

Hydr

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR

Série D — Tome IX — 1959

NOTE HYDROLOGIQUE SUR LES COURS D'EAU DE LA RÉGION SEMI-ARIDE DE MADAGASCAR

par

Yves BRESSON (1)

Le Service Hydrologique de Madagascar a commencé en 1951 l'étude des cours d'eau du Sud de la Grande Ile. Nous nous proposons, dans cette note, de dégager les caractéristiques hydrologiques que l'on peut raisonnablement déduire de ces observations et mesures pour les régions semi-arides de l'Ile. Nous tiendrons évidemment compte des données météorologiques qui couvrent une période plus longue.

Nous limiterons cette étude à une zone située en gros au Sud du Tropique du Capricorne et à l'Ouest du méridien 49 g 50.

LES FACTEURS CONDITIONNELS DU RÉGIME

TRAITS PRINCIPAUX DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

a) DONNÉES GÉOLOGIQUES (Voir carte géologique au 1/2.000.000 feuille du Sud).

La zone étudiée comprend :

— l'avancée Sud du socle précambrien qui rejoint la côte au Cap Andrahomana au Sud-Est;

— les formations sédimentaires à faciès continental du Karoo qui bordent le socle au Nord-Ouest;

— puis, en auréole externe, et jusqu'à la mer, des formations sédimentaires calcaires jurassico-crétacées et eocènes à l'Ouest, et des terrains quaternaires au Sud, le tout à faciès marin.

Le socle comprend, de l'Est à l'Ouest :

— les chaînes Anosyennes formées de roches éruptives anciennes (granite);

— le système Androyen formé de leptynites, cipolins, pyroxénites à phlogopite et migmatite (groupes de Tranomaro et d'Ampandrandava). Notons, dans l'aire d'affleurement de ce système, une tache de terrains volcaniques récents;

(1) Chef du Service hydrologique de l'I.R.S.M.

Ce travail a été présenté au 3^e Congrès de la P.I.O.S.A., Tananarive, octobre 1957.

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

Collection de Référence

5 NOV. 1968

n° 12518 B

— le système du graphite qui comprend des migmatites au Nord et le groupe d'Ampanihy au Sud (leptynites);

— enfin, le groupe de Vohibory au Sud-Ouest, formé d'amphibolites, de cipolins et de leptynites.

D'une manière générale, le socle présente de bas en haut :

— une partie saine qui est imperméable,

— une partie altérée qui peut former roche-magasin,

— une épaisseur variable et parfois nulle d'argile latéritique en surface, assez peu perméable.

Les formations sédimentaires de l'Ouest donnent lieu à des phénomènes karstiques (avens, résurgences, etc.).

Le quaternaire du Sud se présente sous forme d'un terrain très faiblement ondulé et essentiellement sableux. Il est très perméable. Il possède une nappe phréatique plus ou moins saumâtre et profonde. Le niveau phréatique n'affleure jamais. Quelques nappes perchées existent, en particulier celle d'Ambovombe. Son niveau se trouve néanmoins à 10 ou 20 m au-dessous du sol.

Nous voyons donc que le haut pays cristallin provoquera un important ruissellement du fait de la latérite de surface. Néanmoins, la partie altérée du socle formant roche-magasin contribuera à alimenter des étiages dans la mesure où elle aura été alimentée à travers la latérite.

Tout le sédimentaire donne lieu à des pertes importantes par infiltration en grand et en petit.

Le quaternaire Sud ne donne lieu à ruissellement que lors de grosses averses et il est remarquable que les cours d'eau coulent par le socle presque jusqu'à la mer. Ils dessinent ainsi une patte d'oie dans le cristallin.

b) LA VÉGÉTATION

Les parties hautes cristallines sont très peu boisées, sauf sur la retombée Est qui sort du cadre de notre étude. La latérite est normalement couverte de graminées. On note des galeries forestières le long des cours d'eau principaux.

La faible densité de cette végétation tend à augmenter le ruissellement du haut pays.

Les parties basses du socle et le sédimentaire donnent asile à une brousse xérophile clairsemée avec tamariniers, baobabs, pouvant passer à une véritable forêt d'épineux (pachypodium, fantsiloatra). Cette végétation se gorge d'eau en saison des pluies.

c) RELIEF ET HYDROGRAPHIE

Le socle ancien représente un bombement plus ou moins accidenté qui domine l'auréole sédimentaire externe.

Tous les fleuves prennent leur source dans les parties hautes, sièges des fortes pentes, dévalent radialement vers la côte et achèvent leur

course en de larges lits sableux et peu profonds, dans la zone sédimentaire et jusqu'à la mer.

De l'Est à l'Ouest ce sont : le Mandrare, le Manambovo, la Menandra, la Linta, l'Onilahy.

Certains, tel la rivière Antanimora, se perdent dans les dépressions internes du quaternaire sableux et n'arrivent pas à la mer.

Le massif cristallin développe deux lignes de hauteurs principales :

— à l'extrême Sud-Est, une chaîne Nord-Sud qui rejoint la mer au Cap Andrahomana. Cette chaîne Anosyenne, qui comprend le Beampingaratra, s'élève jusqu'à près de 2.000 m d'altitude ;

— au centre Sud, une ligne de relief dans le groupe d'Ampandrandava pousse jusqu'au Sud d'Antanimora, son altitude évoluant de 1.600 à 500 m.

Ces deux lignes se rejoignent au Nord par le « rebord Manambien » qui marque la limite Sud des hautes altitudes des « Plateaux ». L'ensemble dessine ainsi un cirque assez vaste, constitué, pour une bonne part de roches volcaniques crétacées s'élevant de 600 à 1.000 m, et drainé par le Mandrare et ses hauts affluents.

Au Nord-Ouest, les sédiments anciens du Karroo se raccordent aux parties hautes du cristallin, à l'Est de Benenitra, entre 1.000 et 2.000 m d'altitude.

L'auréole externe a une altitude comprise entre 100 et 300 m.

Toute la zone entre le Karroo et l'avancée cristalline d'Antanimora-Tsihombe précitée, voit ses eaux collectées par le Manambovo, le Menandra et la Linta.

Le système du Karroo calcaire, perméable, est drainé par l'Onilahy.

On remarquera l'absence de réseau hydrographique sur la grosse tache éocène calcaire du Sud-Ouest qui n'est traversée que par l'Onilahy et la Linta, à son extrémité Sud.

LE CLIMAT

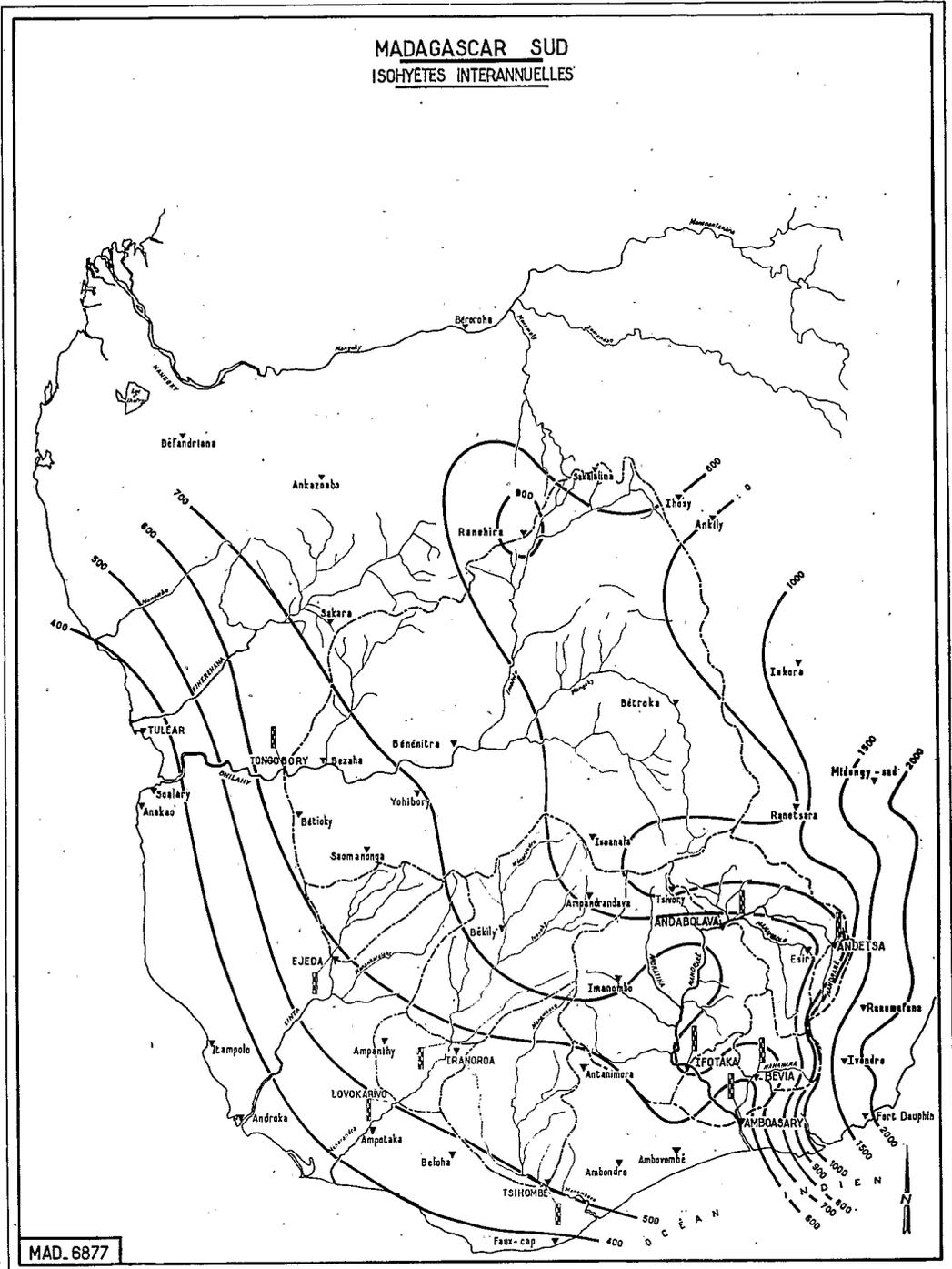
Le Tropique du Capricorne limite au Nord la zone étudiée. C'est dire que nous nous trouvons à la latitude des déserts de l'hémisphère Sud. Le climat est donc normalement aride, mais la situation insulaire de Madagascar atténue considérablement ce caractère.

a) LE RÉGIME DES VENTS ET LES PRÉCIPITATIONS

En hiver, Madagascar est battue par l'alizé de Sud-Est qui développe une branche vers le Sud, à partir de Manakara. Cet alizé détermine des précipitations orographiques sur tout le flanc au vent du massif cristallin. Toutefois, ces précipitations diminuent du Nord au Sud — et, alors que Manakara reçoit en moyenne 940 mm en hiver, Fort-Dauphin n'en reçoit que 660. L'alizé prend, dans cette région, une direction dominante Nord-Est, résultant de la rencontre de la côte Est de l'île.

Quoi qu'il en soit, la chaîne du Beampingaratra forme écran protecteur pour le Sud et l'Ouest, déterminant ainsi une limite climatique bru-

MADAGASCAR SUD
ISOHYETES INTERANNUELLES



MAD. 6877

CARTE 2

taie visible en particulier, sur le réseau des isohyètes et sur la végétation. Les courants supérieurs d'alizés qui la franchissent, déjà délestés d'une partie de leur humidité, acquièrent au contraire un caractère desséchant en s'abaissant vers l'Ouest. Il est remarquable, à ce sujet, de voir l'isohyète 900 pousser une pointe au Nord du rebord Manambien où les précipitations orographiques sont encore possibles, et comme dessiner les limites du bassin du Mandrare.

De plus, ces courants n'intéressent, en gros, que la moitié Nord-Est de la zone considérée.

Ces considérations expliquent que l'hiver soit ici très sec, comparativement aux crachins que l'on observe normalement sur les hauts-plateaux.

Toutefois, cette sécheresse d'hiver est atténuée par l'existence de courants intermittents de Sud-Ouest en provenance des hautes pressions thermiques établies en cette saison sur l'extrême Sud de l'Afrique. Ces courants se chargent quelque peu d'humidité sur l'Océan. Ils produisent des précipitations notables mais très irrégulières. Certains mois d'hiver peuvent ainsi recevoir jusqu'à 50 mm d'eau.

En été, l'avancée vers le Sud de la zone de convergence inter-tropicale rencontre de la mousson et de l'alizé, intéresse surtout le Nord et le centre de l'île. Elle arrive très rarement au parallèle de Tuléar.

Les pluies de l'été austral seront surtout dues aux orages convectifs qui se produisent de novembre à avril.

Certaines années pourront être exceptionnellement pluvieuses, à la suite du passage d'une perturbation cyclonique en provenance de l'Océan Indien.

Signalons toutefois que la trajectoire des cyclones passe beaucoup plus fréquemment sur le Centre et le Nord de Madagascar. Les cyclones qui passent le plus souvent sur le Sud résultent d'un bouclage des trajectoires plus septentrionales. Les météores passent plus au Nord, s'incurvent vers le Sud, dans le Canal de Mozambique et reviennent, atténués, vers le Sud-Est.

Il doit également se produire quelques brises de mer sur la côte, au début de l'été.

La pluviométrie annuelle normale va de moins de 400 mm sur une étroite bande côtière située entre Tuléar et Faux-Cap, jusqu'à 8 à 900 mm sur les sommets orientaux du socle cristallin. Le réseau des isohyètes interannuelles affecte grosso modo une direction générale Sud-Est - Nord-Ouest.

b) LES TEMPÉRATURES (fig. 1 et 2)

Les températures moyennes annuelles sont faibles en comparaison de celles des climats analogues du continent africain. L'influence maritime est ici prépondérante. La distribution des températures est directement liée à l'altitude. Toute la partie Est, vers le bassin du Mandrare, oscille entre 20 et 24°. L'Ouest connaît des températures plus élevées :

24 à 25°. Notons une avancée entre 25 et 26° suivant le massif de l'Isalo et qui va jusqu'au Sud de Benenitra. L'amplitude moyenne quotidienne augmente avec l'altitude et l'éloignement de la mer. Elle oscille entre 6 et 16°. On observe deux flots à 16° d'amplitude centrés respectivement sur Benenitra et le cirque du Mandrare.

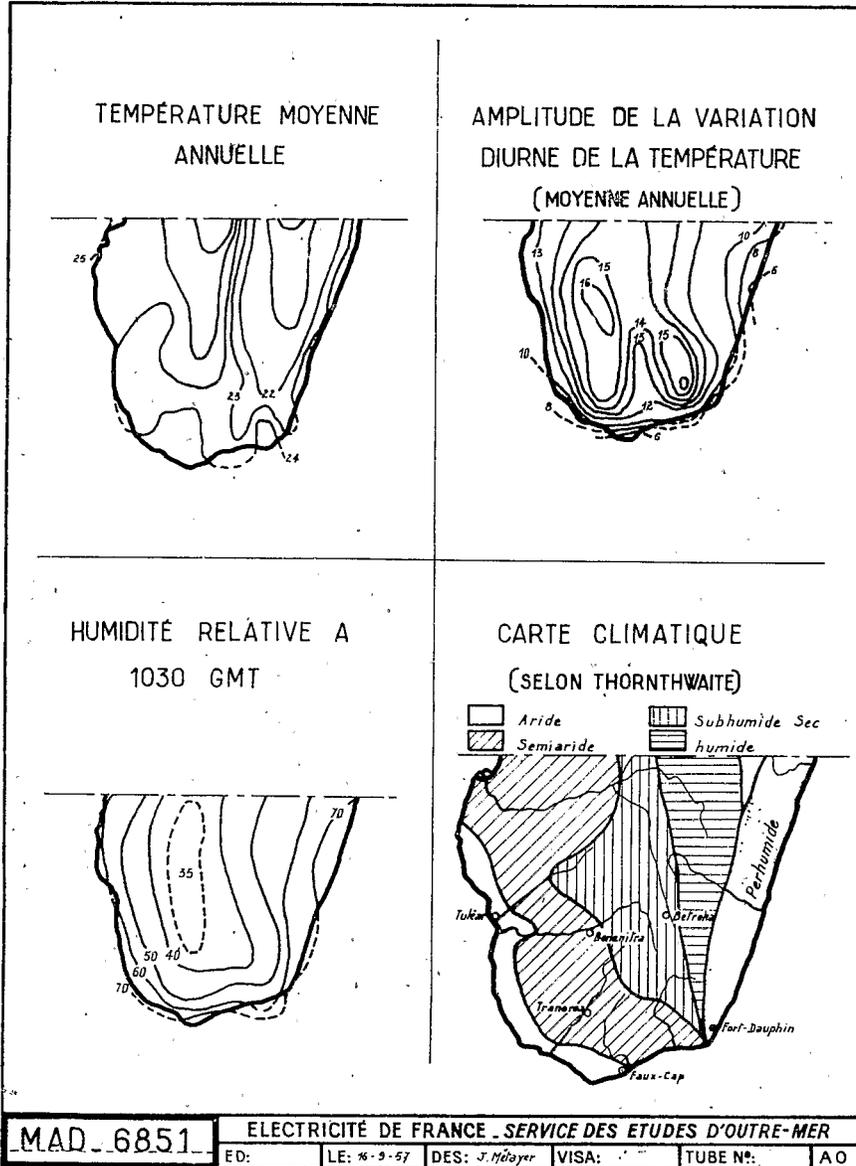


FIG. 1

On trouvera dans la figure 2, à titre d'exemple, le régime des températures à Tsihombe.

Nous voyons pour la température moyenne, un maximum de janvier et un minimum de juillet. La baisse est brutale d'avril à mai (influence sur les orages convectifs). Il y a un effet simple d'hiver et d'été très différent de ce qui est observé en Afrique boréale tropicale. Les pluies d'été n'abaissent pratiquement pas la température moyenne. La température moyenne annuelle, dans l'exemple cité, est de 24°02.

Les écarts diurnes ont leur minimum en janvier, février, mars, avec 10°05, et leur maximum en septembre, avec 14°06.

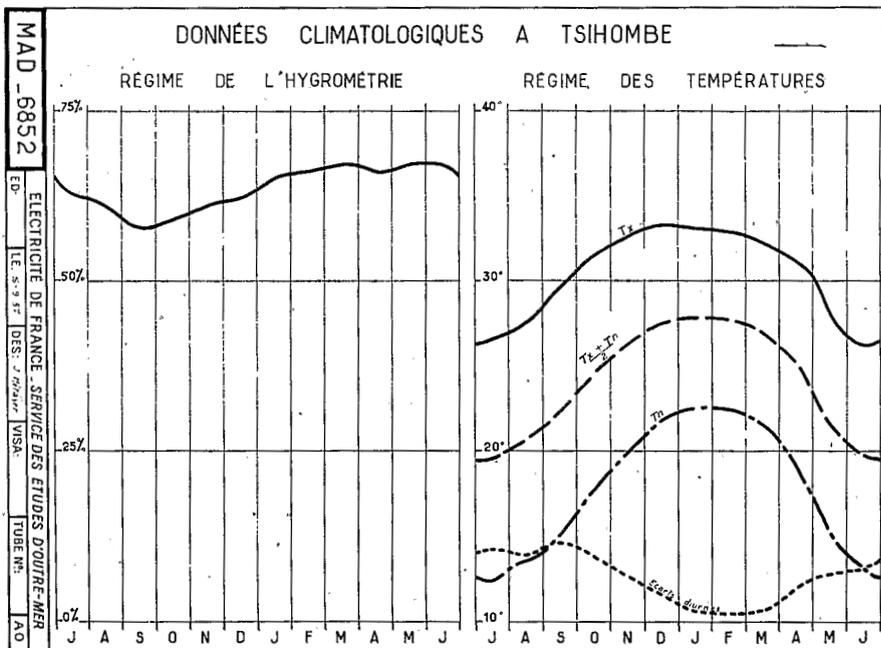


FIG. 2

c) L'HYGROMÉTRIE (fig. 1 et 2)

L'hygrométrie moyenne varie de 70 % sur le pourtour côtier à 35 % dans le Karroo. Cette région apparaît ainsi comme particulièrement sèche.

Nous donnons également à titre d'exemple le régime à Tsihombe. On observe un minimum de septembre. L'hygrométrie se maintient à des valeurs élevées de janvier à juin en liaison avec la saison des pluies.

Nous voyons que nous avons affaire ici à un climat sec caractérisé par :

— des températures élevées, mais néanmoins plus basses qu'en Afrique, à latitude égale, avec un été et un hiver bien marqués;

— une hygrométrie faible dans le Sud-Ouest, mais influencée par la proximité de l'Océan, ailleurs;

— une hauteur annuelle de pluie faible (400 à 800 mm) et concentrée sur 4 à 5 mois.

L'évaporation sur nappe d'eau libre a été étudiée à la Station du Banian sur le Mangoky, pour un climat assez voisin de celui de la région qui nous intéresse, au moyen de bacs colorado.

Les résultats en mm/jour (moyenne mensuelle) sont indiqués dans le Tableau I.

L'évaporation annuelle serait de 1,78 m soit 1,80 m. On notera que les variations correspondent simplement à une saison froide et une saison chaude (comme nous l'avons vu pour les variations de température), la saison des pluies a une faible influence modératrice en décembre et janvier. Ceci est à rapprocher des résultats, moins complets, déjà obtenus plus au Nord, en Afrique Equatoriale Française (régime équatorial de transition austral).

Les mesures faites à l'évaporomètre Piche montrent que le rapport entre les résultats de deux appareils varient, dans une large proportion, suivant les saisons, comme il a été remarqué pour d'autres climats, c'est d'ailleurs normal car les deux appareils correspondent à des types différents de phénomènes.

D'autre part, J. RIQUIER (1) s'appuyant sur le concept de l'évapotranspiration potentielle de THORNTHWAITE a mis au point une première carte de l'île donnant les valeurs de cette évapotranspiration potentielle. Il semble que, dans le cas particulier de Madagascar, les formules de THORNTHWAITE s'appliquent assez bien. A défaut de résultats expérimentaux très difficiles à obtenir, nous admettons donc les données de cette étude.

On sait que l'évapotranspiration potentielle serait celle à laquelle donnerait lieu un sol qui serait toujours approvisionné en eau et couvert de la végétation optimum. C'est donc sous les conditions de température réelles, la perte maximum que donnerait ce sol par évapotranspiration, la pluie restant toujours supérieure ou égale à cette perte (Tableau I, en fin d'article).

Traçant pour l'année normale, et mois par mois, les courbes de pluie et d'évapotranspiration potentielle, on peut calculer, entre autres, aux diverses stations météorologiques, les données suivantes :

Evapotranspiration annuelle.....	n
Infiltration et ruissellement (ou surplus d'eau pendant les mois humides) (2).....	s
Déficience en eau pendant les mois secs (mois où la pluie est inférieure à l'évapotranspiration potentielle)	d

(1) Jean RIQUIER, Maître de Recherches à l'I.R.S.M. : Note sur l'évapotranspiration de Thornthwaite et le bilan hydrique des sols.

(2) Il est admis qu'à la fin du dernier mois humide le sol possède encore une réserve de 100 mm d'eau utilisable par les plantes et que cette réserve doit être reconstituée au début des mois humides dans la mesure où elle a été utilisée pendant les mois secs.

Nombre de mois humides (mois où le sol peut donner lieu à l'évapotranspiration potentielle)

Ces données permettent de calculer l'indice d'humidité de THORNTHWAITE qui nous paraît plus représentatif que celui de DE MARTONNE.

$$I_m = \frac{100 s - 60 d}{n}$$

THORNTHWAITE donne, suivant la valeur de l'indice, les qualifications climatiques suivantes :

Subhumide : — 20 à 0.

Semi-aride : — 40 à — 20.

Aride : — 60 à — 40.

Pour le Sud, les cartes tracées par M. RIQUIER mettent en évidence les résultats suivants :

Evapotranspiration potentielle comprise entre 1.000 m sur les hauteurs de l'Est et 1.300 sur la bordure côtière Sud-Ouest.

Climat aride sur la bordure côtière Sud-Ouest de Morombe à Faux-Cap.

Climat semi-aride sur la plus grande partie du Sud et de l'Ouest.

Climat subhumide sec au Nord-Est.

Nombre de mois humides : nul sur la quasi totalité de l'aire étudiée, augmentant jusqu'à 5 sur les sommets du Nord et de l'Est.

Cette dernière indication nous paraît très éloquente; en aucun moment de l'année, le Sud ne reçoit suffisamment d'eau pour permettre aux plantes leur développement optimum; seule la brousse xérophytique peut donc faire face à ce climat.

La carte des climats nous montrè bien l'efficacité de l'écran du Beam-pingaratra (Voir fig. 1).

En conclusion de ces données, nous distinguerons :

— Le pays cristallin interne caractérisé par son imperméabilité, ses fortes pentes, sa faible végétation, ses températures plus faibles du fait de l'altitude. Ce château d'eau provoquera donc des crues d'été brutales liées intimement à l'irrégularité des précipitations, accompagnées d'une érosion intense.

— Le bas pays externe, aux faibles pentes, perméable en grand et en petit, aux températures plus fortes (surtout à l'Ouest), à la végétation plus abondante, avec un niveau phréatique très bas, provoquera des pertes d'eau importantes, tant par évapotranspiration que par infiltration.

Les étiages alimentés par la partie altérée du socle iront se perdre avant la mer, pour les bassins versants de faible et moyenne étendue.

LES PRÉCIPITATIONS

Le réseau des isohyètes interannuelles nous permet de distinguer :

— à l'Est le haut pays cristallin qui reçoit en moyenne de 800 à 1.000 mm d'eau par an (Betroka, Isoanala, Tsivory, Esira);

— la zone centrale qui reçoit de 500 à 800 mm (Sakaraha, Benenitra, Betsiky, Bekily, Imanombo, Tranoroa, Antanimora, Ifotaka, Ambovombe, Tsihombe);

— enfin, la bordure côtière (Tuléar, Ampotaka, Beloha, Faux-Cap).

a) RÉGIME DES MOYENNES PRÉCIPITATIONS

L'observation des figures 3, 4 et 5 et du Tableau I met en évidence les faits suivants :

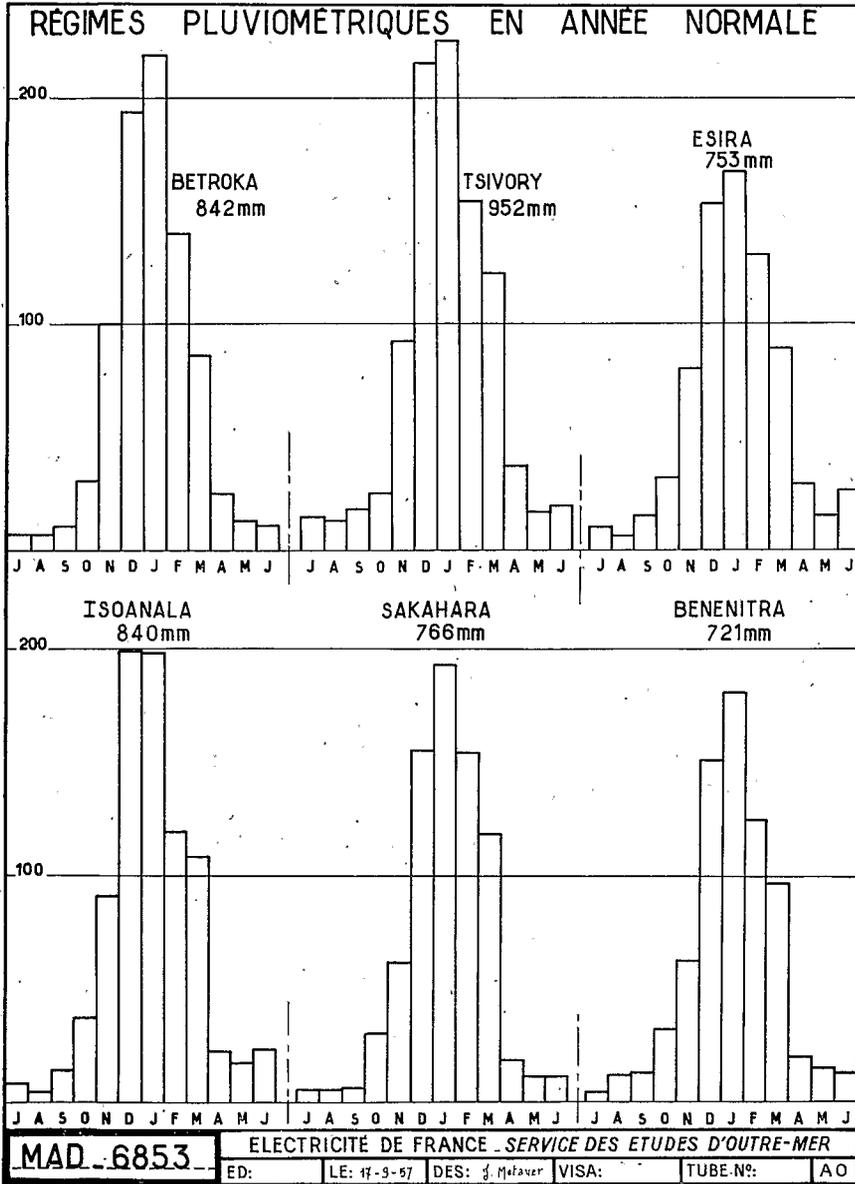


FIG. 3

— Le haut pays cristallin accuse une saison des pluies nettement marquée de 5 mois : novembre à mars, comportant un maximum de janvier, et une saison « sèche » rigoureuse de 7 mois : avril à octobre. Les mois extrêmes : octobre et avril représentent néanmoins une transition. On

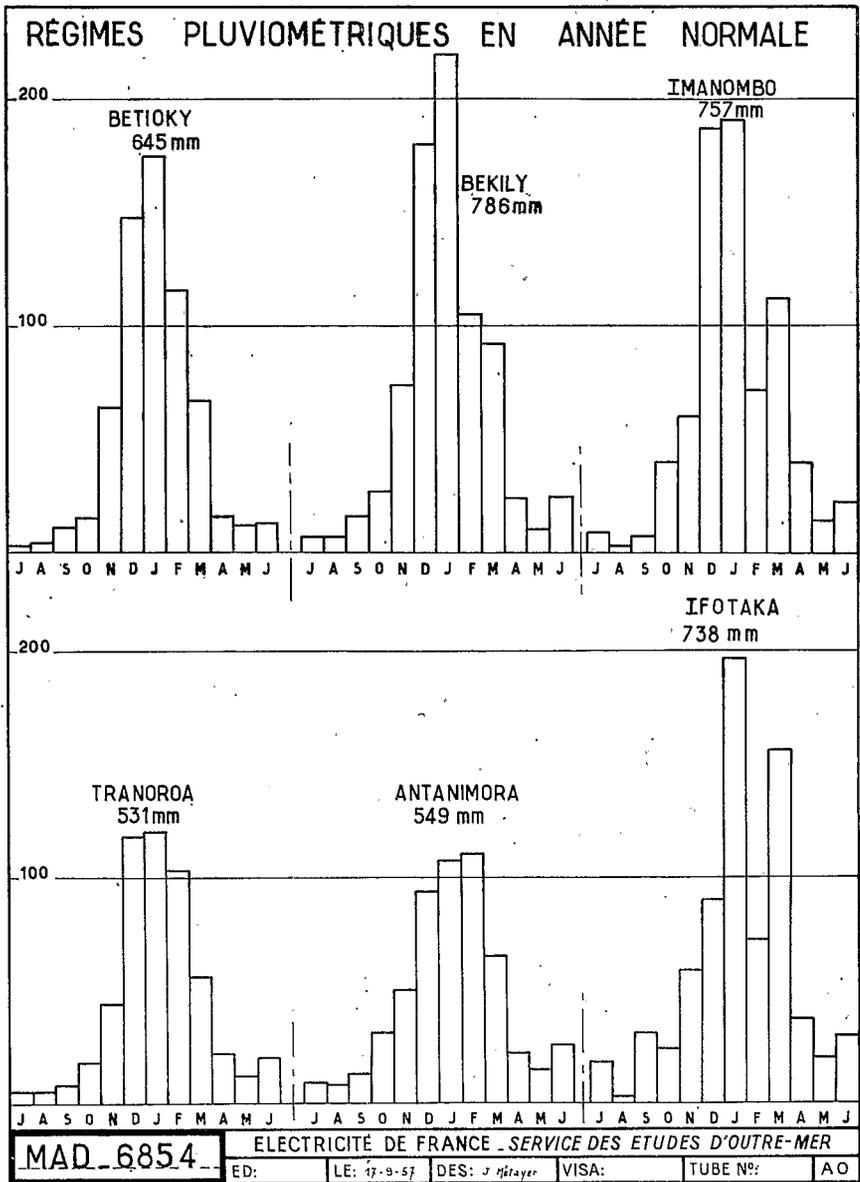


FIG. 4

observe un minimum d'août et les mois de juillet, août et septembre sont les plus secs de l'année.

Nous remarquons que Tsivory, au vent, est bien plus arrosé qu'Esira, sous le vent, quoique cette dernière station soit bien plus orientale.

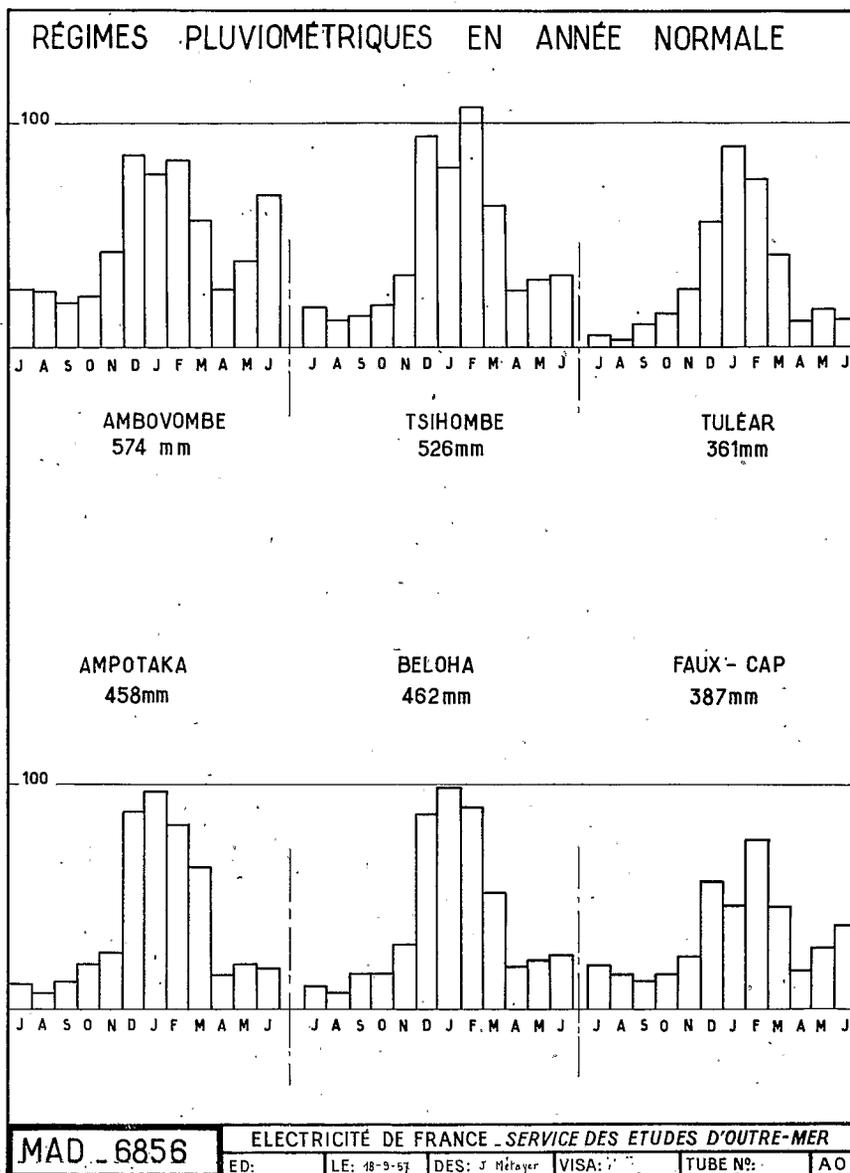


FIG. 5

En général, juin est légèrement plus abondant que mai.

L'aurole centrale qui touche la Côte Sud entre l'embouchure du Manambovo et le Cap Andrahomana accuse, dans sa partie Nord, le même caractère d'opposition entre une saison des pluies de 5 mois et une saison sèche de 7 mois. Ce caractère s'accroît en se déplaçant vers le Nord d'une part, et vers l'Ouest d'autre part (influences marines d'hiver diminuant vers le Nord : Alizé d'hiver s'affaiblissant vers l'Ouest). La saison sèche est donc ici plus sévère que sur les plateaux. (Voir Stations de Sakaraha, Benenitra, Betioky, Bekily et Tranoroa).

La partie Sud, au contraire, soumise aux influences marines d'hiver, voit cette opposition s'atténuer : Bekily que l'on peut classer dans le Nord, accuse déjà légèrement cette tendance. Elle se confirme à Imanombo, Ifotaka et Antanimora. Tsihombe et Ambovombe la représentent typiquement : saison des pluies classique bien moins marquée, hiver relativement abondant.

La bande côtière est essentiellement caractérisée par ses très faibles précipitations totales. Mais elle conserve la distinction signalée ci-dessus entre sa partie Nord-Ouest et sa partie Sud.

La pointe Sud caractérisée par Faux-Cap reçoit en moyenne 387 mm sans que l'été soit bien marqué au point de vue précipitations.

Tuléar reçoit 361 mm mais subit une saison sèche plus sévère.

Ampotaka et Beloha qui participent à la fois des deux caractères et qui sont relativement éloignés de la mer, ont un été nettement marqué, mais un hiver relativement pluvieux (Voir Tableau II, en fin d'article).

Les constatations ci-dessus, si elles mettent en évidence l'existence de deux saisons distinctes, ne montrent pas clairement l'aridité de l'hiver austral dans la zone étudiée. Il convient donc d'insister sur le fait que les moyennes mensuelles portées sur les graphiques se situent en hiver entre 5 et 20 mm, dans la plupart des cas. Ces chiffres sont excessivement faibles, eu égard aux pertes énormes par évapotranspiration. En fait, ces précipitations provoquent un écoulement superficiel très limité, sous forme de petites crues superposées à la courbe de tarissement. Il ne faut pas perdre de vue que l'année ne compte aucun mois « humide » du point de vue de THORNTON, c'est-à-dire que l'évapotranspiration potentielle dépasse toujours la précipitation mensuelle. Cela signifie que si les précipitations mensuelles se trouvaient idéalement réparties en intensité tout au long des mois considérés, l'été lui-même ne donnerait lieu à aucun écoulement.

En fait, l'intensité des averses d'été permet évidemment le ruissellement et un certain approvisionnement de la partie altérée du socle. C'est ce stockage qui permettra les faibles écoulements d'été.

Mais il est un autre facteur masquant l'aridité de l'hiver : c'est l'utilisation des valeurs moyennes. En effet, sur une observation de 10 années par exemple, il suffira d'un mois anormalement pluvieux pour transformer une série de valeurs mensuelles nulles ou très faibles en une moyenne appréciable.

Ceci nous amène à la considération statistique des données.

b) L'IRRÉGULARITÉ (fig. 6)

Nous avons donc, pour quelques stations, effectué le classement des précipitations mensuelles connues depuis 12 ou 13 ans. Cette série d'observations est trop courte pour en tirer une loi de fréquence certaine. Elle peut, néanmoins, donner d'utiles indications.

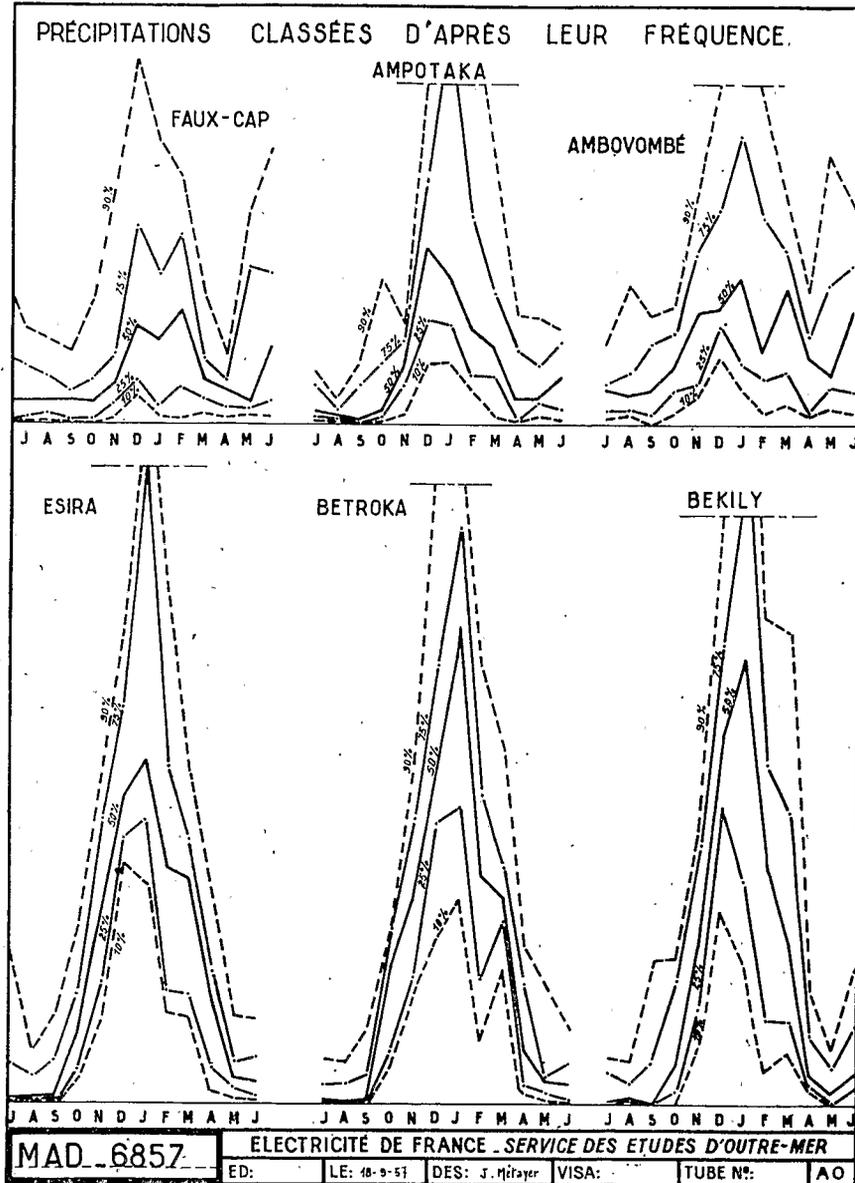


FIG. 6

On voit que ses valeurs médianes sont systématiquement inférieures aux valeurs normales. En particulier, les stations situées assez loin de la côte ont des médianes de saison sèche nulles ou proches de zéro. Le mois de janvier est le mois le plus irrégulier vers les grandes pluviométries. L'écart est important entre le 2^e quartile et la médiane. Cet écart diminue pour les stations côtières d'Ambovombe et Faux-Cap qui apparaissent régulières d'une année à l'autre. Ampotaka fait la transition avec les stations plus continentales, au point de vue de l'irrégularité.

D'une manière générale, le premier quartile est proche de la médiane.

On notera que par définition, les surfaces en gris comprises entre les deux quartiles représentent 50 % des observations.

L'ÉCOULEMENT

Depuis 1951, les hydrologues ont organisé un réseau d'échelles limnimétriques qui comprend les stations suivantes :

Sur le Mandrare : Andetsy, Andabolava, Ifotaka, Amboasary.

Sur son affluent la Mananara : Bevia.

Sur le Manambovo : Tsihombe.

Sur la Menarandra : Tranoroa, Lovokarivo.

Sur la Linta : Ejeda.

Sur l'Onilahy : Benenitra, Tongobory.

Nous limiterons l'étude des débits aux stations de Amboasary, Bevia, Tranoroa, Ejeda et Tongobory.

Les calculs de débit ont été effectués par la méthode classique :

Jaugeages périodiques au moulinet permettant d'étalonner une courbe hauteur-débits. Calcul des débits journaliers par traduction au moyen de cette courbe, des lectures d'échelles quotidiennes en débits.

Cette méthode présente des inconvénients bien connus des hydrologues, lorsqu'elle s'applique, comme c'est souvent le cas, à des lits peu profonds et sableux. Chaque crue remanie souvent profondément la section mouillée du cours d'eau et les courbes d'étalonnage s'appliquent à des périodes limitées. En fait, une étude rigoureuse des débits imposerait raisonnablement, en période de crues, au moins un jaugeage par jour, 1 à 2 jaugeages par mois en période de moyennes eaux et la mesure exacte des étiages, ceci pour chaque station.

Les faibles effectifs des hydrologues et le fait qu'ils n'ont pu se baser à Ambovombe qu'à la fin de 1955, n'ont pas permis des mesures aussi rigoureuses.

Néanmoins, les étiages ont été réétalonnés chaque année et les crues ont été calculées avec le plus de précision possible.

Des points de crue ont en effet été mesurés presque chaque année aux diverses stations et, pour certaines années, les variations du lit ont été suivies pour les crues les plus importantes.

Telles qu'elles se présentent, nous pensons que ces données permettront de fixer les idées sur le régime des cours d'eau du Sud Malgache.

Ce régime est essentiellement le reflet des pluies de la zone cristalline. En effet, les pluies de l'auréole sédimentaire externe, outre qu'elles inté-

ressent des parties de bassin situées à l'aval de nos diverses stations, ne peuvent avoir une grosse influence sur les débits bien plus importants venus des hauts bassins.

Nous aurons donc, d'une manière générale, des crues fortes et brutales en été, des étiages nuls ou faibles en hiver, la superficie des bassins intervenant comme régulateur et retardateur.

Dans l'étude qui suit, nous donnerons d'abord, pour les cinq stations considérées :

- une description rapide du bassin,
- un tableau des précipitations,
- un tableau des débits moyens mensuels, des modules et des hydraulicités,
- un tableau des débits classés.

On trouvera, dans l'Annexe 1, le mode de calcul qui nous a permis d'établir dans chaque cas les valeurs normales, nonobstant le petit nombre des années de mesure de débits (5 ans au maximum).

Pour les débits classés, nous avons essayé de calculer leur valeur normale en partant des rapports Q/M des divers débits classés, au module correspondant, et en affectant le module normal de la moyenne des coefficients Q/M .

DONNÉES DE BASE

1° LE MANDRARE A AMBOASARY

C'est un bassin de 12.612 km², de forme sensiblement circulaire. Rappelons qu'il est limité à l'Est par le Massif du Beampingaratra, au Nord par le rebord Manambien et à l'Ouest par l'avancée cristalline d'Antanimora-Tsihombe. Son altitude moyenne est de 425 m.

Il prend sa source à l'Est, dans une vallée du Beampingaratra (volcanique ancien) coulant du Sud par le Nord dans un petit lit rocheux, coupé de seuils et encombré de galets. Puis, sollicité par le rebord Manambien, il débouche d'Est en Ouest dans la partie septentrionale du bassin (gr. de Tranomaro) recevant entre autres, le Voronkatsa en R.D. et le Manambolo en R.G. Ce haut-bassin représente un vaste croissant dont le centre de concavité se situe au radier d'Andabolava. L'échelle d'Andetsa contrôle la haute vallée du Beampingaratra. Celle d'Andabolava l'ensemble du haut bassin. Signalons ici que le bassin affluent de la Mananara, au Sud-Est, conflue avec le Mandrare un peu avant Amboasary et continue ce croissant Nord-Est, achevant ainsi le dessin de la bordure du haut pays cristallin abrité des vents pluvieux.

Après Andabolava et jusque vers Ifotaka, le Mandrare coule vers le Sud dans un lit déjà sableux tracé dans le volcanique récent. Ce terrain peut donner lieu à des rétentions. Un peu après Andabolava, la vallée comporte un important cordon alluvial.

Ensuite, inséré entre le cristallin et le quaternaire, il rejoint la mer, coulant vers le Sud-Est dans un lit à faible pente considérablement élargi et sableux. La station d'Amboasary située à 16 km de l'Océan Indien et juste à l'amont du confluent de la Mananara (en R.G.) contrôle l'ensemble de ce bassin.

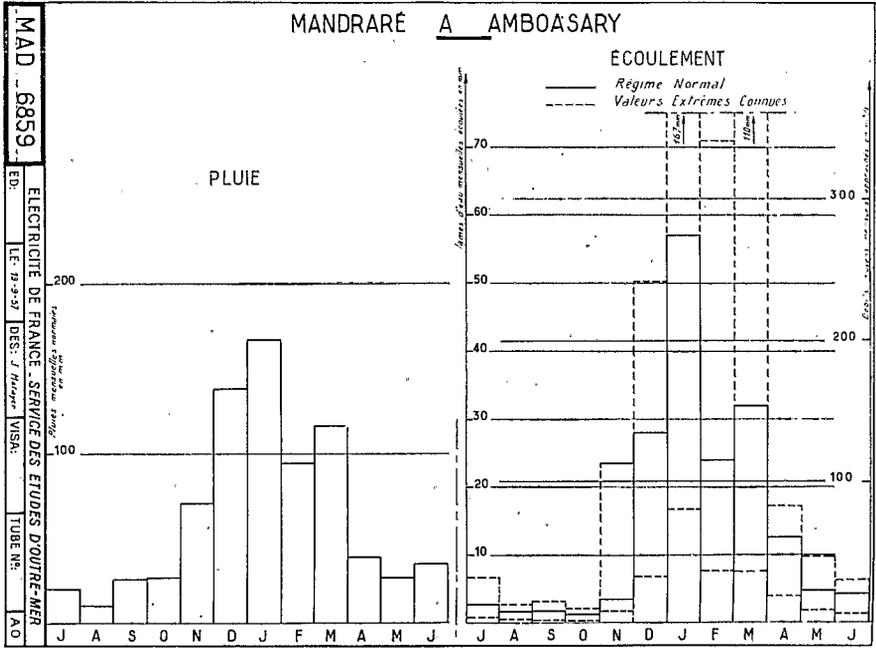


FIG. 7

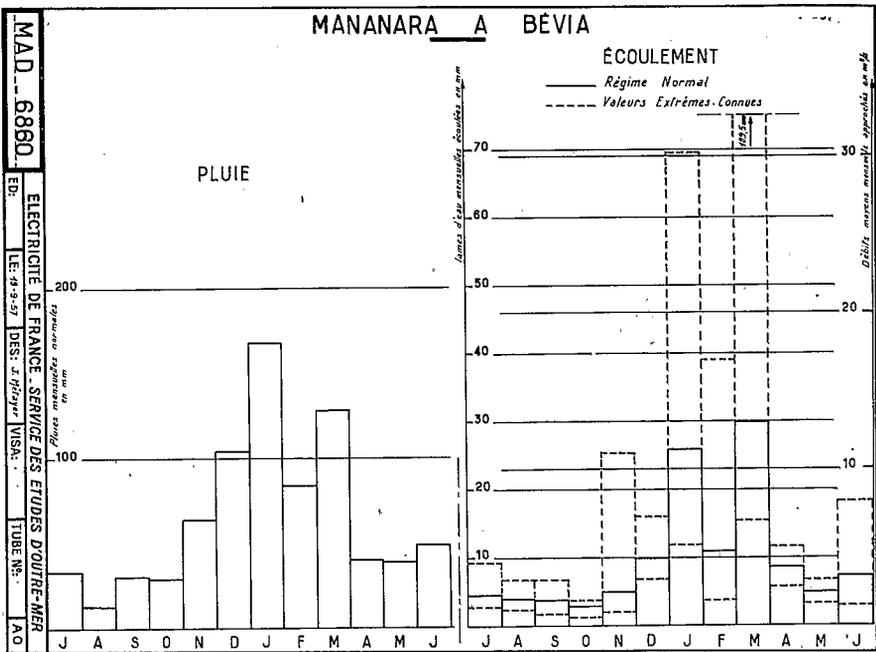


FIG. 8

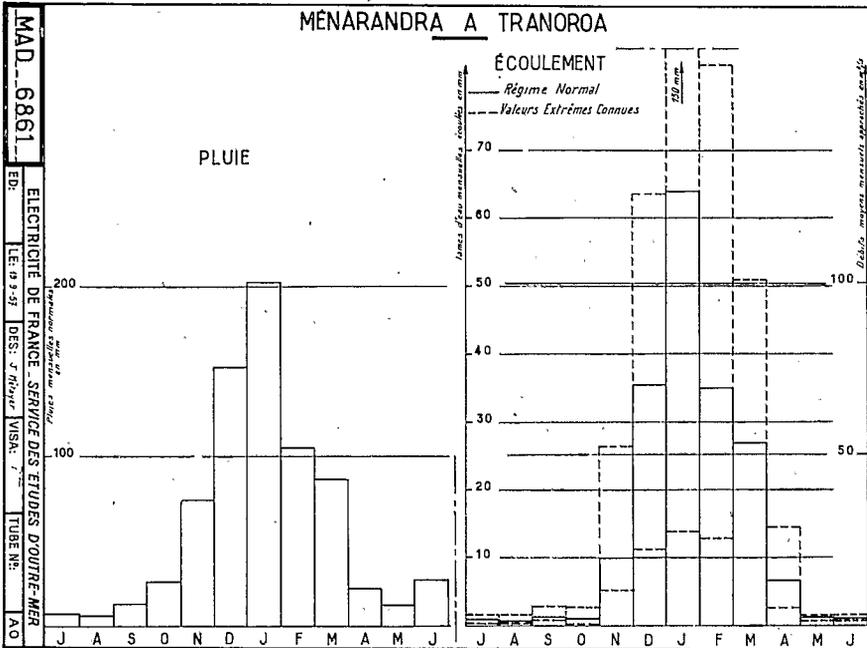


FIG. 9

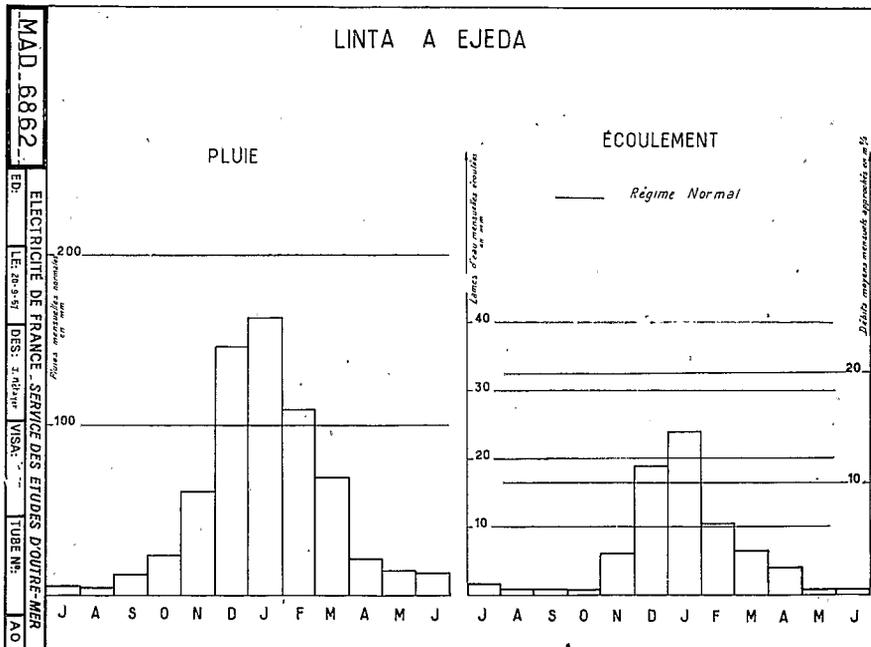


FIG. 10

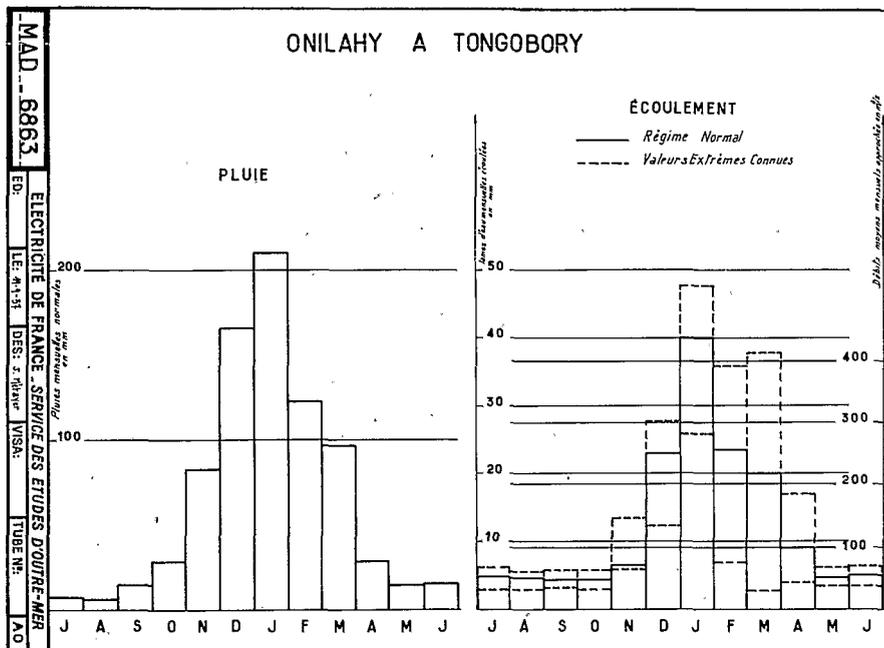


FIG. 11

Le croissant externe est très peu boisé. A la hauteur d'Andabolava, la végétation se limite à une brousse d'épineux clairsemée. Mais l'ensemble du bassin inférieur est recouvert d'une véritable forêt xérophile à pachypodium, fantsiloatra, etc. Les vallées donnent asile à de belles galeries forestières (tamariniers).

2° LA MANANARA A BEVIA

C'est un petit bassin circulaire de 1.132 km², situé à la pointe Sud du Beampingaratra. A part ses lignes de crête externes, il est très boisé et recouvert d'une brousse xérophile dense. Il comprend deux émissaires principaux : la Mananara proprement dite coulant d'Est en Ouest et un affluent de même importance qui coule Sud-Nord. Ces deux émissaires confluent tout près de la station de Bevia qui les contrôle tous les deux. Le bassin se situe dans le système Androyen (groupe de Tranomaro), imperméable. La bordure orientale est constituée de roches éruptives anciennes (granites). C'est le cours d'eau le plus oriental étudié. La Mananara est elle-même un affluent du Mandrare.

A Bevia, la rivière coule dans un lit de 30 m de largeur environ et très peu profond. Ce lit est sableux. Des rochers du socle affleurent sur les rives, qui donnent asile à une belle galerie forestière (tamariniers). L'altitude moyenne est de 350 m.

3° LA MENARANDRA A TRANOROA

C'est un bassin de 5.225 km² de forme allongée dans la direction Nord-Est - Sud-Ouest. Il se trouve ainsi perpendiculaire aux isohyètes. Les parties hautes recevant plus d'eau que les parties basses. L'altitude moyenne est de 510 m.

Il se situe entièrement dans le cristallin imperméable (groupe d'Ampan-dranda et d'Ampanihy). Il est très peu boisé, savane des hauts-plateaux sur le bassin supérieur, savane clairsemée avec des zones xérophiles ailleurs.

4° LA LINTA A EJEDA

Petit bassin de 1.607 km², très peu boisé. Il ne comporte que de la brousse très clairsemée. Il se situe entièrement dans le cristallin (groupe de Vohibory). Il est de forme allongée, et de direction Nord-Est - Sud-Ouest comme celui de la Menarandra. Il est beaucoup moins arrosé et plus bas (altitude moyenne 380 m).

5° L'ONILAHY A TONGOBORY

C'est le plus grand bassin étudié : 28.700 km². Il est assez haut : altitude moyenne 690 m. Les deux tiers de son bassin sont situés dans le cristallin. Le restant se trouve dans le système du Karroo et un peu dans le secondaire, tous terrains perméables en grand et très faillés. Le massif de l'Isalo est drainé par la Taheza. Le haut bassin cristallin n'atteint pas des longitudes très orientales et se trouve, de ce fait, peu arrosé, comparativement aux puissants voisins du Nord : Mangoky, Tsiribihina. Ce haut bassin comprend la totalité du plateau de l'Horombe aux pentes très faibles. Ce plateau comporte une forte épaisseur de latérite, qui forme probablement roche-magasin. Il est drainé par l'Imaloto. Au Sud, on trouve la rivière Mangoky et l'Isoanala, qui complètent l'éventail des hauts affluents.

La végétation est très faible sur tout le bassin, à part les galeries forestières des principaux émissaires. L'Horombe en particulier est une véritable steppe, sans aucun arbre. Partout ailleurs, forêt sèche très clairsemée, ou faible brousse xérophile.

Enfin, c'est le bassin qui subit les plus fortes températures (Voir fig. 1), et ce fait a une grosse influence sur le régime.

ANALYSE ET COMPARAISON DES DONNÉES DE BASE

1° LES RÉGIMES

Nous distinguerons deux régimes principaux suivant que l'on se trouve à l'Est ou à l'Ouest de l'avancée cristalline Antanimora-Tsihombe. Nous réserverons, enfin, une place à part pour le régime de l'Onilahy.

a) *A l'Est, régime mandararéen.* L'écoulement principal se produit de mi-novembre à fin avril, avec maxima en janvier et mars. Février marque

en général une baisse de débit. Mai est encore relativement abondant et juin marque une recrudescence ou tout au moins n'accuse pas de tarissement. Le débit évolue vers l'étiage de juillet à octobre qui est le mois le moins abondant. En fait, l'étiage absolu se place souvent dans la première quinzaine de novembre. Ce phénomène explique que la moyenne de novembre soit très faible eu égard à sa pluviométrie : il se produit un report du débit sur décembre favorisé par la végétation, d'une part; et la moyenne tient compte de la première quinzaine sèche, d'autre part. Les étiages oscillent d'une année à l'autre entre des valeurs assez rapprochées. Juin a une plus grande irrégularité, janvier et mars sont très irréguliers.

De façon générale, les crues sont moins brutales que dans les régimes suivants, par suite d'une faible influence du régime des hauts-plateaux et surtout de l'influence d'une végétation plus dense.

b) *Le régime du Sud-Ouest.* Il concerne le Manambovo, la Menarandra, la Linta et tous leurs tributaires.

Écoulement nettement marqué de novembre à avril avec un seul maximum en janvier. Après avril, le débit tombe brutalement pour donner un hiver très peu abondant. Le minimum se produit également en octobre ou novembre, octobre étant le mois le moins abondant.

Sur les petits bassins, le lit s'assèche plus ou moins tôt. Le Manambovo peu arrosé (550 mm) ne donne lieu qu'à des écoulements intermittents de saison des pluies. La Linta s'assèche en août ou septembre, en année sèche.

c) *Le régime de l'Onilahy.* Il est analogue au régime du Sud-Ouest avec maximum de janvier et minimum d'octobre ou novembre. Mais, par contre, il est caractérisé par des étiages abondants probablement alimentés par les résurgences du Massif calcaire de l'Isalo et les réserves constituées dans le plateau de l'Horombe. Le régime des affluents drainant l'Isalo (Taheza), aux étiages particulièrement soutenus, en est l'indice.

2° LES MODULES.

Leur valeur n'est pas très représentative du débit du cours d'eau, car les gros écoulements se produisent essentiellement par crues courtes et brutales. Entre les crues, le débit retombe à des valeurs bien inférieures au module. Ceci est évidemment lié à la taille du bassin.

Régime mandaréen

Il correspond à des bassins boisés et relativement bien arrosés. Le débit spécifique se situe entre 3 et 6 l/s/km² suivant la grandeur du bassin.

Il faut noter que ces chiffres sont valables dans la mesure où le bassin considéré comprend une zone cristalline haute et bien arrosée et une zone basse boisée et soumise au régime pluviométrique de la région d'Ifotaka-Behara. Les chiffres seraient comparativement plus élevés pour un bassin

situé uniquement sur la bordure cristalline orientale, et ils seraient probablement légèrement plus faibles pour des bassins situés sur la limite cristalline occidentale du Mandrare.

Régime du Sud-Ouest

L'abondance moyenne est ici liée directement à la pluviométrie. Les modules se situent probablement entre 1 et 6 l/s/km². 6 l/s/km² est le chiffre qui correspond à la Menarandra à Tranoroa. C'est un maximum, il s'agit d'un bassin bien arrosé pour cette région (732 mm). Mais, en moyenne, on doit trouver des chiffres très inférieurs; en effet, avec la Linta, on tombe à 2 l/s/km² (pluviométrie 640 mm). Les écoulements intermittents du Manambovo doivent correspondre à un module de l'ordre de 1 l/s/km² (pluviométrie 550 mm seulement).

Ces considérations ne concernent que des cours d'eau au bassin cristallin. Il est impossible de fournir des chiffres sur des bassins qui seraient situés uniquement dans le quaternaire. La profondeur du niveau phréatique et la perméabilité de ces terrains laissent prévoir un déficit très important, lié essentiellement à la grandeur du bassin.

Ces terrains ne donnent pas lieu à un écoulement à la mer, les rares thalwegs qui les drainent fournissent un écoulement très intermittent qui se perd totalement par infiltration et évaporation. Donc, un de ces bassins intérieurs, considéré en superficie jusqu'à son point de perte totale, aura un module nul. Tout est donc lié, ici, à l'implantation de la station de mesures.

C'est une étude qui serait à entreprendre dans le cadre des études sur petits bassins témoins.

Régime de l'Onilahy

Il est caractérisé par un faible module : 4,75 l/s/km² pour un bassin de 28.700 km², à comparer aux 5,9 l/s/km² de la Menarandra (5.225 km²) et aux 5,5 l/s/km² du Mandrare (12.612 km²).

Ce module s'explique par l'importance des pertes par évapotranspiration et évaporation : la température moyenne du bassin est parmi les plus élevées de l'île, son hygrométrie est par contre la plus faible. Nous avons ici le régime de l'Ouest Malgache, au Sud de l'influence de la Mousson, mais perturbé toutefois par les débits venus des hauts plateaux (influence relativement peu importante sur l'Onilahy) et par les phénomènes karstiques qui atténuent les crues et augmentent les étiages.

3° L'IRRÉGULARITÉ INTERANNUELLE

Nous ne pourrions la mesurer que sur les quelques années connues. Les coefficients habituellement employés sont :

$$K^1 = M/\mu \quad K^2 = m/\mu \quad K^3 = M/m$$

M Module le plus fort

m module le plus faible

μ module normal

Nous obtenons le tableau suivant :

	K_1	K_2	K_3
Mandrare	2,01	0,44	4,55
Mananara	1,65	0,68	2,44
Menarandra	1,75	0,62	2,84
Linta	1,80	0,74	2,44
Onilahy	1,11	0,81	1,37

Ces valeurs n'indiquent pas une très grande irrégularité. Mais, en fait, elles devraient correspondre à une valeur médiane correspondant à une période de 10 ans. En outre, elles concernent des années sans cyclone important. Si l'on avait mesuré les débits 1950-51, qui a été marquée par un cyclone très violent en janvier 1951, il est probable qu'on aurait obtenu des coefficients K^3 bien supérieurs. La région du Mandrare a reçu de 300 à 500 mm de pluie pendant les 29, 30 et 31 janvier 1951. Ambovombe a reçu, pour sa part, 593 mm. A titre de comparaison, Tsihombe accuse une précipitation maximum de 24 h. pour 1951, de 158,3 mm le 30 janvier. Or, sur 20 ans (1931-1950) la précipitation maximum de janvier était de 72 mm et la précipitation maximum annuelle sur cette même période est de 167 mm. Il faudrait probablement multiplier par 1,5 ou 2 les chiffres obtenus. Il n'en reste pas moins que ces chiffres sont relativement faibles pour des zones semi-arides.

La différence entre le Mandrare et les trois rivières suivantes n'a pas grande signification, une plus longue période donnerait peut-être des coefficients comparables. Nous remarquons l'extrême régularité de l'Onilahy qui s'explique toutefois partiellement par une tendance pluviométrique analogue pendant la période considérée. Mais la forte rétention intervient.

4° LES DÉBITS CLASSÉS

Nous avons porté sur la figure 12 les valeurs médianes des rapports des débits classés aux modules correspondants, en ordonnées.

Pour le régime Mandraréen, le débit de 3 mois est de l'ordre du module, même pour le petit bassin de la Mananara. Les débits de crue sont assez bien étalés dans le temps. Par contre, pour le régime du Sud-Ouest, on note la faible durée des débits de crue. Les courbes de la Menarandra et de la Linta sont confondues. Le débit de 3 mois n'atteint que la moitié du module. Le débit médian en représente à peine le 1/10.

Pour l'Onilahy, la courbe est complètement différente, le débit médian atteignant la moitié du module. Le débit caractéristique de crue est par contre bien plus faible que pour les autres régimes.

5° LES DÉBITS D'ÉTIAGE

Lorsque les fleuves atteignent les parties basses du cristallin et abordent le quaternaire, leur pente diminue, leur lit s'élargit et devient sinueux. Les berges apparentes se dégradent. Ces lits inférieurs permettent un sous

écoulement important. Ils présentent une tendance nette à l'aréisme. Les eaux n'atteignent l'Océan que pendant une partie de l'année. Surface du haut-bassin et pluviométrie déterminent la longueur de cette période et le point le plus amont où le débit apparent s'annule. C'est ainsi que le Manambovo ne coule que lors des crues, à Tsihombe, et peut s'assécher en pleine saison des pluies. La Linta s'assèche fréquemment en août à Ejeda. La Menarandra, mieux arrosée et possédant un haut bassin

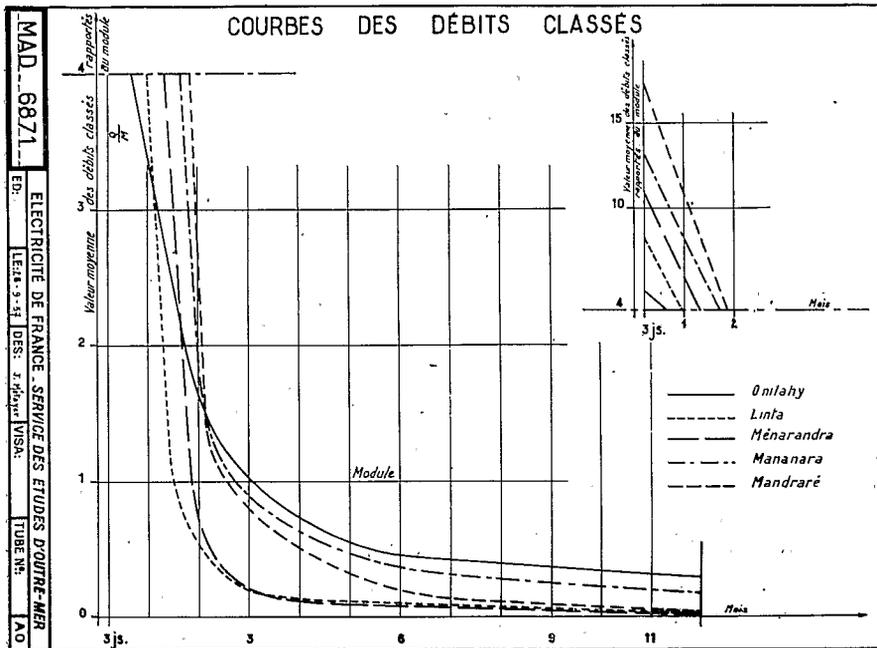


FIG. 12

étendu, s'assèche à l'aval d'Ampotaka, seulement. Pour ce cours d'eau, c'est au cours du mois de juin que les débits commencent à décroître à l'amont vers l'aval. En octobre 1952, on a jaugé 0,20 m³/s à Tranoroa et 0,16 m³/s à Lovokarivo situé à l'aval d'Ampotaka, dans le quaternaire. Par contre, un jaugeage intermédiaire sur le seuil de Riambe a donné 0,29 m³/s. Donc, à Tranoroa, situé pourtant 300 m seulement à l'amont d'un seuil rocheux, le 1/3 du débit d'étiage passait en sous-écoulement.

Bien que l'importance de ce sous-écoulement fausse les données, il est possible d'indiquer quelques chiffres pour fixer les idées.

La Mananara ne doit pas donner lieu à un important sous-écoulement, car son lit est relativement proche du bedrock. 1953 doit présenter un étiage normal étant donnée la pluviosité de l'année hydrologique 1952-1953.

Etiage 1953 : 0,74 m³/s
soit : 0,65 l/s/km²

Le Mandraré accuse un étiage apparent correspondant bien plus faible (inféoflux très important) :

210 m³/s
soit : 0,17 l/s/km²

En année sèche, la Mananara a vu son débit s'abaisser à Bevia jusqu'à 0,34 l/s/km² et il est probable que l'étiage 1956 a dû être encore plus sévère. Le Mandrare a atteint 0,02 m³/s.

Sur la Menarandra, l'étiage normal est de 1 m³/s, soit 0,19 l/s/km², sans que le sous-écoulement ait une grosse influence pour un débit de cet ordre, à Tranoroa. En année sèche, ce fleuve a vu son débit baisser jusqu'à 80 litres par seconde.

L'Onilahy a des étiages suffisamment abondants pour que le sous-écoulement puisse être négligé. Ils sont également très réguliers, puisqu'ils ont oscillé de 1951 à 1956 entre 24 et 39 m³/s.

L'étiage normal peut être fixé à 30 m³/s soit 1 l/s/km² et l'étiage de l'année sèche à 24 m³/s soit 0,84 l/s/km², on voit par là le pouvoir de rétention de ce bassin.

6° LES CRUES

L'écoulement s'effectue surtout par les crues courtes et intenses sur les petits bassins. Le débit redescendant rapidement à des valeurs de l'ordre du module. Toutefois, indépendamment de la superficie du Bassin versant, les crues sont plus longues, mieux réparties dans le régime Mandraréen, du fait de la végétation.

Le Mandrare avec ses 12.632 km² de bassin versant a des crues puissantes, bien étalées dans le temps. Mais si nous prenons par exemple la crue de février 1954, nous voyons le débit passer de 2.260 m³/s à 96 m³/s seulement en 18 jours. C'est dire que la dentelle des débits comporte des échancrures à très grande amplitude.

Si nous considérons les bassins de 1.000 à 2.000 km² (Mananara) les crues sont évidemment plus courtes. A Bevia, on a eu 136 m³/s le 7 janvier 1955, 6 jours après, le débit était de 7,48 m³/s. La montée est très brutale : une demi-journée ou moins.

Dans le régime du Sud-Ouest, on assiste à de véritables mascarets qui provoquent dans des bassins déboisés, des érosions considérables.

A Ejeda, malgré un bassin de 1.607 km², la crue dure 1 à 3 jours seulement. Nous avons assisté à une crue de 1.400 m³/s à Tranoroa, le débit redescendant à 100 m³/s en 2 jours.

Lors des averses, les petits thalwegs contrôlant 10 à 50 km² se mettent en eau en 1 heure ou 2. La décrue demande 3 à 4 heures et l'écoulement s'arrête.

Voici les chiffres de crue maxima annuels connus en m³/s :

	1951/52	1952/53	1953/54	1954/55	1955/56
Mandrare	2.770	1.308	2.260	4.200	1.320
Mananara	295	78,5	96	136	78,5
Menarandra	754	714	1.830	1.576	557
Onilahy	960	454	1.134	1.050	818

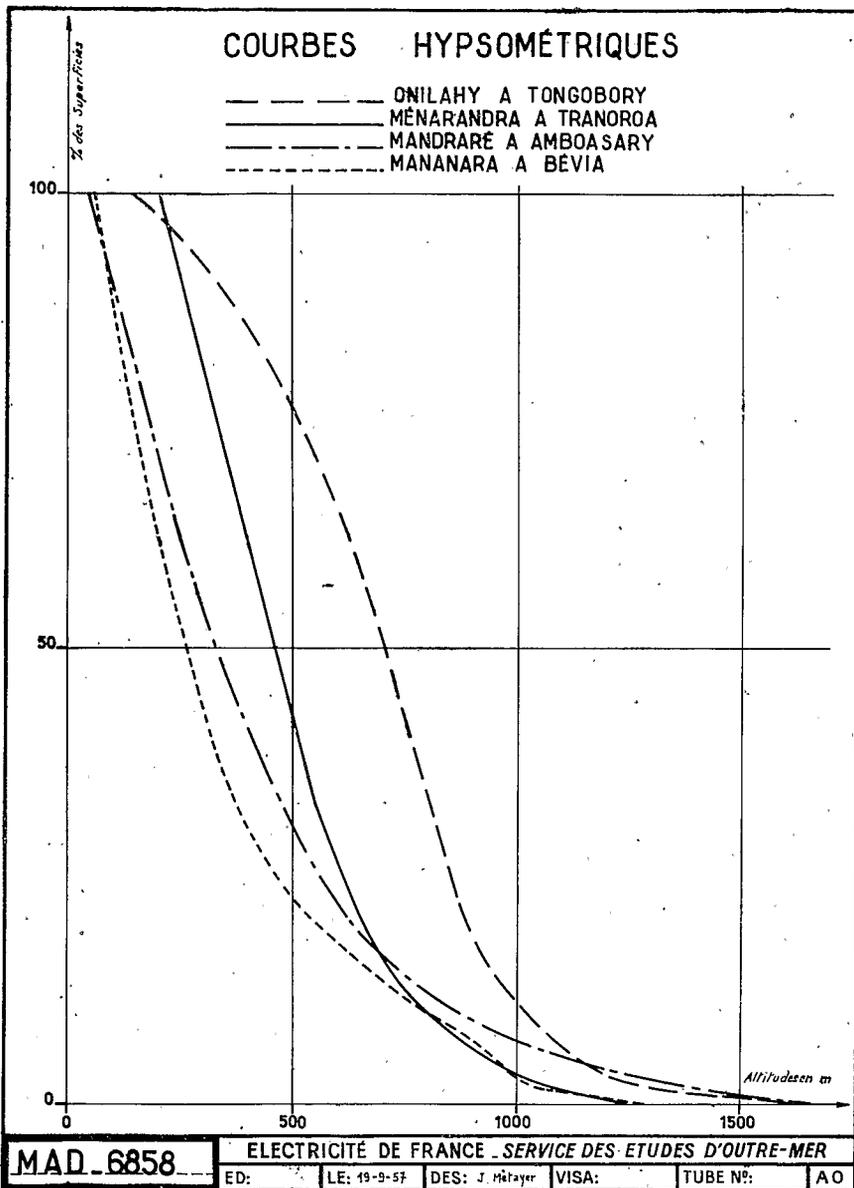


FIG. 13

En chiffres maxima, cela nous donne pendant la période des mesures :

- pour le Mandrare : 335 l/s/km²,
- pour la Mananara : 260 l/s/km²
- pour la Menarandra : 350 l/s/km²
- pour l'Onilahy : 40 l/s/km²

Il serait imprudent de prendre les médianes de la période d'observations comme valeurs caractéristiques médianes des crues. Il ne s'est pas produit de très fortes crues pendant cette période alors qu'il y en a eu auparavant dans cette région. Nous prendrons donc, en attendant, des valeurs voisines des maxima comme valeurs normales :

soit : 300 l/s/km² pour le régime Mandraréen
 350 l/s/km² pour le régime du Sud-Ouest
 (végétation plus dense)

ceci pour des bassins de 1.000 à 2.000 km². Ces chiffres doivent diminuer pour les grands bassins.

Les 335 l/s/km² du Mandrare nous paraissent donc ressortir à une fréquence déjà faible.

Le chiffre de l'Onilahy 40 l/s/km² est bien spécial à ce bassin. La crue du Mangoky de janvier 1956 a atteint 14.000 m³/s soit pour 59.000 km², 237 l/s/km². Il faut donc admettre que les crues de l'Onilahy sont fortement amorties par les conditions géologiques. De plus amples études seraient nécessaires pour préciser ce point. En effet, on a longtemps cru que les crues du Mangoky ne dépassaient pas 4 à 5.000 m³/s jusqu'à ce qu'on ait étudié les variations du lit. Le lit de l'Onilahy présente des caractéristiques absolument analogues. Mais les phénomènes karstiques sont bien moins importants pour le Mangoky que pour l'Onilahy. La valeur de l'étiage en est significative : 1 l/s/km² pour l'Onilahy, et seulement 0,75 l/s/km² pour le Mangoky qui a un bassin deux fois plus vaste et qui reçoit 960 mm d'eau au lieu de 790 pour l'Onilahy.

En l'état actuel de nos connaissances, il est difficile de parler des débits de faible fréquence.

M. PELLERAY, dans son étude des données de base hydrologiques, estime à 2.500 m³/s la crue de la Menarandra consécutive au cyclone de 1951, et à 1/25 à 1/50 la probabilité de cette crue. Ceci conduirait donc à des débits spécifiques de l'ordre de 500 l/s/km², qui nous paraissent tout à fait vraisemblables.

Une évaluation sur la Linta à Ejeda, nous a fourni le chiffre de 800 m³/s pour une crue de 1954, soit également 500 l/s/km², pour une crue plus fréquente sur un bassin plus petit.

Les valeurs doivent être plus fortes pour les bassins de 1.000 à 300 km² et avoisinent 1 m³/s/km².

Ces chiffres assez élevés correspondent bien à un régime semi-aride. Ils correspondent tous à des perturbations cycloniques.

7° DÉFICIT D'ÉCOULEMENTS ANNUELS - COEFFICIENT D'ÉCOULEMENT

La figure 14 nous donne la relation pluie-écoulement pour les différentes stations, d'après le Tableau XIX.

On voit, comme il est normal, le déficit augmenter avec la pluie puis plafonner vers un maximum.

Les courbes de la Mananara et de la Linta sont plus hautes que celles de la Menarandra et du Mandrare. Cela signifie que pour des pluviométries égales, Menarandra et Mandrare auraient des déficits plus faibles. Il faut

voir là l'influence de la température (Voir fig. 1) plus faible pour ces deux bassins, par suite de l'altitude. La courbe de l'Onilahy où siègent les plus fortes températures croît beaucoup plus rapidement avec la pluie.

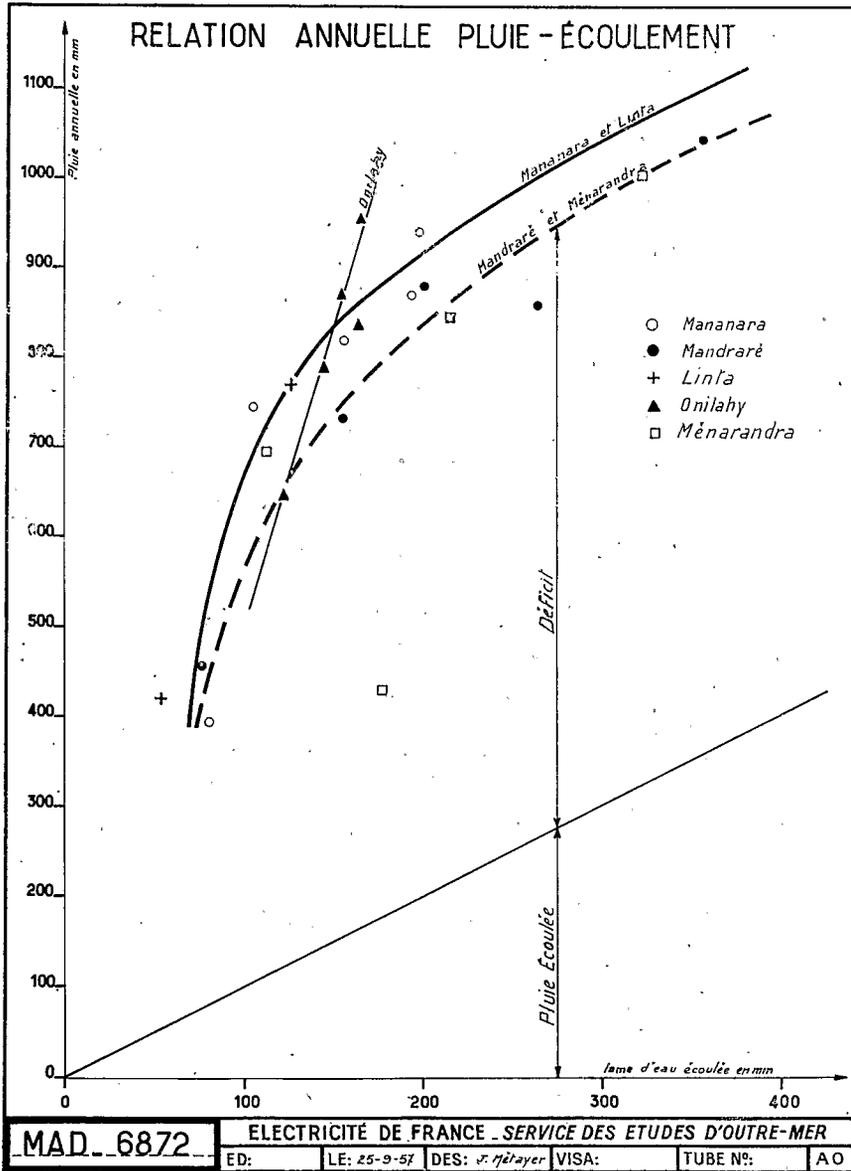


FIG. 14

Nous retiendrons les chiffres suivants :

Régime Mandraréen :

Déficit : 300 à 750 mm.

Valeur normale : 620.

Coefficient d'écoulement : 14 à
35 %

Valeur normale : 20 %.

Régime du Sud-Ouest :

Déficit : 350 à 700 mm.

Valeur normale : 560.

Coefficient d'écoulement : 12 à
32 %.

Valeur normale : 17 %.

Onilahy :

Déficit : 500 à 800 mm.

Valeur normale : 645.

Coefficient d'écoulement : 17 à 20 %.

Valeur normale : 18 %.

CONCLUSION

Le régime de ces régions varie, on le voit, dans une assez large mesure suivant l'exposition, le relief, la couverture végétale et surtout la nature géologique du sol qui est très variée. Seules les études sur bassins élémentaires auraient pu permettre de bien dégager les caractéristiques des diverses variantes et d'en analyser les facteurs conditionnels.

Quoi qu'il en soit, nous rencontrons un certain nombre de caractères communs qui peuvent distinguer ces régions d'autres zones arides ou semi-arides du globe :

1° une saison des pluies assez nette, ce qui est favorable au ruissellement,

2° une régularité interannuelle plus forte que pour la plupart des régions arides, c'est là un élément favorable,

3° des crues très fortes correspondant aux cyclones de l'Océan Indien,

4° les étiages sembleront peut-être relativement élevés, mais nous ne devons pas oublier que les seules valeurs que nous avons indiquées correspondent à la région cristalline alimentée d'ailleurs par les hauts-plateaux.

Les études des petits cours d'eau des régions sédimentaires nous auraient montré que le nombre d'heures où il y a ruissellement et même écoulement, est assez faible chaque année.

Il est certain que le caractère d'insularité de ces régions joue dans un sens favorable. Si l'île de Madagascar présentait des dimensions beaucoup plus grandes, on retrouverait un caractère d'aridité beaucoup plus marqué, même pour des hauteurs de précipitations équivalentes (augmentation de l'irrégularité interannuelle, raccourcissement de la période de ruissellement et d'écoulement, etc.).

Il n'en reste pas moins que pour certaines parties de la région étudiée, les ressources en eaux, même pour la simple culture vivrière, sont souvent insuffisantes. La recherche de conditions moins précaires pour les cultures actuelles et, à plus forte raison, le développement de l'agriculture, posent à l'hydraulicien des problèmes difficiles à résoudre.

TABLEAU I

Évaporations journalières
à la Station du Banyan

ANNÉES	STATIONS											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1955.....	5,2	5,9	4,5	4,8	3,9	3,0	3,6	4,0	5,1	6,3	7,2	6,4
1956.....	5,4	5,4	4,5	4,5	3,7	2,5	2,6	4,3	4,8	5,6	6,9	6,7
Moyenne....	5,3	5,6	4,5	4,6	3,8	2,8	3,1	4,1	5,0	5,9	7,1	6,5

TABLEAU II

STATIONS TOTAL ANNUEL SAISON SÈCHE

STATIONS	TOTAL ANNUEL	SAISON SÈCHE
	mm	%
Betroka	842	18,5
Tsivory	952	15,1
Esira	753	17,7
Sakaraha	766	11,2
Benenitra	721	15,1
Betioky	645	11,5
Bekily	786	14,8
Tranoroa	531	17
Tsihombe	526	28,5
Ambovombe	574	40
Faux-Cap	387	37
Tulear	361	20

TABLEAU III

Mandrare à Amboasary
Précipitations sur le Bassin

Année hydrologique	STATIONS												Total annuel	Pluviosité par rapport à la normale
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J		
1951-1952	35	1	27	8	62	122	135	88	352	24	25	0	880	1,14
1952-1953	5	5	28	28	66	160	151	128	104	19	10	28	732	0,95
1953-1954	26	7	61	18	89	149	270	197	143	34	7	41	1.042	1,35
1954-1955	3	1	20	26	174	163	278	24	73	42	21	13	858	1,11
1955-1956	3	11	6	9	85	89	80	30	76	35	19	14	457	0,59
Moyenne	14	9	28	18	95	137	183	93	150	31	16	19	794	1,03
Normale	20	10	26	27	71	138	167	94	116	39	27	35	770	1,00

TABLEAU IV
Mandrare à Amboasary
Débits moyens mensuels. Modules. Hydraulicité

Année hydrologique	J m ³ /s	A m ³ /s	S m ³ /s	O m ³ /s	N m ³ /s	D m ³ /s	J m ³ /s	F m ³ /s	M m ³ /s	A m ³ /s	M m ³ /s	J m ³ /s	Module annuel m ³ /s	Hydraulicité par rapport à la normale
1951-1952	10,6	8,9	9,8	6,5	11,0	32,7	118	96,5	5,8	84,2	(46)	30,9	80,00	1,15
1952-1953	10	0,6	6,3	5,7	18,9	98,8	79,3	208	207	82,7	12,7	31,0	62,53	0,90
1953-1954	20	12,9	15,5	9,5	9,6	237,2	660	370	207	84	33	29	140,50	2,05 (année humide)
1954-1955	17,3	12,7	8,0	8,9	115	188	789	46,5	35,5	19,5	9,3	5,8	105,93	1,52
1955-1956	3,9	2,5	1,1	1,0	8,6	64,8	97,8	39,6	88,6	38,5	13,7	8,07	30,84	0,44 (année sèche)
Moyenne	12,4	7,5	8,1	6,3	32,6	124	349	152	108	62	23	21	75,5	1,08
Normale	12,4	7,5	8,1	6,3	17,1	132	269	125	151	62	23	21	69,5	1,00

TABLEAU V
Mandrare à Amboasary
Débits classés

Années	DC 11 Mois		DC 9 Mois		DC 6 Mois		DC 3 Mois		DCC 3 Jours	
	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M
1951-1952	6,3	0,08	9	0,11	13	0,16	65	0,81	2.200	27,50
1952-1953	0,6	0,01	6,5	0,10	17	0,27	82	1,31	790	12,63
1953-1954	7,5	0,03	13,5	0,06	30	0,13	147	0,66	2.000	9,00
1954-1955	6	0,06	8,56	0,08	14,5	0,14	53,8	0,51	3.300	31,20
1955-1956	0,9	0,03	2,71	0,09	7,24	0,23	30,7	1,00	530	17,20
Médianes des rapports Q/M		0,035		0,09		0,17		0,81		17,20
Débits classés normaux		2,4		6,2		11,8		56		1.195

TABLEAU VI
Mananara à Bevia
Précipitations sur le Bassin

Année hydrologique	J mm	A mm	S mm	O mm	N mm	D mm	J mm	F mm	M mm	A mm	M mm	J mm	Total annuel	Pluviosité par rapport à la normale
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1951-1952	36	6	15	25	72	93	118	89	321	41	49	5	870	1,13
1952-1953	10	0	30	20	50	121	162	142	81	15	40	76	747	0,97
1953-1954	53	8	74	24	50	108	253	161	118	36	15	40	940	1,22
1954-1955	7	29	15	35	170	135	211	31	102	51	24	10	820	1,07
1955-1956	6	5	5	6	64	60	87	18	61	44	29	10	395	0,51
Moyenne	22	9	28	22	81	103	166	88	137	37	31	28	755	0,98
Normale	33	13	30	29	64	104	158	84	128	40	39	49	770	1

TABLEAU VII
Mandrare à Bevia
Débits moyens mensuels. Modules. Hydraulicité

Année hydrologique	J m ³ /s	A m ³ /s	S m ³ /s	O m ³ /s	N m ³ /s	D m ³ /s	J m ³ /s	F m ³ /s	M m ³ /s	A m ³ /s	M m ³ /s	J m ³ /s	Module annuel m ³ /s	Hydraulicité par rapport à la normale
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1951-1952	2,24	2,05	2,30	2,11	3,28	3,51	4,97	7,78	46,12	3,79	2,49	2,99	6,98	1,44
1952-1953	1,46	1,24	1,49	1,07	2,50	4,20	6,69	6,79	6,55	4,03	1,70	7,98	3,78	0,78
1953-1954	3,54	2,92	2,98	1,59	1,34	4,40	28,6	17,63	16,89	2,53	1,36	1,83	7,10	1,46
1954-1955	1,28	1,14	0,80	0,88	11,07	6,77	29,3	1,62	6,90	3,13	2,15	1,68	5,61	1,05
1955-1956	1,20	1,04	0,71	0,53	0,89	2,89	7,97	3,50	7,11	5,05	2,76	1,26	2,91	0,60
Moyenne	1,94	1,68	1,66	1,24	3,82	4,35	15,52	7,46	16,71	3,71	2,09	3,15	5,29	1,09
Normale	1,94	1,68	1,66	1,24	2,61	4,66	14,0	6,06	15,2	3,71	2,09	3,15	4,85	1,00

TABLEAU VIII
Mananara à Bevia
Débits classés

Années	DC 11 Mois		DC 9 Mois		DC 6 Mois		DC 3 Mois		DCC	
	m ³ /s	Q/M								
1951-1952	1,9	0,27	2,05	0,29	2,30	0,33	4,8	0,69	133	19
1952-1953	0,75	0,20	1,06	0,28	1,60	0,42	3,9	1,03	18	4,8
1953-1954	0,90	0,13	1,25	0,18	2,80	0,40	7,5	1,06	65	9,2
1954-1955	0,77	0,14	0,85	0,15	1,30	0,23	4,5	0,80	115	20,5
1955-1956	0,60	0,21	0,90	0,31	1,4	0,48	2,5	0,86	33	11,4
Médianes des Q/M		0,19		0,24		0,37		0,90		13
Débites classée normaux	0,92		1,16		1,79		4,37		63	

TABLEAU IX
Menarandra à Tranoroa
Précipitations sur le Bassin

Année hydrologique	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Total annuel	Pluviosité par rapport à la normale
—	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	—
1951-1952	12	15	50	4	36	83	201	66	164	47	15	2	695	0,95
1952-1953	0	5	73	14	81	143	231	169	58	16	21	37	848	1,16
1953-1954	3	3	37	17	120	199	294	201	81	14	7	29	1.005	1,37
1954-1955	5	8	2	31	110	223	(337)	(11)	(54)	(15)	(6)	(18)	820	1,12
1955-1956	1	7	5	13	69	97	73	73	70	16	4	3	430	0,59
Moyenne	4	8	33	16	83	149	200	127	93	23	12	18	760	1,04
Normale	7	6	13	26	74	152	203	105	86	22	12	27	732	1,00

Nota : Les moyennes ne tiennent pas compte des chiffres entre parenthèses.

TABLEAU X
Menaranda à Tranoroa
Débits moyens mensuels. Modules. Hydraulicité

Année hydrologique	J m³/s	A m³/s	S m³/s	O m³/s	N m³/s	D m³/s	J m³/s	F m³/s	M m³/s	A m³/s	M m³/s	J m³/s	Module annuel m³/s	Hydraulicité par rapport à la normale
1951-1952	1,60	1,54	2,24	1,75	10,6	22,3	27,0	26,9	99,3	28,2	3,05	2,12	18,93	0,62
1952-1953	0,82	0,78	5,68	0,68	22,1	92	113	141	49,3	8,26	1,70	1,81	35,83	1,17
1953-1954	3,03	1,70	1,70	1,65	21,7	124	254	178	53,2	5,5	3,12	3,14	53,76	1,75
1954-1955	3,07	3,14	2,90	5,24	53,5	116						2,16		
1955-1956	0,93	0,99	2,20	0,84	17,1	100	89,3	34,2	94,2	10,7	2,70	2,63	29,64	0,97
Moyenne	1,9	1,63	2,94	2,03	25,0	90,8	121	95,0	74,0	13,16	2,64	2,39	34,54	1,12
Normale	1,9	1,63	2,94	2,03	20,2	69,2	125	75,5	52,6	13,16	2,64	2,39	30,7	1,00

TABLEAU XI
Menarandra à Tranoroa
Débits classés

Années	DC 11 Mois		DC 9 Mois		DC 6 Mois		DC 3 Mois		DCC	
	m³/s	Q/M	m³/s	Q/M	m³/s	Q/M	m³/s	Q/M	m³/s	Q/M
1951-1952	1,40	0,07	1,52	0,08	2,37	0,13	8,84	0,47	137	7,24
1952-1953	0,36	0,01	0,60	0,02	1,68	0,05	14,7	0,41	532	14,8
1953-1954	1,69	0,031	1,74	0,03	3,16	0,06	15,9	0,30	571	10,6
1954-1955	1,95	0,04	2,80	0,05						
1955-1956	0,42	0,014	0,95	0,03	2,74	0,09	20,3	0,68	318	10,7
Médianes des Q/M		0,028		0,038		0,08		0,46		10,8
Débits classés normaux	0,86		1,17		2,45		14,2		331	

TABLEAU XII
Linta à Ejeda
Précipitations sur le Bassin

Année hydrologique	J mm	A mm	S mm	O mm	N mm	D mm	J mm	F mm	M mm	A mm	M mm	J mm	Total annuel	Pluviosité par rapport à la normale
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1951-1952	12	17	28	3	77	72	167	55	174	29	12	1	647	1,01
1952-1953	0	2	47	3	53	110	139	178	48	5	25	23	633	0,99
1953-1954	0	1	32	44	88	159	257	126	36	8	0	19	770	1,20
1954-1955	6	4	1	23	92	165	216	48	20	20	11	19	625	0,98
1955-1956	0	1	5	22	40	101	52	106	82	9	3	0	420	0,66
Normale	5	4	12	23	61	146	163	109	69	21	14	13	640	1,00

TABLEAU XIII
Linta à Ejeda
Débits moyens mensuels. Modules. Hydraulicité

Année hydrologique	J m ³ /s	A m ³ /s	S m ³ /s	O m ³ /s	N m ³ /s	D m ³ /s	J m ³ /s	F m ³ /s	M m ³ /s	A m ³ /s	M m ³ /s	J m ³ /s	Module annuel	Hydraulicité par rapport à la normale
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1951-1952	—	—	—	—	—	—	11,7	3,4	16,8	—	—	—	—	—
1952-1953	—	—	—	—	—	—	13,2	14,7	2,6	0,38	0,11	0,16	—	—
1953-1954	0,27	0,19	0,16	1,02	4,33	7,32	34,9	23,4	3,77	1,54	0,47	0,74	6,43	1,81
1954-1955	0,23	0,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,31	—	—
1955-1956	0,38	0,39	0,1	1,0	3,0	19,0	4,3	5,6	5,3	0,36	0,05	0,05	2,63	0,74
Normale	0,27	0,19	0,16	1,02	3,73	11,4	14,4	6,95	3,90	0,38	0,11	0,16	3,56	1,00

TABLEAU XIV

Linta à Ejeda
Débits classés

Années	DC 11 Mois		DC 9 Mois		DC 6 Mois		DC 3 Mois		DCC	
	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M						
1953-1954	0,155	0,02	0,188	0,03	0,57	0,09	3,23	0,50	63,7	9,9
1955-1956	0,05	0,02	0,086	0,03	0,28	0,11	1,00	0,38	17,6	6,7
Q/M moyen		0,02		0,03		0,10		0,44		8,3
Débits classés normaux	0,07		0,11		0,35		1,57		30	

TABLEAU XV

Onilahy à Tongobory
Précipitations sur le Bassin

Année hydrologique	J mm	A mm	S mm	O mm	N mm	D mm	J mm	F mm	M mm	A mm	M mm	J mm	Total annuel	Pluvisité par rapport à la normale
1951-1952	14	10	24	21	110	115	227	73	206	41	26	3	870	1,10
1952-1953	0	2	52	24	110	122	190	174	102	23	14	24	837	1,06
1953-1954	2	4	29	22	99	189	304	180	81	22	3	15	950	1,20
1954-1955	2	7	6	19	123	201	295	33	52	21	12	15	786	1,00
1955-1956	1	6	5	18	72	133	156	93	136	16	4	4	645	0,82
Moyenne	4	6	23	21	103	152	234	111	115	25	12	12	817	1,03
Normale	7	6	14	28	82	166	210	123	97	28	14	15	790	1,00

TABLEAU XVI
Onilahy à Tongobory
Débits moyens mensuels. Module. Hydraulicité

Année hydrologique	J m ³ /s	A m ³ /s	S m ³ /s	O m ³ /s	N m ³ /s	D m ³ /s	J m ³ /s	F m ³ /s	M m ³ /s	A m ³ /s	M m ³ /s	J m ³ /s	Module annuel m ³ /s	Hydraulicité par rapport à la normale
1951-1952	(48)	45	47,4	35,6	106	131	460	239	404	99	37	36,2	140,7	1,03
1952-1953	31,9	29,3	(35)	31,2	91,8	205	277	424	388	187	46,8	67,2	149,5	1,11
1953-1954	59,5	58,9	63,0	60,2	85,2	266	313	366	28,2	93	65,1	69,4	147,5	1,09
1954-1955	65,3	(55)	46,4	51,0	149	296	510	125	117	44	48	58	131,1	0,96
1955-1956	53	54	44	46	76	256	329	79	232	73	46	40	111	0,81
Moyenne	51,5	48,4	47,1	44,8	101,6	231	378	247	284	99	48,6	54,1	136,2	1,00
Normale	51,5	48,4	47,1	44,8	72	246	428	278	214	99	48,6	54,1	136	1,00

TABLEAU XVII
Onilahy à Tongobory
Débits classés

Années	DC 11 Mois		DC 9 Mois		DC 6 Mois		DC 3 Mois		DCC	
	m ³ /s	Q/M	m ³ /s	Q/M						
1951-1952	33	0,23	39	0,28	65	0,46	190	1,35	718	5,1
1952-1953	27	0,18	31	0,21	59	0,39	280	1,87	610	4,1
1953-1954	50	0,34	58	0,39	68	0,46	146	0,99	650	4,4
1954-1955	42	0,32	53	0,40	60	0,46	115	0,88	660	5,0
1955-1956	37	0,33	43	0,39	53	0,48	100	0,90	550	5,0
Médianes des Q/M		0,28		0,35		0,46		1,05		5,0
Débits classés normaux	38		47,6		62,5		143		680	

TABLEAU XVIII

Bassins versants	Mandrare à Amboasary	Mananara à Bevia	Menarandra à Tranoroa	Linta à Ejeda	Onilaby à Tongobory
Superficie km ²	12.612	1.132	5.225	1.607	28.700
Pluviométrie normale mm	770	770	732	640	790
Modules m ³ /s	69,5	4,30	30,7	3,56	136
Modules spécifiques l/s. km ²	5,5	3,8	5,9	2,22	4,75

TABLEAU XIX

	Mananara à Bevia			Mandrare à Amboasary			Menarandra à Tranoroa			Linta à Ejeda			Onilaby à Tongobory		
	pluie	écoul.	déficit	pluie	écoul.	déficit	pluie	écoul.	déficit	pluie	écoul.	déficit	pluie	écoul.	déficit
1951/52	870	194	676	880	200	680	695	114	581	647	—	—	870	154	716
1952/53	747	105	642	732	156	576	848	216	632	633	—	—	837	164	673
1953/54	940	198	742	1.042	357	685	1.005	323	682	770	126	644	950	163	787
1954/55	820	156	664	858	264	594	820	—	—	625	—	—	786	144	642
1955/56	395	81	314	457	77	380	430	179	251	420	52	368	645	122	523
Normale	770	127	643	770	170	600	732	147	585	640	95	545	790	145	645