

REPOBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY
Tanindrazana — Tolom-piavotana — Fahafahana

MINISTERE DE LA PRODUCTION AGRICOLE ET DE LA REFORME AGRAIRE

SECRETARIAT GENERAL

COMITE DE COORDINATION DU PROJET DE REHABILITATION DES PETITS PERIMETRES IRRIGUES

ASSISTANCE TECHNIQUE AU MPARA

POUR LE

PROJET DE REHABILITATION DES
PETITS PERIMETRES IRRIGUES

ETUDE HYDROLOGIQUE DES P.P.I
DE LA PREMIERE TRANCHE

RAPPORT DEFINITIF

PAR

M. ALDEGHERI

CONSULTANT HYDROLOGUE
LOUIS BERGER INTERNATIONAL Inc.

Marché : n° 6079.IDA/85/MPARA/DP/SCR/PPI

Titulaire : LOUIS BERGER INTERNATIONAL Inc.

NOVEMBRE 198

S O M M A I R E

- I - INTRODUCTION
- II - BUT de l'étude et méthodologie proposée
- III - ETUDES existantes et données disponibles
- IV - ESTIMATION DES APPORTS annuels et mensuels lère Méthode
- V - CALCUL DE L'ECOULEMENT annuel à l'aide d'une formule simple
- VI - LES ETIAGES
- VII - COEFFICIENT D'ECOULEMENT ET DEFICITS
- VIII - CRUES observvées sur quelques bassins versants représentatifs de l'ORSTOM et méthode simple pour le calcul des débits de pointe sur les bassins versants des P.P.I.
- IX - ESTIMATIONS DES DEBITS annuels et mensuels sur le bassin de la MANANARA à BEVIA
- X - MESURES REALISEES sur le terrain au cours de la saison sèche 1986 et travaux à effectuer pendant la saison des pluies.
- XI - CONCLUSION

I - INTRODUCTION

LE MINISTRE DE LA PRODUCTION AGRICOLE ET DE LA REFORME AGRAIRE de la République Démocratique de MADAGASCAR, dans le cadre de l'Opération Petits Périmètres Irrigués (P.P.I.) a demandé à la Société LOUIS BERGER INTERNATIONAL Inc., de définir les caractéristiques hydrologiques des Bassins Versants alimentant les P.P.I. de la première tranche actuellement en cours de réhabilitation avec l'assistance de la Banque Mondiale, de la CCCE et du FED.

A l'issue d'une première mission à MADAGASCAR, du 21 Avril au 15 Mai 1986, M. ALDEGHERI, Consultant hydrologue de la Société LOUIS BERGER INTERNATIONAL Inc., a examiné le programme, pris les contacts avec les différents organismes Malgaches chargés de l'Hydrologie, fait l'inventaire des données existantes sur place et rédigé un rapport intérimaire dans lequel est donné un programme de mesures sur le terrain pendant la saison sèche 1986, destiné à contrôler les estimations qui seront faites en FRANCE à partir des données hydrologiques existantes.

Comme cela a été dit dans le rapport intérimaire, par suite du caractère très disparate des données hydrologiques dont on dispose dans quelques régions, du manque total de données dans plusieurs autres, et du peu de temps imparti à la mise au point du rapport final, il a été jugé nécessaire de limiter un peu les zones d'investigations.

Il a été retenu, dans un premier temps, les P.P.I. des circonscriptions de FIANARANTSOA, de MIARINARIVO et d'ANTANANARIVO-NORD. Nous appliquerons, les méthodes de calcul qui seront ainsi développées, aux P.P.I. de la région d'ANTSIRABE dont l'étude hydrologique est réalisée par le GERSAR. En dernier lieu, une estimation des apports sur le bassin versant de la MANANARA à BEVIA sera également effectuée.

Il faut noter que, par suite de la nature et de la qualité des données hydrologiques dont on dispose, nous n'obtiendrons, dans le cadre de ce travail, que des valeurs moyennes des paramètres recherchés. Nous essayerons, toutefois, de donner un ordre de grandeur des fluctuations autour de ces valeurs moyennes.

Au cours de notre travail de recherche des données existantes et des différents essais que nous avons effectués, il est apparu que nous ne disposons pas partout d'une donnée essentielle : la pluviométrie. Il en est ainsi, par exemple, dans la région de MIARINARIVO pour les P.P.I. d'IFANJA et d'ANALAVORY où le poste pluviométrique de MIARINARIVO semble avoir été arrêté en 1981.

Dans ces conditions la mise au point de méthodes de calcul devient très difficile pour ne pas dire impossible. Il nous semble donc inutile de chercher à recueillir d'autres paramètres, plus secondaires, et plus difficiles à mesurer tels que Evaporation, évapotranspiration potentielle, ensoleillement etc....

Il faudra s'attacher dans un premier temps à obtenir une mesure correcte et continue de la pluviométrie au moins aux stations principales du réseau météorologique.

A partir des stations hydrologiques ayant fonctionné pendant une période suffisamment longue nous calculons les déficits d'écoulements annuels et les volumes trouvés seront reportés sur une carte. On aura ainsi une vision de l'évapotranspiration réelle dans l'année, au moins aussi précise que celle que l'on aurait à partir de formules théoriques (TURC ou autres) pour lesquelles on ne connaît pas toujours tous les paramètres intervenant dans les calculs.

Difficultés également pour estimer les crues sur les petits bassins versants alimentant les P.P.I.. Nous utiliserons les résultats obtenus sur les petits bassins représentatifs de l'ORSTOM pour mettre au point une méthode simple. Nous pensons que la méthode mise au point par Louis DURET (1) doit être utilisée avec beaucoup de prudence car elle donne semble-t-il, des valeurs souvent trop fortes sur les petits bassins auxquels nous nous intéressons. Peut être Monsieur DURET a-t-il été un peu optimiste lorsqu'il pensait pouvoir couvrir, avec sa méthode, les bassins de 50 à 50 000 Km² !

Enfin nous répétons que l'étude des transports solides ne pourra pas être réalisée faute de temps et de données disponibles.

Nous donnerons en annexe le compte-rendu de la mission effectuée du 7 Octobre au 7 Novembre 1986 dans lequel seront résumés les contacts que nous avons eus avec les organismes et institutions nationales. Nous tirerons également les conclusions et enseignements relatifs à la campagne de mesures lancée en Juillet - Août sur les P.P.I. des régions de FIANARANTSOA, MIARINARIVO et ANTANANARIVO-NORD, nous demanderons, de plus, une nouvelle série de jaugeages à effectuer pendant la prochaine saison sèche sur les P.P.I. de lère urgence et nous proposerons la mise en place d'un programme d'études hydrologiques de plus grande envergure, en liaison avec les organismes nationaux compétents, sur les zones où la concentration de P.P.I. est importante et où les données hydrologiques de base sont à l'heure actuelle insuffisantes.

(1) Louis DURET : Estimation des débits de crues à MADAGASCAR
Bassins de 10 à 50.000 Km².

II - BUT DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE PROPOSEE

Lorsqu'on veut créer des petits périmètres irrigués, le paramètre principal à connaître pour l'établissement des projets, est le volume d'eau disponible en cours d'année en tête des aménagements.

Il y a évidemment d'autres paramètres qui interviennent (évaporation, température, vent etc...) mais leur connaissance n'est pas fondamentale pour l'estimation des surfaces à aménager. Ces paramètres seront, par contre nécessaires, dans un stade ultérieur d'optimisation de l'aménagement.

Donc le premier objectif de cette étude est de donner, pour les périmètres retenus en lère tranche, les volumes d'eau annuels et mensuels avec, si possible (dans la mesure où les données existantes le permettent), une estimation des apports pendant les années sèches de fréquence 1/5 et 1/10.

Il est également nécessaire de connaître les débits des rivières alimentant les périmètres irrigués en période d'étiage (débit d'étiage absolu, débit moyen mensuel le plus faible de l'année, débit les plus faibles de 10 et 20 jours consécutifs etc...). Lors de notre première mission à MADAGASCAR nous avons fait un essai sur quelques bassins des hautes terres en vue de définir les valeurs des étiages absolus à partir de liaison de la forme $Q = AS^n$. Il est très vite apparu que ce type de liaison n'existe pas forcément sur tous les bassins et que des causes extérieures (irrigation, prélèvements incontrôlés etc...) viennent perturber les étiages. Ceci est vrai sur presque toutes les rivières malgaches. Nous ne donnerons donc que les étiages observés compte-tenu des modifications permanentes ou accidentelles provoquées par les hommes.

Cependant, compte-tenu du calendrier cultural du riz tiré de l'ATLAS de MADAGASCAR et reproduit ci-après, il apparaît que l'étiage absolu qui se situe généralement en Octobre ou Novembre ne risque de poser des problèmes que sur les Hautes Terres de l'IMERINA où la saison de repiquage va de Août à Octobre selon les variétés de riz utilisées et dans l'Ouest et le Sud Ouest (Septembre - Octobre). Ailleurs la mise en eau des rizières et le repiquage ont lieu en des périodes où l'eau est assez abondante. Mais il sera donc nécessaire de calculer, à partir des modules annuels, les apports mensuels de chaque bassin versant pour définir les surfaces à aménager.

Pour calculer les débits moyens annuels nous adopterons deux méthodes :

- a/ A partir des modules spécifiques moyens interannuels.

Avec les données hydrologiques existantes sur différents bassins, nous calculons les débits moyens annuels spécifiques (en l/s/km²). Nous ferons la moyenne de tous ces débits pour chaque station sur la période d'observation : ce sera le débit spécifique moyen interrannuel. Nous regarderons comment varient dans l'espace ces paramètres. Nous donnerons une méthode de calcul des volumes annuels. Une étude statistique de quelques longues séries de modules annuels permettra d'avoir une idée des fluctuations de ce paramètre au cours des années exceptionnellement sèches.

LES PRINCIPALES SAISONS DE CULTURE DU RIZ

durée de la saison des pluies

semis
repiquage
récolte

Mols	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Régions												
Imerina												
Vary aloha (1ère saison)	xxx	xxx										
Vary Sia : (Saison Intermédiaire)			xxx									
Vaklambaty (2è saison)				xxxxxx								
Betsileo												
Vary aloha (1ère saison)	xxxxxx											
Vary afara (2è saison)				xxxxxx								
Marovoay												
Vary asara (saison des pl.)				xxxxxx								
Vary atriary												
Vary leby (saison sèche)												
Alaotra												
Ouest & Sud-Ouest												
Vary tsipala												
Vary godra	xxx											xxx
Falaise Orientale												
Riz/tavy				xxxxxx								
Côte Est												
Vary aloha (1ère saison)												xxxxxx
Vatomandry (2è saison)			xxxxxx									

Source : Atlas de Madagascar

- b/ A partir de la pluviométrie moyenne interannuelle sur les différents bassins

Des études effectuées par le CTGREF (1)(2) ont montré que les variables explicatives du module moyen annuel QA sont la superficie S, la pluviométrie moyenne annuelle et l'altitude moyenne Zm du bassin versant. La loi type généralement retenue est de la forme :

$$QA = \frac{S}{31,5} \left(\frac{P}{B} \right)^{5/3} \left(\frac{Zm}{100} \right)^{1/3}$$

dans laquelle :

B est un paramètre régionalisé.

S la surface du bassin en Km²

P la pluie moyenne annuelle en mm

Zm l'altitude moyenne du bassin en m

QA est exprimé en l/s.

Si l'on considère la lame d'eau écoulée annuellement E, exprimée en mm, la relation ci-dessus s'écrit :

$$E = \left(\frac{P}{B} \right)^{5/3} \left(\frac{Zm}{100} \right)^{1/3}$$

Nous rappelons les relations liant les diverses grandeurs qui seront utilisées par la suite :

QA = module annuel ou débit moyen annuel en l/s ou m³/s

QAS = module spécifique annuel ou débit spécifique moyen annuel en l/s/Km²

E = lame d'eau écoulée annuellement en mm

nous avons :

$$QAS = \frac{QA \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 10^3}{S \text{ Km}^2} \quad \text{en l/s/Km}^2$$

$$E = \frac{QA \text{ (m}^3\text{/s)} \times 86,4 \times 365}{S \text{ Km}^2} \quad \text{en mm}$$

$$E = QAS \times 31,536 \quad \text{en mm}$$

l/s/Km²

-
- (1) CEMAGREF INFORMATIONS TECHNIQUES Cahier 54 N°5
Juin 1984 : Méthodologie d'un inventaire de sites de microcentrales : le cas de la HAUTE SAVOIE.
- (2) CETGERF INFORMATIONS TECHNIQUES Cahier 39 N°5
Septembre 1980 : Formules provisoires d'estimation des apports annuels d'un petit bassin versant métropolitain .

A partir des données hydrologiques relevées sur quelques stations ayant une chronique complète de Pluies et de lames d'eau sur des périodes assez longues et pour lesquelles nous connaissons l'altitude moyenne Z_m , nous calculerons la valeur de B.

Connaissant B pour des régions plus ou moins étendues, nous pourrions calculer les lames d'eau sur les petits bassins à partir de la pluie moyenne (connue, soit à l'aide des isohyètes, soit à l'aide des relevés des stations météorologiques situées dans le bassin ou dans son voisinage) et de l'altitude moyenne Z_m définie par planimétrage des courbes de niveau.

Une fois que les ressources globales annuelles (E en mm puis QA en m^3/s d'où volume total écoulé dans l'année) sont connues, il faut les répartir dans l'année et calculer les volumes ou lames d'eau mensuels. Pour cela nous avons calculé pour les bassins disposant d'une longue période d'observation, le rapport de la lame d'eau écoulée chaque mois à la lame d'eau écoulée dans l'année.

Nous avons constaté que pour des régions hydrologiquement homogènes la répartition est toujours sensiblement la même. Il est donc possible de ventiler mensuellement la lame d'eau annuelle calculée sur les divers bassins.

Pour les étiages, les coefficients d'écoulements annuels, les déficits d'écoulement, nous calculerons les moyennes sur les longues périodes disponibles. Nous reporterons ces valeurs sur une carte au 1/1.000.000 de façon à visualiser la variation de ces paramètres dans l'espace. Ainsi, en fonction de la situation des P.P.I. et des bassins versants les alimentant, on pourra, par extrapolation, obtenir les paramètres nécessaires aux différents calculs.

Faute de temps et par manque de cartes topographiques adéquates il ne nous a pas été possible de calculer les altitudes moyennes des bassins pour lesquels ce paramètre est inconnu (long travail de planimétrage des courbes de niveau ou plus simplement, mais avec une moins bonne précision, repérage sur carte de l'altitude maximale et de l'altitude minimale) ainsi que la pluviométrie moyenne (avec pour ceci, en plus du manque de temps, des données insuffisantes ou incomplètes). Au cours de la prochaine mission à MADAGASCAR ces calculs et vérifications seront exécutés par les agents P.P.I. de la DIR, ces exercices les familiariseront avec le calcul des lames d'eau annuelles écoulées sur les bassins alimentant les P.P.I..

III - ETUDES EXISTANTES ET DONNEES DISPONIBLES

Nous tenons à remercier ici, toutes les personnes et organismes qui nous ont permis d'avoir accès à la documentation nécessaire à la mise au point de ce rapport : Direction de la Météorologie Nationale - Service de l'hydrométéorologie, MAMOKATRA/GERSAR, Direction de l'Infrastructure Rurale, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM - ANTANANARIVO et MONTPELLIER).

La pluviométrie mensuelle et annuelle nous a été aimablement communiquée par la Météorologie Nationale pour les postes se trouvant dans les zones des P.P.I. ou à proximité.

Les études existantes dans le domaine de l'Hydrologie et des régimes des rivières malgaches ont été réalisées par l'ORSTOM depuis 1948 pour quelques bassins. Nous donnons ci-après la liste des rapports et travaux d'où ont été extraites les données à partir desquelles nous avons établi nos méthodes de calcul.

III - 1. Etudes existantes

- Monographie de l'IKOPA et de la BETSIBOKA par M. ALDEGHERI 5 vol. ORSTOM Paris 1964 ronéo.
- Monographie du MANGOKY par M. ALDEGHERI 4 volumes ORSTOM 1966 ronéo.
- Bassins Versants expérimentaux de l'ANKABOKA par M. ALDEGHERI et G. OBERLIN 35 p. + graphiques ORSTOM 1965 ronéo..
- Bassin versant expérimental du BANIAN par M. ALDEGHERI et P. POURRUT 44 p., 19 graphiques ORSTOM 1967 ronéo.
- Etudes hydrologiques sur le Bassin Versant représentatif de la TAFAINA par M. ALDEGHERI et P. POURRUT 3 Volumes ORSTOM 1968 ronéo.
- Bassin Versant représentatif de TRANOROA, résultats de la campagne 1967-68. par M. ALDEGHERI - ORSTOM 1969 ronéo.
- Etude des bilans hydriques et de l'érosion sur le Bassin versant représentatif de la TAFAINA campagnes 66 - 67 à 70 - 71 par P. POURRUT ORSTOM Paris 1976 ronéo.
- Opération Microhydraulique par J. DANLOUX - ORSTOM 1980
- Etudes d'hydrologie à usage agricole campagnes 1980 - 81, 1981 - 82, 1982 - 83 par D. BAUDUIN.
- Tableaux de débits moyens journaliers recueillis aux stations exploitées par l'ORSTOM de 1948 à 1975 à paraître dans un ouvrage en cours d'impression et intitulé " Contribution à l'étude des régimes hydrologiques Malgaches par M. ALDEGHERI".

- GERSAR réhabilitation des périmètres rizicoles d'AMBOHIBARY, VINANINONY, MANANDONA, IANDRATSAY. Etude hydrologique Mai 1986.
- Etude de la réhabilitation de cinq petits périmètres hydroagricoles
HYDROLOGIE : MAMOKATRA/GERSAR Mars 1982.

III - 2. Données hydrologiques :

Des tableaux de débits moyens journaliers en cours de publication par l'ORSTOM, nous avons tiré pour 19 bassins des Hautes Terres Centrales, 4 bassins du Versant Oriental, 2 bassins du Versant Occidental et 3 bassins du Sud, les chroniques de débits moyens annuels et de débits moyens entre 5 et 27 ans.

De l'étude à usage hydroagricole de 1981 à 1983 nous avons tiré deux stations sur les Hautes Terres et 1 sur le Versant occidental ayant une période d'observation complète de 3 ans mais pas commune avec la période stations précédentes. Ces études ont permis de prolonger les observations sur la MANIA à FASIMENA jusqu'en 1983: nous avons ainsi une série complète de 27 années (1956 à 1983).

Les rapports sur les bassins versants observés par l'ORSTOM pendant des périodes variables entre 2 et 9 ans, fournissent les modules annuels et les débits moyens mensuels pour des bassins de quelques Km², surfaces qui sont souvent celles des Bassins Versants alimentant les P.P.I.

Ces données hydrologiques de référence ont également permis d'établir les séries chronologiques des débits moyens mensuels du mois le plus faible de chaque année, des débits moyens journaliers minimaux observés, ainsi que de calculer les débits moyens journaliers de 10 et 20 jours consécutifs (D 10C et D 20C) pour chaque année.

Certains remarqueront probablement que nous n'utilisons qu'une seule station sur l'IKOPA dans la plaine d'ANTANANARIVO et sur le bassin Amont. Ceci a été fait de façon délibérée car ces stations (Pont de MAHITSY, AMBOHIMANAMBOLA), soumises à l'influence du fonctionnement de la centrale hydroélectrique d'ANTELOMITA, ont des étiages complètement perturbés par les débits turbinés et donc non représentatifs de ces grandeurs, en général plus forts que les étiages qui seraient observés sur les Hautes Terres en l'absence d'usine hydroélectrique.

III - 3. Résultats obtenus

Nous donnons en annexe les tableaux tirés des documents existants :

- Tableau récapitulatif des stations utilisées avec surface des Bassins Versants en Km² et valeurs du coefficient

$$c = \frac{N}{S \cdot 10^3} \quad (N \text{ nombre secondes dans l'année, } S \text{ surface du Bassin en Km}^2).$$

- Débits d'étiages (DMM min, DMJ min, D 10C - D 20C et rapport

$$\frac{\text{DMM min}}{\text{DMJ min}}$$

- Rapports des lames d'eau écoulées mensuellement à la lame d'eau écoulee annuellement pour chaque année, à toutes les stations.
- Ecoulements annuels observés sur les BVR de l'ORSTOM.
- Bilan annuels et étiages à quelques stations de l'étude hydrologique à usage agricole.

Les calculs effectués à partir de ces tableaux ont montré que certaines stations du Versant Oriental présentaient quelques problèmes : écoulements annuels trop importants ou pluies moyennes sur le bassin sous estimées. Il apparaît assez souvent que lors des périodes de fortes précipitations, avec des cyclones violents, les hauteurs de pluies relevées aux postes pluviométriques semblent un peu faibles (ceci est constaté en 1959 et aussi en 1970). On obtient ainsi des coefficients d'écoulement très forts (parfois supérieurs à 1) ce qui est impossible. Les stations pour lesquelles ces anomalies se produisent ont été éliminées et nous signalons ce fait à l'ORSTOM qui apportera, si possible, les corrections nécessaires avant la publication définitive.

L'exploitation de ces données de base a permis de dresser les tableaux récapitulatifs suivants :

- Modules spécifiques QAS ($1/s/Km^2$) annuels sur différents bassins.
- Modules moyens interannuels ($1/s/Km^2$) avec maximum et minimum relevés sur la période d'observation. Ces volumes sont reportés sur la carte n°1.
- Comparaison des DMJ min ($1/s/Km^2$)
- Comparaison des DMM min ($1/s/Km^2$)
- Moyennes interannuelles des DMM, DMJ, D 20C et rapports $\frac{DMM}{DMJ}$ (ces volumes ont été reportés sur la carte n°6)
- Tableaux donnant les répartitions moyennes mensuelles interannuelles des apports sur différents bassins avec la fraction écoulee en saison des pluies de Décembre à Avril inclus.

Remarques et Commentaires :

L'examen de ces tableaux amène les commentaires suivants :

- Modules interannuels moyens sur des régions étendues mais homogènes du point de vue relief et pluviométrie nous voyons apparaître des valeurs relativement constantes :

Massif de l'ANKARATRA et ses abords : 29 l/s/Km^2 sur des bassins de 1 à 100 Km^2 (petits bassins versants d'AMBATOMAINTY et AMBOROMPOTSY à ANTAMPANDRANO).

(Année hydrologique: NOV. à OCT.)

COMPARAISON DES MODULES ANNUELS Qas en l/s/km² sur différents bassin

ANNEES	IKOP. BEVO	IKOP. FIAD	IKOP. ANTS	BETS. AMBO	ISIN. AMBO	ONIVE TSINJO	ANDR. TSIN	SISAO ANDRA	MANGO. MANGO	SAHA. PK 195	MAHAND SAHA	MANIA FASIM	AMBOHY ANTSAM	NAHOR VOHIP.	MANGO BANIAN	MANGO BEVOAY	VOHIT. ROGEZ	MANANA BEVIA	MANA SUD	TAFAIN. ANDROV	ZOHA ANKAR	MANAN TSITON	IHOSY IHOSY	NATSIA MALAKIA	HENAR. TRANOR	MANORA AMBOAS		
1948-49	12,8		21,3																									
49-50	12,6		20,4																									
50-51	16,9		21,2																									
51-52	19,6		28,9																									
52-53	17,1		33,6																									
53-54	15,8		25,0																									
54-55	17,3		29,0				22,6																					
55-56	18,4		17,5				24,1																					
56-57	21,7		24,4				26,8																					
57-58	16,1		22,0		34,8		26,6					18,7																
58-59	29,6	28,8	29,9	40,7	46,3		37,3	28,6				19,5	22,9															
59-60	17,6	18,5	22,9	23,2	37,7		24,0	14,5				31,0	33,9															
60-61	16,7	16,7	20,3	19,7	36,0		18,7	16,8	15,1			27,5	26,2															
61-62	15,0	18,4	28,2	34,7	52,7		18,0	12,3	17,6			18,2	32,4															
62-63	18,3	18,3	26,1	23,5	41,5		26,6	38,7	20,3			14,3	29,0															
63-64	18,6	10,0	23,0	23,8	33,8	18,3	18,6	17,5	24,5	20,4	14,9	22,2	37,9															
64-65	25,1	24,6	30,0	33,3	45,5	29,2	23,5	23,5	30,3	26,5	22,8	16,9	25,5															
65-66	15,9	12,3	18,8	16,4	21,5	17,1	17,0	14,8	20,0	17,9	12,1	24,1	34,6															
66-67	18,3	15,2	23,1	23,9	34,0	17,1	16,6	15,9	21,9	18,3	14,8	16,9	21,0															
67-68	17,5	13,2	22,1	20,2	22,7	19,0	16,8	13,1	25,7	17,2	13,6	18,7	25,0															
68-69	17,1	15,0	22,3	17,6	27,7	22,1	19,2	15,3	20,8	27,6	22,1	15,7	24,1															
69-70	20,7	17,8	23,7	23,1	31,7	22,1	22,5	17,7	25,8	28,6	23,0	25,0	32,0															
71-72	19,2	18,7	27,1	23,5	46,2	22,8	19,8	18,0	23,5	23,9	20,4	31,6	33,8															
72-73	23,8	20,4	25,3	28,6	36,0	30,9	26,8	24,1	38,0	32,0	29,2	21,6	35,9															
73-74	17,3	15,5	23,5			24,1	24,3	13,5	21,9	27,6	24,1	27,3																
74-75	26,0	22,7	26,5			28,3	24,8	24,0	33,9	27,6	23,0	27,2																
75-76	15,9					23,4	20,3	16,4	25,3	29,8	22,8	28,7																
76-77	27,0					29,9	24,2	19,5				22,9																
77-78	8,7		11,4			10,1	9,4	11,4				36,8																
78-79						19,1	16,5	13,1				18,8																
79-80						21,4						24,3																
80-81						19,9						29,1																
81-82						36,6						23,7																
82-83												46,5																
83-84												20,0																
σ	4,52	4,24	3,80	6,90	9,06	6,09	5,32	6,44	6,46	5,14	5,95	7,03	5,78	11,6	2,12	9,92	11,5	2,92	5,06	2,93	3,77	4,29	5,00	4,56	2,04	3,54		
m	18,7	18,6	24,5	25,6	37,3	22,9	21,9	18,5	25,0	24,5	19,9	24,0	29,3	28,2	9,1	11,5	38,4	5,1	16,4	21,2	15,6	14,2	10,8	18,3	5,0	5,0		
Cv	0,24	0,23	0,15	0,27	0,24	0,26	0,24	0,35	0,26	0,21	0,30	0,29	0,20	0,41	0,23	0,25	0,30	0,57	0,31	0,14	0,24	0,30	0,46	0,25	0,40	0,65		

MODULES MOYENS INTERANNUELS OBSERVES

STATIONS	PERIODES		DUREE ANS	MODULE 1/s/Km ²					OBSERVATIONS
	NOV.	OCT.		Moyen	Max.	Année	Min.	Année	
B.V.R. de la TAFAINA	1962	1971	9	21	25,3	64-65	17,8	67-68	17,5 (55-56) manque 75-76, 76-77
IKOPA à BEVOMANGA	1948	1978	30	18	29,6	58-59	8,7	77-78	
IKOPA à ANTSATRANA	1948	1978	28	25	33,6	52-53	11,4	77-78	
IKOPA au Bac. de FIADANA	1958	1975	17	19	28,8	58-59	12,3	65-66	17,1 en 65 - 66 et 66 - 67 16,6 en 66-67 et 17,0 en 65-66
BETSIBOKA à AMBODIROKA	1958	1973	15	26	40,7	58-59	16,4	65-66	
ISINKO à AMBODIROKA	1957	1973	16	37	52,7	61-62	21,5	65-66	
ONIVE à TSINJOARIVO	1963	1982	19	23	36,6	81-82	10,1	77-78	
ANDROMBA à TSINJONY	1954	1979	25	21	37,3	58-59	9,4	77-78	
SISAONY à ANDRAMASINA	1958	1979	21	19	38,7	62-63	11,4	77-78	
MANGORO à MANGORO	1960	1976	16	25	38,0	72-73	15,1	60-61	12,3 en 61-62 - 13,1 en 67 - 68 - 14,8 en 65 - 66 20 en 65 - 66 17,9 en 65 - 66 (manque 76-77) 12,1 en 65-66 en 77-78 : 18,8 (supprimé 72-73 et 73-74 étalonnage douteux)
SAHANOVOTRY au PK 197	1963	1976	13	24	32,8	72-73	17,2	67-68	
MANANDONA à SAHANIVOTRY	1963	1982	18	20	33,8	81-82	10,7	77-78	
MANIA à FASIMENA	1956	1983	27	24	46,5	81-82	14,3	61-62	
AMBOROMPOTSY	1957	1972	15	29	37,9	62-63	16,9	65-66	
NAMORONA à VOHIPARARA	1953	1979	26	28	67,4	69-70	10,5	77-78	
VOHITRA à ROGEZ	1952	1978	24	38	73,4	58-59	21,6	77-78	16,4 en 59 - 60 (manque 75-76 et 76-77) 22,0 en 60-61 10,1 en 57-58, 10,5 en 59-60 et 10,6 en 56-57, 13,1 en 65 ?données peu sûres manque 63-64, 68-69, 71-72, 72-73
MANANARA à MAROANGATY	1955	1975	20	16	31,6	69-70	10,0	67-68	
ZOMANDAO à ANKARAMENA	1952	1975	19	16	22,0	(52-53) 53-54 ?	8,26	59-60	
IHOSY à IHOSY	1953	1970	17	11	22,8	53-54	5,08	67-68	manque 55-56 et 63-64, 9,92 en 65-66
MANANANTANANA à TSITOND.	1952	1968	14	14	22,7	53-54	8,00	67-68	
MATSIATRA à MALAKIALINA	1952	1963	11	18	23,9	53-54	10,3	60-61	
MANGOKY au BANIAN	1951	1965	14	9	13,7	52-53	6,6	59-60	manque 62-63, 63-64, 67-68 68-69, 72-73
MANGOKY à BEVOAY	1961	1976	10	11	16,5	60-70	8,4	61-62	
MANANARA à BEVIA	1951	1972	21	5	13,0	60-61	1,9	67-68	
MANDRARE à AMBOASARY	1951	1976	25	5	13,8	53-54	1,8	67-68	Manque Oct. 59 à Nov. 63
MENARANDRA à TRANOROA	1955	1974	15	5	6,9	58-59	1,4	72-73	

COMPARAISON DES D M J min. en l/s/km ² sur différents bassins																									
ANNEES	IKOP. BEVO	IKOP. FIAD	IKOP. ANTS	BETS. AMBO	IBIN. AMBO	ONIVE TSINJO	ANDR. TSIN	SISAO ANDRA	HANGO. MANGO	SAHA. PK 195	MANIA FASIM	AMBO ANTS	NAMOR VOHIP.	MANAN ANTS.	IVOAN FATIH	VOHIT. ROGEZ	FARAO VOHIL	MANA SUD	MANA SAHA	MATSI MALA	HANAN TSITON	ZOMA ANKA	IHOSY. IHOSY	MANG. BANI	MANG. BEVO
1948	4,24																								
49	3,13		6,52																						
50	2,79		3,62																						
51	3,45		5,38																						
52	3,52		5,32																						
53	4,41		5,66										8,54			18,1								1,32	
54	3,35		4,70				3,91						0,8			18,1				3,08	0,88	0,43	3,27	1,00	
55	3,42		7,17				4,71						7,10			12,9				2,09	3,52	0,47	1,80	0,72	
56	4,36		4,05				4,71						5,39	9,30		12,7		1,41		2,09	0,61	0,43	0,13	0,50	
57	3,37		4,31				4,17						5,26	10,3	10,6	11,1		1,37		2,23		0,57	0,14	0,94	
58	4,17	2,83	4,58	5,72	2,82		15,3	3,30				7,56	7,83	5,68	10,8	11,1		1,13		2,54	1,95	0,84	0,97	0,80	
59	4,53	4,44	6,04	7,16	4,93		11,0	5,57				5,60	6,36	6,22	14,4	15,6	14,8	1,87		3,07	1,18	1,18	1,84	1,30	
60	3,08	2,51	3,18	3,21	2,30		2,20	2,08	4,58			10,5	7,97	6,85		16,3	21,1	1,71		2,61	0,69	0,54	1,43	0,81	
61	4,50	2,72	4,08	3,52	1,77		3,26	3,30	4,50			4,54	6,36	3,73	9,50	11,1	11,3	8,00	0,90	1,53	0,17	0,03	0,18	0,27	
62	4,48	3,56	5,05	5,20	4,58		4,71		5,55			6,80	5,37	5,59	16,2	18,3	10,5	11,3	2,48	2,14	0,37	0,37	1,31	0,76	1,86
63	5,80	4,76	5,12	5,08	4,07	4,18	3,91	4,65	5,22			7,70	8,82	6,76		15,9	12,9	15,4	1,67	2,04	0,16	0,30	0,80	0,78	1,00
64	4,89	3,57	4,90	5,08	2,95	2,86	2,51	2,93	6,50	4,21		6,56	7,79	6,56		16,8	11,9	11,9	1,49	2,56	0,12	0,20	1,13	0,86	
65	5,35	3,57	5,13	4,40	4,41	5,65	5,57	4,18	6,50	5,22		9,72	8,82	9,35		25,3	19,3	15,7	2,82	3,94		1,23	1,07	0,84	1,10
66	3,71	2,03	4,94	3,70	2,07	1,16	2,16	1,89	4,94	3,42		5,60	6,36	5,32		13,4	11,1	11,1	1,75	2,60		0,69	0,15	1,93	
67	5,32	3,04	5,44	3,13	2,95	3,22	3,77	4,87	6,28	5,67		7,79	8,65	9,61		23,8	21,6	23,0	4,87			1,23	2,11	0,54	
68	3,88	2,07	5,13	4,29	2,68	1,17	1,95	1,89	5,14	3,14		5,86	6,38	5,66		15,2	11,3	8,60	1,39	2,86		0,69	0,47	0,63	
69	3,66	2,55	4,74	4,12	2,82	1,91	3,31	3,71	5,42	4,59		6,77	6,54	6,52		19,4	14,0	12,2	2,40	4,60		0,57	1,11	0,27	
70	3,64	2,90	5,05	3,89	3,40	1,41	3,26	2,93	5,92	5,17		8,21	7,56	8,99		17,7	16,1	14,0	1,87	3,30		0,53	1,33	0,74	
71	5,11	3,41	5,16	4,51	3,72	1,19	2,07	2,93	6,14	3,23		6,22	6,54	7,17		20,7	16,5	12,3	1,96	2,86		0,40	1,40	0,95	
72	6,72	4,76	5,50	5,72	4,93	3,68		5,12	7,75	6,35		8,25		6,00		19,2	14,0	15,6	2,43	6,18			1,60	0,61	
73		3,17	5,21	4,73	3,88	1,73		4,87	6,50	4,89		8,21	7,68	7,03		16,3	13,2	15,6	2,02	3,76			1,65	0,71	
74		3,22	5,50			3,09		2,33	7,50	6,49		10,4		6,67		16,0	17,4	12,4	2,82	6,59		0,62	1,73	0,58	
75		3,75	5,50			2,14			7,00	5,34		12,7	8,65	6,27		16,0	15,3	11,0	2,27	4,42		0,42	1,67	0,51	
76						1,23		2,46	7,67	5,06		7,7		5,71					5,22			3,31		0,89	
77																									
78																	15,1								
79																	8,70								
σ	0,95	0,81	0,82	1,06	1,00	1,37	3,37	1,20	1,03	0,48	2,9	1,06	1,61	2,8	5,37	3,7	3,9	1,02	1,24	0,46	0,56	0,32	0,75	0,36	0,47
m	4, 2	3,3	5,1	4,6	3,4	2,5	4,6	3,5	6,0	2,7	6,9	7,4	6,7	11,7	16,2	14,3	13,6	2,1	4,3	2,4	0,66	0,57	1,20	0,90	0,90
CV	0,22	0,25	0,16	0,23	0,29	0,55	0,73	0,35	0,17	0,18	0,42	0,14	0,24	0,24	0,33	0,27	0,29	0,49	0,29	0,20	0,85	0,59	0,62	0,40	0,52

COMPARAISON DES D M M min. en l/s/km ² sur différents bassins																											
ANNEES	IKOP. BEVO	IKOP. FIAD	IKOP. ANTS	BETS. AMBO	ISIN. AMBO	ONIVE TSINJO	ANDR. TSIN	SISAO ANDRA	HANGO. MANGO	SAHA. PK 195	MANIA FASIM	AMBO ANTS	NAHOR VOHIP	MANAN ANTS	IVOAN FATIH	VOHIT. ROGEZ	FARAO VOHIL	MANA SUD	MANA SAHA	MATSI MALA	MANAN TSITON	ZOMA ANKA	THOSY. THOSY	MANG. BANI	MANG. BEVO		
1948	6,38																										
49	4,07		6,95																								
50	3,16		3,70																								
51	3,97		5,88																								
52	4,31		6,25										12,3			24,2									2,04		
53	4,94		6,25										16,9			21,9				4,53	2,13	1,17	3,91	1,64			
54	3,59		5,01				5,43						10,7			16,6				2,99	4,47	0,76	2,82	1,29			
55	4,41		7,76				7,94						7,77	13,5		15,2				2,58	0,83	0,64	0,68	1,00			
56	4,87		5,07				6,60				7,33		7,39	12,5	14,1	19,9		2,87		3,75	-	2,21	1,21	1,42			
57	4,46		5,50				7,63				8,00	8,75	10,7	13,5	14,7	12,4		1,64		3,52	2,60	1,49	1,27	1,35			
58	7,11	6,36	6,90	8,42	5,67		18,6	9,15			7,98	7,87	12,0	30,6	24,4	19,9		3,49		4,19	1,43	1,82	2,01	2,00			
59	5,80	5,66	6,47	7,88	5,60		12,6	8,30			11,1	8,80	13,0		19,3	25,2		2,04		2,95	1,07	0,72	1,53	1,08			
60	4,17	3,33	4,31	4,74	3,95		3,23	3,07	6,05		6,58	7,12	4,72	12,6	13,8	13,8	15,2	1,52		2,04	0,88	0,71	0,44	0,94			
61	5,97	3,61	5,61	4,13	2,48		6,77	5,00	5,89		7,88	8,88	8,69	23,3	24,2	15,3	18,8	4,05		3,07	1,48	0,98	1,81	1,07	2,44		
62	5,30	5,08	5,77	6,08	5,12		6,97		7,05		7,18	5,93	8,94		20,8	22,2	23,4	2,80		2,64	0,58	0,70	0,97	1,12	1,53		
63	7,32	5,78	5,98	6,54	4,95	6,42	5,40	6,16	5,94		9,24	9,92	9,23		19,9	13,6	14,5	2,08		2,92	0,17	0,44	1,31	1,06	-		
64	7,03	5,01	5,28	6,28	3,83	5,45	2,91	5,82	8,92	6,49	8,45	9,01	13,6		33,9	33,3	21,9	6,46	6,56			2,39	1,82	1,58	2,14		
65	8,36	5,67	5,98	5,64	6,30	8,89	9,20	7,95	7,94	8,31	13,0	11,6	15,8		36,9	22,5	32,2	10,3	11,5			-	3,51	2,98	2,07		
66	6,96	3,24	5,82	4,21	3,07	4,01	5,20	4,02	6,36	6,46	8,16	9,21	8,70		19,4	15,7	18,5	3,89	5,51			3,11	0,59		2,89		
67	7,11	3,65	6,63	4,20	3,77	7,06	5,68	6,29	7,25	8,31	10,8	9,06	20,6		37,5	25,5	36,5	-	7,52			2,57	2,81		1,82		
68	5,97	2,74	5,71	5,44	3,45	2,71	4,97	3,55	5,94	5,83	7,67	7,32	8,1		19,4	14,3	10,6	1,64	5,43			0,82	0,54		1,02		
69	6,00	3,86	6,52	4,64	4,73	4,91	6,17	6,19	6,92	8,31	9,92	8,28	8,8		23,2	18,9	18,2	5,27	8,06			2,57	1,69		0,97		
70	4,60	3,46	5,44	4,41	4,18	3,06	5,11	5,00	7,33	6,04	9,30	8,55	12,4		21,3	22,0	20,3	2,32	4,45			0,64	1,51		1,37		
71	6,62	4,48	6,09	6,10	5,80	3,54	5,57	5,44	8,17	6,32	8,39	9,06	9,3		27,1	20,3	18,3	2,56	6,47			0,73	1,87		1,77		
72	7,23	5,67	5,98	7,15	5,93	8,33		7,99	10,0	7,77	10,3	-	9,2		21,3	17,9	20,9	4,91	8,53				2,90		1,16		
73		4,50	5,93	6,01	4,42	3,95		6,76	8,00	7,00	11,5	8,76	8,9		20,9	15,6	22,1	3,21	6,45				2,34		1,23		
74		4,60	6,79			6,82		6,13	10,2	9,86	11,9	-	11,6		25,1	22,5	24,1	3,74	10,1			1,35	2,23		1,13		
75		5,22	6,63			5,55		-	8,75	7,61	13,9	9,33	8,9		23,0	19,3	28,9	4,23	7,62			1,33	2,48		0,99		
76						6,02		5,91	8,86	8,69	10,6		3,3						11,0			1,01			1,78		
77																19,8											
78																15,8											
79																9,1											
σ	1,40	1,07	0,83	1,33	1,12	1,91	3,65	1,67	1,39	1,21	2,82	1,22	3,83	7,6	7,7	5,02	6,7	2,09	2,17	0,73	1,25	0,79	0,88	0,56	0,58		
$\bar{m}$	5,6	4,5	5,9	5,7	4,5	5,5	6,9	6,0	7,6	7,5	9,1	8,7	9,9	17,7	22,5	18,9	21,6	3,6	7,6	3,20	1,56	1,34	1,71	1,45	1,62		
C_v	0,25	0,23	0,14	0,23	0,25	0,35	0,52	0,27	0,18	0,16	0,31	0,14	0,34	0,43	0,34	0,15	0,31	0,57	0,28	0,23	0,80	0,59	0,51	0,38	0,35		

STATIONS	PERIODES	DUREE	DMM min. 1/s/Km ²	DMJ min. 1/s/Km ²	DMM min. DMJ min.	D20 C 1/s/Km ²	DMM min. D20 c	OBSERVATIONS
IKOPA à BEVOMANGA	1948-1972	25	5,6	4,2	1,33	5,1	1,1	
IKOPA au Bac de FIADANA	1958-1975	18	4,5	3,3	1,40	3,9	1,15	
IKOPA à ANTSATRANA	1949-1975	27	5,9	5,1	1,17	5,5	1,07	
BETSIBOKA à AMBODIROKA	1958-1973	16	5,7	4,6	1,25	5,1	1,11	
ISINKO à AMBODIROKA	1958-1973	16	4,5	3,4	1,38	3,9	1,15	
ONIVE à TSINJOARIVO	1963-1976	14	5,5	2,5	2,35	4,2	1,30	
ANDROMBA à TSINJONY	1954-1971	18	6,9	4,6	1,67	5,9	1,17	
SISAONY à ANDRAMASINA	1958-1976	17	6,0	3,5	1,82	4,0	1,5	Manque 1962 1975 1972
MANGORO à MANGORO	1960-1976	17	7,6	6,1	1,26	6,3	1,20	
MANANDONA à SAHANIVOTRY	1964-1976	13	7,6	4,3	1,82	5,9	1,28	
SAHANIVOTRY PK 197	1964-1976	13	7,5	4,8	1,58	6,3	1,19	
MANIA à FASIMENA	1956-1976	21	9,1	6,9	1,22	8,2	1,11	
AMBOROMPOTSY	1957-1975	17	8,7	7,4	1,17	8,0	1,08	Manque 1972 et 1974
NAMORONA à VOHIPARARA	1952-1976	25	9,8	6,7	1,56	8,6	1,13	
MANANARA Sud	1955-1975	20	3,6	2,1	1,68	2,7	1,33	1955 inc. manque 1967
FARAONY au Bac de VOHILAVA	1960-1975	16	21,6	13,6	1,59	17,7	1,22	
MANANJARY à ANTSINDRA	1955-1961	6	17,6	11,7	1,46	13,8	1,27	Manque 1959
IVOANANA à FATIHITA	1956-1975	20	22,5	16,2	1,34	20,1	1,12	
VOHITRA à ROGEZ	1952-1979	27	19,0	14,3	1,33	16,5	1,15	Manque 1976
MATSIATRA à MALAKIALINA	1953-1963	10	3,20	2,4	1,35	-		
MANANANTANANA à TSITONDROINA	1953-1963	10	1,56	0,66	2,33	-		
ZOMANDAO à ANKARAMENA	1953-1976	20	1,34	0,57	2,37	-		Manque 1965-1972-1973
IHOSY à IHOSY	1953-1975	23	1,71	1,20	2,05	-		
MANGOKY à BANIAN	1952-1965	14	1,45	0,90	1,73	-		
MANGOKY à BEVOAY	1961-1976	15	1,62	0,90	1,98			Manque 1963

REPARTITION MOYENNE INTERANNUELLE DES APPORTS MENSUELS
%

B A S S I N S	Surf.Km ²	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	% de D à A
<u>HAUTES TERRES</u>														
IKOPA BEVOMANGA	4 151	4,7	12,8	16,7	15,2	17,2	10,5	5,8	4,4	4,2	3,6	2,9	2,7	72,4
-"- FIADANANA	9 450	4,8	13,3	17,8	17,0	17,5	8,9	5,4	3,9	3,4	3,0	2,2	2,1	74,5
ONIVE TSINJOARIVO	3 200	5,3	14,0	16,0	16,5	17,2	9,8	5,7	3,9	3,6	3,2	2,4	2,1	73,5
ANDROMBA TSINJONY	410	4,9	14,3	16,8	14,5	17,7	9,3	5,5	4,1	3,8	3,4	2,9	2,5	72,6
MANANDONA SAHANIVOTRY	1 450	5,3	12,3	15,9	17,4	14,0	10,8	6,3	4,3	3,7	3,1	2,4	2,4	70,4
AMBOROMPOTSY	95	4,6	11,7	16,9	16,0	19,5	9,6	5,6	4,1	3,5	3,0	2,6	2,7	73,7
MANANARA MAROANG.	14 162	4,2	11,6	18,0	18,1	16,3	8,9	5,4	4,0	4,0	4,3	2,8	2,2	72,9
<u>VERSANT ORIENTAL</u>														
MANGORO MANGORO	3 600	5,0	12,2	15,6	15,2	15,6	9,7	6,5	5,0	4,8	4,3	3,2	2,7	68,3
NAMORONA VOHIPARARA	445	4,6	8,8	13,7	15,7	15,4	9,2	6,7	6,0	6,1	6,0	4,2	3,4	62,8
FARAONY VOHILAVA	1 987	4,6	9,4	12,6	16,0	15,4	9,6	6,9	5,4	5,8	6,2	4,3	3,7	63,0
MANANJARY	2 260	3,1	8,9	14,1	14,2	16,6	10,6	7,1	5,7	5,5	6,3	4,4	3,4	64,4
IVOANANA	835	4,4	8,0	12,0	15,9	16,3	11,2	7,3	5,5	5,6	5,7	4,4	3,6	63,4
VOHITRA	1 825	5,3	8,0	12,3	12,1	15,1	9,1	6,7	6,4	7,3	7,5	5,8	4,6	56,6
<u>VERSANT NORD - OUEST</u>														
IKOPA ANTSTRANA	18 550	3,9	10,3	17,5	17,9	21,9	9,3	5,2	3,8	3,1	2,6	2,2	2,2	76,9
BETSIBOKA AMBODI	11 800	4,9	12,9	18,3	18,4	19,1	8,1	4,5	3,6	3,0	2,7	1,9	1,8	76,8
<u>CENTRE SUD ET CENTRE OUEST</u>														
MATSIATRA	11 715	3,4	15,3	25,5	17,4	16,8	6,2	3,7	3,0	2,6	2,4	1,9	1,6	81,2
ZOMANDAO	610	4,0	17,7	25,6	19,8	16,9	5,3	2,8	2,0	1,7	1,6	1,1	1,1	83,7
IHOSY	1 500	3,3	14,0	25,1	19,7	14,9	6,9	4,1	3,2	2,7	2,5	1,7	1,8	80,6
MANANANTANANA	6 510	4,4	20,4	23,0	15,8	17,7	6,5	3,1	2,5	1,9	1,9	1,4	1,2	83,4
MANGOKY BANIAN	50 000	3,2	14,8	26,4	18,3	16,3	6,5	3,4	2,8	2,5	2,2	1,6	1,5	82,3
MANGOKY BEVOAY	53 000	4,5	17,2	20,7	19,9	14,5	6,8	4,1	3,0	2,8	2,3	1,8	2,0	79,1
<u>AUTRES BASSINS (placés dans l'un ou l'autre des régions ci-dessus mais avec résultats non concordants)</u>														
<u>HAUTES TERRES</u>														
SAHANIVOTRY PK 197	427	7,1	11,8	14,4	14,7	14,6	10,3	7,1	5,1	4,7	3,8	2,9	2,4	65,8
MANIA à FASIMENA	6 675	5,6	11,5	14,7	14,3	14,8	9,8	6,4	5,2	5,0	4,7	3,9	3,8	65,1
SISAONY ANORAM.	318	5,7	13,5	18,1	14,9	14,9	7,7	5,3	4,4	4,6	4,3	3,3	2,8	69,0
<u>VERSANT NORD-OUEST</u>														
ISINKO à AMB.	600	4,3	10,7	19,8	21,5	22,7	7,9	3,7	2,7	2,2	1,7	1,2	1,1	82,6
<u>VERSANT ORIENTAL-SUD</u>														
EFAHO FANJAHITRA	195	7,0	7,1	13,2	17,9	14,7	8,3	7,3	4,9	6,8	7,6	2,4	2,5	61,2

- . Haut Bassin de l'IKOPA et bassin de la MANIA on relève des valeurs comprises entre 18 et 25 l/s/Km² pour des bassins dont la surface est comprise entre 5 et 15 000 Km². Ces valeurs se situent entre 18 et 21 l/s/Km² pour le Haut bassin de l'IKOPA tandis que sur la MANIA, dans la région d'AMBOSITRA, ces débits spécifiques moyens interannuels sont légèrement plus élevés: de 20 à 25 l/s/Km².
- . A l'exutoire de la MANIA, à ANKOTROFOTSY, à partir de trois années d'observations, nous obtenons un débit de 21 l/s/Km². Ceci est assez remarquable car du même ordre que celui observé sur le Haut IKOPA.
- . Les affluents du MANGOKY et la grande MANANARA dans la région de FIANARANTSOA donnent des valeurs situées entre 14 et 18 l/s/Km².
- . L'IHOSY, plus au Sud, a un rendement plus faible avec 11 l/s/Km², sensiblement le même que celui du MANGOKY à l'issue d'un bassin de 50 000 Km² : 10 l/s/Km².
- . Les rivières du Sud. pour des bassins dont la surface est comprise entre 1 000 et 15 000 Km² ont des modules spécifiques moyens interannuels très stables puisque tous égaux à 5 l/s/Km².
- . Sur la bordure orientale des Hautes Terres, les modules moyens interannuels semblent plus forts : nous relevons 38 l/s/Km² sur la VOHITRA, 25 l/s/Km² sur le MANGORO (moins soumis à l'influence du régime de la Côte-Est puisque coulant du Nord au Sud, dans la dépression) et 28 l/s/Km² sur le NAMORONA.

- Modules annuels maximaux observés

Une deuxième remarque est relative aux modules maximaux annuels. On retrouve l'influence des grands cyclones : 1954, 1959, 1970, 1982 ... Suivant leur trajectoire le module maximal est plus ou moins fort d'un bassin à l'autre : 29,6 sur l'IKOPA à BEVOMANGA et 73,4 sur la VOHITRA au cours du même cyclone. On ne relève que 6,9 l/s/Km², la même année, sur la MENARANDRA dans le Sud de l'Ile.

Il faut, cependant, remarquer que pour de nombreux bassins soumis à des cyclones différents, les débits moyens annuels maximaux sont souvent du même ordre de grandeur

- * entre 30 et 40 l/s/Km² sur les Hautes Terres centrales et la bordure orientale jusqu' à MAROANGATY
- * entre 22 et 23 l/s/Km² pour les affluents du MANGOKY sur des surfaces comprises entre 1 000 et 10 000 Km².
- * entre 13 et 16 l/s/Km² pour le MANGOKY à l'issue de 50 000 Km² ainsi que les rivières du Sud dans le bassin du MANDRARE.
- * le MENARANDRA située plus à l'Ouest, dans une zone plus aride donne seulement 7 l/s/Km².

- modules annuels minimaux observés :

Pour les années de faible hydraulicité, on constate tout de suite que l'année la plus faible est sans aucun doute 1977 - 78. Les débits observés sont de l'ordre de 8 à 11 l/s/Km² sur les Hautes Terres Centrales et de 20 l/s/Km² sur le versant Oriental. A ce point de vue il est regrettable que les stations dont nous disposons ne couvrent pas des périodes identiques. Avec des périodes couvrant 1977 - 78 nous verrions nettement que 77 - 78 est vraiment l'année la plus sèche depuis 1949.

Pour essayer d'y voir un peu plus clair, nous avons donné, pour les stations présentant des débits jusqu'en 1977 - 78, la valeur la plus faible venant en seconde position pour comparer avec les autres stations dont les séries s'arrêtent avant 1977 - 78.

Nous voyons ainsi que sur les Hautes Terres (Bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA, de la MANIA, du MANGORO et le Haut bassin du MANGOKY) l'année 1965 - 66 a aussi été une année déficitaire. Ce qui est remarquable c'est que, pour une même saison, en l'occurrence 1965 - 66, et sur tous les bassins, les modules sont compris entre 12 et 20 l/s/Km², si l'on ne fait pas de distinction de région. Si nous établissons des classes de débits nous voyons que les bassins de l'IKOPA et de la BETSIBOKA ont des modules de l'ordre de 16 à 17 l/s/Km² (sauf pour l'IKOPA au Bac FIADANANA 13,3 l/s/Km², probablement influencé par le fonctionnement de l'usine d'ANTELOMITA et les irrigations de la plaine d'ANTANANARIVO). On a à peu près les mêmes valeurs sur la MANIA et l'ONIVE. Et plus au Sud on atteint 10 l/s/Km² sur la MANANANTANANA et 13 l/s/Km² sur la MANANARA à MAROANGATY. Une étude statistique sommaire sera faite dans le paragraphe suivant avec les séries les plus longues afin de préciser, pour chaque région, la fourchette de variation.

On constate également, et cela est visible aussi sur la carte n°1 sur laquelle nous avons reporté les années les plus faibles, que dans le Sud, à partir d'IHOSY l'année 67 - 68 a été particulièrement déficitaire avec 10 l/s/Km² sur la GRANDE MANANARA, 5,08 l/s/Km² sur l'IHOSY et moins de 2 l/s/Km² sur la MANANARA, le MANDRARE et la MENAËRANDRA.

- Coefficients de variation :

Une autre remarque est relative aux coefficients de variation

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{m}}$$
 (σ écart-type, $\bar{m}$ moyenne) calculés en même temps que les débits moyens interannuels.

Sur les Hautes Terres Centrales et le Bassins du MANGOKY ces coefficients sont compris entre 0,15 et 0,30 (sauf pour la Sisaony à ANDRAMASINA dont les données présentent quelques problèmes: lectures des hauteurs d'eau parfois douteuses, $C_v = 0,35$).

Dans le Sud, les coefficients de variation plus élevés, 0,40 à 0,65, attestent de l'irrégularité du régime de ces rivières. Mais ces stations, sauf celle de la MANANARA à BEVIA, présentent dans l'immédiat moins d'intérêt pour le projet P.P.I.

Rapports lames d'eau mensuelles à lame annuelle

Un examen rapide montre que les rapports moyens mensuels varient peu d'une station à l'autre. Une étude plus approfondie permet de distinguer des régions dans lesquelles la variation des rapports moyens mensuels est insignifiante. Cette distinction a été faite à partir de la fraction de l'écoulement enregistrée pendant la saison des pluies Décembre à Avril inclus. On distingue ainsi 4 grandes régions :

- Hautes terres % d'eau écoulé de Décembre à Avril : 73 à 75
- Versant Oriental % d'eau écoulé de Décembre à Avril : 63 à 68
- Versant Nord-Ouest % "- "- "- "- : 77
- Grands Bassins du
 Centre Sud et Ouest % "- "- "- "- : 80 à 84

En fonction de la position des bassins versants alimentant les P.P.I. ils seront donc inclus dans telle ou telle grande région et on obtiendra la répartition des volumes d'eau écoulés mensuellement. Le module annuel ayant été défini à partir des indications de la carte n°1, il sera donc très facile de calculer les volumes mensuels.

- Isohyètes interannuelles:

Nous donnons une carte (N°2) des isohyètes interannuelles (au 1/1 000 000) établie sur la période 1952 - 1970 à l'aide des données de la Météorologie nationale malgache.

Cette carte permettra de calculer, par planimétrie des isohyètes limitées aux différents bassins, la hauteur d'eau moyenne interannuelle recueillie en amont des aménagements projetés.

- cartes hors texte

N°1 : Bassins Versants observés par l'ORSTOM
 Modules moyens interannuels observés

N°2 : Isohyètes interannuelles

N°3 : Repérage des P.P.I.

N°4 : Valeurs du coefficient B

N°5 : Coefficients et déficits d'écoulement

N°6 : Etiage DMM, DMJ, D 20C et rapport $\frac{DMM}{DMJ}$

Les originaux de ces cartes ont été réalisés à l'échelle de 1/1 000 000 sur papier calque de façon à pouvoir les placer sur une carte de localisation des P.P.I. et définir par transparence les paramètres hydrologiques.

Ces cartes ont été ensuite réduites et les tirages sont placés en annexe.

III - 4. Etude statistique de quelques séries de modules annuels

Au cours des recherches effectuées pour obtenir les résultats énumérés dans les paragraphes précédents, nous avons constaté que l'hydraulicité a été exceptionnellement sèche en 1977 - 78 et exceptionnellement humide en 1981 - 82 et ce, sur la quasi totalité des régions qui font l'objet de cette étude.

Pour avoir une idée plus précise de la fréquence de ces phénomènes nous avons d'abord étudié la série des pluies annuelles relevées à ANTANANARIVO depuis le début des observations (de 1880 à 1985 soit sur 105 ans). Nous donnons ci-après le tableau des hauteurs annuelles de pluies, classées dans l'ordre décroissant, relevées à la station ANTANANARIVO observatoire et ANTANANARIVO SCM. La première station a été arrêtée en 1963 environ. La seconde a débuté en 1946. La série que nous constituons ainsi n'est pas homogène car les stations ne sont pas situées exactement au même endroit, mais elles ne sont pas très éloignées et on peut admettre que les pluies relevées à ces deux postes font partie de la même population d'événements. Nous considérons que cette série est tout à fait acceptable pour les estimations que nous recherchons.

Les points expérimentaux ont été reportés sur un graphe de Gauss en regard de leur fréquence expérimentale calculée par $f = \frac{r - 1/2}{N}$

avec : r rang, N nombre de réalisations de l'échantillon. Nous avons ensuite testé 4 fonctions de répartition. Les quantiles de diverses fréquences pour chaque fonction de répartition sont indiqués sur le tableau ci-après. Le report de ces quantiles sur le graphe montre que la fonction de répartition de GALTON donne la meilleure adéquation.

La pluie moyenne interannuelle à ANTANANARIVO sur 105 ans est égale à 1349 mm avec un écart type de 253,6 mm et un coefficient de variation de 0,19.

Les valeurs relevées en 1978 : 936 mm et en 1982 : 2 018 mm se placent dans la série des hauteurs classées respectivement en 100ème et en 2ème position. Ceci confirme donc bien le caractère exceptionnel de ces précipitations, leur fréquence expérimentale est voisine de 1/100 (humide) pour 1982 et de 1/50 (sec) pour 1978.

Ainsi en l'espace de 4 ans nous avons deux événements exceptionnels, dont la fréquence de retour se situe au voisinage d'une centaine d'années l'un dans le sens de l'abondance, l'autre dans le sens de la pénurie.

PLUIES CLASSEES A ANTANANARIVO1880 - 1985

Pmm	r	f	Pmm	r	f
2 158	1	0,005	1 377	45	0,424
2 018	2	0,014	1 374	46	0,436
1 986	3	0,024	1 367	47	0,443
1 854	4	0,033	1 357	48	0,452
1 827	5	0,043	1 353	49	0,462
1 738	6	0,052	1 352	50	0,471
1 734	7	0,062	1 342	51	0,481
1 713	8	0,071	1 338	52	0,490
1 704	9	0,081	1 334	53	0,500
1 683	10	0,090	1 331	54	0,509
1 680	11	0,100	1 330	55	0,519
1 665	12	0,109	1 323	56	0,528
1 648	13	0,119	1 322	57	0,538
1 621	14	0,128	1 307	58	0,548
1 620	15	0,138	1 299	59	0,557
1 611	16	0,148	1 295	60	0,567
1 610	17	0,157	1 288	61	0,576
1 601	18	0,167	1 287	62	0,586
1 565	19	0,176	1 287	63	0,595
1 590	20	0,186	1 278	64	0,605
1 556	21	0,195	1 277	65	0,614
1 556	22	0,205	1 260	66	0,624
1 552	23	0,214	1 255	67	0,633
1 541	24	0,224	1 253	68	0,643
1 522	25	0,233	1 247	69	0,652
1 501	26	0,243	1 247	70	0,662
1 495	27	0,252	1 241	71	0,671
1 477	28	0,262	1 240	72	0,681
1 473	29	0,271	1 238	73	0,690
1 459	30	0,281	1 231	74	0,700
1 435	31	0,290	1 229	75	0,709
1 434	32	0,300	1 227	76	0,719
1 430	33	0,309	1 218	77	0,728
1 428	34	0,319	1 206	78	0,738
1 427	35	0,328	1 188	79	0,748
1 421	36	0,338	1 177	80	0,757
1 409	37	0,348	1 171	81	0,767
1 407	38	0,357	1 163	82	0,776
1 406	39	0,367	1 158	83	0,785
1 401	40	0,376	1 156	84	0,795
1 395	41	0,386	1 147	85	0,805
1 390	42	0,395	1 130	86	0,814
1 386	43	0,405	1 093	87	0,824
1 378	44	0,414	1 087	88	0,833

PLUIES A ANTANANARIVO (suite)

P mm	r	f
1 086	89	0,843
1 080	90	0,853
1 077	91	0,843
1 045	92	0,871
1 045	93	0,881
1 040	94	0,890
1 036	95	0,900
1 032	96	0,909
1 006	97	0,919
1 000	98	0,928
939	99	0,938
936	100	0,948
913	101	0,957
898	102	0,967
891	103	0,976
890	104	0,986
865	105	0,995

Moyenne : 1 349 mm

Ecart Type : 253,6

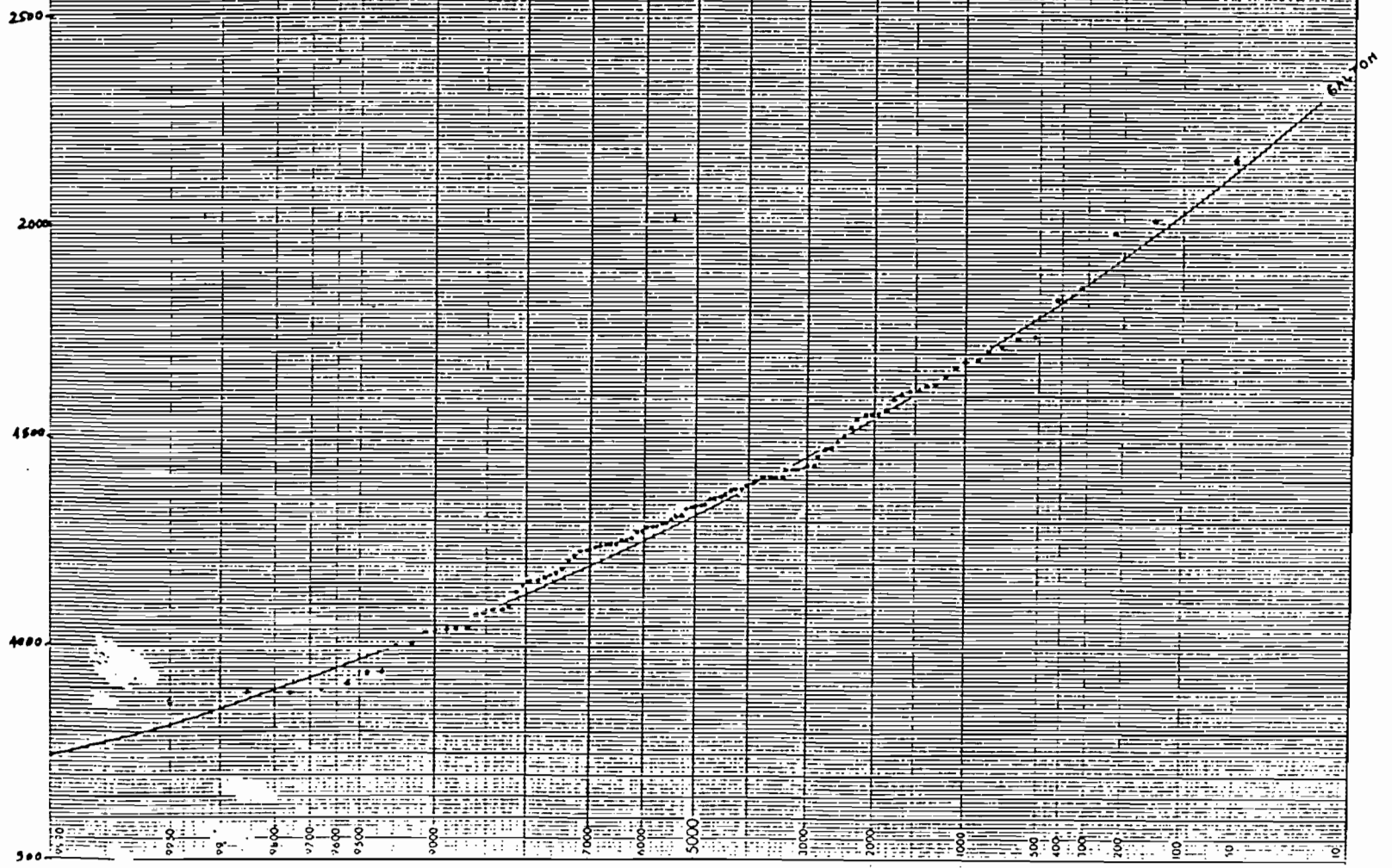
Cv : 0,19

- Quantiles pour diverses fonctions de Répartition

Fréquence	GAUSS	GUMBEL	EXP.	GALTON
0,01	758	932	1 098	853
0,025	852	976	1 102	915
0,05	933	1 017	1 109	971
0,10	1 025	1 070	1 122	1 038
0,20	1 136	1 141	1 152	1 127
0,50	1 349	1 307	1 271	1 318
0,80	1 562	1 532	1 504	1 541
0,90	1 674	1 681	1 679	1 673
0,95	1 765	1 823	1 855	1 790
0,975	1 846	1 963	2 031	1 900
0,99	1 940	2 146	2 263	2 035

ANTANANARIVO

Distribution statistique des
Pluies Annuelles 1880-1985



Ces pluies exceptionnelles dans les deux sens sont donc à l'origine des écoulements forts (mais pas toujours les plus forts) et extrêmement faibles que nous avons enregistrés ces années là sur plusieurs bassins.

Il faut noter cependant que l'abondance exceptionnelle de 1982 ne s'est pas faite sentir sur l'ensemble de l'île. En effet, seules les stations de la MANIA et de l'ONIVE présentent leurs forts débits cette année là. La trajectoire suivie par les cyclones est donc un paramètre prépondérant pour l'établissement des records hydrologiques dans telle ou telle région et une pluie de fréquence 1/100 ou 1/50 n'amène pas forcément la crue de la même fréquence.

Ceci étant constaté on peut tirer une première conclusion et dire que si l'on adopte les valeurs des débits observés en 1977 - 78, sur les Hautes terres Centrales, le Centre Sud et Centre Ouest, on est assuré de se placer dans les conditions de calcul les plus défavorables, donc dans le sens de la sécurité pour l'estimation des surfaces à irriguer. Pour préciser la fourchette de variation des modules annuels et essayer de fixer des fréquences de retour, nous avons choisi une dizaine de stations disposant de périodes d'observations assez longues s'étendant au moins jusqu'en 1977 - 78 et si possible jusqu'en 1981 - 82 pour englober les 2 années exceptionnelles, sèche et humide.

Comme pour les pluies à ANTANANARIVO, nous avons classé la population des modules, pour chaque station, en ordre décroissant et calculé la fréquence expérimentale par $f = \frac{r - 1/2}{N}$. Les points expérimentaux

(modules et fréquences) ont été portés sur un papier à graduation gaussique.

Nous constatons tout de suite, vu la distribution des points, que la grandeur "module moyen annuel", sur les bassins que nous avons choisis (et probablement sur tous les bassins malgaches) sera mieux représentée par une fonction de répartition de type dissymétrique que par une fonction gaussique ou normale. D'autre part, du fait du caractère très exceptionnel de certains événements, et de la longueur relativement faible des échantillons dont on dispose, certains points se situent nettement en dehors du nuage de points aussi bien du côté années humides que du côté années sèches. Ceci provient du fait que l'on affecte à ces points une fréquence qu'ils n'ont pas en réalité à cause, justement, de la faible longueur de la période d'observation.

Par suite, l'estimation des quantiles de fréquence 1/5 et 1/10 (en année sèche) a été réalisée très simplement en faisant passer au milieu des points représentatifs une courbe qui a été lissée au mieux.

Les calculs et graphes correspondants sont donnés en Annexe.

Pour avoir une idée des erreurs qui peuvent ainsi être commises, suivant la longueur de la période d'observation, nous avons, pour la station de BEVOMANGA disposant d'une série de 30 ans, tracé les courbes expérimentales pour 10, 15, 20, 25 et 30 ans consécutifs à partir de 1948 - 49.

Chaque fois la courbe représentative de la fonction de répartition a été tracée au mieux au milieu des points expérimentaux. Nous avons également, chaque fois, calculé les modules de fréquence 0,9 et 0,1 qui permettent de tracer la droite de Henry dans le cas d'un ajustement à une fonction de répartition de GAUSS. Ces graphes permettent de constater, du fait que la valeur la plus faible est relevée la trentième année, que, entre la courbe de 25 ans et la courbe de 30 ans, la valeur du débit de fréquence expérimentale 0,980 passe de 12,6 à 8,7 l/s/Km².

Les débits des années sèches de fréquence 1/10 (0,9), 1/5 (0,8) et 1/100 (0,99) relevés sur les courbes lissées sont donnés dans le tableau ci-dessous.

IKOPA à BEVOMANGA	Débits l/s/Km ²		
	0,8	0,9	0,99
10 ans	14,3	13	-
15 ans	14,5	13,4	11,4
20 ans	14,8	13,6	11,6
25 ans	15,4	14,1	11,5
30 ans	14,9	13,0	9,1

Ces valeurs relevées sur les courbes lissées sont très voisines les unes des autres pour les périodes de 10 à 25 ans. Les écarts proviennent seulement de l'imprécision du tracé à travers le nuage de points. Mais dès qu'on ajoute une valeur très faible (8,4 l/s/Km²) les débits de faible fréquence présentent des écarts importants : 14,1 à 13,0 pour $f = 0,9$ et 11,5 à 9,1 pour $f = 0,99$. La valeur pour $f = 0,8$ ne change pas trop car elle se situe dans une zone où se croisent toutes les courbes représentatives des différentes fonctions de répartition. Ceci est confirmé par le calcul du débit de fréquence 0,9 par la formule

$$\hat{x}_{0,9} = \bar{m} - 1,28 \sigma$$

ou $\bar{m}$ est la moyenne obtenue sur 10,15 ans

on obtient :

	10	15	20	25	30	Ans
$\hat{x}_{0,9}$ l/s/Km ²	13,2	12,5	13,0	13,6	12,9	

Ces valeurs sont à peine différentes de celles obtenues à l'aide des courbes expérimentales. Quel que soit le nombre d'années dont on dispose, le débit $\hat{x}_{0,9}$ calculé par la formule de GAUSS est toujours sensiblement le même.

A partir des courbes tracées pour les 10 stations nous tirons les valeurs suivantes qui seront ensuite reportées sur la carte n°1 en regard des modules moyens interannuels.

Les trois stations ayant leur source dans l'ANKARATRA ou à son voisinage : ANDROMBA, ONIVE et MANIA ont des débits de fréquence 1/5 et 1/10 très voisins de l'ordre de 18 et 16 l/s/Km². Les valeurs de l'IKOPA à ANTSATRANA, 21 et 20 l/s semblent un peu fortes comparées à BEVOMANGA.

Valeurs des débits 1/5 et 1/10 d'année sèche

<u>Stations</u>	<u>Période</u>	QA (0,8)		QA (0,9)
	<u>ans</u>	1/5	1/s/Km ²	1/10
IKOPA à BEVOMANGA	30	14,9		13,0
IKOPA à ANTSATRANA	28	21,2		19,8
SISAONY à ANDRAMASINA	21	13,6		12,5
ANDROMBA à TSINJONY	25	18,0		16,2
ONIVE à TSINJOARIVO	19	18,3		16,5
MANIA à FASIMENA	27	18,4		16,6
MANANARA à BEVIA	21	2,8		2,3
NAMORONA à VOHIPARARA	26	19,3		16,0
VOHITRA à ROGEZ	24	29,0		26,0

IV - ESTIMATION DES APPORTS MOYENS ANNUELS ET MENSUELS SUR LES P.P.I. RETENUS EN 1ère URGENCE

IV - 1. APPORTS ANNUELS

IV. 1.1. P.P.I. de la Circonscription de FIANARANTSOA

IV. 1.1.1. AMBOSITRA

Dans cette zone, l'examen des cartes n°1 et 3 montre que les modules spécifiques moyens interannuels sont de l'ordre de 20 à 24 l/s/Km²

MANANDONA à SAHANIVOTRY	20
MANIA à FASIMENA	24
SAHANIVOTRY à PK 197	24

La station de l'IVATO à IVATO a été observée par l'ORSTOM de 1981 à 1983, mais nous ne disposons que d'une année complète 1982 - 83, pour laquelle le module annuel est égal à 8,79 l/s/Km².

L'année 82 -83 est une année relativement déficitaire. Sur la MANIA on a obtenu 20 l/s/Km² pour une moyenne interannuelle de 24. La correction dans le même rapport donnerait pour l'IVATO une moyenne de 11 l/s/Km² ce qui est encore très faible en comparaison des valeurs recueillies sur les autres bassins. L'explication de ce déficit important n'est pas facile à trouver (forts prélèvements pour l'irrigation ou sécheresse exceptionnelle ?) et des mesures supplémentaires devront être faites pour confirmer ou infirmer ces valeurs.

Par contre la MANIA à SANDRANDAHY observée également de 81 à 83 et possédant 3 années complètes, présente sur ces trois années une moyenne égale à 31,4 l/s/Km², sensiblement la même que celle observée sur la MANIA à FASIMENA pendant la même période (30 l/s/Km²). Pendant ces 3 années les modules observés sur les 2 stations de la MANIA sont très voisins : 19,5 et 23,7 en 1980 - 81, 47,7 et 46,5 en 1981 - 82, 19,5 et 20,0 en 1982 - 83.

Le calcul de la moyenne longue période de la MANIA à SANDRANDAHY sera fait en multipliant la moyenne sur 3 ans par le rapport $\frac{24}{30}$ de la moyenne

longue période à FASIMENA sur la moyenne observée les 3 dernières années à cette même station. On trouve ainsi 25 l/s/Km² comme moyenne interannuelles à SANDRANDAHY.

De la même manière nous étendrons les observations faites en 1980 - 83 sur la MANIA à ANKOTROFOTSY. Nous obtenons une moyenne de 26,9 l/s/Km² sur les années 1980 à 1983. Pour la longue période cette moyenne devient égale à $26,9 \times \frac{24}{30} = 21,5$ l/s/Km². Il est dommage de ne pouvoir calculer

de la même façon le débit moyen interannuel de l'IVATO à IVATO.

L'estimation des débits sur les Bassins versants alimentant les petits périmètres irrigués de cette région, sera menée à l'aide des modules moyens interannuels suivants retenus après examen des cartes n°1 et n°3.

- Bassins de VATAMBE, de SAHAMADIO et FISAKANA

	Moyenne	1/5	1/10
1/s/Km ²	25	20	17

- Bassins de l'IKIANJA et ISAHA

	Moyenne	1/5	1/10
1/s/Km ²	24	18	16

Ce qui donne sur chaque bassin versant les débits moyens interannuels, en l/s, suivants :

NOM DU P.P.I.	S Km ²	Module en 1/s Moyen 1/5 1/10		
<u>VATAMBE</u>				
TSIMIARILOHA	31,7	792	634	540
AMBATOMIROJOROJO	53,4	1 335	1 068	908
ANDRANOMENA	122	3 050	2 440	2 074
ANDRANOKEY	2,5	62	50	42
ATEZA	15,7	392	314	267
<u>SAHAMADIO-FISAKANA</u>				
AMBY	20,1	502	402	342
BEFAKA	28,1	702	562	478
<u>ISAHA</u>				
ANAPAHA	18,1	434	325	290
ISAHA	33,7	810	606	539
<u>IKIANJA</u>				
ANKAFOTRA	7,2	173	129	115
AMBATOLAHY	7,8	187	140	125
ANDRANOVOVORY	12,1	290	218	194
ANALEHIBE	7,8	187	140	125

Pour la région de SOAVINA, située à proximité de FASIMENA, on pourra adpoter un module interannuel égal à 24 l/s/Km² et 18 et 16 l/s/Km² pour les modules de fréquence 1/5 et 1/10.

IV.1.1.2. FIANARANTSOA

La province de FIANARANTSOA est située sur les bassins de la MATSIATRA, de la MANANANTANANA et du ZOMANDAO pour la partie centrale et occidentale et sur la bordure orientale des Hautes Terres.

La carte n°1 donne pour les bassins du versant occidental des modules spécifiques interannuels de 18, 14 et 16 l/s/Km².

Sur la bordure orientale des Hautes Terres nous ne disposons que d'un seul bassin, le NAMORONA à VOHIPARARA qui présente un écoulement moyen de 28 l/s/Km², nettement supérieur aux autres, mais qui peut s'expliquer par la position du bassin sur la partie supérieure de l'escarpement oriental.

L'ORSTOM a mesuré de 1981 à 1983 les débits de la MANANANTANANA à IARINTSENA à l'issue de 1 260 Km² de Bassin Versant. On retrouve les mêmes variations que dans la région d'AMBOSITRA avec, cependant, une tendance déficitaire plus accentuée en 1982 - 83.

Pour un maximum de 29,1 l/s/Km² en 81 - 82 on ne recueille que 6,1 l/s/Km² en 82 - 83. Le rapport de ces 2 valeurs est égal à $\frac{29,1}{6,1} = 4,77$

sur la MANIA pour ces mêmes années nous avons un rapport égal à :

$$\frac{47,7}{19,5} = 2,5 \text{ à SANDRANDAHY}$$

$$\text{et à } \frac{46,5}{20,0} = 2,3 \text{ à FASIMENA}$$

Il y a probablement là l'explication du chiffre de 8,79 trouvé en 82 -83 sur l'IVATO. Les Hauts Bassins de la MANANANTANANA et de la MATSIATRA ont probablement été soumis à une très forte sécheresse, plus accentuée que sur la MANIA, ce qui a dû entraîner des prélèvements plus importants pour faire face aux besoins de l'irrigation. Les relevés météo du poste d'AMBALAVAO font état d'un total pluviométrique de 391 mm, relevé de Novembre 1982 à Octobre 1983, alors que la moyenne interannuelle est de l'ordre de 1 000 mm. Si le relevé de 1982 - 83 est exact, il y a donc eu un manque de pluie très net cette année là sur ces régions. Ceci expliquera aussi le faible débit de la MANANANTANANA à IARINTSENA dont la moyenne sur ces trois années est égale à 16 l/s/Km². Ramené à la longue période, à l'aide du rapport de la moyenne sur 3 ans à la moyenne sur 27 ans sur la MANIA, nous obtenons un module interannuel de 13 l/s/Km². Cette valeur est faible mais toutefois assez proche de celle observée à TSITONDROINA.

Les P.P.I. de la région de FIANARANTSOA sont situés pratiquement le long de la ligne de partage des eaux entre versant oriental et versant occidental.

- Les bassins versants de l'ANKONA, d'AMPARIHIBE, d'ALAKAMISY-AMBOHIMAHA, AMBOASARY constituent pratiquement le haut bassin du NAMORONA à VOHIPARARA. Pour ces P.P.I. nous retiendrons donc la valeur de 28 l/s/Km^2 pour le module interannuel et 20 et 16 pour les fréquences 1/5 et 1/10.
- Le bassin d'ANDREAMBE est situé un peu plus à l'OUEST, dans le haut bassin de la MATSIATRA qui donne un module interannuel de 18 l/s/Km^2 à MALAKIALINA.

Nous retiendrons pour ANDREAMBE les valeurs

Moyenne	22	l/s/Km^2
1/5	19	"-
1/10	16	"-

Ces mêmes valeurs seront aussi adoptées sur le bassin de la MANANANTANANA. Sur le MANAMBOLO on prendra des valeurs légèrement plus faibles

Moyenne	20	l/s/Km^2
1/5	17	"-
1/10	15	"-

Nous avons calculé les débits suivants :

P.P.I.

CIRCONSCRIPTION DE FIANARANTSOA

NOM DU P.P.I.	S Km ²	MODULE 1/s		
		Moyen	1/5	1/10
<u>ANKONA</u>				
ANKORAKA	18,2	510	364	291
ANOSIALA et VATOSIRY	96,3	2 700	1 926	1 541
SAHAVE	26,1	730	522	418
<u>SAHAMBAVY-ANDROY</u>				
IGODONA	16,2	454	324	259
ANDRANOVONDRONA	18,2	510	364	291
<u>ALAKAMISY-AMBOHIMAHA</u>				
ANDRANOMIHERINA	16,2	454	324	259
ILAMOKA	28,1	787	562	450
VOHITSOA	5,9	165	118	95
<u>AMBOASARY</u>				
ANDRASONDRAVO	60,1	1 683	1 202	962
AMPAHIDRANOVATO	78,0	2 184	1 560	1 248
AMBOASARY	56,2	1 574	1 124	899
<u>IVAKOANINA</u>				
ANDRAMANDOVOKA	19,7	552	394	315
ANDRANOLAVA	18,7	524	374	299
ANTSIPOY	15,6	435	312	250
<u>AMPARIHIBE</u>	11,1	311	222	178
<u>ANDREAMBE</u>	74,4	1 634	1 414	1 190
<u>MANANANTANANA</u>	666,5	15 000	12 660	10 660

IV.1.2. P.P.I. de la Circonscription de MIARINARIVO

Dans cette région, limitée au Sud-Est par le massif de l'ANKARATRA, bordée au Nord-ouest par le Bassin de l'IKOPA et au Sud par celui de la MANIA, nous pourrions adopter un module moyen annuel de 20 l/s/Km^2 (1/5,17 - 1/10,14) pour l'ensemble des P.P.I. (voir carte n°1).

Nous obtenons les valeurs suivantes :

NOM DU P.P.I.	S Km ²	Moyen	Module 1/s 1/5	1/10	
<u>TSIROANOMANDIDY</u>					
AMBALANIRANA	20,6	412	348	287	
<u>MIARINARIVO</u>					
IFANJA-NORD	MANASINONO	21,4	428	364	300
	TSIMADIO	24,1	482	410	337
	KAVAZIMBA	9,2	184	156	129
IFANJA-SUD	BIZY	21,6	432	367	302
	KOTOMBOLO	54,3	1 086	923	760
ANALAVORY	SAHORA	37,0	740	629	518
ANOSIMIDONA	MATIANDRANO	127	2 540	2 159	1 778
AMBOHIMANANA	MAHAVATO	35,7	714	607	500
	VARANA	150	3 000	2 550	2 100
MANAGABE	ANDRIAMBOLA	96,3	1 926	1 637	1 348
ANTANIMENAKELY	ANDRIABOLA	23,3	466	396	326
<u>SOAVINANDRIANA</u>					
<u>TONGOLO-</u>					
<u>ANTANETIBE</u>	TONGOLO AMONT	42,4	848	721	594
	TONGOLO AVAL	49,2	984	836	689
FITANDAMBO	AMONT	36,4	728	619	510
	AVAL	40,1	802	682	561
AMPARY	ZANAKOLO	18,0	360	306	252

IV.1.3. P.P.I. de la Circonscription d'ANTANANARIVO-NORD

Les bassins alimentant les P.P.I. de cette circonscription sont situés dans le Haut Bassin de la BETSIBOKA où nous avons enregistré un module moyen interannuel de 26 l/s/Km^2 , à l'issue d'un bassin de $11\,800 \text{ Km}^2$, et en bordure du bassin du MANGORO où le rendement moyen d'un bassin de $3\,600 \text{ Km}^2$ est égal à 25 l/s/Km^2 .

Pour ces bassins nous adoptons la valeur de 25 l/s/Km² (1/5, 19 - 1/10,16) et nous obtenons le tableau suivant :

NOM DU P.P.I.		S Km ²	Module 1/s		
			moyen	1/5	1/10
MANGAMILA	ANDRIAKELY	15,4	385	293	246
	AMPITANDRAMBO	17,4	435	330	278
	Ruines	6,20	155	118	99
ANDRANOMADIO	ANTANIKETSABE	1,70	43	32	27
	ANKADILANDALINA	6,00	150	114	96
	ANALAMANTSO	5,50	137	104	88
	ANALALAVA	4,40	110	84	70
BETSIMIZARA	AMPILANONANA	36,0	900	684	576
	ANKADIVORY	2,50	62	47	40
	ANTANETILAVA	5,50	137	104	88
	AMBAZIMBA	6,80	170	129	110
ANJOZOROBE	FARAMANINA	20,7	517	393	331
	SAHANOAHY	5,9	147	112	94
	MAKAMO	18,7	467	355	299

IV.1.4. P.P.I. de la région d'ANTSIRABE

Tous les Bassins Versants alimentant les P.P.I. de la région d'ANTSIRABE sont situés sur le pourtour du Massif d'ANKARATRA. Deux stations suivies par l'ORSTOM fournissent une estimation du module moyen interannuel :

- AMBOROMPOTSY à ANTSAMPANDRANO, 95 Km² observé de 1957 à 1974.
- Petits bassins d'AMBATOMAINTY, près d'AMBATOLAMPY sur 0,286 et 0,260 Km² et observés en 1973 et 1974.

Sur le premier bassin nous avons éliminé les années 1972 - 1973 et 1973 - 1974 dont les écoulements sont manifestement trop élevés par suite d'un étalonnage défectueux de la station.

Les années restantes donnent un module moyen interannuel de 29 l/s/Km².

Sur les petits bassins versants le module moyen est de 28,6 l/s/Km², du même ordre que celui observé sur l'AMBOROMPOTSY.

Pour les P.P.I. de cette région nous adoptons 29 l/s/Km² comme valeur moyenne du module. Le GERSAR, dans son étude hydrologique de Mai 1986, a adopté un module moyen interannuel de 32 l/s/Km², valeur trouvée à partir de toute la période d'observation, y compris les 2 années dont les valeurs sont surestimées.

Nous donnons ici les valeurs calculées pour les différents bassins. Ces valeurs sont donc légèrement plus faibles que celles du GERSAR. Nous adoptons, pour les fréquences 1/5 et 1/10, 22 et 18 l/s/Km².

NOM DU P.P.I.	SURFACE Km ²	MODULE 1/s		
		Moyen	1/5	1/10
<u>MANANDONA</u>				
ANKONA	47	1 363	1 034	846
BARRAGE	635	18 415	13 970	11 430
Complément SAHALOMBO	253	7 340	5 570	4 550
ISANDRA AMONT	14	406	310	250
<u>IANDRATSAY</u>				
SAHANATSINDRY	78	2 260	1 720	1 400
<u>AMBOHIBARY</u>				
AMBOHITROMBOLAHY	14	406	310	250
ANKIANANAKANGA	35	1 015	770	630
ANDALANTSOAVALY	16,5	478	360	300
TRIMOANALA	67,5	1 960	1 485	1 215
AMBOROMPOTSY	117,5	3 410	2 585	2 115
Petits B.V. actifs	72,5	2 100	1 595	1 305
<u>VINANINONY</u>				
ANORANA	14,5	420	320	260
ANKAFOTRA	13	380	286	234
AMBATONJIOALAHY	52,5	1 520	1 155	945
Petits B.V. actifs	33,5	970	737	603

Les valeurs que nous obtenons ne diffèrent jamais de plus de 10% de celles données par le GERSAR. Ces écarts sont faibles mais les valeurs que nous donnons vont davantage dans le sens de la sécurité.

Nous avons constaté dans les chapitres précédents que l'année 1977 - 78 est une année sèche sur la presque totalité des Hautes Terres Centrales. Les débits moyens annuels relevés cette année là, sont compris entre 9 et 11 l/s/Km². En prenant 10 l/s/Km² pour les bassins d'AMBOSITRA, FIANARANTSOA, MIARINARIVO et ANTANANARIVO-NORD, les débits ainsi obtenus seront très faibles et le projeteur se placera dans les conditions les plus défavorables pour l'estimation des surfaces irriguées.

IV - 2. ESTIMATION DES DEBITS MOYENS MENSUELS INTERANNUELS SUR LES DIFFÉRENTS BASSINS

Cette estimation va être menée à partir de la répartition mensuelle moyenne interannuelle des apports figurant dans les tableaux du paragraphe III.3.

L'examen de ces tableaux montre que l'écoulement de saison des pluies est partout compris entre 60 et 85% de l'écoulement total.

On constate également que, sur la bordure orientale des Hautes Terres, il se produit, en Juillet et Août, une recrudescence de l'écoulement par suite du renforcement des alizés en saison fraîche.

La fraction d'écoulement se produisant pendant les mois les plus secs (Septembre ou Octobre en général) est comprise :

- entre 1,1 et 1,8% pour les bassins du MANGOKY et du centre Sud ainsi que pour la BETSIBOKA et l'IKOPA à la sortie des Hautes Terres
- entre 2 et 2,8% sur les Hautes Terres Centrales (Haut bassin de l'IKOPA, et la MANIA)
- entre 2,7 et 4,6% pour la bordure orientale des hautes Terres.

Nous calculerons les volumes d'eau écoulés mensuellement à l'aide des répartitions moyennes ci-dessous :

- Hautes Terres Centrales : R1
- GRANDS BASSINS sortie NORD-OUEST des hautes Terres R2
- Bordure orientale des Hautes Terres R3
- Bassins du Centre Sud, Centre Ouest et petits bassins de la bordure occidentale des Hautes Terres R4.

Répartition en %

CLASSE	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
R1	4,8	12,8	16,9	16,4	17,0	9,7	5,7	4,1	3,7	3,4	2,6	2,4
R2	4,4	11,6	17,9	18,1	20,5	8,75	4,8	3,7	3,05	2,65	2,05	2,0
R3	4,5	9,2	13,4	14,8	15,7	9,9	6,9	5,7	5,8	6,0	4,4	3,6
R4	3,2	15,7	23,7	18,9	17,1	6,6	3,7	2,7	2,3	1,95	1,53	1,5

A l'aide de ces valeurs nous avons calculé les débits moyens mensuels interannuels sur les bassins alimentant les P.P.I. des Circonscriptions de FIANARANTSOA, MIARINARIVO et ANTANANARIVO-NORD.

Ces débits sont donnés dans les tableau ci-après.

CIRCONSCRIPTION de FIANARANTSOA

NOM DU P.P.I.	Debits moyens mensuels et annuels en m ³ /s												ANNEE	RAPPORT UTILISE
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
<u>AMBOSITRA : VATAMBE</u>														
TSIMIARILLOHA	0,43	0,86	1,25	1,53	1,46	0,95	0,64	0,55	0,54	0,56	0,42	0,34	0,792	R3
AMBATOMIROJOROJO	0,73	1,45	2,11	2,57	2,47	1,61	1,08	0,92	0,91	0,94	0,71	0,56	1,335	R3
ANDRANOMENA	1,67	3,30	4,81	5,88	5,64	3,67	2,48	2,11	2,08	2,15	1,63	1,29	3,050	R3
ANDRANOKEY	0,034	0,067	0,098	0,120	0,115	0,075	0,050	0,043	0,042	0,044	0,033	0,026	0,062	R3
ATEZA	0,215	0,425	0,618	0,756	0,725	0,472	0,318	0,272	0,268	0,277	0,210	0,166	0,392	R3
<u>ISAHA</u>														
ANAPAHA	0,253	0,654	0,863	0,928	0,869	0,512	0,291	0,216	0,189	0,174	0,137	0,123	0,434	R1
ISAHA	0,473	1,22	1,61	1,73	1,62	0,956	0,544	0,404	0,353	0,324	0,256	0,229	0,810	R1
<u>IKIANJA</u>														
ANKAFOTRA	0,101	0,261	0,344	0,370	0,346	0,204	0,116	0,086	0,075	0,069	0,055	0,049	0,173	R1
AMBATOLAHY	0,109	0,282	0,372	0,400	0,374	0,221	0,125	0,093	0,081	0,075	0,059	0,053	0,187	R1
ANDRANOVOY	0,169	0,437	0,577	0,620	0,580	0,342	0,195	0,145	0,126	0,116	0,092	0,082	0,290	R1
ANALAHEHIBE	0,109	0,282	0,372	0,400	0,374	0,221	0,125	0,093	0,081	0,075	0,059	0,053	0,187	R1
<u>SAHAMADIO-FISAKANA</u>														
AMBY	0,293	0,756	1,00	1,07	1,00	0,592	0,337	0,250	0,219	0,201	0,159	0,142	0,502	R1
BEFAKA	0,410	1,06	1,40	1,50	1,40	0,828	0,471	0,350	0,306	0,281	0,222	0,198	0,702	R1
<u>ANKONA</u>														
ANKORAKA	0,279	0,552	0,805	0,984	0,943	0,614	0,414	0,354	0,348	0,360	0,273	0,216	0,510	R3
ANOSIALA	1,48	2,92	4,26	5,21	4,99	3,25	2,19	1,87	1,84	1,91	1,44	1,14	2,700	R3
SAHAVE	0,400	0,791	1,15	1,41	1,35	0,879	0,593	0,506	0,498	0,516	0,391	0,309	0,730	R3
<u>SAHAMBAVY-ANDROY</u>														
IGODONA	0,248	0,492	0,716	0,876	0,839	0,547	0,369	0,315	0,310	0,321	0,243	0,192	0,454	R3
ANDRANOVDONDRONA	0,279	0,552	0,805	0,984	0,943	0,614	0,414	0,354	0,348	0,360	0,273	0,216	0,510	R3
<u>ALAKAMISY-AMBIHIMAHA</u>														
ANDRANIMIHERINA	0,248	0,492	0,716	0,876	0,839	0,547	0,369	0,315	0,310	0,321	0,243	0,192	0,454	R3
ILAMOKA	0,431	0,852	1,24	1,52	1,45	0,948	0,639	0,546	0,537	0,556	0,421	0,333	0,787	R3
VOHITSOA	0,090	0,179	0,260	0,318	0,305	0,199	0,134	0,114	0,113	0,116	0,088	0,070	0,165	R3

CIRCONSCRIPTION de FIANARANTSOA (suite)

NOM DU P.P.I.	Debits moyens mensuels et annuels en m ³ /s												ANNEE	RAPPORT UTILISE
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
<u>AMBOASARY</u>														
ANKAZONDRANO	0,921	1,82	2,65	3,25	3,11	2,03	1,37	1,17	1,15	1,19	0,900	0,713	1,683	R3
AMPAHIDRANOVATO	1,19	2,36	3,44	4,21	4,04	2,63	1,77	1,51	1,49	1,54	1,17	0,92	2,184	R3
AMBOASARY	0,862	1,70	2,48	3,04	2,91	1,89	1,28	1,09	1,07	1,11	0,84	0,67	1,574	R3
<u>IVAKOANINA</u>														
ANDRAMANDOVOKA	0,302	0,598	0,871	1,06	1,02	0,665	0,448	0,383	0,377	0,390	0,295	0,234	0,552	R3
ANDRANOLAVA	0,287	0,568	0,827	1,01	0,968	0,631	0,426	0,363	0,358	0,370	0,280	0,222	0,524	R3
ANTSIPOY	0,238	0,471	0,686	0,839	0,804	0,524	0,353	0,302	0,297	0,307	0,233	0,184	0,435	R3
<u>AMPARIHIBE</u>														
AMPARIHIBE	0,121	0,575	0,868	0,766	0,626	0,250	0,132	0,102	0,084	0,071	0,058	0,055	0,311	R4
ANDREAMBE	0,636	3,02	4,56	4,02	3,29	1,31	0,692	0,537	0,442	0,375	0,304	0,288	1,634	R4
<u>MANANANTANANA</u>														
MANANANTANANA	5,84	27,7	41,8	36,9	30,2	12,0	6,35	4,92	4,06	3,44	2,79	2,65	15,0	R4
<u>MANAMBOLO</u>														
MANAMBOLO	1,65	7,84	11,8	10,4	8,53	3,40	1,80	1,39	1,15	0,973	0,789	0,749	4,24	R4

CIRCONSCRIPTION de MIARINARIVO

NOM DU P.P.I.	Debits moyens mensuels et annuels en m ³ /s												ANNEE	RAPPORT UTILISE
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
<u>TSIROANOMANDIDY</u>														
AMBALANIRANA	0,241	0,621	0,820	0,881	0,825	0,486	0,276	0,205	0,179	0,165	0,130	0,116	0,412	R1
<u>MIARINARIVO</u>														
MANASINONO	0,250	0,645	0,852	0,915	0,857	0,505	0,287	0,213	0,186	0,171	0,135	0,121	0,428	R1
TSIMADIO	0,281	0,726	0,959	1,03	0,965	0,569	0,323	0,240	0,210	0,193	0,152	0,136	0,482	R1
KAVAZIMBA	0,107	0,277	0,366	0,393	0,368	0,217	0,123	0,092	0,080	0,074	0,058	0,052	0,184	R1
BIZY	0,252	0,651	0,859	0,923	0,864	0,510	0,290	0,215	0,188	0,173	0,136	0,122	0,432	R1
KOTOMBOLO	0,634	1,64	2,16	2,32	2,17	1,28	0,729	0,542	0,473	0,435	0,343	0,307	0,986	R1
SAHORA	0,432	1,11	1,47	1,58	1,48	0,873	0,497	0,369	0,322	0,296	0,324	0,209	0,740	R1
MATIANDRANO	1,48	3,82	5,05	5,43	5,08	2,99	1,70	1,26	1,10	1,01	0,80	0,71	2,540	R1
VARANA	1,75	4,52	5,97	6,41	6,00	3,54	2,01	1,49	1,30	1,20	0,95	0,847	3,00	R1
MANAHAVATO	0,416	1,07	1,42	1,52	1,43	0,842	0,479	0,356	0,311	0,286	0,226	0,201	0,714	R1
ANDRIAMBOLA . (MANGABE)	1,12	2,90	3,84	4,12	3,86	2,27	1,29	0,963	0,841	0,772	0,610	0,545	0,93	R1
ANTANIMENAKELY	0,272	0,702	0,927	0,996	0,933	0,550	0,312	0,232	0,203	0,186	0,147	0,131	0,466	R1
<u>SOAVINANDRIANA</u>														
TONGOLO Amont	0,495	1,27	1,68	1,81	1,70	1,00	0,57	0,42	0,37	0,34	0,26	0,24	0,848	R1
TONGOLO Aval	0,593	1,39	1,84	1,97	1,85	1,09	0,620	0,461	0,402	0,370	0,292	0,261	0,924	R1
FITANDAMBO Amont	0,425	1,09	1,45	1,55	1,46	0,859	0,488	0,363	0,317	0,291	0,230	0,206	0,728	R1
FITANDAMBO Aval	0,468	1,21	1,59	1,71	1,60	0,946	0,538	0,400	0,349	0,321	0,253	0,226	0,802	R1
ZANAKOLO	0,210	0,542	0,716	0,769	0,720	0,425	0,241	0,179	0,157	0,144	0,114	0,101	0,360	R1

CIRCONSCRIPTION d'ANTANANARIVO - NORD

NOM DU P.P.I.	Debits moyens mensuels et annuels en m ³ /s												ANNEE	RAPPORT UTILISE
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
<u>MANGAMILA</u>														
ANDRIAKELY	0,224	0,580	0,766	0,823	0,771	0,454	0,258	0,192	0,168	0,154	0,121	0,109	0,385	R1
AMPITANDRAMBO	0,254	0,655	0,865	0,930	0,870	0,513	0,292	0,217	0,189	0,174	0,137	0,123	0,435	R1
Ruines	0,090	0,233	0,308	0,331	0,310	0,183	0,104	0,77	0,067	0,062	0,049	0,044	0,155	R1
<u>ANDRANOMADIO</u>														
ANTANIKETSA	0,025	0,065	0,085	0,092	0,086	0,050	0,029	0,021	0,019	0,017	0,013	0,012	0,043	R1
ANKADILALANDILANA	0,081	0,226	0,298	0,320	0,300	0,177	0,100	0,075	0,065	0,060	0,047	0,042	0,150	R1
ANALAMANTSO	0,080	0,206	0,272	0,293	0,274	0,161	0,092	0,068	0,059	0,055	0,043	0,039	0,137	R1
ANALALAVA	0,064	0,165	0,219	0,235	0,220	0,130	0,074	0,055	0,048	0,044	0,035	0,031	0,110	R1
<u>BETSIMIZARA</u>														
AMPILANONANA	0,525	1,35	1,79	1,92	1,80	1,06	0,604	0,449	0,392	0,360	0,285	0,254	0,900	R1
ANKADIVORY	0,036	0,093	0,123	0,132	0,124	0,073	0,042	0,031	0,027	0,025	0,019	0,017	0,062	R1
ANTANETILAVA	0,080	0,206	0,272	0,293	0,274	0,161	0,092	0,068	0,059	0,055	0,043	0,039	0,137	R1
AMBAZIMBA	0,099	0,256	0,338	0,363	0,340	0,200	0,114	0,085	0,074	0,068	0,053	0,048	0,170	R1
<u>ANJOZOROBE</u>														
FARAMANINA	0,302	0,779	1,03	1,10	1,03	0,61	0,347	0,258	0,225	0,207	0,163	0,146	0,517	R1
SAHANDAVY	0,086	0,221	0,292	0,314	0,294	0,173	0,099	0,073	0,064	0,059	0,046	0,041	0,147	R1
MAKAMO	0,272	0,704	0,929	0,998	0,935	0,551	0,313	0,233	0,203	0,187	0,148	0,132	0,467	R1

CIRCONSCRIPTION d'ANTSIRABE

NOM DU P.P.I.	Debits moyens mensuels et annuels en m³/s												ANNEE	RAPPORT UTILISE
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
<u>MANANDONA</u>														
ANKOKA	0,796	2,05	2,71	2,91	1,73	1,61	0,915	0,680	0,594	0,545	0,431	0,385	1,363	R1
Barrage	10,7	27,7	36,6	39,3	36,8	21,7	12,3	9,18	8,01	7,36	5,82	5,20	18,4	R1
Confluent SAHALOMBO	4,28	11,0	14,6	15,7	14,7	8,66	4,92	3,66	3,20	2,94	2,32	2,07	7,34	R1
ISANDRA Amont	0,237	0,612	0,808	0,868	0,813	0,479	0,272	0,202	0,177	0,162	0,128	0,115	0,406	R1
TOMBAMBOANJO	0,321	0,829	1,09	1,17	1,10	0,649	0,369	0,274	0,239	0,220	0,174	0,155	0,55	R1
<u>LANDRATSAY</u>														
SAHANATSINDRY	1,32	3,40	4,50	4,83	4,52	2,66	1,52	1,13	0,984	0,905	0,715	0,639	2,26	R1
<u>AMBOHIBARY</u>														
AMBOHITROMBOLAHY	0,237	0,612	0,808	0,868	0,813	0,479	0,272	0,202	0,177	0,162	0,128	0,115	0,406	R1
ANKIANANAKANGA	0,592	1,53	2,02	2,17	2,03	1,19	0,681	0,506	0,442	0,406	0,321	0,287	1,015	R1
ANDALATSOAVALY	0,279	0,720	0,951	1,02	0,957	0,564	0,321	0,238	0,208	0,191	0,151	0,135	0,478	R1
TRIMOANALA	0,982	2,54	3,36	3,61	3,38	1,99	1,13	0,84	0,736	0,676	0,534	0,477	1,690	R1
AMBOROMPOTSY	0,99	5,14	6,78	7,29	6,82	4,02	2,29	1,70	1,48	1,36	1,08	0,963	3,41	R1
Petits B.V. actifs	1,22	3,16	4,18	4,49	4,20	2,48	1,41	1,05	0,915	0,840	0,664	0,593	2,10	R1
<u>VINANINONY</u>														
ANORANA	0,245	0,633	0,836	0,898	0,840	0,495	0,282	0,209	0,183	0,168	0,133	0,118	0,42	R1
ANKAFOTRA	0,222	0,572	0,756	0,812	0,760	0,448	0,255	0,189	0,165	0,152	0,120	0,107	0,38	R1
AMBATONJIOLAHY	0,887	2,29	3,02	3,25	3,04	1,79	1,02	0,758	0,662	0,608	0,481	0,429	1,52	R1
Petits B.V. actifs	0,566	1,46	1,93	2,07	1,94	1,14	0,651	0,484	0,422	0,388	0,307	0,274	0,970	R1

- Remarques relatives :

a/ aux débits de la région d'ANTSIRABE

Les débits moyens mensuels que nous avons calculés pour la région d'ANTSIRABE sont relatifs aux bassins versants étudiés par le GERSAR dans son rapport de Mai 1986. Bien que calculés par des méthodes légèrement différentes nous constatons que les débits moyens mensuels interannuels sont très voisins. Nous avons noté, dans le chapitre précédent, que les écarts entre modules moyens étaient de l'ordre de 10%, nos chiffres étant tous inférieurs à ceux du GERSAR.

Les calculs des débits moyens mensuels donnent, avec notre méthode, des valeurs qui sont soit inférieures soit supérieures à celles du GERSAR, les écarts les plus importants étant relevés en saison des pluies. Pour la saison sèche les valeurs trouvées par les 2 méthodes sont très souvent du même ordre de grandeur.

b/ aux bassins dont les débits n'ont pas été calculés (surfaces encore inconnues)

Il y a un certain nombre de Périmètres irrigués figurant dans l'inventaire préliminaire pour lesquels les débits n'ont pas été calculés pour la simple raison que nous ne disposions pas des limites de ces bassins et de leur surface. En appliquant les méthodes ci-dessus il sera facile de calculer les débits moyens mensuels interannuels en amont de tous les P.P.I.

Pour cela il faudra :

- Mesurer la surface des Bassins versants alimentant les P.P.I.
- Calculer le module moyen interannuel, en l/s, en multipliant cette surface par 29 (valeur en l/s/Km² du module spécifique moyen interannuel adopté pour cette région).
- Calculer ensuite les différents débits moyens mensuels en utilisant la répartition R1 valable pour les Hautes Terres Centrales.

Il est bien évident que les valeurs ainsi obtenues sont des valeurs probables et surtout moyennes. Les valeurs obtenues par la mesure directe sur les Bassins versants pourront différer dans une certaine proportion. Mais il sera extrêmement intéressant et instructif de pouvoir faire quelques comparaisons.

V - CALCUL DE L'ÉCOULEMENT ANNUEL (2ème Méthode)

La relation présentée dans le paragraphe II et dont nous rappelons la forme :

$$E_{mm} = \left(\frac{P_{mm}}{B} \right)^{5/3} \left(\frac{Z_m}{100} \right)^{1/3}$$

permet, connaissant le coefficient B, le calcul de la lame d'eau écoulee annuellement à partir de la pluie moyenne annuelle et de l'altitude moyenne du bassin.

Les débits moyens annuels relevés aux stations de l'ORSTOM, la pluviométrie moyenne calculée par la méthode de Thiessen de 1952 à 1970 et l'altitude moyenne des bassins sont les paramètres connus à l'aide desquels nous calculerons B pour une vingtaine de bassins. Les calculs intermédiaires sont rassemblés dans les tableaux en annexe.

Dans le tableau ci-après nous résumons les calculs et donnons les valeurs moyennes interannuelles du coefficient B ainsi que les valeurs minimales et maximales observées sur les périodes disponibles. La valeur la plus fréquente de B moyen se situe entre 47 et 50.

Une très forte valeur, celle de NAMORONA (63) est probablement due à la mauvaise qualité des données : pluie ou débit ?.

Dans le Sud, le calcul année par année, donne des valeurs de B qui varient beaucoup.

En calculant ensuite la lame d'eau à partir de B moyen on obtient des valeurs qui s'écartent beaucoup de la valeur observée (plus de 100% parfois). Mais ce qui est assez remarquable c'est que la valeur moyenne de B sur la période calculée directement à partir de l'écoulement moyen et de la pluie moyenne est très voisine de celle que nous avons trouvée sur les autres régions de l'île - 47 pour le MANDRARE - 54 pour la MANANARA et 47 pour la MENARANDRA.

D'après les résultats obtenus aux stations de la VOHITRA et du SAMBIRANO il semblerait que B soit plus petit dans les régions à forte pluviométrie. Ceci devrait être confirmé par le calcul pour d'autres stations de la Côte-Est pour lesquelles il n'y aurait pas de doute dans les observations. Le coefficient B est relativement constant sur la partie centrale des Hautes Terres et leur bordure occidentale. Toutes les stations situées dans ces régions présentent des valeurs de B très voisines avec des coefficients de variation très faibles (0,07 à 0,15).

Pour vérifier la précision des résultats obtenus à l'aide de cette formule il serait nécessaire de calculer E pour des bassins de tailles différentes dans la région des Hautes Terres. Ceci représente un travail assez long nécessitant :

- 1) des cartes précises avec courbes de niveau 1/100 000 pour les petits bassins, 1/500 000 pour les plus grands afin de définir Z_m pour chaque bassin.

VALEURS DU COEFFICIENT B

B A S S I N S	Zm m	B Moy	B Max	B Min	Cv
IKOPA à BEVOMANGA	1 400	49	57	43	0,08
IKOPA au Bac de FIADANANA	1 250	51	58	45	0,07
ANDROMBA à TSINJONY	1 570	50	57	38	0,11
TAFAINA	1 530	47	52	41	0,08
IKOPA à ANTSATRANA	1 230	47	54	38	0,11
BETSIBOKA à AMBODIROKA	1 020	46	52	40	0,09
MANGORO à MANGORO	1 000	47	54	43	0,07
MANIA à FASIMENA	1 305	45	51	30	0,14
VOHITRA à ROGEZ	980	42	48	36	0,065
NAMORONA à VOHIPARARA	1 250	63	69	58	0,08
MANANANTANANA		50	58	42	0,13
ZOMANDAO à ANKARAMENA	1 164	49	63	41	0,15
IHOSY à IHOSY	1 093	47	58	37	0,14
MATSIATRA	1 076	46	68	37	0,20
MANGOKY au BANIAN	788	49	57	45	0,08
MANDRARE à AMBOASARY	425	47	calcul direct P.moy.et E moy.		
MANANARA à BEVIA	350	54	-"-		
MENARANDRA à TRANOROA	550	47	-"-		
SAMBIRANO à AMBANJA	780	36	43	33	0,11
Petits bassins ANKABOKA	200	35			

- 2) la connaissance de la pluviométrie annuelle en divers postes de façon à obtenir la pluie moyenne sur les bassins
- 3) la connaissance des écoulements annuels pour quelques années, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus à la réalité.

Avec le temps dont nous disposons il n'a pas été possible de faire ce travail sur de nombreuses stations. La vérification a été réalisée de deux manières :

- 1 - Aux stations de l'ORSTOM qui nous ont permis de calculer B moyen nous avons calculé pour chaque année la valeur de E déduite de la formule utilisée avec B moyen. Les résultats sont donnés dans les tableaux en annexe avec les écarts en mm et en % à la valeur effectivement observée.

Nous constatons que sur les rivières des Hautes Terres pour lesquelles la valeur de B moyen est pratiquement constante, les écarts relevés chaque année entre E, calculée avec B moyen et E observée, oscillent entre 0 et $\pm 30\%$. Mais lorsqu'on calcule E à partir de B moyen et de la pluie moyenne interannuelle sur le bassin l'écart entre E calculé et E moyen observé est toujours compris entre 0 et $\pm 3\%$.

On peut donc conclure que E calculé à l'aide de B moyen et de la pluie moyenne est très proche de la réalité.

- 2 - Un autre essai a été effectué sur le bassin de la MANIA en 1982 - 83, année pour laquelle nous disposons de lames d'eau observées.

SANDRANDAHY à SANDRANDAHY	286 Km ²	E = 435 mm
MANIA à SANDRANDAHY	1 770 Km ²	E = 613 mm
MANIA à FASIMENA	6 800 Km ²	E = 629 mm

Les altitudes moyennes de ces bassins sont respectivement égales à 1371, 1487 et 1500 m.

Nous ne disposons pas de la pluie moyenne sur ces bassins mais de la pluviométrie observée de Novembre 1982 à Octobre 1983 à ANTISIRABE et AMBOSITRA : 1218 et 631 mm. Ces deux postes sont situés en bordure du bassin et ils doivent représenter assez mal la pluviométrie moyenne. Nous ferons les calculs de la lame d'eau écoulée en prenant une pluie moyenne égale à la moyenne d'ANTISIRABE et AMBOSITRA. Cette moyenne est faible car elle ne tient pas compte des pluies effectivement tombées sur le haut bassin qui doivent être importantes. Nous ferons aussi le calcul avec la pluie d'ANTISIRABE supposée représentative de la pluie moyenne. Nous avons également admis que la pluie moyenne sur le bassin se situait aux alentours de 1 300 mm (pour tenir compte des pluies sur le Haut Bassin, valeur tout à fait arbitraire). Nous avons obtenu les résultats suivants en utilisant deux valeurs de B : 47 et 45 .

Essai d'application de la formule $Emm = \left(\frac{Pmm}{B}\right)^{5/3} \left(\frac{Zm}{100}\right)^{1/3}$

sur le bassin de la MANIA en 1982 - 83

B A S S I N	ANTSIRABE	PLUIE AMBOSITRA	MOYENNE	B	Zm	E m. m.	
						Calculée	Observée
FASIMENA	1 218	631	925	47	1 500	355	629
6 800 Km ²	1 218		1 218	47	1 500	560	629
	1 218		1 218	45	1 500	602	629
			(1 300)	47	1 500	624	629
SANDRANDAHY	1 218	631	925	47	1 487	353	613
1 770 Km ²	1 218		1 218	47	1 487	558	613
	1 218		1 218	45	1 487	600	613
			(1 300)	47	1 487	622	613
SANDRANDAHY	1 218	631	925	47	1 371	343	435
à SANDRANDAHY	1 218		1 218	47	1 371	543	435
286 Km ²	1 218		1 218	45	1 371	584	435

On voit d'après ces calculs que le résultat final dépend évidemment de la pluviométrie moyenne mais aussi de la valeur B.

Il semble pour le bassin de la SANDRANDAHY, que la pluie enregistrée à ANTSIRABE soit plus élevée que la pluie moyenne sur ce bassin :

E calculé = 543 mm contre E observé = 435 mm.

Le chiffre de 1 300 mm que nous avons adopté arbitrairement doit être assez voisin de la réalité : les lames d'eau écoulées et observées sont sensiblement égales.

Sur la MANANANTANANA à IARINTSENA le seul poste pluviométrique situé à proximité est AMBALAVAO qui a recueilli 391 mm en 1982 - 83. Comme nous l'avons déjà dit plus haut ce total est très faible (la moyenne sur 1952 - 70 est de 1 054 mm). Avec B = 47 et Zm = 1 350 m on trouve E = 81 mm pour E observé = 185 mm. Pour obtenir une valeur équivalente il faudrait au moins deux fois plus de pluie sur tout le bassin (Avec 600 mm on trouve E = 173 mm soit un chiffre très voisin de celui observé).

3/ Enfin, en choisissant une région à relief peu accentué et dont la pluviométrie moyenne peut être facilement définie à l'aide de la carte des isohyètes interannuelles nous avons fait le calcul de la lame d'eau moyenne interannuelle et nous l'avons comparée à la lame d'eau calculée à partir du module interannuel. Nous avons choisi la région de MIARINARIVO pour laquelle Zm = 1 200 m et Pm = 1 450 mm. Nous obtenons les résultats suivants :

$$Emm = \left(\frac{1450}{47}\right)^{5/3} \left(\frac{1200}{100}\right)^{1/3} = 695 \text{ mm}$$

$$\text{Ensuite avec la relation } qa(1/s) = \frac{E(mm) \times S(Km^2)}{31,536}$$

nous calculons les modules moyens interannuels sur quelques bassins.

B A S S I N	MODULE l/s d'après :		E C A R T	
	Formule	Débit spécifique	mm	%
AMBALANIRANA	471	428	43	10
TSIMADIO	531	482	49	10
KAVAZIMBA	202	184	18	10
BIZY	476	432	44	10
KOTOMBOLO	1 196	1 086	110	10
SAHORA	815	740	75	10

Les écarts entre les 2 valeurs sont toujours égaux à 10% (B est peut être un peu faible ?). Mais de toutes façons les 2 valeurs données ci-dessus pour chaque stations sont toutes approchées et il n'est pas possible de savoir qu'elle est la valeur vraie.

Nous avons aussi calculé E pour les 2 années d'observation existantes sur les bassins d'AMBATOMAINTY. On obtient les résultats suivants :

	P	Zm	B	<u>cal.</u>	<u>E obs.</u>	%
Nord	(72-73) 1 790	1 500	47	1 063	1 128	- 5,8
	(73-74) 1 473	1 500	47	768	648	+18,5
Sud	(72-73) 1 830	1 500	47	1 103	1 153	- 4,3
	(73-74) 1 548	1 500	47	834	681	+22,4

En 72-73 le résultat est très satisfaisant il est encore acceptable en 1973 - 74.

Il faut remarquer que lors d'un jaugeage au moulinet ou se trouve placé devant le même problème : quelle est la précision du résultat donné par la mesure ? Cette précision est toujours difficile à estimer ou à calculer car on ne connaît jamais la valeur vraie du débit. On a bien essayé d'évaluer cette précision par des formules mathématiques compliquées mais, à notre avis, on n'est jamais parvenu à un résultat tout à fait probant. Le plus souvent on se contente de dire que trouver un débit à 10% près est une mesure correcte et que 5% d'imprécision constitue déjà une belle performance surtout sur des rivières à courant violent et fond mobile.

Obtenir avec ces deux méthodes très simples, utilisant des paramètres faciles à définir, deux résultats voisins de 10% nous laisse donc relativement satisfait. Mais il sera nécessaire de tester avec précision cette formule en réalisant le plus souvent possible et de façon continue, sur un grand nombre de bassins, des mesures de débits et des relevés de hauteur d'eau de façon à pouvoir définir les lames d'eau écoulées annuellement.

Dans les régions où il n'y a pas de données hydrologiques complètes on procèdera à partir de la carte des isohyètes (par planimétrage pour calculer la pluie moyenne sur les différents bassins) et de la carte topographique avec courbes de niveau pour obtenir Zm. On choisira B entre 45 et 50 suivant la situation du bassin (voir carte n°4).

La formule donnera l'écoulement moyen interannuel. La ventilation dans l'année sera faite comme dans le paragraphe IV.2.

VI - LES ETIAGES

Nous rappelons tout d'abord que :

- A MADAGASCAR l'année hydrologique s'étend de Novembre à Octobre inclus, afin de permettre un meilleur calcul des bilans annuels en faisant coïncider le début de l'année avec le moment où les eaux sont les plus basses ce qui laisse supposer que les réserves dans les nappes sont aussi à leur niveau le plus bas. Le 1er Novembre a été choisi car il se situe très souvent assez près de la fin de l'étiage, mais ce n'est pas toujours le cas et il arrive que certaines années les plus basses eaux sont observées un peu plus tard.

- Le débit d'étiage absolu est le plus faible débit observé pendant la saison sèche. En général c'est le plus faible débit moyen journalier. Du fait du découpage de l'année hydrologique il peut arriver, sur certains bassins, que le plus faible débit observé se trouve en Novembre - Décembre ou même Janvier.

Pour la définition du débit d'étiage absolu il est donc nécessaire de rechercher ce débit sur la période qui s'étend, après la saison des pluies, du mois d'Août au mois de Novembre, Décembre ou parfois même Janvier (une période d'étiage peut ainsi s'étendre sur deux années hydrologiques consécutives, le minimum absolu de l'année précédente pouvant se trouver au début de l'année hydrologique suivante).

La carte n°6 rassemble les valeurs moyennes interannuelles, sur les périodes disponibles pour chaque station, des débits moyens mensuels minimaux (DMM min), débits moyens journaliers minimaux (étiage absolu) (DMJ min), débits minimaux de 20 jours consécutifs (D 20C) et rapports

DMM min

DMJ min

Pour les stations de référence qui sont situées sur les Hautes Terres Centrales, leurs bordures orientales et occidentales, les débits minimaux mensuels sont le plus souvent observés en Octobre, quelquefois en Septembre et plus rarement en Novembre. Cependant il arrive parfois que le débit d'étiage absolu soit relevé en Novembre, Décembre ou même Janvier mais cela est assez rare. Alors ces faibles valeurs sont toujours encadrées par des pointes de crues souvent assez fortes ce qui fait que les débits moyens de ces mois ne sont jamais les plus faibles observés durant l'étiage.

Nous avons choisi ces paramètres DMM min, DMJ min D 20C afin de définir le meilleur estimateur de l'étiage, en vue de résoudre les problèmes de calcul des surfaces à irriguer. Il semble que le meilleur estimateur soit le débit le plus faible de 20 jours consécutifs. En général, ce débit se situe dans le DMM min et il inclut le DMJ min. Mais il n'en est pas toujours ainsi et certaines années D 20C et DMJ min ne sont pas inclus dans DMMmin.

Dans le cas de la culture du riz, sur les Hautes Terres Centrales du BETSILEO le DMM min n'est pas très utile lorsqu'il se produit en Octobre, ce qui est le cas le plus fréquent. En effet la période de mise en eau des rizières et de repiquage du riz se situe en Novembre et Décembre. En général, dès le mois de Novembre (quelquefois un peu avant suivant la précocité de la saison des pluies), les débits des rivières commencent à remonter et le débit moyen du mois de Novembre atteint 15 à 17 l/s/Km² alors que, comme le montre la carte n°6, les débits moyens mensuels minimaux se situent entre 4 et 6 l/s/Km². Sur le pourtour de l'ANKARATRA, le DMM min est de l'ordre de 9 l/s/Km², tandis que sur la bordure orientale il est voisin de 20 l/s/Km².

Les calculs et expérimentations réalisés sur les Hautes Terres (1) ont montré que lors de la mise en eau il est nécessaire d'avoir en tête des P.P.I. un débit égal à 1,5 l/s/ha. Avec les débits observés en Novembre on peut donc irriguer environ 10 ha de rizières pour chaque Km² de bassin versant situé à l'amont.

Le calcul des surfaces irrigables situées à l'aval des bassins pour les quels nous avons calculé les débits moyens mensuels interannuels s'effectuera en divisant, pour chaque bassin, le débit moyen du mois de Novembre, en l/s, par la quantité d'eau nécessaire pour irriguer 1 Ha soit: 1,5 l/s/ha. Les surfaces seront ainsi directement exprimées en Ha.

En réalité le problème ne se pose pas aussi simplement. En effet, sur les plateaux de l'IMERINA plusieurs variétés de riz sont cultivées et le repiquage ne se fait pas au même moment. Cette opération peut s'étendre sur plusieurs mois. Les surfaces seront donc calculées en tenant compte des périodes de repiquage et des valeurs des débits pendant ces mêmes périodes.

(1) par le GERSAR

VII - COEFFICIENTS ET DEFICITS D'ECOULEMENT

Les coefficients et déficits d'écoulements annuels ont été calculés pour quelques stations des Hautes Terres et du Sud. Ils sont groupés sur le tableau ci-après. Nous les avons reportés sur un fond de carte au 1/1.000.000 Carte n°5 de façon à mieux percevoir la variation de ces paramètres dans l'espace.

On constate tout d'abord que les coefficients et déficits d'écoulement sont assez constants sur toutes les régions des Hautes Terres : de 0,41 à 0,52 pour les coefficients, et de 700 à 800 mm pour les déficits.

Sur le bassin du MANGOKY les valeurs tombent, de 0,30 à 0,35 pour les coefficients d'écoulement, les déficits étant, eux, toujours voisins de 700 mm sauf pour l'IHOSY à IHOSY.

Dans le Sud les coefficients deviennent encore plus faibles par suite de l'aridité plus grande du climat : 0,15 à 0,25 pour le CE, 500 à 600 mm pour les D.E.

Les déficits d'écoulement observés donnent une bonne approximation de l'ETR sur les bassins à aménager, certainement aussi bonne que celle que l'on obtiendrait à partir des formules théoriques.

STATIONS	ANNEE	ANS	K	Dmm
36 IKOPA à BEVOMANGA	1948 - 1978	(30)	0,44	742
37 IKOPA au Bac de FIADANANA	1958 - 1969	(11)	0,40	832
38 IKOPA à ANTSTRATANA	1948 - 1978	(28)	0,49	739
40 BETSIBOKA à AMBODIROKA	1958 - 1970	(12)	0,50	762
39 ISINKO à AMBODIROKA	1957 - 1970	(13)	0,62	704
9 ONIVE à TSINJOARIVO	1963 - 1970	(7)	0,47	718
35 ANDROMBA à TSINJONY	1954 - 1976	(21)	0,47	773
32 SISAONY à ANDRAMASINA	1958 - 1970	(10)	0,43	690
8 MANGORO à MANGORO	1960 - 1970	(10)	0,46	800
33 MANANDONA à SAHANIVOTRY	1963 - 1970	(7)	0,41	777
31 SAHANIVOTRY à PK 197	1963 - 1970	(7)	0,50	727
23 MANIA à FASIMENA	1956 - 1970	(14)	0,52	625
10 AMBOROMPOTSY	1957 - 1970	(13)	0,53	687
17 MANANARA Sud à SOAKIMBANY	1955 - 1970	(15)	0,44	621
12 MATSIATRA à MALAKIALINA	1952 - 1963	(11)	0,46	670
26 MANANANTANANA	1952 - 1968	(14)	0,40	645
22 ZOMANDAO	1952 - 1970	(17)	0,39	712
21 IHOSY à IHOSY	1953 - 1970	(17)	0,35	593
25 MANGOKY à BEVOAY	1960 - 1970	(5)	0,32	705
24 MANGOKY au BANIAN	1951 - 1965	(14)	0,28	712
18 MANANARA à BEVIA	1951 - 1970	(19)	0,16	796
19 MANDRARE à AMBOASARY	1951 - 1970	(19)	0,22	609
21 MENARANDRA à TRANOROA	1955 - 1970	(11)	0,24	541

VIII - C R U E SVIII - 1. CRUES SUR QUELQUES BASSINS VERSANTS REPRESENTATIFS DE L'ORSTOM :

Les bassins versants alimentant les P.P.I. sont généralement peu étendus, quelques Km² à quelques centaines de Km². L'étude des crues, en l'absence de données ponctuelles sur chaque bassin, est une opération très délicate. Les diverses méthodes qui sont proposées par divers auteurs, conduisent à des résultats très différents variant souvent du simple au quadruple.

Le GERSAR, dans son étude de MAI 86 a fait, pour quelques bassins observés par l'ORSTOM, sur les Hautes Terres Centrales, dans la région d'ANTSIRABE, des essais comparatifs entre la méthode de DURET et la méthode du S.C.S. pour les crues de période de retour supérieure à 10 ans (20, 50 et 100 ans). Le GERSAR a aussi comparé les valeurs obtenues par l'utilisation d'une fonction de répartition de GUMBEL pour les périodes de retour de 2,5 et 10 ans aux valeurs obtenues par la méthode de DURET.

Les écarts constatés avec 2 méthodes sont très grands et amèneront les utilisateurs à se poser des questions sur la validité des méthodes.

Faute de données précises sur les bassins versants alimentant les P.P.I. nous donnerons, dans un premier temps, les observations effectuées par l'ORSTOM sur quelques bassins versants représentatifs malgaches. On indiquera les caractéristiques physiques des bassins, les débits maximaux de pointe observés et les caractéristiques des pluies ayant provoqué ces crues.

VIII.1.1. Bassin versant de la TAFAINA

Coordonnées de l'exutoire :

19° 09' 35" Sud

47° 29' 10" Est

Bassin représentatif des Hautes Terres malgaches, relief vallonné dans l'ensemble, végétation clairsemée sur les pentes, marécages et rizières dans les bas-fonds, quelques lavakas importants.

Caractéristiques physiques :

Surface $A = 4,5 \text{ Km}^2$
 Périmètre $P = 10,0 \text{ Km}$
 Indice de compacité $C = 0,28 \text{ PA}^{-1/2} = 1,32$
 Longueur du rectangle équivalent $L = 3,81 \text{ Km}$
 Largeur du rectangle équivalent $l = 1,19 \text{ Km}$
 Indice global de pente $I_g = \frac{H5\% - H95\%}{L}$

Indice de pente ROCHE

$$I_p = L^{-1/2} \sum_{i=1}^{i=n} (a_i d_i)^{1/2} = 0,218$$

a_i fraction en % de la surface A comprise entre les courbes de niveau de dénivelée d_i

Altitude de l'exutoire : 1363 m NGM

Altitude maximale : 1608 m NGM

H 5% = 1515 m H 95% 1530 m NGM

Longueur du talweg principal 3200 m

Longueur totale des talwegs 1380 m

Rapport de confluence $R_c = 2,61$

Rapport de longueur $RL = 2,66$

Densité de drainage $R_d = 3,6$

- Plus fortes crues observées et caractéristiques des averses

Dans les tableaux suivants nous utilisons les abréviations ci-après dont nous donnons la signification :

Pmoy : Pluie moyenne sur le bassin en mm

Pmax : Hauteur de pluie maximale en mm

ta : intervalle à la pluie précédente en h min

tm : temps de montée de la crue en h min

tp : temps de réponse bassin ou intervalle de temps séparant le centre de gravité de l'averse de la pointe de la crue.

Qmax : débit de pointe en m^3/s .

Qs max : débit spécifique de pointe $l/s/Km^2$

Vr : volume ruisselé en $10^3 m^3$

Kr : coefficient de ruissellement $\frac{L_r \times 100}{P_{moy}} \%$

Lr : lame d'eau ruisselée en mm

Remarques

La plus forte crue observée sur ce bassin pendant la période 62 - 71 a donné un débit de pointe maximal de $66,6 m^3/s$ soit $14800 l/s/Km^2$. Elle a été produite par une pluie maximale ponctuelle de 88,5 mm et une pluie moyenne sur le bassin de 75,3 mm.

L'examen de ce tableau montre quelques "anomalies" :

le 30/12/66 $17,0 m^3/s$ soit $3778 l/s/Km^2$ pour Pmax = 103,5 mm
Pmoy = 88,3 mm

le 5/03/67 Pmax et Pmoy sensiblement les mêmes que pour la crue max (84,0 mm et 76,3 mm) mais Qmax = $16,0 m^3/s$ soit $3556 l/s/Km^2$.

Le 30/11/67 Pmax = 80,6 mm et Pmoy = 68,6 mm
donc très peu différents des précédents ont donné $65,7 m^3/s$ soit $14600 l/s/Km^2$ (très voisin de la crue maximale aussi bien en débit qu'en pluie).

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA
Plus fortes crues observées

DATE	P m.m	P m.m	Ta h.min.	t m h.min	t p h.min	Yr 10 ³ m ³	Kr %	Lr m.m	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
15/12/62	34,3	49,2	22	1,10	0,35	123	79,6	27,3	30,3	6 720
31/12/62	47,8	59,0	20,30	1,10	0,15	188,4	87,6	41,9	39,0	8 680
2/03/63	29,8	60,5	17	0,50	0,15	46,5	34,7	10,3	13,5	3 000
4/02/64	97,8	128,0	17	3,55	-	213	48,4	47,3	42,8	9 500
15/02/64	43,3	97,0	18,30	0,52	0,37	72,9	37,4	16,2	19,9	4 420
2/12/65	41,2	73,0	18,30	0,45	0,35	120,6	65,0	26,8	46,8	10 400
8/12/65	75,3	88,5	18	4,05	-	212,4	62,6	47,2	66,6	14 800
30/12/66	88,3	103,5	17	3,38	-	145,8	36,7	32,4	17,0	3 778
25/01/67	67,2	95,0	20	2,40	1,30	116,8	38,7	26,0	11,4	2 533
19/02/67	54,4	58,1	23	1,15	0,50	81,9	33,5	18,2	17,0	3 778
27/02/67	49,3	67,9	120	0,55	0,35	55,4	24,9	12,3	11,4	2 533
05/03/67	76,3	84,0	15	8,15	1,00	109,2	31,8	24,3	16,0	3 556
06/03/67	43,6	52,7	12	1,38	0,48	61,8	31,5	13,7	13,6	3 022
26/03/67	59,5	83,2	11	-	-	110	41,1	24,4	13,9	3 089
30/11/67	70,5	84,0	42	0,55	0,10	68,4	21,6	15,2	20,8	4 622
05/12/67	68,6	80,6	23	0,50	0,15	192	62,2	42,7	65,7	14 600
14/12/68	70,0	81,0	5	3,45	-	57,8	18,4	12,9	8,40	1 867
06/02/69	77,0	82,0	9	0,35	0,40	93,0	26,8	20,7	10,6	2 356
08/03/69	49,7	65,2	42	1,00	0,50	46,5	20,8	10,3	12,6	2 800
03/04/69	46,7	57,4	226	2,00	0,35	43,8	20,8	9,7	11,0	2 444
14/04/69	70,3	76,7	43	0,45	0,30	79,8	25,2	17,7	32,3	7 178
15/12/69	59,2	98,0	15	1,30	0,40	80,1	30,1	17,8	23,1	5 133
01/01/70	72,8	77,0	14	-	-	120,6	36,8	26,8	23,7	5 267
03/01/70	45,8	65,5	13	1,40	1,00	46,2	22,4	10,3	10,2	2 267
09/02/70	79,2	86,6	22	2,05	0,35	178,2	50,0	39,6	45,2	10 044
13/03/70	47,8	68,3	15	0,45	0,40	51,0	23,7	11,3	13,7	3 044
26/01/71	71,8	90,0	16	0,45	0,05	114,0	35,3	25,3	35,0	7 778
10/02/71	75,9	86,3	20	1,05	0,30	175,2	51,3	38,9	44,8	9 956

Les 14/12/68 et 06/02/69 des P_{max} et P_{moy} du même ordre de grandeur (70 - 77 mm et 81 - 82 mm) n'ont donné que $10 \text{ m}^3/\text{s}$ soit environ $2\,200 \text{ l/s/Km}^2$. Ces chiffres montrent donc la difficulté de trouver une formule mathématique simple pour calculer les crues sur une petit bassin versant: avec des paramètres sensiblement identiques le débit peut varier de 10 à $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

Notons, quand même, pour fixer les idées que, sur les Hautes Terres et sur un bassin de $4,5 \text{ Km}^2$, le débit de crue maximal observé a égalé, $70 \text{ m}^3/\text{s}$ soit $15,5 \text{ m}^3/\text{s/Km}^2$. Des calculs effectués par l'ORSTOM avec un nombre restreint de crues ont donné pour la crue de récurrence 10 ans $Q_{max} = 90 \text{ m}^3$ soit $20 \text{ m}^3/\text{s/Km}^2(1)$.

VIII.1.2. Bassin versant d'ANDROVAKELY

Coordonnées de l'exutoire

19° 08' Sud

47° 30' Est

Bassin représentatif des Hautes Terres Malgaches situé également dans la région de BEHENJY et dont le bassin de la TAFAINA constitue un sous-bassin.

Il a été exploité par l'ORSTOM de 1955 à 1958.

- caractéristiques physiques :

Surface $A = 24,2 \text{ Km}^2$

Indice de compacité 1,25

Longueur du rectangle équivalent $L = 8,0 \text{ Km}$

Indice de pente I_p de Roche $I_p = 0,193$

Indice global de pente $I_y = 25 \text{ m/Km}$

Altitude moyenne 1450 m

Rapport de confluence $R_c = 4,23$

Rapport de longueur $R_c = 1,87$

Densité de drainage $D_d = 5,64$

- Plus forte crues observées et caractéristiques des averses :

D A T E	P_{moy} m.m.	P_{max} m.m.	t_m h.min	t_p h.min	V_r 10^3 m^3	K_r %	L_r m.m.	Q_{max} m^3/s	$Q_s max$ l/s/km^2
30/10/55	68,8	86	0,32	1,30	220	13,2	9,1	42,8	1 775
28/ 1/56	63,9	74	3,00	1,10	385	25,0	15,9	48,2	1 985
7/02/56	42,0	63,4	1,40	1,20	230	22,7	9,5	31,0	1 283
15/02/57	23,9	57,5	0,35	1,20	202	35	8,4	35,9	1 485
15/03/57	37,5	43,5	1,00	1,20	208	22,9	8,6	37,8	1 565
19/03/57	37	41,8	1,00	1,20	216	24,2	8,9	35,9	1 485
23/01/58	64	86	-	-	455	29,4	18,8	29,9	1 220
01/03/58	68,6	76,8	1,00	1,40	342	20,6	14,1	29,5	1 220
07/03/58	37,6	51,7	1,30	1,40	204	22,5	8,4	34,2	1 418

(1) Recueil de données de base des bassins représentatifs et expérimentaux
Années 1951 - 1969 par P. DUBREUIL et à l'ORSTOM PARIS 1972.

On retrouve ici les mêmes singularités que sur la TAFAINA : débits très différents pour des pluies moyennes et maximales très voisines :

Les 30/10/55	68,8	86 mm	42,8 m ³ /s
28/1/56	63,9	74 mm	48,2 m ³ /s
puis 23/1/64	64	86 mm	29,9 m ³ /s
1/3/58	68,6	76,8 mm	29,5 m ³ /s

Les débits passent donc de 45 à 30 m³/s pour des Pmoy et Pmax sensiblement identiques de l'ordre de 65 et 80 mm.

La crue la plus forte observée sur ce bassin donne un débit voisin de 50 m³/s soit 2 000 l/s/Km². Un calcul effectué par l'ORSTOM pour la crue de récurrence 10 ans a donné un débit maximal à 180 m³/s soit 7 500 l/s/Km².

VIII.1.3. Bassins Versants de l'ANKABOKA :

Coordonnées de l'exutoire

16° 55' Sud
46° 58' Est

Bassin représentatif situé dans le Nord-Ouest de Madagascar, en bordure de la Betsiboka, dans la région de MAEVATANANA. Cet ensemble est constitué par deux bassins placés sur le même affluent de la Betsiboka.

Les caractéristiques physiques de ces deux bassins sont les suivantes :

	<u>Bassin Amont</u>	<u>Bassin Aval</u>
Surface A Km ²	1,82	4,85
Indice de compacité	1,30	1,40
Longueur du rectangle équivalent	2,36 Km	4,40 Km
Indice de pente Ip	0,140	0,126
Indice de pente global Ig	15,7 m/Km	12,3 m/Km
Altitude moyenne : m	217	200
Rapport de confluence : Rc	3,90	5,50
Rapport de longueur	2,24	2,99
Densité de drainage	8,57	6,62

- Plus fortes crues observées et caractéristiques des averses.

a/ Bassin AMONT

D A T E	P_{moy} m.m	t_a h.min	t_m h.min	t_p h.min	V_r 10^3 m^3	K_r %	L_r m.m	Q Max m^3/s l/s/km^2	
13.12.59	49,3	24	1,10	0,35	25,4	27,9	13,9	9,2	5 055
11. 1.60	91,6	-	0,25	0,55	64,5	38,7	35,4	29,9	16 430
30.12.60	59,2	-	0,40	0,25	57,2	53,1	31,4	29,1	15 990
18. 3.61	64,5	-	1,20	0,45	84,7	72,0	46,5	22,5	12 360
23. 3.61	38,5	75	0,35	0,15	51,6	73,7	28,2	28,3	15 550
17. 4.61	65,0	26	0,45	0,30	71,4	60,2	39,1	28,6	15 715
29.12.61	41,3	-	0,45	0,20	55,4	73,7	30,4	31,9	17 530
9. 1.62	38,5	68	0,45	-	50,8	72,0	27,9	27,7	15 220
12. 1.62	40,5	-	0,30	-	48,1	64,8	26,4	27,1	14 890

b/ Bassin AVAL

D A T E	P_{moy} m.m	t_a h.min	t_m h.min	t_p h.min	V_r 10^3 m^3	K_r %	L_r m.m	Q max m^3/s l/s/km^2	
21.11.59	64,8	24	1,25	2,20	76,5	24,4	15,8	21,4	4 410
11. 1.60	73,6	-	1,20	-	125,3	35,3	25,8	38,4	7 920
4. 3.60	68,3	-	1,35	1,30	126,3	38,6	26,1	29,0	6 000
23. 3.61	32,0	75	1,00	0,55	88,9	57,1	18,3	27,9	5 750
17. 4.61	63,9	26	1,25	1,05	174,1	56,2	35,9	40,2	8 290
6. 1.62	69,6	74	1,40	1,35	184,9	54,6	38,1	35,6	7 340
9. 1.62	44,7	68	1,15	1,05	129,0	59,6	26,6	34,2	7 050
25. 1.62	120,5	76	1,20	0,30	297,0	51,2	61,2	72,0	14 845
26. 1.62	39,3	15	1,05	0,55	87,0	45,3	17,9	26,0	5 360
26. 1.62	58,6	21	1,20	1,00	143,9	50,3	29,6	24,8	5 110

Remarques :

On constate que les plus fortes crues ne se produisent pas le même jour sur le bassin Amont et sur le bassin Aval. Cela dépend de la répartition de la pluie dans l'espace.

Le maximum observé est égal à :

31,9 m^3/s soit 17 530 l/s/Km^2 pour une pluie moyenne de 41,3 mm sur le bassin Amont, 72 m^3/s soit 14 845 l/s/Km^2 pour une pluie moyenne de 120,5 mm sur le bassin Aval.

Sur le bassin amont une pluie moyenne de 91,6 mm a donné un débit max de 16 430 l/s/Km² soit un débit du même ordre que le débit maximal observé, mais avec une pluie moyenne deux fois plus forte.

Encore une fois nous constatons la variabilité très grande du rendement d'un bassin.

VIII.1.4. Bassin représentatif du BANIAN

Coordonnées de l'exutoire :

21° 49' Sud

44° 11' Est

Ce bassin est situé en rive gauche du MANGOKY à proximité de la station hydrologique du BANIAN sur les formations gréseuses du jurassique supérieur. Le sol est constitué par des sables roux avec de nombreux affleurements rocheux. La végétation est du type steppe arbustive assez clairsemée. Ce bassin a été observé de 1959 à 1964.

- caractéristiques physiques :

Surface $A = 0,47 \text{ Km}^2$

Indice de compacité 1,15

Longueur du rectangle équivalent 0,86 Km

Indice de pente global 40 m/Km environ

Altitude moyenne 200 m

Densité de drainage 3,72

- Plus fortes crues observées et caractéristiques des averses :

D A T E	P_{moy} m m	P_{max} m m	t_m min	t_p min	V_r 10^3 m^3	K_r %	L_r m m	Q_{max} m^3/s	Q_{max} l/s/km^2
16/12/60	32,9	37,5	3	10	0,372	2,4	0,8	0,345	735
2/01/61	52,8	62,5	6	5	2,556	10,3	5,5	2,490	5 300
9/01/61	74,9	85,0	(20)	-	0,984	2,8	2,1	0,410	872
1/01/62	41,2	48,9	8	13	0,492	2,5	1,0	0,410	872
11/01/62	39,7	46,3	3	8	0,486	2,6	1,0	0,620	1 320
31/01/63	48,6	56,0	4	3	0,216	1,0	0,5	0,150	320
17/12/64	111,4	117,0	40	-	3,750	7,2	8,0	1,850	3 950
20/12/64	155,2	162,0	35	-	13,320	18,3	28,4	(6,000)	12 750

Sur ce petit bassin, la plus forte crue produite par une pluie moyenne de 155,2 mm (P_{max} 162 mm) a eu un débit de pointe de 6,0 m³/s soit 12 750 l/s/Km².

On voit que sur ces formations sableuses, des pluies 2 à 3 fois plus fortes que celles enregistrées sur la TAFAINA donnent des débits de pointe nettement plus faibles.

VIII.1.5. Bassin représentatif de TRANOROA

Coordonnées de l'exutoire :

24° 43' Sud

45° 04' Est

Ce bassin est situé à proximité de TRANOROA, dans le Sud de MADAGASCAR, sur des formations gneissiques du précambrien. La végétation est du type steppe succulente.

Nous ne disposons que d'une seule année d'observation.

- Caractéristiques physiques :

Surface	A = 0,68 Km ²
Indice de compacité	1,24
Longueur du rectangle équivalent	1,30 Km
Altitude moyenne	225 m
Indice de pente Ip	0,131
Indice global de pente Ig	14,7 m/Km
Densité de drainage	2,65

Une seule crue importante a été observée :

pour une pluie moyenne de 68 mm on a enregistré un écoulement de 3 720 l/s/Km² soit 2,52 m³/s.

VIII - 2. METHODE SIMPLE POUR LE CALCUL DES DEBITS DE CRUES SUR LES BASSINS VERSANTS DES P.P.I.

Les valeurs observées particulièrement sur les Hautes Terres permettront le calcul des crues des petits bassins alimentant les P.P.I.

Pour cela nous avons tracé le graphe Q(S) en coordonnées logarithmiques avec les valeurs relevées sur le TAFAINA, ANDROVAKELY et ANKABOKA complétées vers les surfaces de 100 à 1 500 Km² par les crues des bassins des Hautes Terres suivants : ANDROMBA à TSINJONY (S = 350 Km²), SISAONY à ANDRAMASINA (S = 318 Km²), MANANDONA à SAHANIVOTRY (S = 1 450 Km²).

Les crues maximales observées sur ces bassins sont les suivantes :

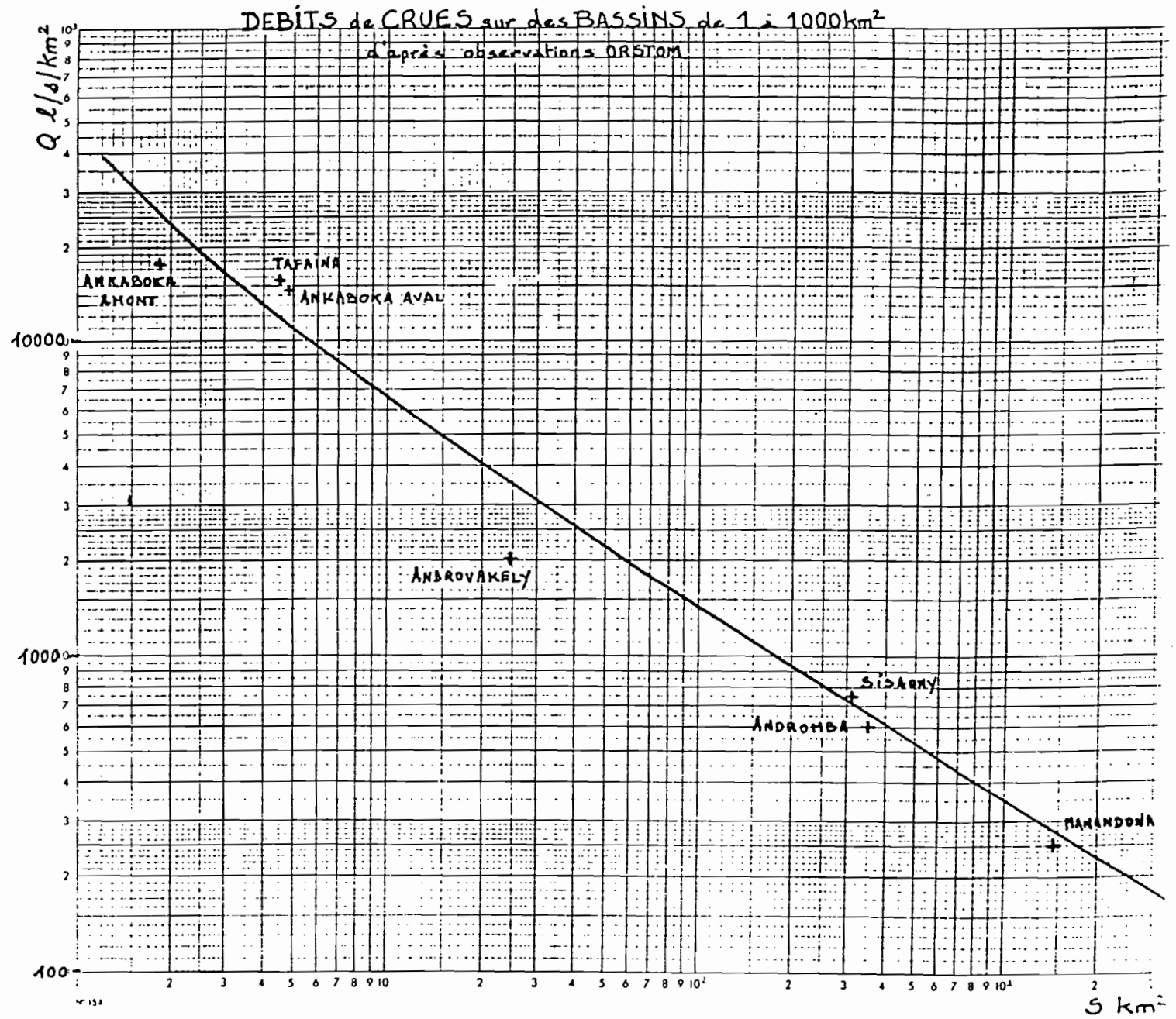
ANDROMBA à TSINJONY	202 m ³ /s soit 600 l/s/Km ²
SISAONY à ANDRAMASINA	240 m ³ /s soit 750 l/s/Km ²
MANANDONA à SAHANIVOTRY	360 m ³ /s soit 250 l/s/Km ²

Pour les petits bassins versants représentatifs nous retiendrons les débits spécifiques de pointe (en l/s/Km²) donnés ci-dessous :

ANKABOKA Amont	17 530 l/s/Km ² pour 1,82 Km ²
TAFAINA	15 500 -"- pour 4,5 Km ²
ANKABOKA Aval	14 845 -"- pour 4,85 Km ²
ANDROVAKELY	2 000 -"- -"-24,2 Km ²

Tous ces points ont été reportés sur un graphe en coordonnées logarithmiques. Nous avons tracé une courbe ajustée, au mieux, au milieu du nuage de points. La dispersion est assez faible. Seul le point d'ANDROVAKELY s'écarte notablement de la courbe, mais cette valeur est probablement sous-estimée par suite de la période d'observation courte.

A l'aide de la courbe, pour les bassins de la région d'ANTSIRABE, nous avons estimé les débits de pointe et calculé les débits maximaux en m³/s que nous avons comparés à ceux observés.



B A S S I N S	S Km ²	D E B I T S D E C R U E S			
		Valeurs calculées par le GERSAR - Méth.DURET - SCS		Calculés avec le graphe Q(S)	
		m ³ /s		l/s/Km ²	m ³ /s
<u>MANANDONA</u>					
Petits bassins R.D.	32	-	-	3 000	96
ANKOKA	37	190	80	2 630	97
petits bassins R.G.	18	-	-	4 400	80
ISANDRA Amont	14	120	60	5 300	75
TOMBAMBOAJO	19	215	130	4 200	80
<u>IANDRATSAY</u>					
à l'exutoire	170	-	-	1 020	170
SAHANIVOTRY	78	280	90	1 650	130
<u>AMBOHIBARY</u>					
AMBOHITROMBALAHY	14	160	50	5 300	75
ANKINJANAKANGA	35	220	140	2 800	98
ANDALANTSOAVALY	16,5	150	34	4 600	76
TRIMOANALA	67,5	200	110	1 800	120
AMBOROMPOTSY	117	220	160	1 300	152
<u>VINANINONY</u>					
ANKAFOTRA	13	150	70	5 500	72
AMBATONJIOLAHY	52,5	190	100	2 100	110

Les résultats ainsi obtenus montrent une bonne concordance entre nos valeurs et celles calculées par le GERSAR avec la méthode du SCS. Par contre il apparaît que la méthode de DURET donne des valeurs des débits de pointe beaucoup plus forts (3 ou 4 fois plus, pour certains bassins) que la méthode du SCS.

Les valeurs données par le GERSAR ont une fréquence de retour de 1/20. Nous ne connaissons pas la fréquence de retour des valeurs tirées du graphe Q(S). Ce que nous savons c'est que les valeurs observées que nous avons utilisées, ont, d'après les calculs de l'ORSTOM une période de retour voisine de 1/10. Donc, on peut admettre que pour la fréquence 1/20 on devrait avoir des débits un peu plus forts.

Il est tout à fait réconfortant de constater la concordance des résultats ainsi obtenus.

On peut donc calculer, de la même manière les débits de crue sur les bassins versants des régions de FIANARANTSOA, MIARINARIVO et ANTANANARIVO-NORD.

IX - ESTIMATION DES DEBITS MOYENS ANNUELS ET MENSUELS sur la bassin de la MANANARA à BEVIA

L'étude statistique des modules annuels observés, sur la MANANARA à BEVIA, ont permis de calculer les caractéristiques de l'échantillon : moyenne et écart-type, ainsi que les quantiles pour les années sèches de fréquence 0,8 et 0,9, ces valeurs ayant été tirées de la courbe expérimentale (voir en annexe 6 Tableau 6.9)

Nous avons :

$$\begin{aligned} m &= 5,1 \text{ l/s/Km}^2 \quad \text{soit } 5,86 \text{ m}^3/\text{s} \\ \sigma &= 2,92 \text{ l/s/Km}^2 \\ C_v &= \frac{\sigma}{m} \quad 0,57 \\ q_a(0,8) &= 2,8 \text{ l/s/Km}^2 \quad \text{soit } 3,18 \text{ m}^3/\text{s} \\ q_a(0,9) &= 2,3 \text{ l/s/Km}^2 \quad \text{soit } 2,62 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Les valeurs caractéristiques ainsi obtenues sont peu différentes de celles calculées par le GERSAR et MAMOKATRA dans leur rapport de Mars 1982. Ces différences s'expliquent de la façon suivante :

Pour la moyenne, la série des modules annuels sur laquelle a travaillé le GERSAR et MAMOKATRA est légèrement différente de celle que nous avons utilisée car, depuis Mars 1982, les débits de la MANANARA ont été repris par l'ORSTOM et quelques différences sont apparues suite à des modifications d'étalonnages.

Pour les quantiles de l'année sèche, la différence peut s'expliquer par le choix de la fonction de répartition. Nous donnons ci-dessous les valeurs trouvées à partir de fonctions de répartition différentes :

<u>FONCTIONS</u>	Modules année sèche l/s/Km ²	
	1/5	1/10
GAUSS	3,06	1,60
GUMBEL	3,12	2,19
Exponentielle	3,27	2,88
GALTON	3,32	2,64
FRECHET	3,35	2,89
Puissance	3,43	2,22

Nous avons reporté sur le graphe en papier gaussique les courbes représentatives des fonctions de répartition de GAUSS, GUMBEL, Exponentielle et GALTON. Il apparaît que la fonction de répartition de GALTON présente la meilleure adéquation à l'échantillon des modules de BEVIA (Voir en annexe 6 courbe 6.9 a)

Cette fonction donne des valeurs de $q_a(0,8)$ et $q_a(0,9)$ un peu plus fortes que celles qu'on obtient en traçant une courbe lissée à travers les points expérimentaux. Nous rappelons que la courbe représentative de la fonction de répartition ainsi tracée constitue l'image d'une population infinie ayant pour moyenne et écart-type celles de l'échantillon dont nous disposons. Un tel échantillon, s'il existait, aurait bien évidemment une moyenne et un écart type différents avec lesquels on obtiendrait une courbe représentative ayant une allure très probablement différente.

Dans le cas présent et pour se placer dans le sens de la sécurité nous pensons qu'il est prudent de retenir les valeurs tirées de la courbe expérimentale.

Nous retiendrons donc :

$$q_a(0,8) = 2,8 \text{ l/s/Km}^2 \text{ soit } 3,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_a(0,9) = 2,3 \text{ l/s/Km}^2 \text{ soit } 2,62 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'examen de la série des modules annuels montre que l'année la plus sèche est 1967 - 68 avec $1,9 \text{ l/s/Km}^2$ soit $2,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette valeur est nettement plus faible que celle que nous trouvons pour la fréquence 0,9.

Pour obtenir les débits mensuels moyens sur le bassin de la MANANARA nous calculerons comme nous l'avons fait pour les stations des Hautes Terres, les rapports entre lames d'eau écoulées mensuellement à la lame écoulée dans l'année.

Ces calculs sont consignés dans le tableau ci-après. Nous donnons pour chaque mois les valeurs de l'écart-type de la moyenne et du coefficient de variation. Nous constatons, par suite de l'irrégularité du régime de la MANANARA que les rapports mensuels varient dans de grandes proportions :

0,05 et 18,6 % en Novembre ($C_v = 1,19$)

0,4 et 38,6 % en Mai ($C_v = 1,59$)

0,3 et 16,6 % en Septembre ($C_v = 1,36$)

Les écoulements en saison des pluies, de Décembre à Avril inclus représentent les pourcentages suivants :

1951 - 52	82,8	1962 - 63	93,8
1952 - 53	56,9	1963 - 64	75,5
1953 - 54	89,6	1964 - 65	74,9
1954 - 55	70,5	1965 - 66	72,2
1955 - 56	72,8	1966 - 67	70,4
1956 - 57	84,2	1967 - 68	56,4
1957 - 58	55,8	1968 - 69	77,2
1958 - 59	92,7	1969 - 70	97,3
1959 - 60	81,8	1970 - 71	92,4
1960 - 61	87,1	1971 - 72	70,3
1961 - 62	53,7		

MANANARA à BEVIA

	Répartition annuelle des apports mensuels %											
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
1951-52	4,6	3,9	6,1	7,3	61,0	4,5	3,1	3,4	1,6	1,4	1,6	1,2
52-53	4,8	8,7	18,8	11,3	9,1	9,0	3,0	14,7	6,2	5,4	5,6	3,1
53-54	1,4	5,5	40,3	18,5	22,4	2,9	1,6	2,3	1,7	1,4	1,0	1,1
54-55	18,6	9,5	44,2	2,3	10,3	4,2	3,0	2,4	1,9	1,6	1,1	0,8
55-56	2,6	7,8	20,0	8,9	25,6	10,5	5,9	2,4	1,8	1,2	10,3	2,8
56-57	3,7	12,9	35,8	14,4	25,9	5,2	4,6	2,7	1,5	1,0	1,8	0,4
57-58	0,2	0,8	0,9	37,4	12,8	3,9	1,6	1,9	3,6	14,7	16,6	5,5
58-59	3,0	22,5	20,0	6,6	31,8	11,8	1,1	0,8	1,0	0,6	0,3	0,5
59-60	6,1	35,3	16,1	17,0	9,0	4,4	5,5	2,5	1,7	0,8	0,4	0,7
60-61	0,4	12,2	12,2	2,3	59,7	0,7	0,4	1,8	3,7	4,6	1,2	0,8
61-62	5,6	42,6	5,6	3,3	1,1	1,1	38,6	0,4	0,2	0,3	0,7	0,3
62-63	0,05	14,1	54,1	19,4	5,0	1,2	0,9	1,4	2,0	0,9	0,5	0,6
63-64	3,0	10,1	9,2	10,8	43,0	2,4	1,0	1,9	1,5	10,4	2,5	3,9
64-65	1,3	23,3	36,6	5,2	7,1	3,3	2,6	3,4	7,6	3,3	2,6	0,4
65-66	4,7	35,1	4,3	20,7	8,7	3,4	5,2	6,8	3,3	2,8	2,9	2,2
66-67	1,7	11,7	20,1	3,0	16,9	18,7	6,1	2,0	3,8	7,0	3,0	5,9
67-68	15,1	8,8	12,9	20,3	7,6	6,7	4,9	5,8	3,0	4,7	1,3	8,3
68-69	3,8	2,5	13,5	35,9	19,8	5,5	7,1	4,2	2,0	4,8	1,0	0,6
69-70	0,2	8,2	39,3	33,3	13,9	2,6	1,0	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1
70-71	0,8	0,5	17,1	69,7	3,2	1,9	1,4	2,1	1,5	0,6	0,4	0,4
71-72	1,2	3,7	2,8	6,0	50,5	7,3	6,8	4,7	3,3	3,5	7,8	2,7
σ	4,71	11,8	15,2	16,2	18,2	4,29	7,9	3,08	1,79	3,66	4,06	2,23
m	3,9	13,3	20,4	16,8	20,7	5,29	5,0	3,25	2,54	3,39	2,98	2,01
Cv	1,19	0,89	0,74	0,96	0,88	0,81	1,59	0,94	0,70	1,08	1,36	1,11

On retrouve pour ces valeurs des variations très importantes d'une année à l'autre de 53 à 97%.

Sur les Hautes Terres Centrale ce pourcentage est par contre relativement constant.

Dans le Sud il peut arriver que 50 à 70 % de l'écoulement annuel se produise en un seul mois : Mars 1961, Janvier 1963, Février 1971, Mars 1972. En 1961 - 62, seulement 53,7 % de l'eau a coulé de Décembre à Avril alors que MAI en a donné 38,6 %.

Cette forte irrégularité nous amène à penser que le calcul des lames d'eau mensuelle à partir des rapports moyens interannuels risque fort d'être entaché de grosses erreurs pour une année particulière. C'est malheureusement la seule méthode, avec les données dont on dispose qui permet une approche valable des quantités d'eau disponibles mensuellement.

Il faudra utiliser ces résultats en ayant toujours présentes à l'esprit les grandes variations du rapport d'une année sur l'autre.

Nous donnons ci-après les débits moyens mensuels calculés pour l'année de fréquence décennale sèche. Nous donnons également les débits mensuels observés en 1967 - 68, année la plus sèche de la période.

A titre de comparaison nous donnons également les chiffres obtenus par le GERSAR et MAMOKATRA et nous voyons que les deux méthodes donnent des chiffres tout à fait voisins (sauf Janvier).

	Débits moyens mensuels m ³ /s											
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
19-68	3,96	2,24	3,26	5,70	1,93	1,76	1,24	1,51	0,76	1,19	0,34	2,1
1967-68	1,24	4,10	6,29	5,73	6,39	1,68	1,54	1,03	0,78	1,04	0,95	0,62
1967-68	1,12	3,80	8,44	6,13	6,51	1,74	1,17	1,11	0,83	0,92	0,70	0,61

Les valeurs calculées donnent en Novembre un débit faible (1,2 m³/s) mais il peut arriver que des débits plus forts soient observés ce mois là en fonction de la précocité de la saison des pluies (5 à 15 m³/s). Il faut également souligner le fait que les remontées d'air polaire en Juillet, Août et Septembre peuvent apporter sur les bassins du Sud une légère remontée des débits avec parfois des crues non négligeables.

X - MESURES REALISEES SUR LE TERRAIN AU COURS DE LA SAISON SECHE
1986 ET TRAVAUX A EFFECTUER PENDANT LA PROCHAINE SAISON DES PLUIES

X.1. - Mesures sur le terrain

Le matériel hydrologique commandé en Mai, après notre première mission est arrivé à MADAGASCAR : courant Juillet pour les deux compteurs d'impulsions et début Octobre pour les moulinets et les perches.

Ce retard dans la livraison des moulinets a perturbé quelque peu le déroulement des opérations sur le terrain.

A l'aide d'un moulinet que nous avons expédié de FRANCE et d'autre matériel emprunté sur place, la DIR a pu, provisoirement, créer une équipe de jaugeurs qui a commencé à opérer sur le terrain au début du mois de Juillet.

Des échelles en bois gravé et peint ont été fabriquées et placées sur les rivières des PPI d'ANJOZOROBE et FIANARANTSOA à partir du 17 juin. Celles des PPI de MIARINARIVO ont été équipées en Septembre.

Pour la réalisation des jaugeages, la DIR a sollicité et obtenu la collaboration du Département d'hydrologie du MRSTD, ceci, afin de former les agents du Génie Rural aux techniques des jaugeages en rivière. Cette coopération s'est déroulée de façon très satisfaisante. Courant Octobre, par suite de la montée précoce des rivières, il a été décidé que les agents de la DIR exécuteraient seuls les quelques mesures restantes d'ici la fin du mois de Novembre.

Une lettre de remerciements sera adressée au MRSTD.

Nous rappelons que ces stations d'observation sont constituées simplement d'une échelle de 1m graduée, destinée à suivre les variations du plan d'eau uniquement pendant la période d'étiage.

Elles ne peuvent, en aucun cas, dans l'immédiat, constituer les stations d'un quelconque réseau de base. Quelques jaugeages sont effectués à ces stations pour avoir une idée des quantités d'eau écoulées durant la saison sèche.

Les observations seront arrêtées, à toutes les stations, fin Novembre 1986. Elles reprendront, dans les mêmes conditions, sur un nombre moins important de stations, en Juillet prochain. Elles sont totalement indépendantes des études plus poussées qui pourraient être entreprises sur les PPI situés dans des régions où il n'existe aucune donnée hydrologique.

En Avril et Mai dernier nous avons envisagé de ne faire des lectures que sur les PPI disposant en permanence d'agents de la DIR et donc, de ne pas recruter d'observateurs aux autres endroits. Cependant, il a été jugé préférable que quelques observateurs soient recrutés. Les agents de la DIR chargés des mesures de débits ont pu se rendre compte directement des difficultés qu'on rencontre pour obtenir des relevés valables. Ces observateurs arrêteront leurs lectures fin Novembre.

Nous donnons ci-après, la liste des jaugeages effectués aux différentes stations du début Juillet à la mi-Octobre.

Pour chaque mesure nous avons calculé le débit spécifique en $l/s/Km^2$. Ces calculs montrent que, dans la région de FIANARANTSOA, les débits spécifiques mesurés à chaque tournée sont, sauf quelques exceptions dues à des influences amont (prises d'eau, barrages, probablement mise en eau de rizières), très stables pour des bassins versants dont les surfaces sont comprises entre 10 et 100 Km^2 .

Dans cette région nous avons admis, pour nos calculs du chapitre IV, une légère variation des débits spécifiques moyens interannuels en fonction de la position des bassins par rapport à la bordure orientale des Hautes Terres. Il semble donc, après cette première série de mesures que la situation des bassins plus ou moins près de la falaise ne joue pas sur la valeur des débits spécifiques.

La première série de mesures à MIARINARIVO donne des débits spécifiques assez constants et de l'ordre de 7 $l/s/Km^2$. Il faut noter une variabilité un peu plus grande que dans la régions de FIANARANTSOA. La deuxième série de mesures, effectuées vers la mi-Octobre, a enregistré les premières crues consécutives aux pluies précoces survenues cette années sur certains bassins.

Par contre les valeurs obtenus dans la région d'ANJOZOROBE varient dans de grandes proportions et des vérifications devront être faites : emplacements des stations, surfaces des bassins et qualité des mesures de débits.

Pour la région de FIANARANTSOA, nous avons calculé la moyenne de chaque série de mesures. Les valeurs sont reportées sur le graphe ci-après (jours en abscisses et débits spécifiques en ordonnées). nous avons calculé les débits spécifiques moyens mensuels de Juillet, Août et Septembre 1986 qui sont égaux respectivement à 12,5, 10 et 8 $l/s/Km^2$.

Les calculs des débits moyens mensuels (chapitre IV) ont été menés en prenant des valeurs des modules spécifiques interannuels comprises entre 25 et 20 $l/s/Km^2$. Avec ces valeurs et les coefficients mensuels utilisés dans chaque région les débits spécifiques moyens sont compris entre :

19 et 6 $l/s/Km^2$ pour JUILLET
19 et 4,5 $l/s/Km^2$ pour AOÛT
15 et 4 $l/s/Km^2$ pour SEPTEMBRE

Il faut faire deux remarques : sur la bordure orientale des hautes terres, les débits calculés paraissent un peu forts et leur décroissance de Juillet à Septembre est moins accentuée que celle effectivement montrée par les mesures.

Sur la partie Sud (Mananantanana), les débits sont probablement trop faibles.

CORRECTION DE LA PAGE 55

Après vérification sur le terrain le 31 Octobre, il apparaît que les surfaces des bassins d'ANJOZOROBE n°7, 9, 10 sont respectivement égales à 23,8, 16,1 et 2,35 Km².

Les débits spécifiques des jaugeages effectués en Août et Septembre deviennent donc :

			m ³ /s	l/s/km
N° 7	23,8	07/08/86	0,451	18,9
		17/09/86	0,202	8,48
N°9	16,1	05/08/86	0,298	18,5
		16/09/86	0,133	8,26
N°10	2,35	05/08/86	0,023	9,79
		16/09/86	0,018	7,66

Le bassin n°8 ne se trouve pas sur l'AMPITANDAMBO, mais sur la MANANARA. La surface n'a pas été mesurée, mais elle doit être de l'ordre de quelques milliers de Km². Les débits spécifiques portés sur la page 55, avec deux points d'interrogation, sont donc faux et à supprimer.

Les autres débits de cette page devront être corrigés avec les valeurs ci-dessus :

La variation des débits spécifiques dans cette région, est encore grande mais elle reste dans des limites vraisemblables.

P.P.I. ANJOZOROBÉ

Jaugeages effectués en Août - Septembre 1986

S T A T I O N S	N°	S Km ²	D A T E	HAUTEUR m	D E B I T	
					m ³ /s	l/s/Km ²
ANJOZOROBÉ FARAMANINA	1	20,7	06/08/86	0,59	0,206	9,95
			15/09/86	0,36	0,114	5,50
ANJOZOROBÉ MAKAMO	2	18,3	07/08/86	0,42	0,38	19,0
			17/09/86	0,29	0,205	11,2
ANJOZOROBÉ SANDRANDAHY	3	5,9	07/08/86	0,26	0,060	10,2
			17/09/86	0,26	0,034	5,75
ANDRANOMADIO ANALALAVA	4	5,1	06/08/86	0,47	0,132	26,9
			17/09/86	0,33	0,040	7,8
ANDRANOMADIO ANALAMAINISO	5	5,5	06/08/86	0,40	0,193	35,1
			17/09/86	0,26	0,091	16,5
BETSIMIZARA AMPILANONANA 1	6	15,2	07/08/86	0,38	0,206	13,5
			17/09/86	0,41	0,146	9,6
BETSIMIZARA AMPILANONANA 2	7	21,3	07/08/86	0,39	0,451	21,2
			17/09/86	0,32	0,202	9,5
MANGAMILA AMPITANDRAMBO	8	16,1 ?	05/08/86	0,60	3,47	215 ??
			16/09/86	0,40	1,80	112 ??
MANGAMILA RUINES	9	6,1	05/08/86	0,64	0,298	48,8
			16/09/86	0,55	0,133	21,8
MANGAMILA ANDRIAKELY	10	4,4	5/08/86	0,20	0,023	5,22
			16/09/86	0,15	0,018	4,09

P.P.I. AMBOSITRA FIANARANTSOA

Jaugeages effectués en Juillet - Août et Septembre 1986

S T A T I O N S	N°	S Km ²	D A T E	HAUTEUR m	D E B I T	
					m ³ /s	l/s/Km ²
SAHAMBAVY IGODONA	1	16,2	27/06/86	0,36	0,193	11,9
			23/08/86	0,37	0,160	9,87
			30/09/86	0,25	0,126	7,78
ALAKAMISY ILAMOKA	2	28,1	27/06/86	0,60	0,266	11,3
			22/08/86	0,64	0,320	9,47
			01/10/86	0,44	0,151	5,37
ALAKAMISY VOHITSOA	3	5,9	27/06/86		0,108	18,3
			23/08/86		0,56	9,49
			01/10/86		0,050	8,47
ANKONA ANKORAKA	4	18,2	29/06/86	0,33	0,340	18,7
			25/08/86	0,28	0,188	10,3
			01/10/86	0,30	0,117	6,43
ANKONA VATOSITRY	5	96,3	29/06/86	0,51	1,520	15,8
			25/08/86	0,44	1,050	10,9
			29/09/86	0,30	0,397	4,12
ANKONA SAHAVE	6	26,1	28/06/86	0,19	0,342	13,1
			25/08/86	0,36	0,346	13,2
			29/09/86	0,20	0,162	6,2
ISAHA ANAPAHA	8	18,1	01/07/86	0,44	0,206	11,4
			28/08/86	0,46	0,128	7,07
			27/09/86	0,40	0,109	6,02
ISAHA ISAHA	9	33,7	01/07/86		0,560	16,6
			28/08/86		0,305	9,05
			27/08/86		0,212	6,29

P.P.I. AMBOSITRA FIANARANTSOA

Jaugeages effectués en Juillet - Août et Septembre 1986 (suite)

S T A T I O N S	N°	S Km ²	D A T E	HAUTEUR m	D E B I T	
					m ³ /s	l/s/Km ²
IKIANJA ANKAFOTRA	10	7,2	30/06/86	0,32	0,084	11,7
			27/08/86	0,25	0,66	9,2
			05/10/86	0,25	0,059	8,2
IKIANJA AMBATOLAHY	11	7,8	30/06/86	0,33	0,082	10,5
			27/08/86	0,30	0,080	10,2
			04/10/86	0,30	0,063	8,07
IKIANJA ANDRANOVORY	12	12,1	30/06/86	-	0,125	10,3
			27/08/86	0,32	0,066	5,45 (1)
			05/10/86	0,30	0,093	5,68
VATAMBE TSIMIHARILOHA	13	31,7	02/07/86		0,427	13,4
			21/08/86		0,263	8,29
			26/09/86		0,107	3,37 (1)
VATAMBE AMBATOMIROJOROJO	14	53,4	02/07/86	0,69	0,993	18,6
			21/08/86	0,61	0,660	12,3
			26/09/86	0,55	0,400	7,49
VATAMBE ANDRANOMENA	15	122	02/07/86	0,45	1,49	12,3
			21/08/86	0,41	1,03	8,43
			26/09/86	0,31	0,506	4,14 (1)
VATAMBE ATEZA	16	15,7	02/07/86	0,42	0,219	13,9
			21/08/86	0,37	0,146	9,29
			26/09/86	0,36	0,062	3,95 (1)
(1) Débits influencés par les prises d'eau à l'amont. plusieurs petits barrages						

P.P.I. MIARINARIVO

Jaugeages effectués en Septembre - Octobre 1986

S T A T I O N S	N°	S Km ²	D A T E	HAUTEUR m	D E B I T	
					m ³ /s	l/s/Km ²
AMPARY ZANAKOLO	1	18,0	17/09/86	0,35	0,200	11,1
			18/10/86	0,15	0,172	9,5
IFANJA-SUD BIZY	2	11,4	10/09/86	0,20	0,075	6,58
			16/10/86	0,20	0,85	7,46
IFANJA-SUD KOTOMBOLO	3	25,4	10/09/86	0,38	0,241	9,50
			15/10/86	0,51	0,388	15,3
ANALAVORY SAHORA	4	36,2	08/09/86	0,20	0,225	6,21
			16/10/86	0,22	0,300	8,28
AMBOHIMANANA VARANA	5	150	09/09/86	0,34	0,888	5,92
			14/10/86	0,61	2,82	18,8
MANGABE ANDRIAMBOLA	6	96,3	09/09/86	0,23	0,412	4,28
			14/10/86	0,55	2,04	21,2
ANTANIMENAKELY ANDRIAMBOLA	7	22,0	09/09/86	0,30	0,118	5,36
			14/10/86	0,32	0,312	14,2
TONGOLO AMONT	8	42,4	12/09/86	0,23	0,302	7,12
			17/10/86	0,29	0,530	12,5
FITANDAMBO AMONT	9	36,4	12/09/86	0,26	0,190	5,2
			18/10/86	0,47	0,220	6,04
IFANJA-NORD MAHASINONO	10	18,2	10/09/86	0,19	0,151	8,29
			16/10/86	0,11	0,264	14,5
IFANJA-NORD KAVAZIMBA	11	8,7	10/09/86	0,28	0,065	7,47
			15/10/86	0,28	0,108	12,4

COMPARAISON DES JAUGEAGES EFFECTUES
en saison sèche sur les P.P.I. de 1er urgence

P.P.I. FIANARANTSOA

N° des Stations Débits en l/s/Km²

DATES	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	17	MOY.
27/06/86	11,9	11,3	18,3	18,7	15,8	13,1	11,4	16,6	11,7	10,5	10,3	13,4	18,6	12,3	13,9	13,8
02/07/86																
21/08/86	9,87	9,47	9,49	10,3	10,9	13,2	7,07	9,05	9,2	10,2	<u>5,45</u>	8,29	12,3	8,43	9,29	9,79
28/08/86																
26/09/86	7,78	5,37	8,47	6,43	<u>4,12</u>	6,2	6,02	6,29	8,2	8,07	7,68	<u>3,37</u>	7,49	<u>4,14</u>	<u>3,95</u>	7,09
05/10/86																
<u>P.P.I. MIARINARIVO</u>																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					MOY.
08/09/86	11,1	6,58	9,50	6,21	5,92	4,28	5,36	7,12	5,20	8,29	7,47					7,00
17/09/86																
14/10/86	9,5	7,46	15,3	8,28	18,8	21,2	14,2	12,5	6,04	14,5	12,4					
18/10/86																
<u>P.P.I. ANJOZOROBE</u>																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
05/08/86	9,95	1,90	10,2	25,9	35,1	13,5	21,2	21,5	48,8	5,22						
07/08/86																
15/09/86	5,50	11,2	5,76	7,8	16,5	9,6	9,5	11,2	21,8	4,09						
17/09/86																

4.12 Débit influencé par les prises d'eau en amont

P.P.I de FIANARANTSOA
Variation du débit spécifique
moyen de juillet à octobre

$q \text{ en } l/s/km^2$

10

8

6

4

2

1

0

3

4

5

6

8

9

10

2

3

4

5

6

7

8

9

10

2

3

4

6

7

8

10

2

3

4

5

Jours

JUIN

JUILLET

AOUT

SEPT.

OCTO.

En prenant une même valeur (22 l/s/Km^2 par exemple) du débit spécifique moyen interannuel pour tous les bassins de la région, nous aurions obtenu des débits plus faibles dans l'Est et un peu plus forts dans le Sud.

Le décroissance dans le temps dépend des coefficients mensuels de débit et de leur répartition R1, R2

Sur les rivières de la côte Est, la décroissance des débits entre Juillet et Octobre n'est pas très rapide; les débits peuvent même augmenter légèrement de Juillet à Septembre, comme le montre la répartition R3.

Il semble donc que nous ayons été un peu trop influencé par la position de certains bassins par rapport à la falaise orientale. Les mesures montrent que la décroissance des débits doit, dans toute cette région, se faire comme sur les Hautes Terres Centrales et nous aurions dû adopter, pour les calculs des débits moyens mensuels, la répartition R1, aussi bien pour la bordure orientale que pour les bassins du Sud et de l'Ouest (pour lesquels nous avons pris R4 qui accentue la décroissance et donne des débits un peu trop faibles en Septembre et Octobre).

Il sera demandé aux techniciens de la DIR de refaire les calculs avec 22 l/s et la répartition R1 pour les bassins des PPI de FIANARANTSOA. Cet exercice les familiarisera un peu avec ce genre de calcul qui devra être fait, par la suite, sur tous les PPI. (Voir Nota page 63)

Il est cependant évident, qu'on ne peut pas tirer des conclusions définitives à partir d'une seule année de mesures. Les valeurs que nous avons calculées sont des valeurs moyennes, celles qui viennent d'être obtenues par la mesure sont relatives à l'année 86 et la valeur des débits dépend de l'hydraulicité de cette année. Il faudrait, à la fin de l'année hydrologique, examiner quelques relevés pluviométriques dans la région des Hauts Plateaux et voir comment sont placées les hauteurs annuelles recueillies par rapport à la moyenne. Ce sera là un exercice très formateur pour les hydrauliciens de la DIR.

Nous donnons, à titre de comparaison, les débits calculés (chapitre IV) et les débits mesurés sur les PPI de FIANARANTSOA et MIARINARIVO.

L'examen de ce tableau montre que la concordance est très bonne pour les débits de certaines stations. Bien que ne disposant que d'une seule mesure, il semble que la concordance des valeurs obtenues à MIARINARIVO soit meilleure que celle de FIANARANTSOA. Une amélioration sera certainement constatée en reprenant les calculs comme il est dit plus haut.

Les indications qui seront fournies par les mesures de la prochaine saison sèche seront aussi très intéressantes. Il sera, en particulier, important de vérifier si les tendances observées cette année sont maintenues ou modifiées.

Nous pouvons donc dire pour terminer que cette série de mesures n'aura pas été inutile; elle aura permis de corriger certaines estimations faites par le calcul. C'était le but que nous lui avions fixé au mois de Mai dernier.

DEBITS MESURES et CALCULES
en m³/s sur les PPI de FIANANRANTSOA
et MIARINARIVO

P.P.I.	D E B I T S m ³ /s					
	JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE	
	Calculé	mesuré	Calculé	Mesuré	Calculé	Mesuré
<u>FIANARANTSOA-AMBOSITRA</u>						
VATAMBE TSIMIARILLOHA	0,540	0,402	0,560	0,323	0,420	0,253
VATAMBE AMBATOMIROJOROJO	0,910	0,993	0,940	0,660	0,710	0,400
VATAMBE ANDRANOMENA	2,08	1,49	2,15	1,03	1,63	0,506
VATAMBE ATEZA	0,268	0,219	0,277	0,146	0,210	0,062
ISAHAN ANAPAHAN	0,189	0,206	0,174	0,128	0,137	0,109
ISAHAN ISAHAN	0,353	0,560	0,324	0,305	0,256	0,212
IKIANJAN ANKAFOTRA	0,075	0,084	0,069	0,066	0,055	0,059
IKIANJAN AMBATOLAHY	0,081	0,082	0,075	0,080	0,059	0,063
IKIANJAN ANDRANOVOVY	0,126	0,125	0,116	0,066	0,092	0,093
IKIANJAN ANALALEHIBE	0,081	0,082	0,075	0,080	0,059	0,063
ANKONAN ANKORAKA	0,348	0,340	0,360	0,188	0,273	0,117
ANKONAN ANOSIALA	1,84	1,52	1,91	1,05	1,44	0,397
ANKONAN SAHAVE	0,498	0,342	0,516	0,346	0,391	0,162
SAHAMBAVY IGODONA	0,310	0,193	0,321	0,160	0,243	0,126
ALAKAMISY ILAMOKA	0,537	0,266	0,556	0,320	0,421	0,151
<u>MIARINARIVO</u>						
MAHASINONO					0,135	0,151
BIZY					0,136	0,075
KOTOMBOLO					0,343	0,241
SAHORA					0,234	0,225
VARANA					0,95	0,888
TONGOLO					0,260	0,302
FITANDAMBO					0,230	0,190
ZANAKOLO					0,114	0,200

X.2. - Travaux à effectuer pendant la prochaine saison des pluies

- Finir de repérer les bassins alimentant les PPI de lère urgence dans les régions de FIANARANTSOA, MIARINARIVO, ANTSIRABE et ANJOZOROBE.
- Tracer les limites de ces bassins et mesurer leurs surfaces et définir l'altitude moyenne (à partir des courbes de niveau ou en repérant l'altitude maximale et minimale).
- Porter ces bassins sur la carte au 1/1 000 000
- Choisir les modules spécifiques moyens interannuels valables pour chaque bassin
- Calculer ensuite le module moyen annuel et la lame d'eau écoulée annuellement sur chaque bassin
- A l'aide de la répartition R1 calculer les débits mensuels
- En utilisant la carte des isohyètes (n°2) la valeur de l'altitude moyenne et en choisissant un coefficient B sur la carte n°4 calculer la lame d'eau écoulée à l'aide de la formule

$$E = \left(\frac{P_{mm}}{B} \right)^{5/3} \left(\frac{Z_m}{100} \right)^{1/3}$$
- A l'aide du graphe du chapitre VIII calculer pour tous les bassins alimentant les PPI les débits maximaux de crue.
- Pour les bassins de la région d'AMBOSITRA et FIANARANTSOA faire les calculs des débits moyens mensuels avec un module moyen interannuel de 22 l/s/Km² et un répartition R1 pour tous les bassins.

X.2. - Jaugeages à effectuer de Juillet à Novembre 1987

- P.P.I. de la lère tranche : on retiendra les stations suivantes :

- Région d'AMBOSITRA :

N° 8(18 Km²), 11(7Km²), 14(53 Km²), 15(122 Km²)

- Région de FIANARANTSOA :

N° 1(16 Km²), 2(28 Km²), 5(96 Km²), 6(26 Km²), AMBOASARY(56 Km²)

- Région de MIARINARIVO :

N° 1(18 Km²), 2(11 Km²), 4(37 Km²), 6(96 Km²), 7(22 Km²)

- Région d'ANJOZOROBE :

N° 1(21 Km²), 2(18 Km²), 3(6 Km²), 6(15 Km²), 9(16 Km²).

On effectuera une mesure par mois de Juillet à Novembre à chaque station.
On dressera ensuite un tableau identique à celui de la page 59.

- P.P.I. de la région de MAHAJANGA : après inventaire et repérage des bassins, retenir 5 ou 6 bassins de tailles différentes et effectuer quelques jaugeages dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Nota: Quelques essais, effectués avec un module spécifique moyen de 22 l/s/Km², montrent que la correction des débits moyens mensuels de la région d'AMBOSITRA-FIANARANTSOA ne devra être faite que par changement de répartition: R1 au lieu de R3, à partir des modules calculés pages 17 et 20.

XI - C O N C L U S I O N :

Pour conclure le présent rapport, ainsi que notre mission de consultation à MADAGASCAR, nous donnons d'abord quelques commentaires sur les résultats exposés ci-dessus et ensuite, nous préciserons le déroulement des opérations dans les années à venir en fonction de diverses hypothèses de financement, et, en particulier, dans le cas de la réorganisation des recherches hydrologiques à MADAGASCAR.

XI.1. Commentaires relatifs aux résultats exposés dans le présent rapport.

Les recherches entreprises dans les documents existants et les calculs que nous avons effectués ont montré que certains paramètres hydrologiques sont relativement constants ou varient très peu à l'intérieur de grands ensembles géographiques.

Cette constatation facilite grandement la mise au point de méthodes simples de calculs qui ne paraissaient pas du tout évidentes lors des recherches et examens préliminaires des données disponibles.

Les paramètres étant pratiquement indépendants de la surface et bien que relatifs, le plus souvent, à des bassins de grandes dimensions, il devient très facile d'utiliser directement ces valeurs sur les bassins beaucoup plus réduits qui alimentent les petits périmètres irrigués.

Les grandeurs que nous obtenons à l'aide des bassins de référence sont des moyennes établies sur les périodes d'observations disponibles. Les résultats des calculs sur les P.P.I. seront également des valeurs moyennes. Comme nous l'avons dit dans le rapport, nous avons donné, dans la mesure du possible, une appréciation des fluctuations de ces grandeurs autour des valeurs moyennes.

Deux méthodes ont été établies pour définir les volumes d'eau disponibles annuellement et mensuellement sur les bassins alimentant les P.P.I. et une 3ème pour l'estimation des débits maximaux de crue sur ces mêmes bassins.

Quelques comparaisons ont été faites qui permettent d'avancer que les résultats obtenus ne s'éloignent pas trop des valeurs réelles. Il convient, cependant, d'être relativement prudent et de procéder à d'autres vérifications par quelques mesures sur le terrain au cours de la prochaine saison sèche.

Les méthodes que nous proposons paraîtront un peu trop simples à certains! Mais ce qui peut sembler un défaut peut aussi devenir une qualité. Les résultats sont, en effet, obtenus à partir de paramètres faciles à déterminer :

Surfaces des bassins versants, Pluie moyenne annuelle, Altitudes moyennes, Modules interannuels.

Les données dont nous disposions, et surtout le temps qui nous était imparti, ne permettaient pas de mettre au point des méthodes plus sophistiquées.

Ces méthodes plus élaborées existent : ce sont les modèles hydrologiques.

L'ORSTOM a eu l'occasion de réaliser, dans la région du Lac Alaotra, une telle modélisation. Les résultats sont satisfaisants pour de grands bassins. Quelques modifications devraient être apportées, en particulier à la dimension des mailles, pour que les données relatives aux petits bassins soient plus fidèlement restituées.

Nous avons eu l'occasion de prendre connaissance du travail effectué par l'Institut du Génie Rural de l'Ecole Polytechnique de LAUSANNE (A. MUZY et R. GLOOR) sur le calcul des volumes d'eau recueillis sur les bassins versants du Plateau Suisse pour lesquels il n'existe aucune mesure hydrologique continue. Ces bassins ont des surfaces comprises entre quelques Km² et quelques centaines de Km². Par des méthodes relativement simples de déconvolution et un modèle hydrologique calé sur un nombre restreint de paramètres, cette équipe de recherches est arrivée à des résultats assez étonnants en précision.... en utilisant, pour faire une grande partie des calculs, une ... HP 40C. Les mesures de contrôle effectuées durant un ou deux étiages ont montré que le modèle ne s'écartait jamais de plus de 20% des valeurs mesurées.

Il serait souhaitable que de tels outils puissent être testés, puis utilisés à MADAGASCAR, sur les petits bassins dépourvus de données hydrologiques.

En attendant, et dans l'immédiat, les méthodes de calcul que nous proposons devront être appliquées, dans les régions des Hautes Terres Centrales, sur tous les bassins versants de lère urgence, pour lesquels nous ne disposons pas de la surface. Il a été question de ce travail dans le chapitre précédent. Il est bien évident que ces méthodes de calcul peuvent être appliquées aux autres régions de l'île dans la mesure où il existe des bassins de référence disposant de quelques années d'observations hydrologiques.

A ce point de vue, l'inventaire des données hydrologiques dont il a été question au cours de la réunion du 14 Août 1986, serait très utile, car il permettrait de savoir rapidement ce qui existe dans telle ou telle région

XI.2. Déroulement des opérations dans les années à venir

Le programme des études à réaliser au cours des prochains mois est lié aux possibilités de financement de ces opérations. Trois hypothèses peuvent être avancées :

- 1) Le Projet PPI fonctionne, dans les mois à venir, avec l'enveloppe financière qui est fixée actuellement et dans laquelle il n'est pas prévu la réalisation d'étude hydrologique sur les bassins alimentant les PPI.
- 2) Un modeste financement est obtenu, dans les mois qui viennent, auprès d'un bailleur de fonds.
- 3) Des crédits importants sont fournis par une ou plusieurs organisations internationales (on parle notamment d'un projet FAO....) afin de réorganiser le réseau hydrométéorologique et lancer un programme de recherches fondamentales de base en vue d'améliorer la connaissance des ressources en eau de la Grande Ile.

Suivant que l'on se place dans l'une ou l'autre de ces hypothèses, le programme des mesures et des études hydrologiques intéressant les PPI sera plus ou moins développé.

XI.2.1. Financement actuel

Il est nécessaire de préciser qu'avec le budget actuel du Projet PPI, il est hors de question d'entreprendre des études hydrologiques complètes sur les bassins versants alimentant les petits périmètres irrigués.

Les seuls travaux qui pourront être faits consisteront, comme cela a déjà été fait durant la présente saison sèche, en quelques mesures de débits ponctuelles sur quelques bassins. Elles sont destinées à vérifier les estimations que nous avons faites plus haut. Ces mesures sont exécutées par les agents de la DIR. Les dépenses qu'elles entraînent sont peu importantes et le projet PPI peut les supporter relativement facilement.

Pour les mois qui viennent on peut dire que ces mesures seront poursuivies :

- d'abord sur les bassins de lère urgence sur lesquels des mesures ont été faites cette année. Ces mesures reprendront en Juillet et s'arrêteront, comme cette année en Novembre. La liste des points de mesure est donnée en annexe.
- ensuite, sur des bassins dont les PPI seront réhabilités prochainement et sur lesquels les données hydrologiques font défaut. Nous pensons que, dans ce cas, il faut réaliser quelques mesures de débit en tenant compte du calendrier cultural du riz. Les mesures seront faites dans la période correspondant à la mise en eau et au repiquage du riz. (Août - Septembre, ou Octobre - Novembre, ou Décembre-Janvier, suivant les régions). Ainsi, ces mesures permettront de connaître les quantités d'eau disponibles au moment où il y en a le plus besoin. Les surfaces à irriguer pourront ainsi être calculées au mieux.

Dans un premier temps seulement quelques bassins seront ainsi jaugés en 1987. Ils seront choisis en fonction des priorités de réhabilitation.

Avec l'enveloppe financière actuelle il n'est pas possible de faire plus.

XI.2.2. - Etude hydrologique plus poussée mais uniquement sur une zone à forte concentration de P.P.I.

Dans le cas où un financement supplémentaire serait trouvé dans les mois qui viennent, on pourrait envisager de développer un peu les études hydrologiques dans une zone présentant une forte densité de PPI : le NORD-OUEST, par exemple, entre MAHAJANGA et ANTISOHIHY. Cette opération serait réalisée en deux temps :

1/ Recherche et délimitation sur cartes au 1/500 000 ou 1/100 000 des bassins versant alimentant les PPI situés dans la zone retenue. Mesure des surfaces de ces bassins et recherche sur la carte de 2 ou 3 bassins ayant des surfaces du même ordre que celles des bassins alimentant les PPI (par exemple, si ces bassins ont des surfaces comprises entre 10 et 100 Km², on retiendra trois bassins couvrant environ 10,50 et une centaine de Km²).

Lorsque ces trois bassins auront été repérés sur la carte il sera nécessaire de vérifier sur le terrain qu'ils sont bien représentatifs, que leur accès n'est pas trop difficile etc....

Ce travail de recherche et délimitation, planimétrage et prospection sur le terrain devra être réalisé par les agents de la DIR dans le courant, par exemple, du mois de Décembre prochain.

Il faut noter que, même s'il est impossible d'obtenir un financement supplémentaire, ce travail devra être effectué lors de la mise à exécution du programme PPI de cette région.

2/ Dans un deuxième temps il sera demandé à un organisme administratif (Recherche Scientifique ou Météorologie Nationale) ou à un bureau d'études (MAMOKATRA ou autre) d'établir un devis estimatif pour une étude hydrologique complète sur les 3 bassins retenus. Cette étude comprendra la mesure des débits et le relevé limnigraphique des hauteurs d'eau à l'exutoire de chaque bassin, la mesure de la pluie en divers points des bassins de façon à pouvoir calculer la pluie moyenne et établir les bilans d'écoulement annuels. Il sera nécessaire de procéder, suivant la nature du lit, au droit de l'exutoire, à une stabilisation sommaire afin d'avoir quelques chances d'obtenir une courbe unique liant la hauteur au débit. Pour éviter des travaux importants et coûteux, il faudra rechercher si possible des seuils rocheux en amont desquels seront implantés les stations de mesure.

Ces observations dureront 2 ou 3 ans mais un rapport de campagne sera remis à l'issue de chaque année.

Parallèlement, et pour permettre les extrapolations futures, quelques mesures ponctuelle de débits seront effectuées dans la zone retenue sur des bassins alimentant les PPI.

Le devis estimatif sera présenté au bailleur de fonds éventuel pour déblocage des crédits. Le maître d'oeuvre de cette opération sera le MPARA/PPI.

Malgré son caractère d'étude plus approfondie, cette opération doit être considérée comme tout à fait ponctuelle, uniquement destinée à améliorer la connaissance hydrologique des petits bassins du NORD-OUEST. Elle ne constituera, en aucune façon, l'amorce d'une réhabilitation du réseau hydro-météorologique de MADAGASCAR.

Les résultats qui seront obtenus seront automatiquement communiqués à l'organisme chargé de gérer la banque des données hydrologiques.

Pour servir aux mieux le projet PPI, il serait souhaitable que cette opération soit lancée le plus rapidement possible et au plus tard en Juillet 1987.

Les données recueillies sur ces bassins seront utilisées pour les calculs sur tous les autres bassins.

XI.2.3. Crédits importants en vue de la réorganisation du réseau hydro-météorologique :

Il est question depuis quelque temps déjà d'une aide internationale importante en vue de la réorganisation du réseau hydrométéorologique. Si cette opération est lancée, les utilisateurs éventuels de données hydrologiques (MPARA/PPI, JIRAMA, Service des Eaux, TRAVAUX PUBLICS etc....) exposeront leurs besoins à l'organisme responsable de ce projet. Il devra être mis au point un programme d'études cohérent.

Il est bien évident que cette opération ne donnera des résultats que dans un avenir qui risque d'être assez éloigné et les besoins des divers utilisateurs auront peut être changé d'ici là.