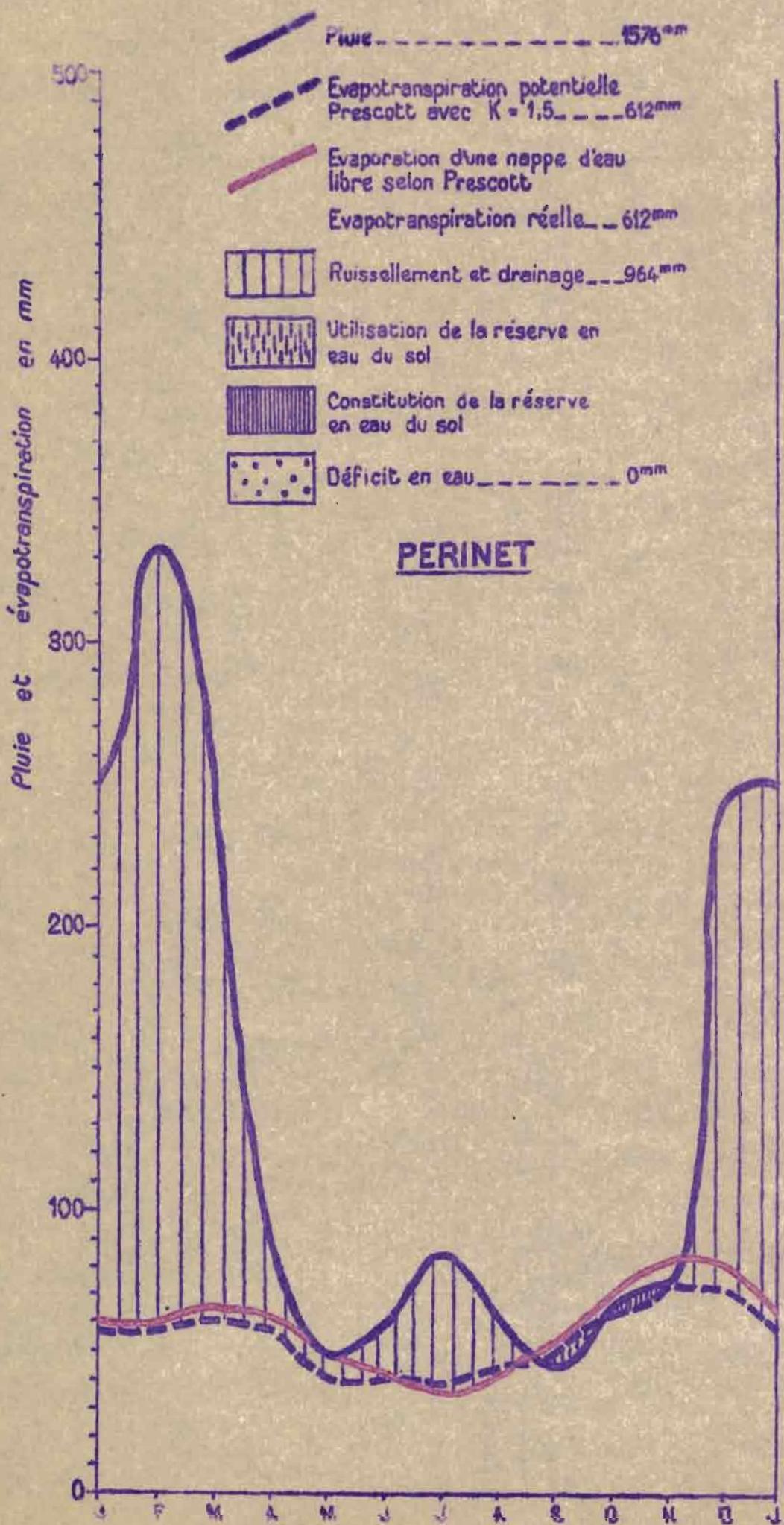


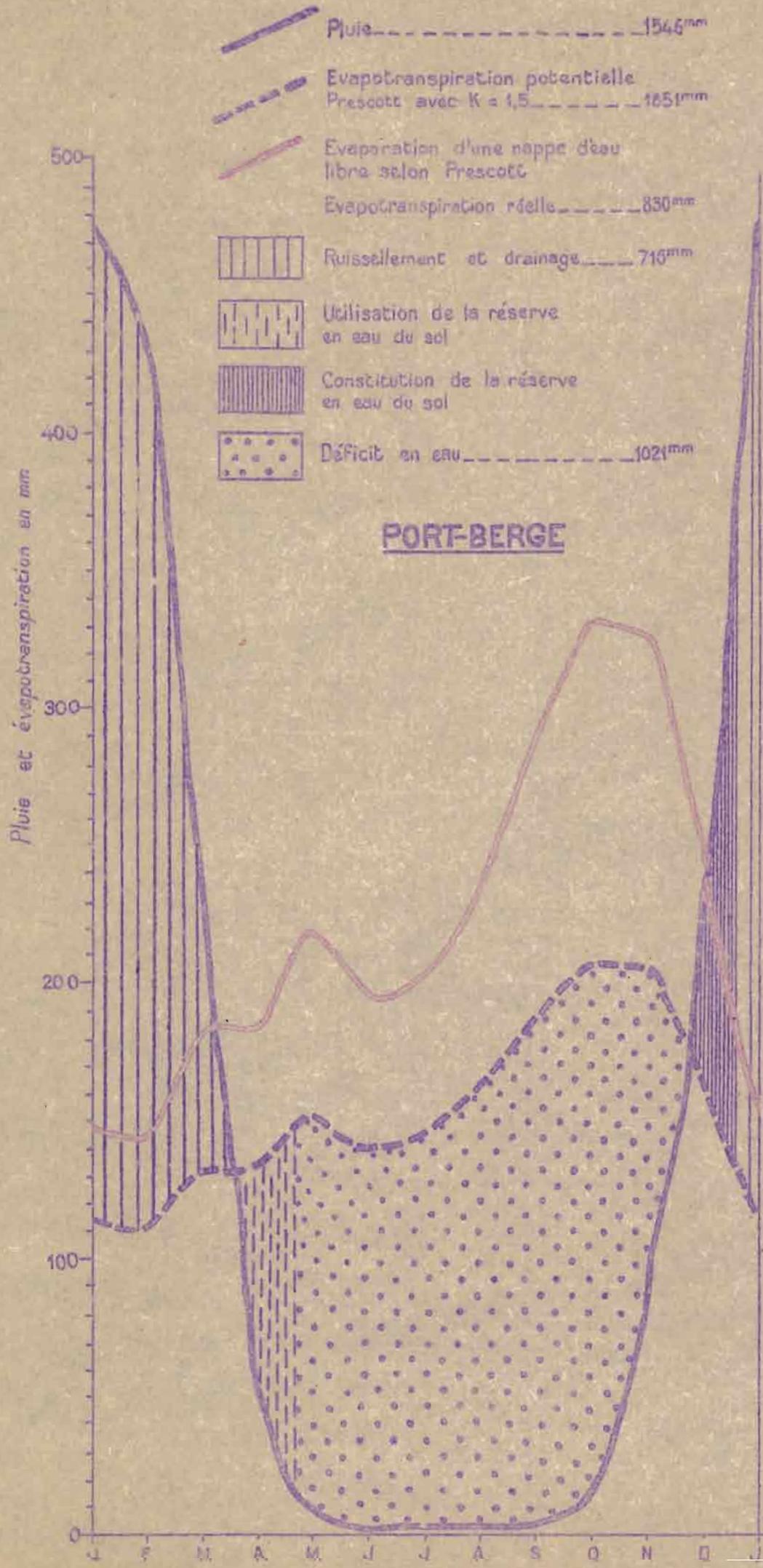


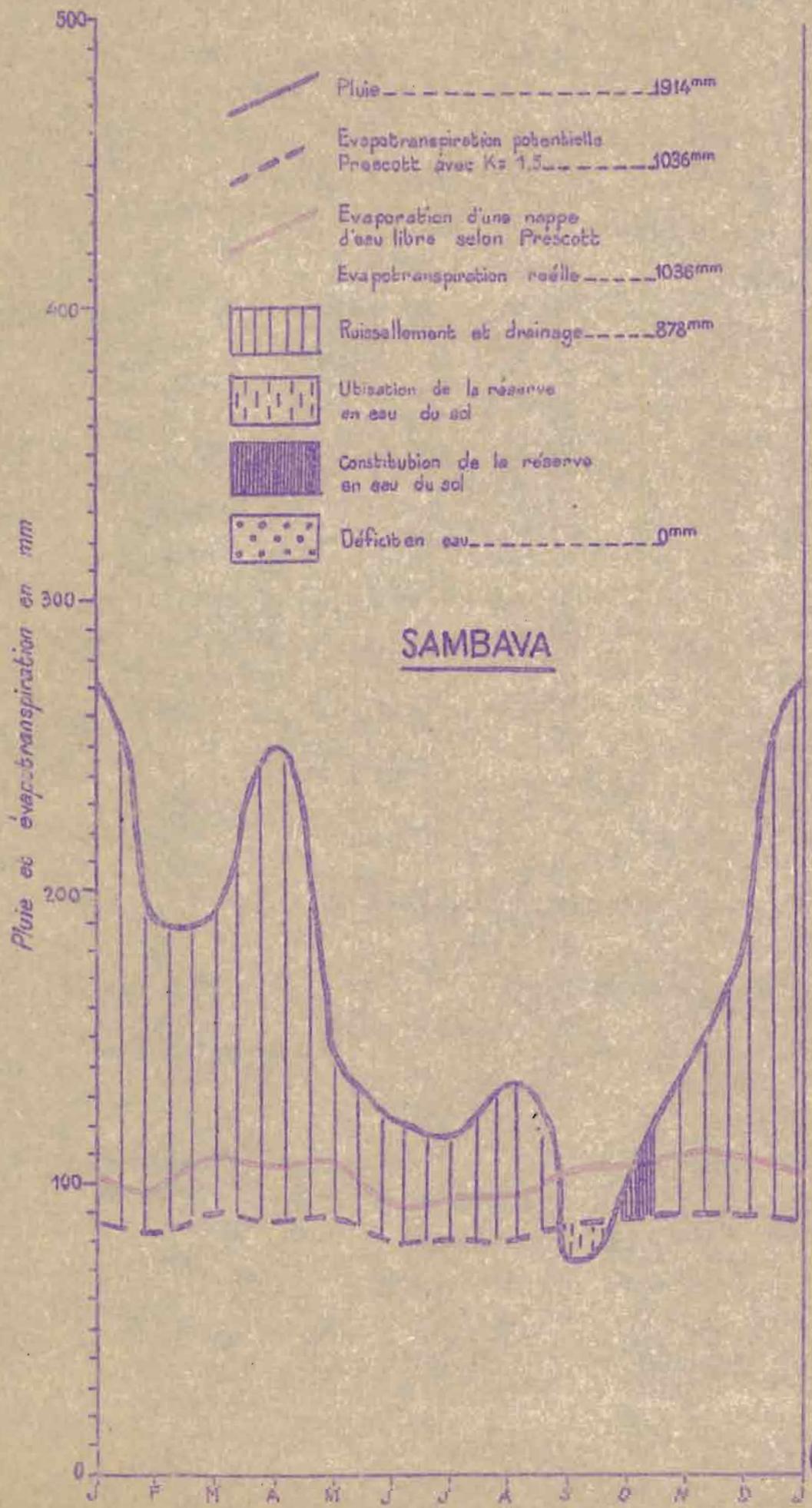


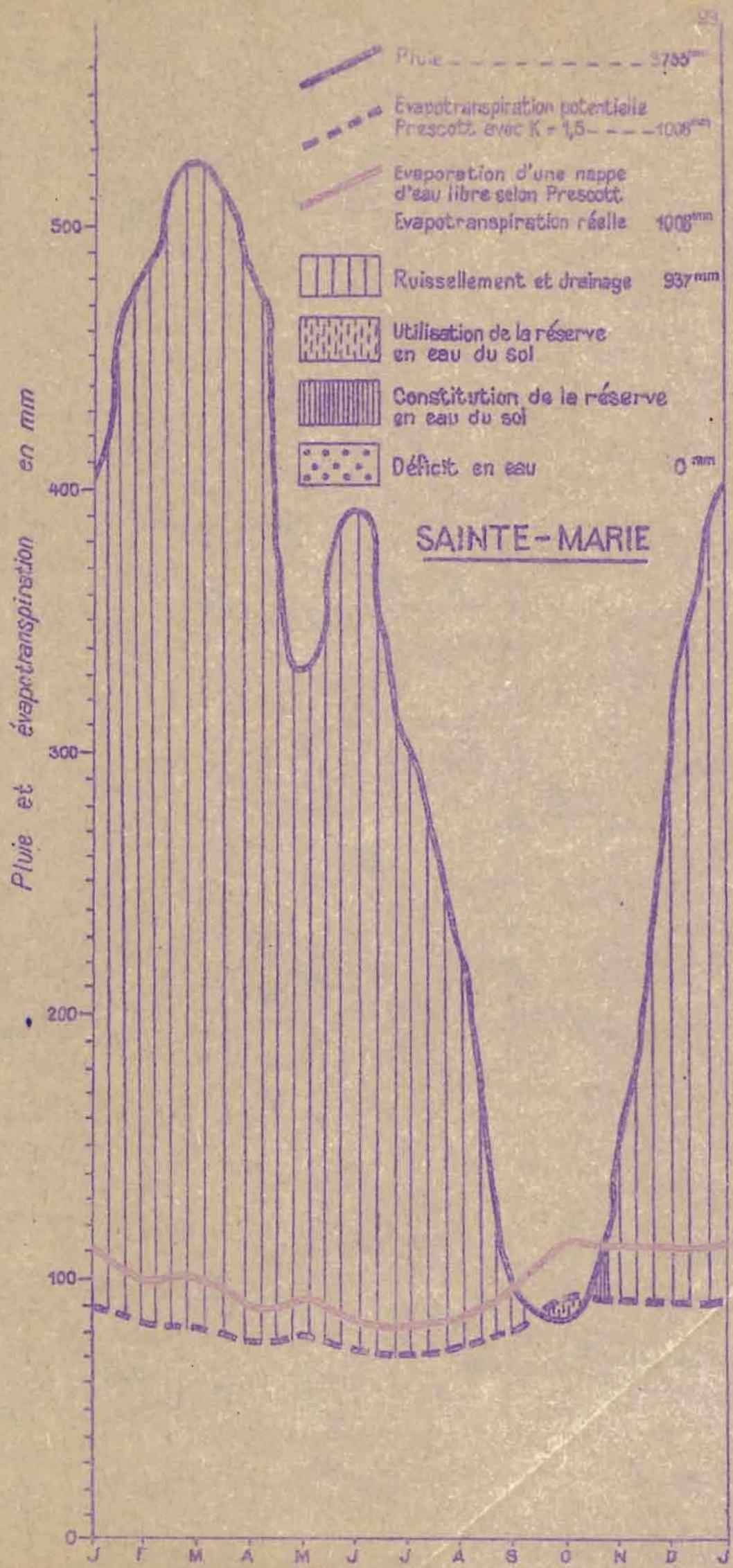


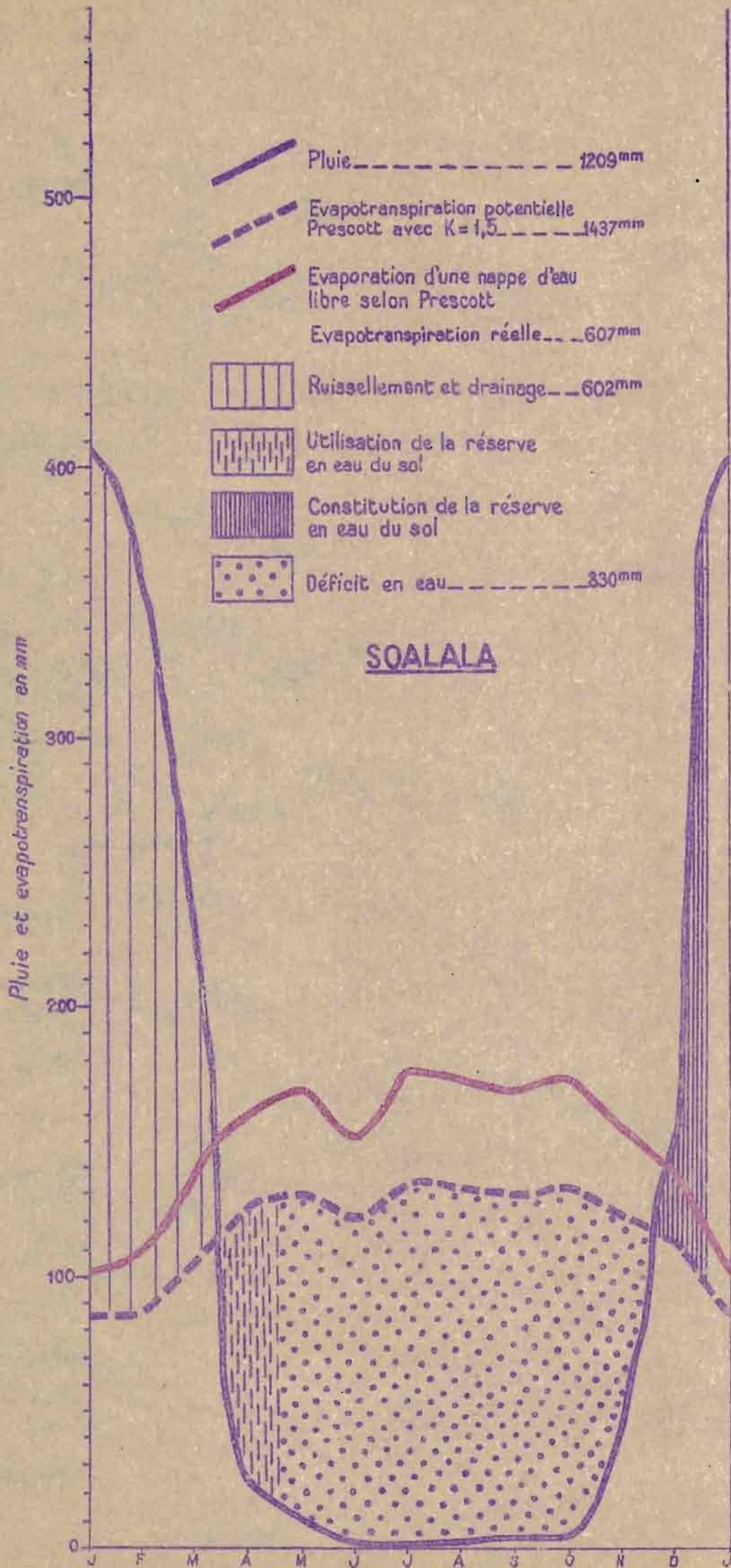


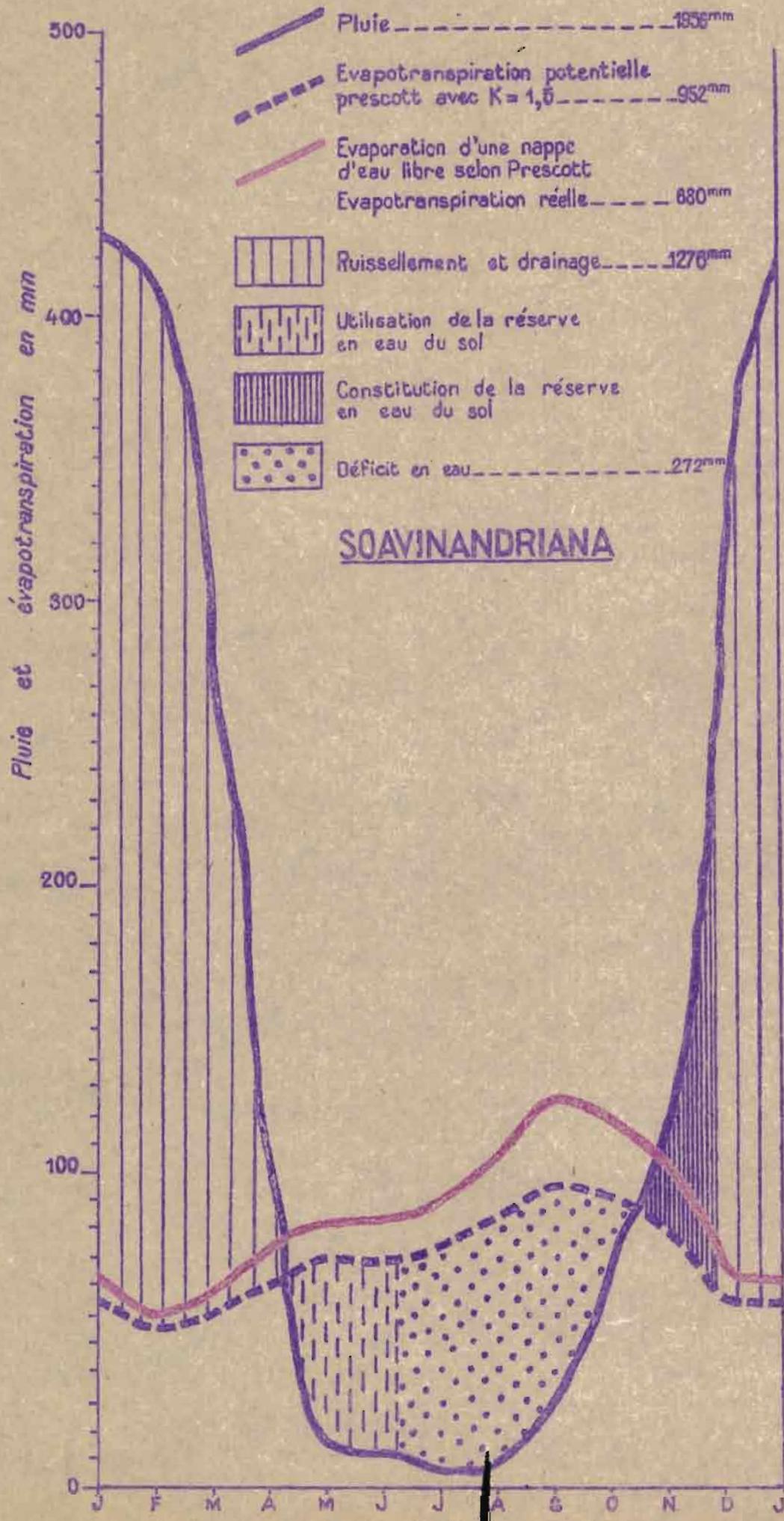


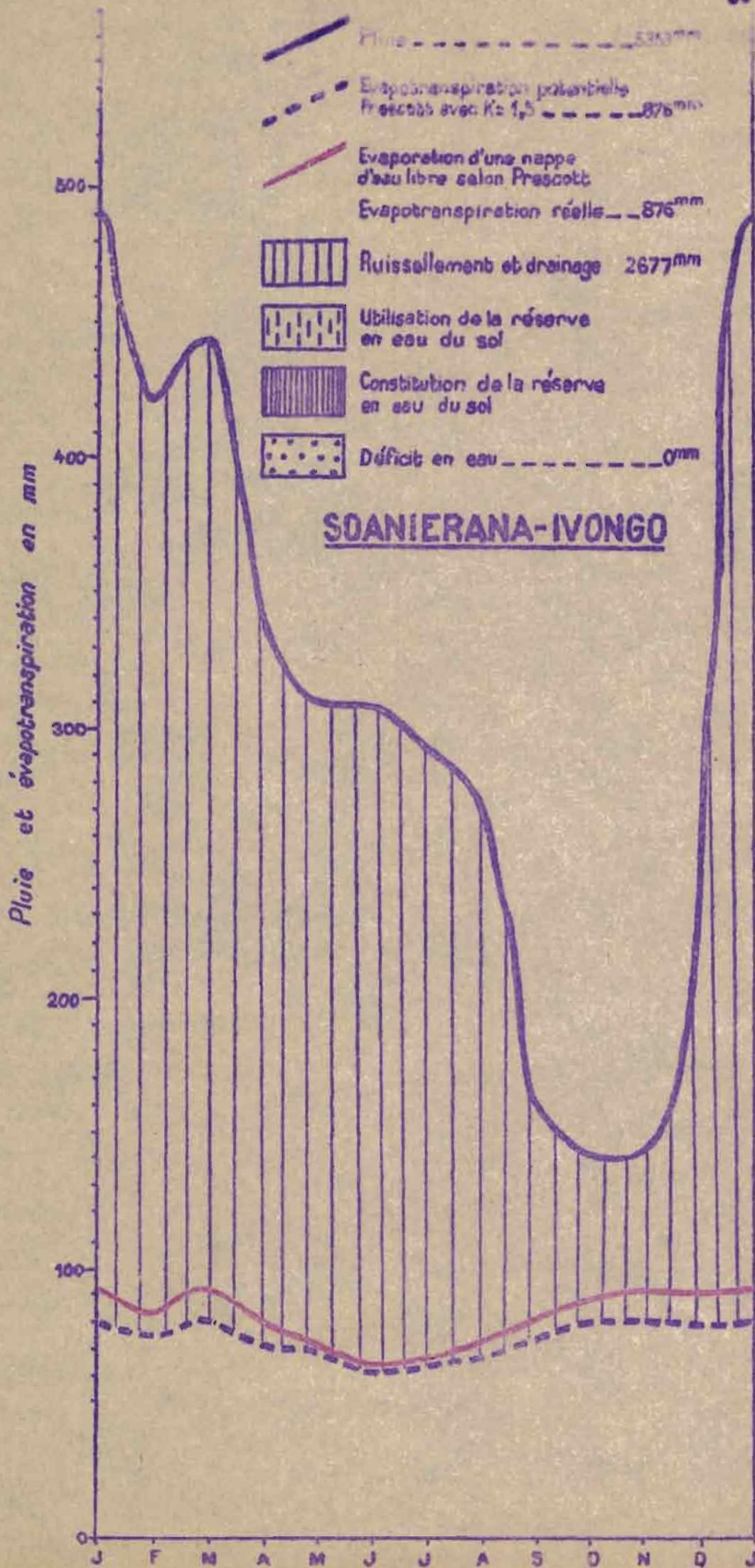


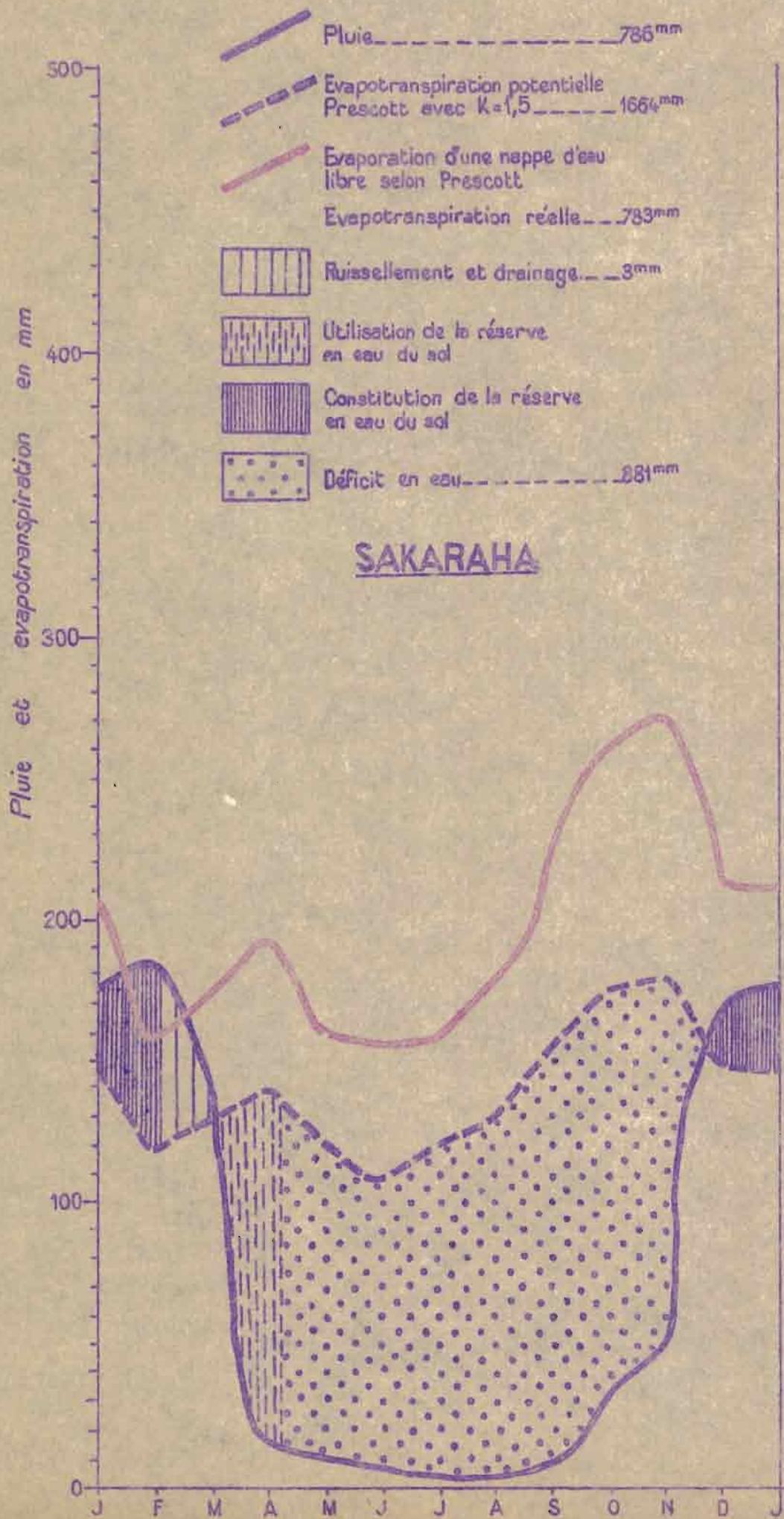


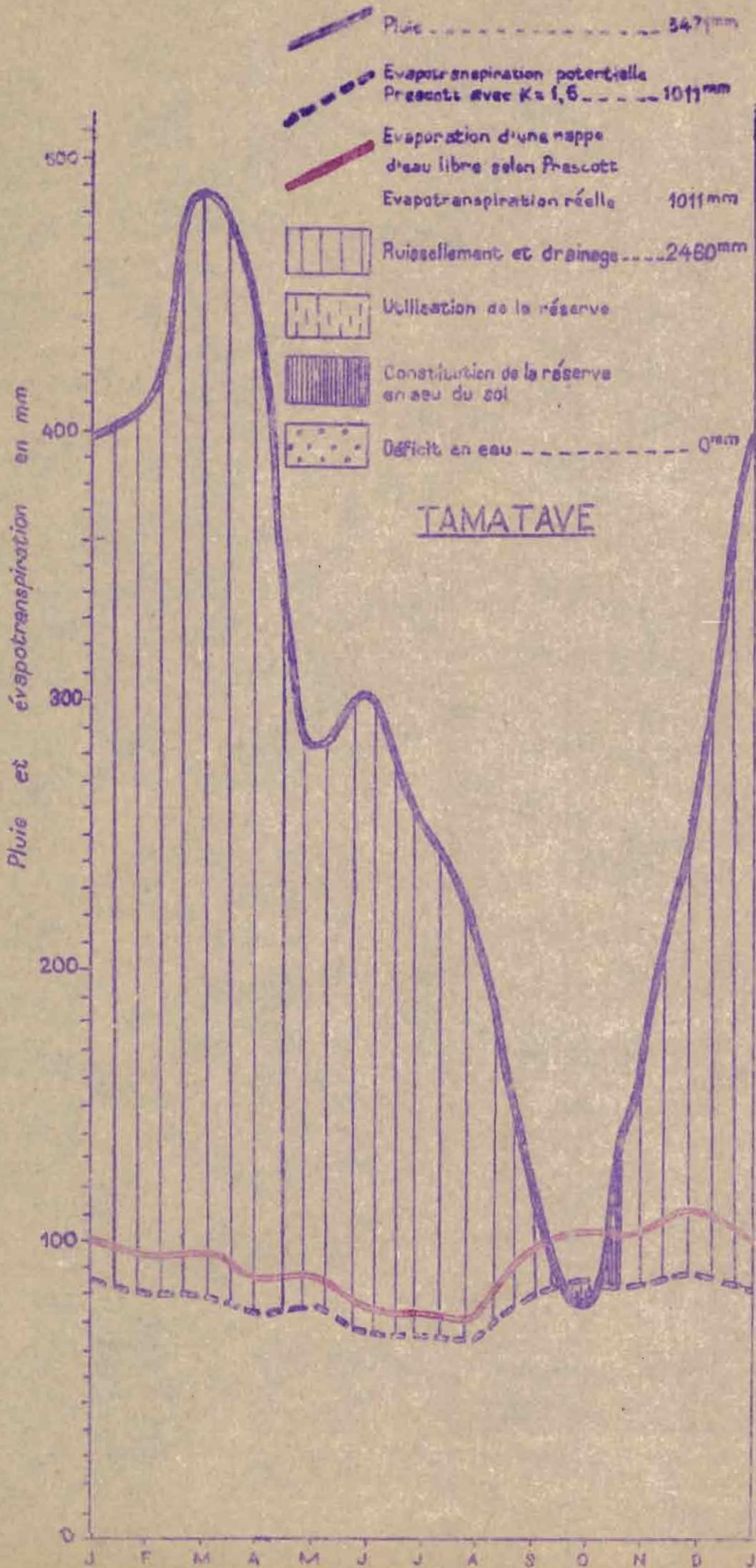


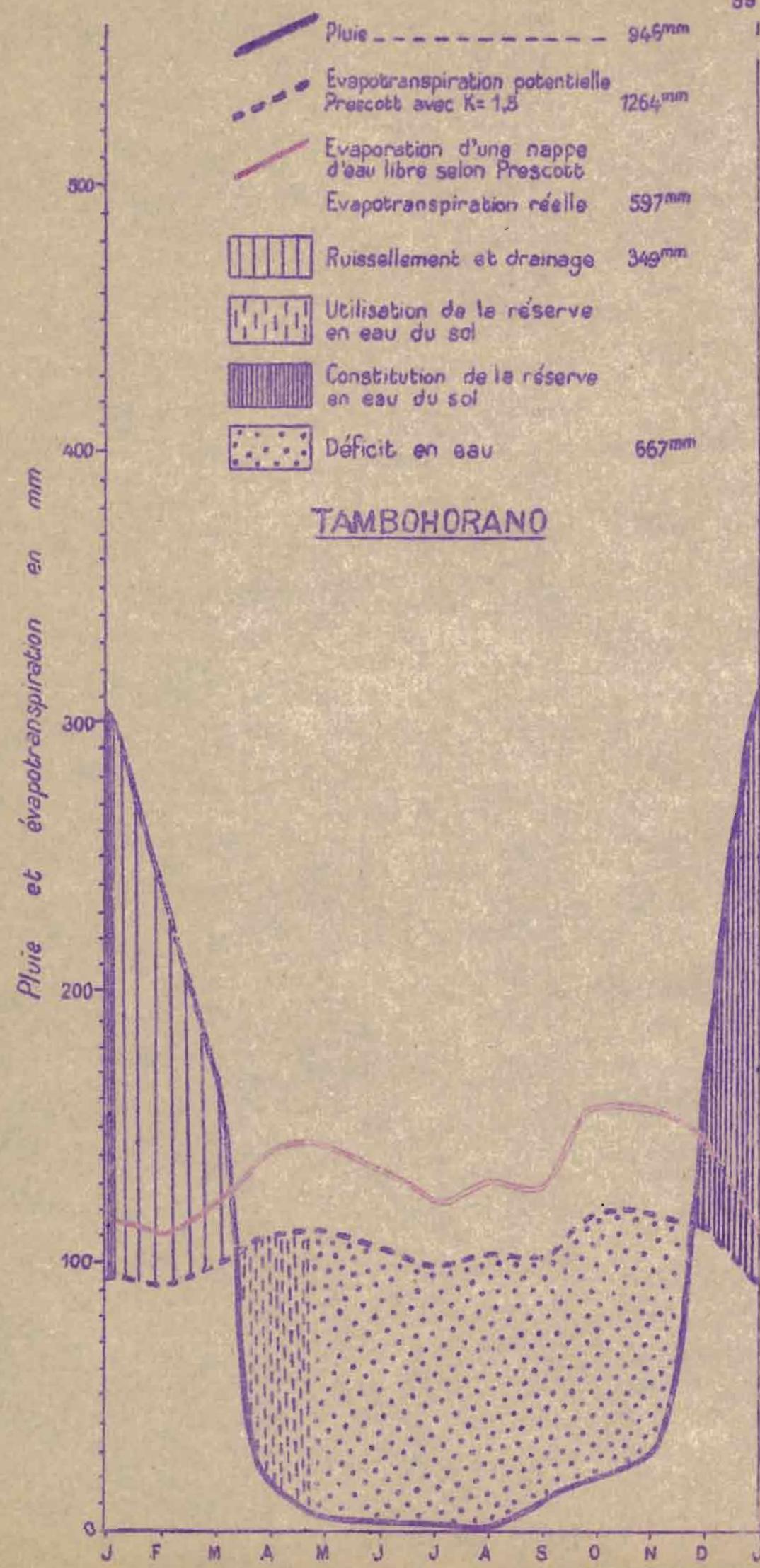


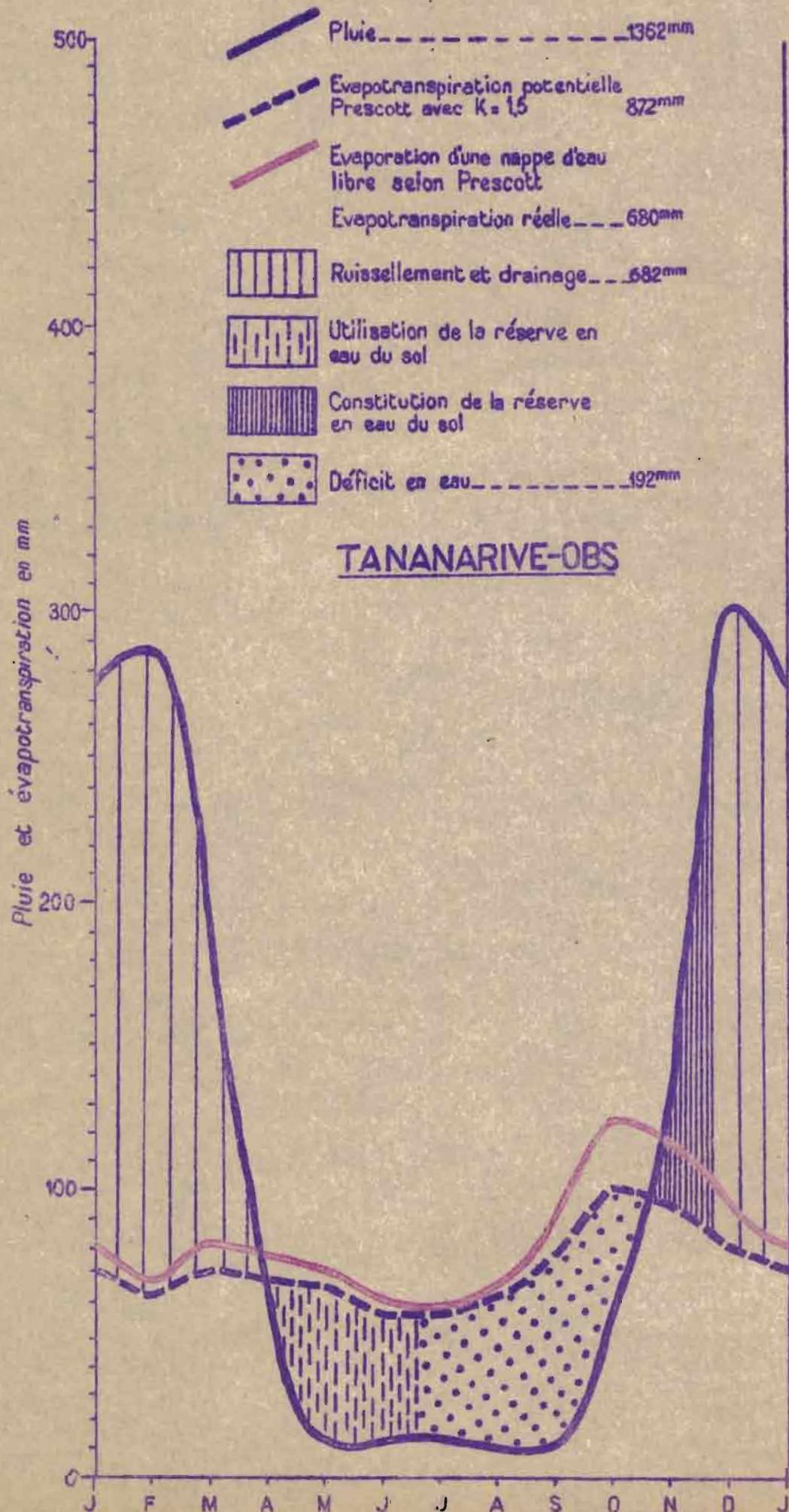




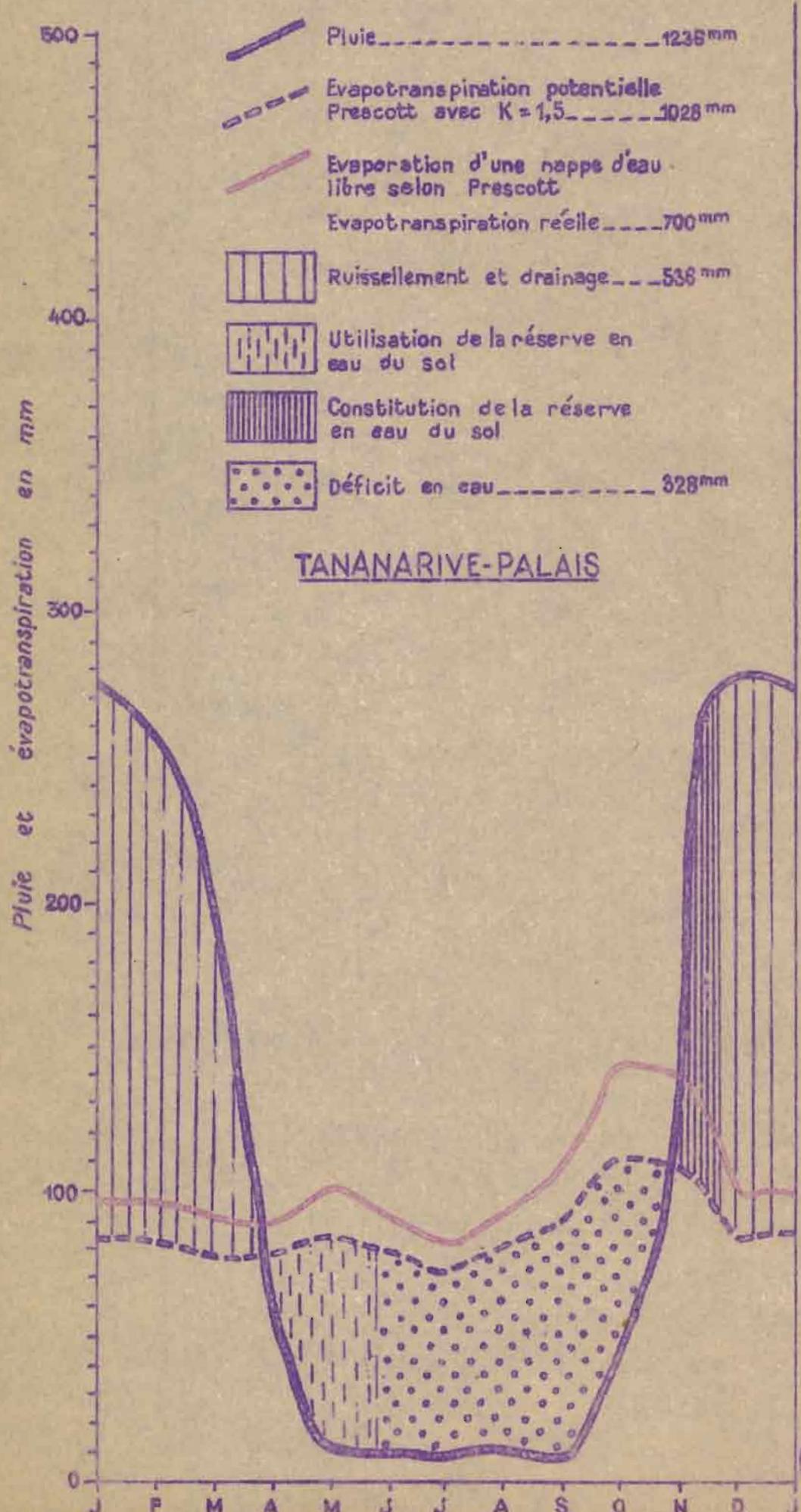




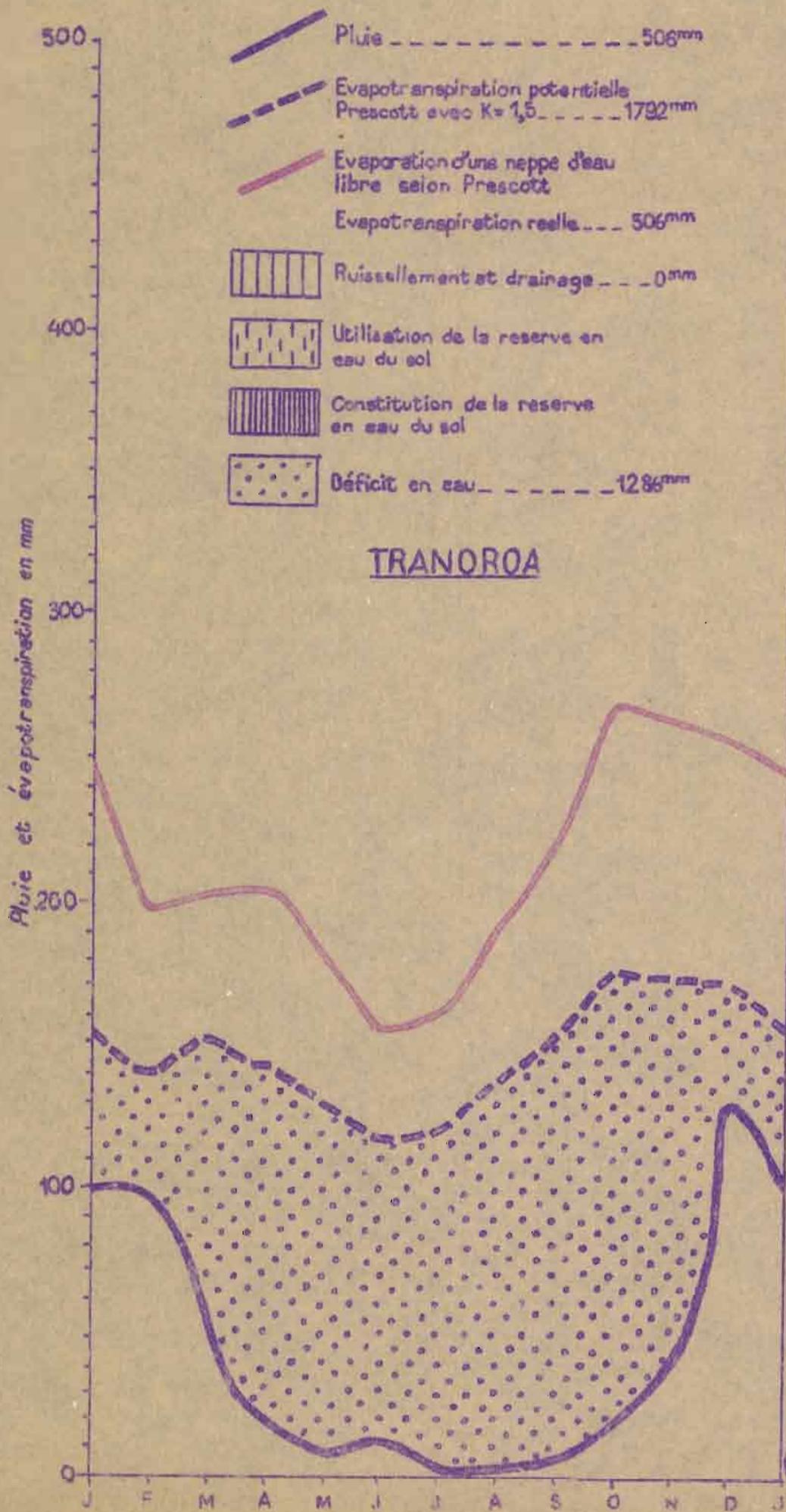




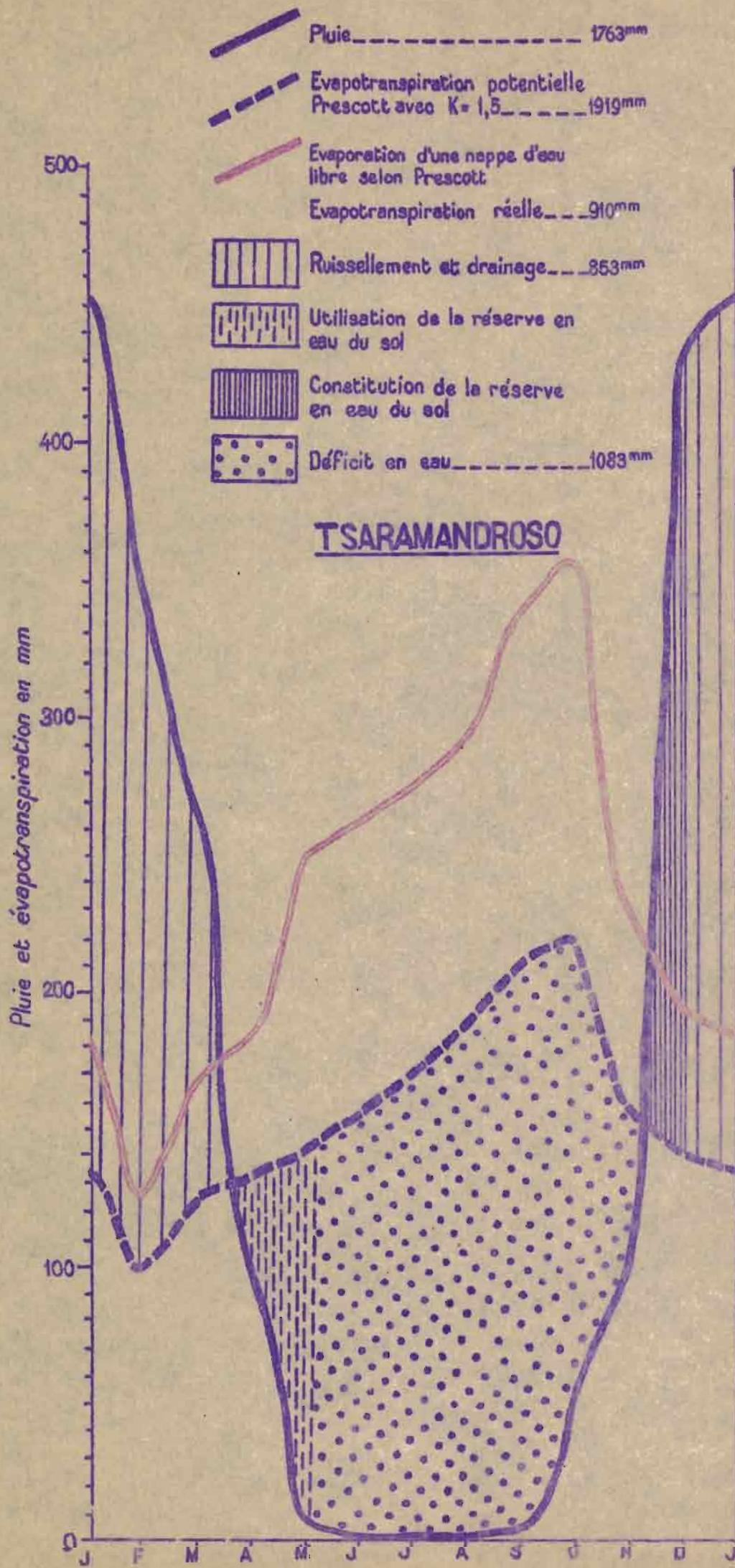
marivo E.

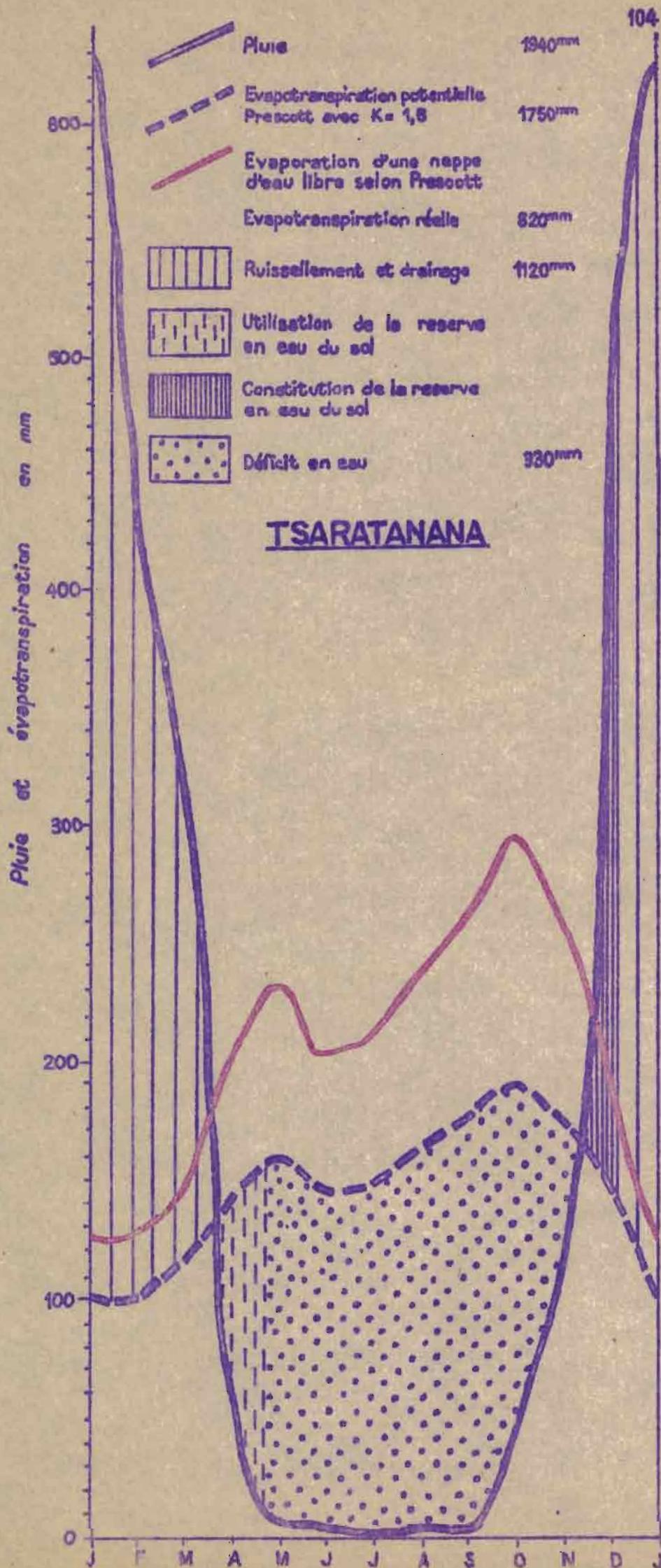


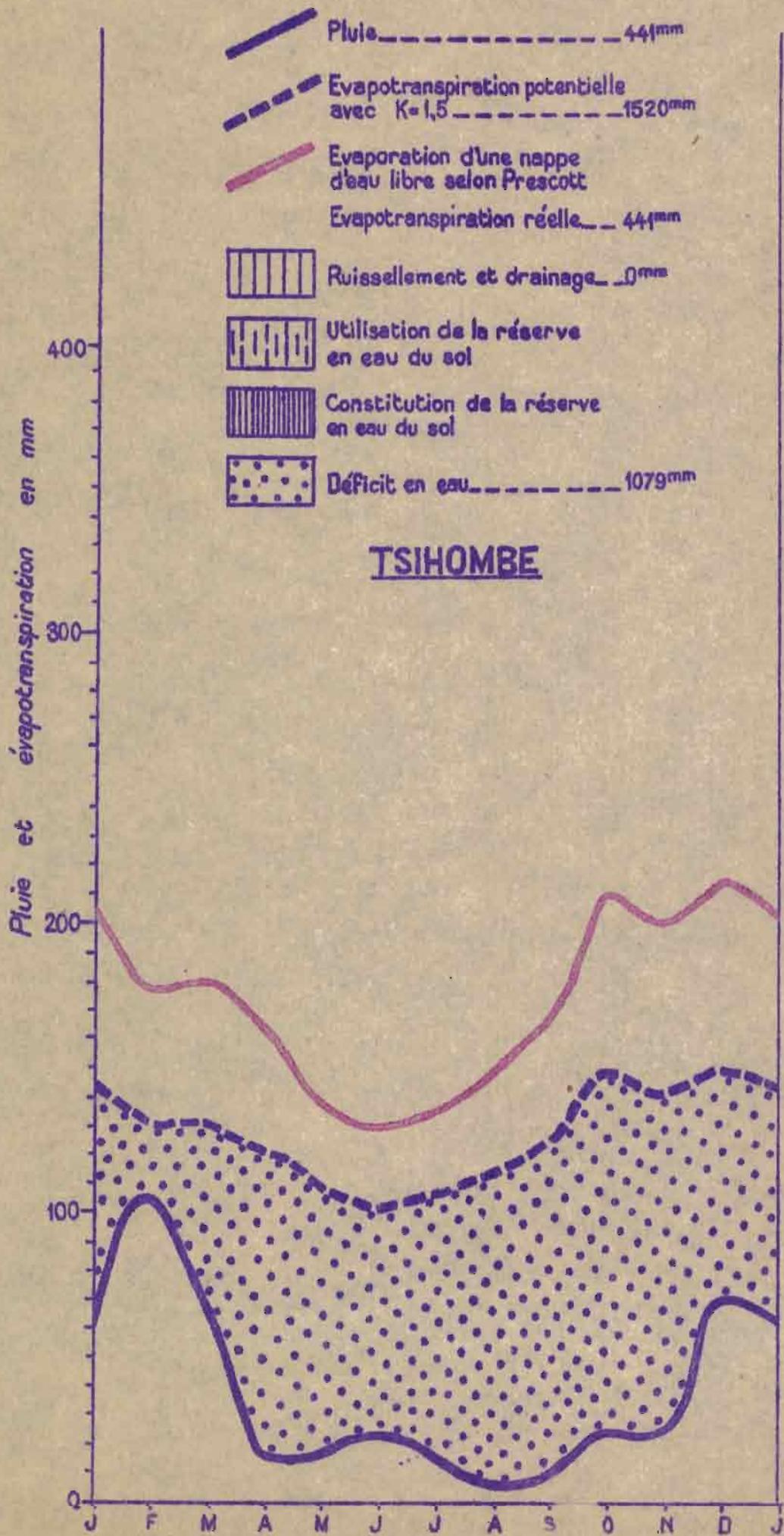
skiboarivanana



L. Lohmanana







Environnement E.

