

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Hydrologie

**ETUDE DES BILANS HYDRIQUES ET DE L'EROSION
SUR LE BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA (MADAGASCAR)**

**PRESENTATION DES RESULTATS
ET DEBUT D'INTERPRETATION
Campagnes 1966-67 à 1970-71**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

HYDROLOGIE

ETUDE DES BILANS HYDRIQUES ET DE L'EROSION
SUR LE BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA (MADAGASCAR)

PRESENTATION DES RESULTATS ET DEBUT D'INTERPRETATION
CAMPAGNES 1966-67 à 1970-71

par

P. POURRUT

Paris, 1976

SOMMAIRE

I Historique

II Facteurs conditionnels du régime

- II-1 Situation géographique
- II-2 Caractères physiques et morphologiques
 - II-2-1 Caractères physiques
 - II-2-2 Caractères morphologiques
- II-3 Géologie
- II-4 Morphologie et pédologie
- II-5 Végétation
- II-6 Climatologie
 - II-6-1 Caractéristiques générales du climat
 - II-6-2 Climatologie du bassin versant
- II-7 Pluviométrie

III Equipement du bassin versant

- III-1 Station climatologique
- III-2 Equipement pluviométrique
- III-3 Equipement de l'exutoire
- III-4 Equipement pluviométrique
- III-5 Equipement de la zone non saturée
- III-6 Equipement pour l'étude des transports solides
- III-7 Equipements particuliers
 - III-7-1 Parcelle de ruissellement
 - III-7-2 Mesure de l'érosion

IV Etude des bilans

- IV Méthode utilisée
 - IV-1-1 Définition des termes du bilan hydrique
 - IV-1-2 Détermination de la valeur des termes du bilan
- IV-2 Etudes des eaux de surface
 - IV-2-1 Etalonnage de la station
 - IV-2-2 Etude des crues
 - IV-2-3 Ecoulements journaliers mensuels et annuels
 - IV-2-4 Bilan hydrique des écoulements de surface sur le bassin
 - IV-2-5 Ruissellement sur parcelle expérimentale
- IV-3 Etude des eaux souterraines
 - IV-3-1 Mise en place du réseau piézométrique
 - IV-3-2 Mesures du niveau piézométrique
 - IV-3-3 établissement et traitement des états piézométriques
- IV-4 Etude de l'eau en transit dans la zone non saturée
 - IV-4-1 Méthode utilisée
 - IV-4-2 Mesures effectuées sur les différents tubages
 - IV-4-3 Variation des réserves de la zone non saturée
 - IV-4-4 Progression dans le sol de tritium radioactif
- IV-5 Etablissement des bilans

V - Etude de l'érosion

V-1 Méthode utilisée

V-2 Le drainage de fond

V-3 Le transport solide en suspension

V-4 Bilans annuels de l'érosion sur le bassin

V-5 Erosion sur les lavakas

VI - Post.- face

CHAPITRE I

HISTORIQUE

Un bassin versant est généralement défini comme l'aire de drainage d'une rivière limitée en un point aval de son cours l'exutoire. Ce bassin versant est représentatif d'une zone déterminée, ici de la zone centrale des hauts plateaux malgaches, dont il possède la morphologie générale, la nature du sol, la végétation et le climat. Il joue le rôle d'un collecteur qui recueille les précipitations et les restitue à la rivière sous forme d'écoulement. Mais cette restitution n'est pas totale et on observe des pertes en eau de diverses origines : évapotranspiration, mise en réserve dans la zone d'aération, alimentation de la nappe souterraine.

Le premier objectif de la présente étude est de mesurer "au champ" les paramètres de ce déficit d'écoulement, de les analyser, et d'essayer enfin, pour différents intervalles de temps, d'équilibrer l'équation générale du bilan hydrique :

Précipitations : Ecoulement + Evapotranspiration + stockage dans la zone d'aération
+ stockage dans la nappe souterraine

Ce but, poursuivi pendant 5 années, ne pouvait être réalisé qu'au prix d'un effort considérable de l'ORSTOM, non seulement pour ce qui concerne l'équipement classique déjà très important mais aussi pour la recherche de méthodologies nouvelles avec des appareils à l'origine inadaptés demandant une longue et patiente mise au point (sonde à neutrons pour l'étude de la zone d'aération). Cet effort a été également consenti pour une étude menée parallèlement à celle des bilans hydriques. On sait que, lors des précipitations, une certaine quantité de matériaux arrachés sur le bassin sont évacués par le cours d'eau par l'entremise de deux modes de transport : suspension et charriage de fond. De nombreuses mesures ont été faibles à l'exutoire et dans certaines zones d'érosion privilégiées, le second objectif de cette étude étant d'approcher au mieux l'érosion quantitative.

Il faut préciser que les premières études sur bassin versant entreprises dans la région des Hauts-Plateaux malgaches proches de TANANARIVE se sont déroulées entre 1953 et 1958. Elles concernaient le bassin de la SAOMANARIVO à ANDROVAKELY, bassin d'une superficie de 24,2 km², et elles ont donné lieu à une étude analytique du ruissellement (1).

En 1962 la Section Hydrologique du Centre O.R.S.T.O.M de TAHANA-RIVE décidait la reprise des observations sur une surface plus réduite et située dans les limites du bassin précédemment étudié. Le choix s'est porté sur le bassin versant de la TAFAINA, affluent de la SOAMANARIVO. Un premier équipement destiné à l'étude des eaux de surface était mis en place et comprenait : l'installation de 10 pluviomètres et 5 pluviographes, la mise en service d'une station météorologique et la construction d'un seuil de mesures calibré. Les conclusions de ces observations, poursuivies jusqu'en 1966, sont consignées dans un rapport O.R.S.T.O.M (2).

En 1966 M. ALDEGHERI nous confiait la responsabilité du bassin versant de la TAFAINA avec pour mission de l'équiper en vue du calcul précis des bilans hydriques totaux. Lors d'une tournée effectuée en Octobre 1967, Monsieur RODIER, Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM, nous encourageait à intensifier les études et nous autorisait à présenter ultérieurement les résultats obtenus sous forme de thèse.

L'étude des bilans hydriques et de l'érosion sur le bassin versant de la TAFAINA est ainsi le sujet d'une thèse de Doctorat d'Etat qui devra être soutenue devant l'Université de Paris VI.

Le présent rapport a pour objet de consigner tous les résultats obtenus, certains d'entre eux étant déjà sommairement interprétés. Il va présenter les valeurs des différents paramètres mesurés in-situ, la synthèse et l'établissement des bilans devant être faits ultérieurement.

Ont collaboré à la définition des caractéristiques physiques (chapitre II) :

Géologie	:	M. GENSE, PETIT
Pédologie	:	M. BOURGEAT, ZEBROWSKI
Végétation	:	M. MORAT

Nota : (1) et (2) - voir bibliographie

CHAPITRE II

FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

Ecoulement et érosion sont la conséquence directe d'un paramètre déterminant : la pluie. Cependant le devenir de cette pluie et l'arrachement des matériaux solides sont également conditionnés par la morphologie, la nature du sol et la couverture végétale du bassin versant. C'est la raison pour laquelle le chapitre suivant est consacré :

- à la description des caractères fixes ou d'évolution négligeables pendant la période étudiée, tels les paramètres physiques, la géologie, la pédologie et la végétation du bassin,

- à l'étude des caractères dynamiques que sont le climat régional et les précipitations.

II.1. Situation Géographique

Le bassin versant de la TAFAINA, partie du bassin de l'IKOPA, est situé à 35 km au Sud de TANANARIVE (fig. 1.). Son exutoire, au droit du village d'AMBONIDRANO-Nord est placé à 19°09'35" de latitude Sud et 47°29'10" de longitude Est.

Ce bassin est représentatif des Hauts-Plateaux de MADAGASCAR : relief vallonné dans l'ensemble, végétation constituée de graminées diverses ("Bozaka") sur les collines ("Tanety") et de marécages le plus souvent transformés en rizières dans les bas-fonds.

II.2. Caractères physiques et morphologiques

La cartographie repose sur les documents suivants :

- Les photographies aériennes au 1/40.000 réalisées en 1950 par l'IGN :
3 - MAD - 50 N° 026.701 et 026.702. Elles sont difficilement exploitables,

- la carte IGN au 1/50.000, feuille n°P 47, ANTSAHANDITA,

- une stéréorestitution expédiée au 1/5.000, exécutée en 1968 par la SOTOM (le zéro de l'exutoire a une altitude fictive de 100 m). Ce document au 1/10.000 (fig.2), contrôlé par des levés topographiques effectués par Monsieur FERRET, hydrologue ORSTOM, a servi de base pour les calculs des paramètres ci-après répertoriés.

II.2.1. Caractères physiques

Les caractéristiques physiques sont les suivantes :

- la surface $\Delta = 4,5 \text{ Km}^2$
- le périmètre $P = 10,0 \text{ Km}$

- l'indice de compacité ou coefficient de forme C qui est donné par la formule :
 $C = 0,28 P \cdot \Delta^{-1/2}$; il est égal à 1 pour un bassin de forme circulaire et croît à mesure que la déformation s'accroît :

$$C = 1,32$$

- la longueur et la largeur du rectangle équivalent ; le rectangle équivalent au bassin a même surface, même périmètre, même indice de compacité et même hypsométrie :

$$L = 3,81 \text{ Km}$$
$$l = 1,19 \text{ Km}$$

- l'indice de pente global : c'est un indice simple qui se calcule à l'aide de la formule :

$$I_g = \frac{H_5 - H_{95}}{L}$$

H_5 et H_{95} étant respectivement les altitudes des 5% et 95% de la surface du bassin :

$$I_g = 33,9 \text{ m/Km}$$

- l'indice de pente I_p défini par Marcel ROCHE (3). On le calcule en appliquant la relation :

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

dans laquelle :

a_i représente la fraction en % de la surface Δ comprise entre les courbes de niveau c_i et c_{i-1} , dont la dénivellation est d_i

$$I_p = 0,218$$

CARTE DE SITUATION

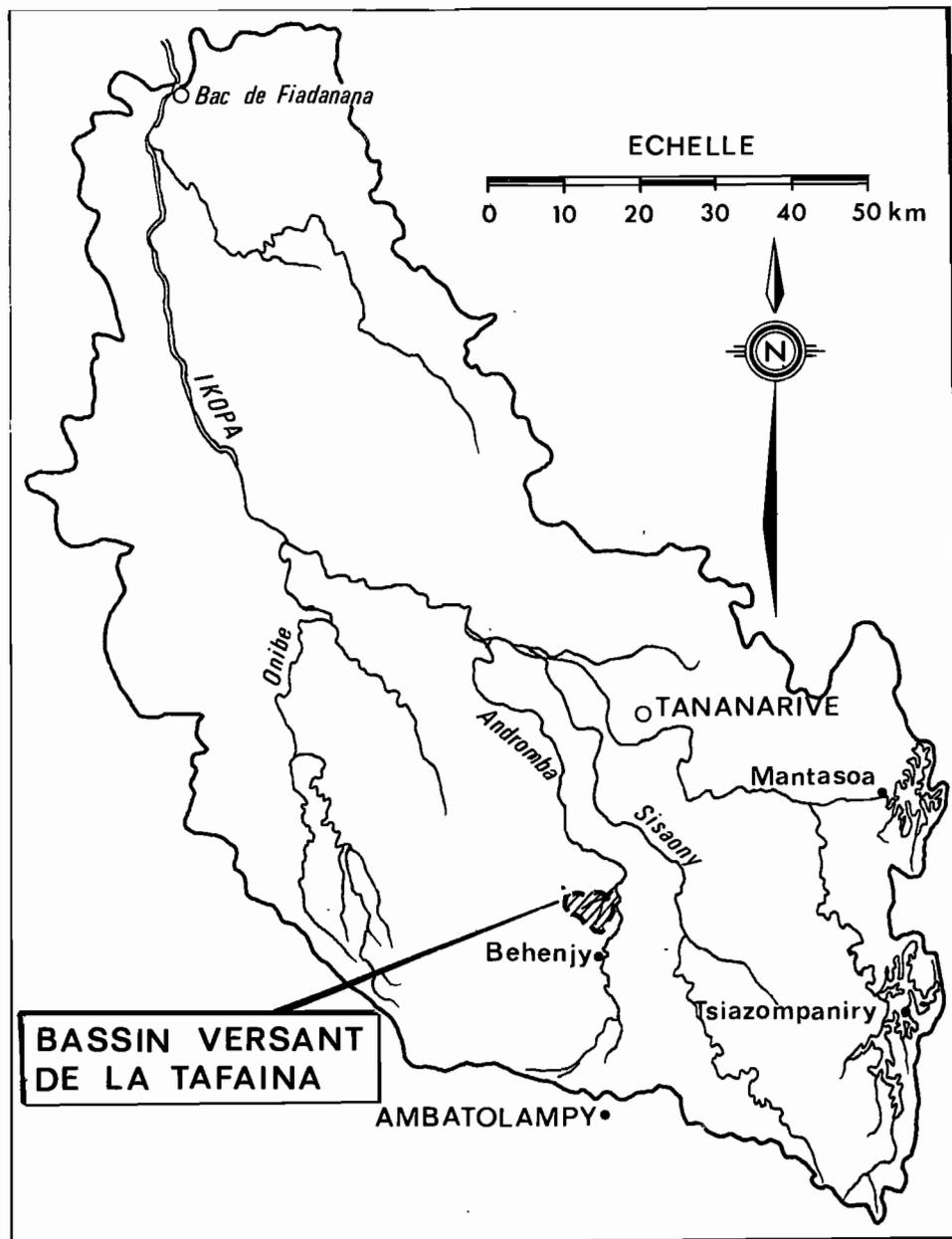
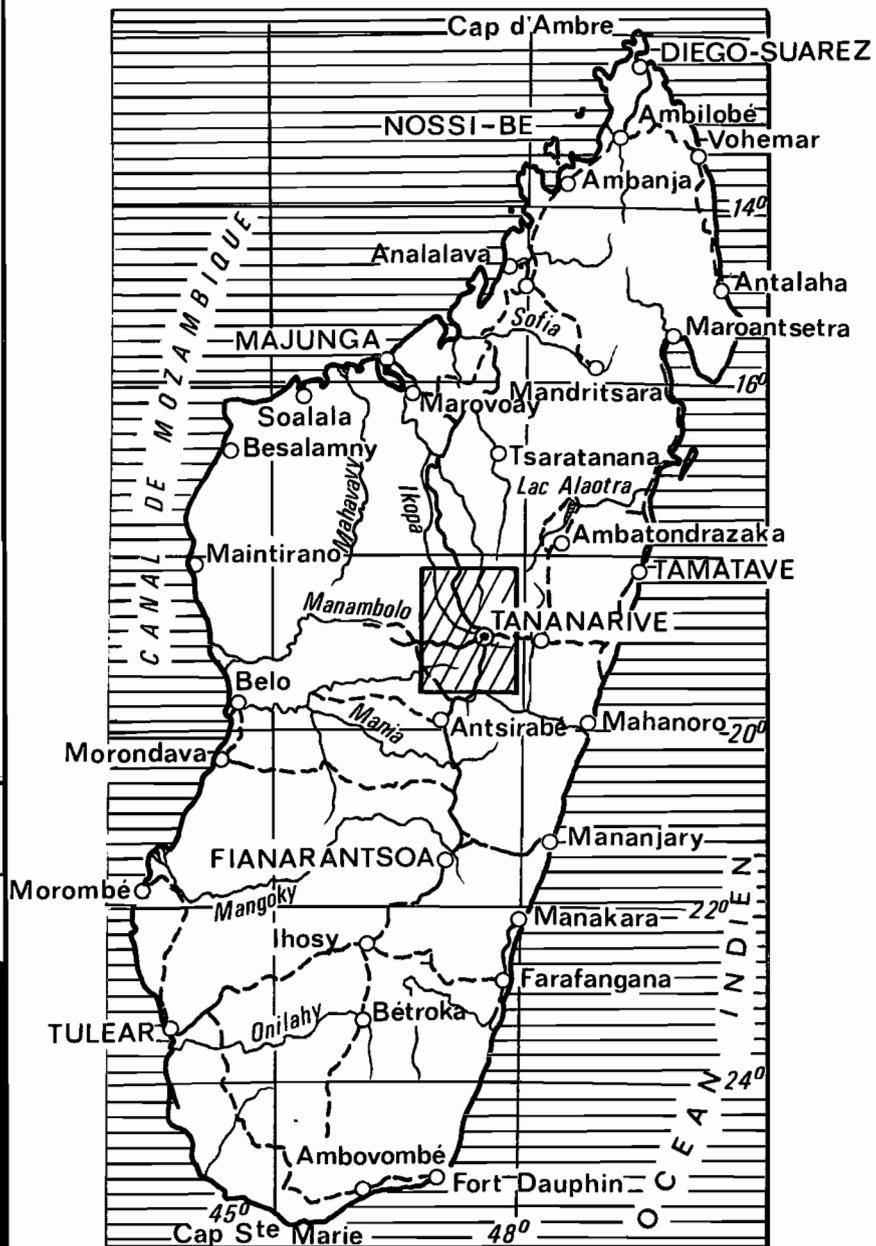
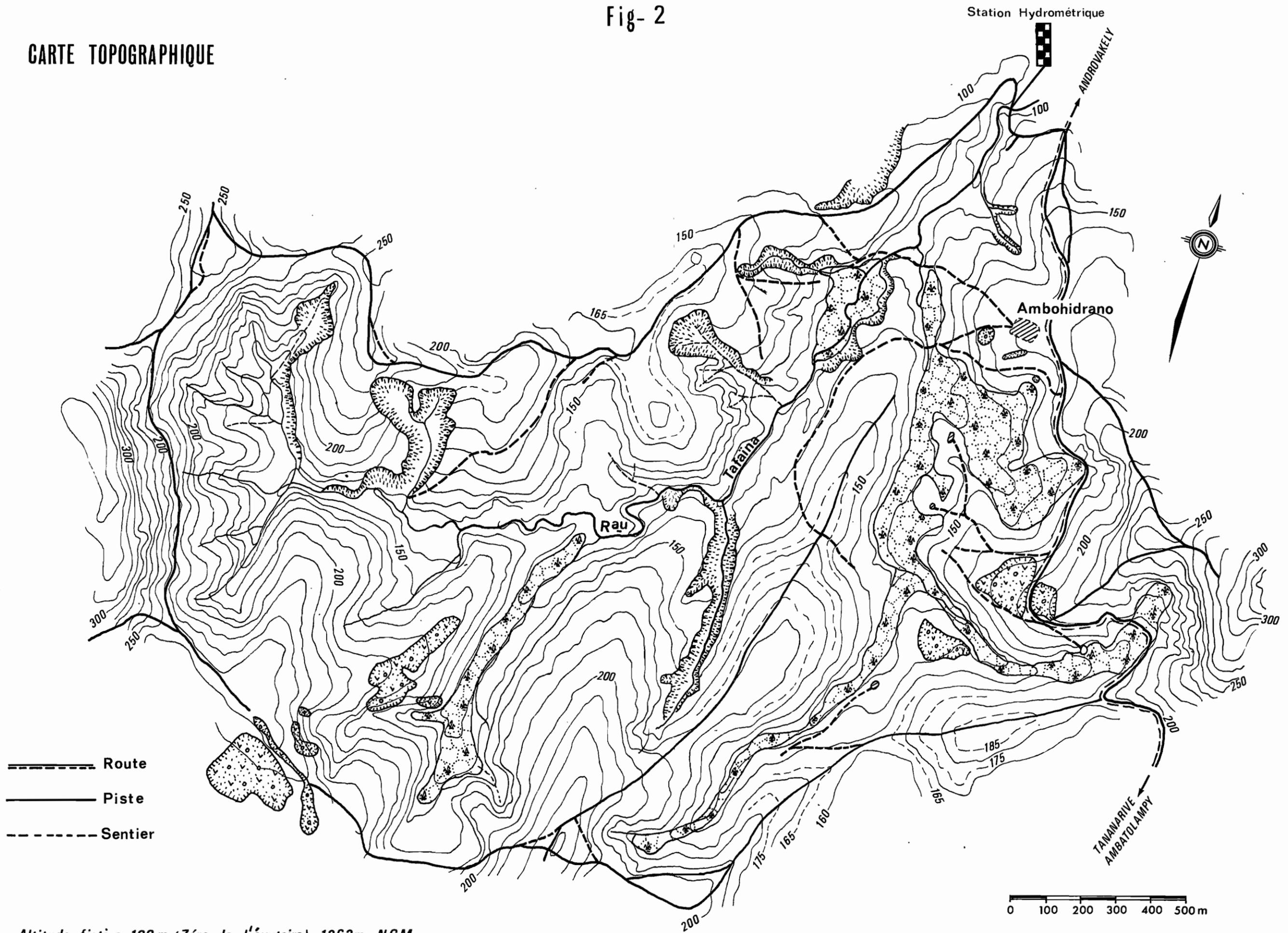


Fig - 1

Fig- 2

CARTE TOPOGRAPHIQUE



Altitude fictive 100 m (Zéro de l'exutoire) 1363m NGM

- le relief qui est caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin (fig. 3) et la répartition hypsométrique, pourcentage de la surface comprise entre les différentes courbes de niveau :

altitude minimale, zéro de l'exutoire : 1363 m NGM
ou 100 m (alt. fictive)

altitude maximale : 1608 m NGM
ou 345 m (alt. fictive)

altitude de 50 % du bassin : $H = 1530$ m NGM
50
ou 167 m (alt. fictive)

surface à plus de 300 m	: 1,02 %
surface entre 300m et 250 m	: 2,85 %
surface entre 250 m et 200 m	: 22,85 %
surface entre 200 m et 150 m	: 42,17 %
surface entre 150 m et 100 m	: 31,11 %

II.2.2. Caractères morphologiques

Le premier caractère morphologique, d'une importance capitale en ce qui concerne le bilan de l'eau, est l'étanchéité du bassin versant. Celle-ci est assurée par des limites structurales nettes sans communication avec les unités voisines et par la présence d'un seuil rocheux sain à l'exutoire.

Parmi les nombreux autres caractères morphologiques possibles, ceux présentés ici sont une sélection nous paraissant la plus apte à servir la synthèse hydrologique (4). Ils concernent en effet exclusivement le réseau hydrographique. Après le calcul des termes intermédiaires :

- l'ordre x des divers talwegs, la classification adoptée étant celle de HORTON, à savoir : un talweg élémentaire sans affluent est d'ordre 1, tout cours d'eau ayant un affluent d'ordre 1 est d'ordre 2, un affluent d'ordre x est d'ordre $x+1$ (fig. 4).

- le nombre N_x de cours d'eau d'ordre x .
- la longueur^x moyenne l_x des cours d'eau d'ordre x .

Nous avons déterminé les 3 caractères principaux suivants :

- 1) rapport de confluence R_c , rapport entre le nombre de cours d'eau d'ordre x et $(x+1)$
- 2) rapport de longueur R_l , rapport entre la longueur des cours d'eau d'ordre x et $(x + 1)$
- 3) densité de drainage D_d , rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin.

Nombre d'affluents d'ordre	1	: 19	longueurs cumulées	:	3000 m			
"	"	"	2	: 8	"	"	:	4000 m
"	"	"	3	: 3	"	"	:	3600 m

Rivière principale : la TAFAINA longueur : 3200 m

Longueur totale des talwegs : 13.800 m

Rapport de confluence R_c . 2,61

Longueur moyenne des cours d'eau d'ordre	1	: 158 m					
"	"	"	"	"	"	2	: 500 m
"	"	"	"	"	"	3	: 200 m

Rapport de longueur R_l 2,66

Densité de drainage $D_d = 3,6$

II.3 Géologie

La nature du sol et du sous-sol peut être considéré comme un des facteurs les plus importants du régime d'une rivière. Elle intervient en effet sur tous les paramètres du bilan hydrologique :

- comme réceptacle de l'eau météorique qui ruissellera plus ou moins suivant sa perméabilité,
- comme réserve d'une partie de cette eau dans la zone non saturée,
- comme voie de transit pour l'alimentation des nappes,
- comme roche magasin pour les eaux souterraines

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF DE LA TAFAINA

HYPSOMETRIE

(Zéro relatif 100m)

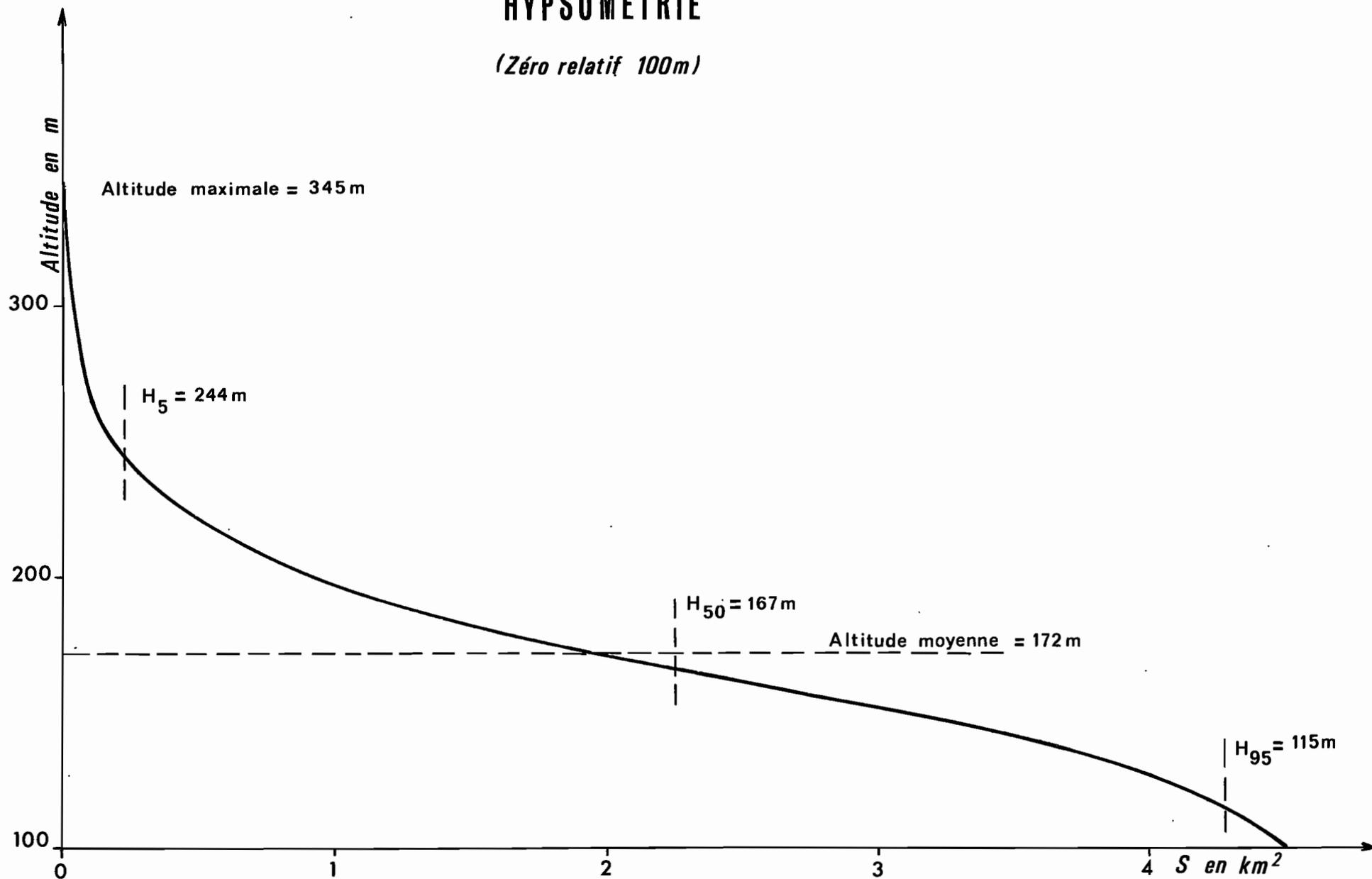
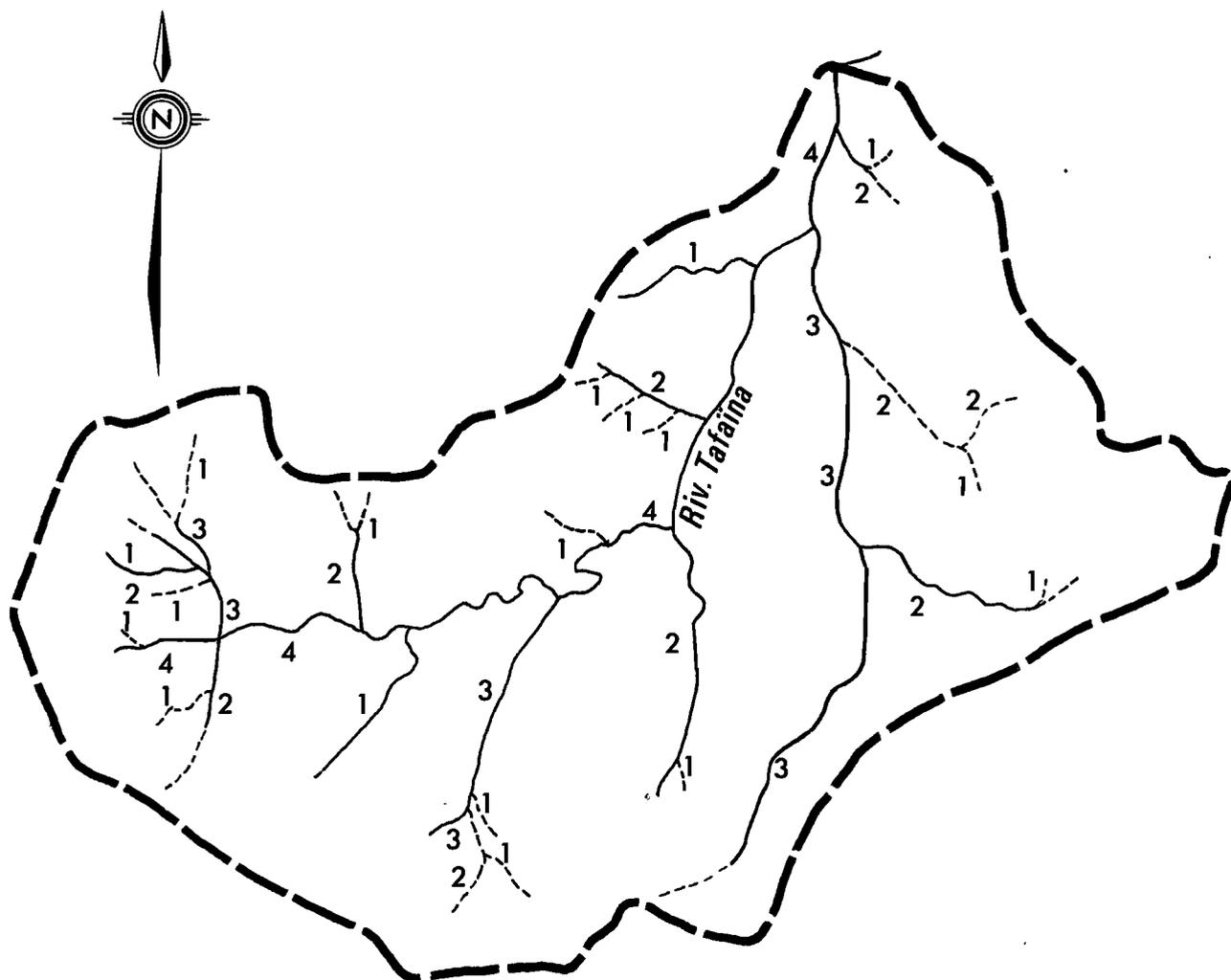


Fig-3

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Ordre des talwegs

Classification HORTON



- comme élément principal de la nature et du développement de la végétation, et par là donc capable de restituer une partie de ses réserves sous formes d'évapotranspiration. De plus, sous climat identique, la roche-mère est l'un des facteurs principaux de la pédogénèse.

Il est donc primordial, s'il y a hétérogénéité, de séparer les grandes unités qui, en dehors des facteurs topographie et végétation, vont réagir de la même façon aux éléments climatiques (fig. 5).

La partie Nord-Est est dominée par le "casque de BEHENJY" ou IHARANANDRIANA (1690 m) qui forme un petit massif elliptique qui s'étend sur 3 km du Nord au Sud et sur 1,5 km d'Est en Ouest. La crête est dissymétrique avec un versant Est très escarpé et un versant Ouest, vers le bassin, à pente beaucoup plus douce. Ce massif très particulier présente un spectaculaire système de joints, perpendiculaires à l'allongement et à la foliation. Il est composé d'un granite leucocrate orienté, à gros éléments ; en bordure, à l'extrême Est du Bassin, ce granite devient plus folié et se charge de minéraux colorés, biotite et amphibole. Il est bordé vers l'Est, le Nord et le Sud par une formation migmatitique dont les pendages plongent vers le centre du massif. Plus à l'Ouest on trouve la série de gneiss à graphite et des quartzites de la TAFAINA. Nous reprenons ci-après, plus en détail, la description des différentes formations (5, 6 et 7).

- Extrême Nord-Est : granite monzonitique de BEHENJY :

Du fait particulier de son gisement, le casque de BEHENJY a longtemps été considéré comme un batholite intrusif discordant. DE LUBAC pense cependant qu'il peut s'agir, en réalité, d'une lame de granite en synclinal perché, dont le flanc Ouest serait marqué par une grande fracture au-delà de laquelle réapparaîtraient les séries paragneissiques qui forment la bordure Ouest du bassin : migmatites fortement granitisées.

Du point de vue pétrographique le granite monzonitique comporte un feldspath, potassique, qui est soit l'orthose, soit dans ce cas le microcline, en association perthitique avec l'albite. Les lames minces montrent un quartz à extinctions roulantes, du microcline presque entièrement perthitique très prédominant sur une oligoclase rare. Les minéraux colorés, quasiment inexistantes sont la biotite, l'amphibole, la hornblende et la magnétite. A Lacroix (8) donne l'analyse chimique suivante :

Si	O ₂	77,00
Al ₂	O ₃	10,95
Fe ₂	O ₃	1,4
Fe	O	0,4
Mg	O	0,4
Ca	O	0,45
Na ₂	O	3,55
K ₂	O	4,50
Ti	O ₂	0,20
P ₂	O ₅	-
H ₂	O +	0,35
H ₂	O -	0,10
Total	=	99,30

- Partie Centre-Est : migmatites entourant le casque de BEHENJY

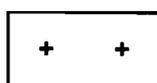
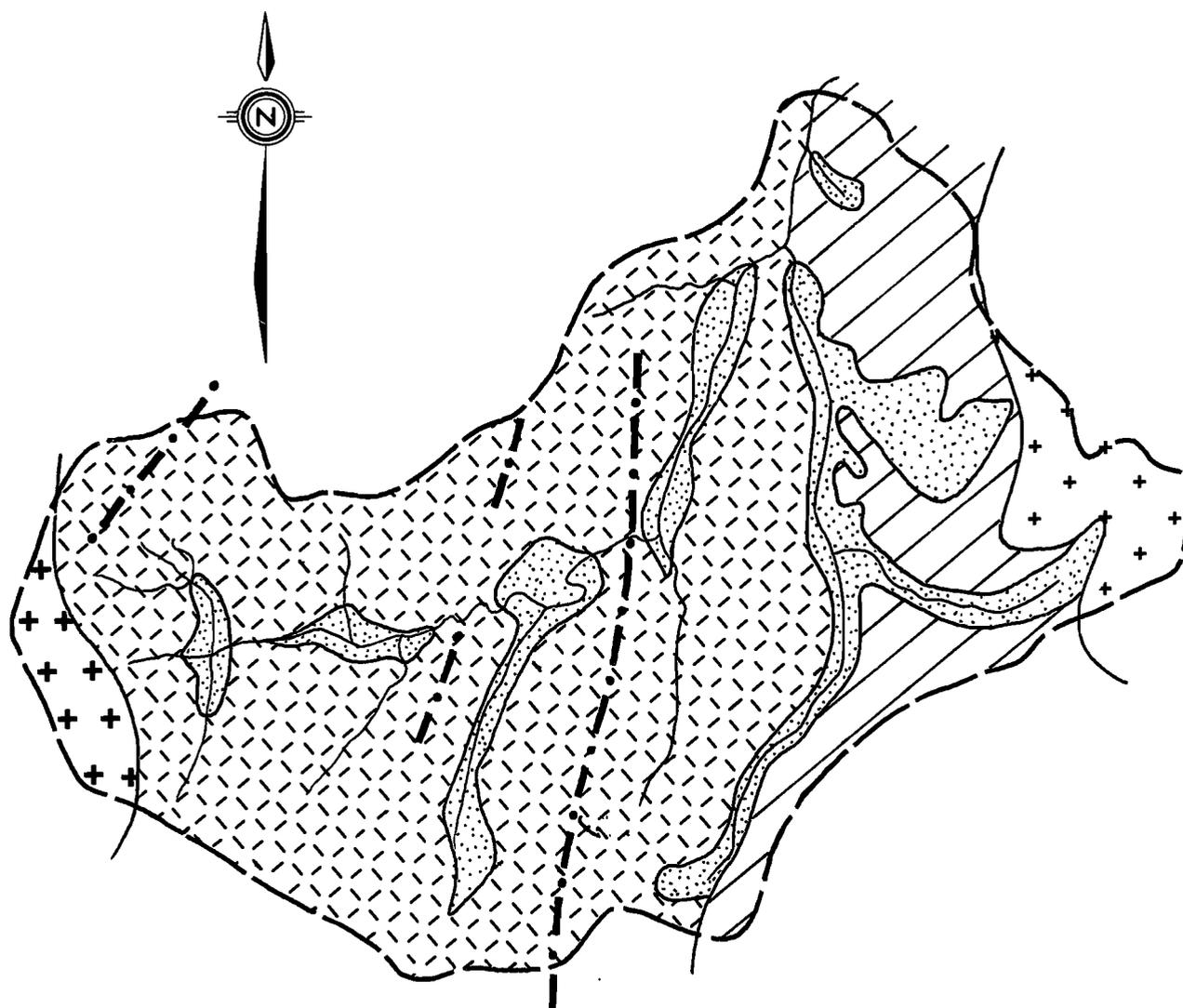
Ce sont des migmatites "lit par lit" ayant conservé une structure gneissique nette, avec des lits parallèles plus ou moins fins, continus, alternativement ferromagnésiens et quartzo-feldspathiques. Selon DE LUBAC ces migmatites présentent fréquemment des faciès charnockitiques, mais nous n'en avons pas trouvé sur le bassin. Elles renferment l'association : quartz, microcline, oligoclase, biotite et apatite. Les quartz ont un double aspect : en grandes plages et en petits cristaux. La structure est granoblastique, avec envahissement par des veinules de quartz et de microcline quadrillé qui semblent s'insinuer entre les cristaux. Les contacts microcline-plagioclase prennent parfois des formes très irrégulières et les cristaux sont imbriqués en "jeu de patience".

- Partie Centre-Ouest : Paragneiss, gneiss à graphite et quartzites de la TAFAINA

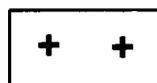
Ces séries correspondent aux anciennes formations sédimentaires du système du graphite, métamorphosées lors du cycle majeur de 2.600 M d'années. Elles sont facilement attaquées par la latéritisation ce qui se traduit sur le terrain par des

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Carte géologique



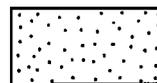
Granite de Behenjy



Granite migmatitique



Gneiss, paragneiss



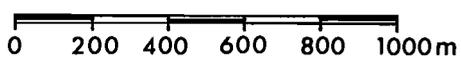
Alluvions, dépôts récents



Migmatites



Bancs de quartzites



collines du relief assez mou mais aux flancs profondément entaillés par des "lavaka" (énormes saignées érosives) où les bancs de quartzites donnent des crêtes à relief accentué. Les affleurements sont rares mais on en trouve quelques uns dans le lit des rivières ; on y a reconnu des roches diverses : quartzites bien sûr, mais également micaschistes gneiss et amphibolites.

La TAFAINA et ses affluents ont été autrefois exploités pour l'or : des tranchées sont encore visibles aux alentours de l'exutoire. Un peu plus en aval des fouilles importantes ont été faites dans un banc de gneiss à graphite, sillimanite et grenats, banc invisible ailleurs sur le bassin.

Dans l'éventualité d'une fabrication de silico-chrome, des examens minéralogiques ont été effectués par le Service Géologique sur les quartzites du bassin versant qui sont essentiellement quartzeux (banc de l'ANKAROAKA).

- Aw 1304 - Quartzite à gros grains avec un peu muscovite. Pas de minéraux noirs mais certaines zones sont teintées dans la masse par l'oxyde ferrique.
- Aw 1305 - Quartzite à grains moyens avec lamelles de mica vert clair (muscovite ou fuchsite.) Pas de minéraux noirs. Les parties superficielles de certains fragments sont colorées par l'oxyde ferrique.
- Aw 1306 - Quartzite à grains moyens avec un peu de biotite et de muscovite, et des mouches de limonite provenant de l'oxydation de pyrite.

Un sondage dans les quartzites, pour l'installation d'un piézomètre, a été effectué en Décembre 1968. Il a atteint 40 m de profondeur. Nous en donnons la description à la fig. 6.

- Extrême Ouest : migmatites granitoïdes et granites migmatitiques

Cette série est moins sensible à la latéritisation que la série paragneissique, aussi son relief est plus accentué (point culminant du bassin : 1608 m). Les migmatites sont leucocrates avec un alignement discontinu des minéraux colorés indiquant une schistosité encore nette mais moins régulière que la schistosité gneissique ou rubanée. Par endroit cette schistosité disparaît bien qu'il subsiste encore une certaine orientation : le caractère devient granitique. Ces deux types de roches sont étroitement associés et très proches l'un de l'autre tant par la constitution minéralogique que par la structure. Nous avons observé sur place des enclaves d'amphibolites, d'amphiboloschistes et de minces filons de granite à biotite finement grenu. En deux endroits, nous avons également découvert des blocs de basalte, résidus des coulées de l'ANKARATRA. De structure fluidale, la

pâte composée de microlites de plagioclase entoure des phénocristaux d'olivine avec quelques rares pyroxènes.

En définitive, ce bassin présente une certaine hétérogénéité mais les hauteurs bordières : granite de BEHENJY et granite migmatitique occupent un territoire restreint par rapport aux deux grands ensembles centraux : migmatites et gneiss qui forment une zone déprimée.

II.4. Morphologie et pédologie

Le processus prédominant du modelé et de l'évolution des versants et des interfluves semble être le "lavaka". Ces formes d'érosion communes à MADAGASCAR et caractérisées par des entailles spectaculaires sur les flancs des collines, sont un agent normal d'évolution en zone cristalline constituée de roches tendres donnant un manteau d'altération suffisant pour déclencher le phénomène. F. BOURGEAT et M. PETIT (9) ont procédé à une étude détaillée de la région dans le but d'établir des corrélations entre les "lavaka" et la formation de terrasses, les premiers ayant été l'agent d'alimentation des secondes. Nous donnons ci-après le schéma qu'ils présentent :

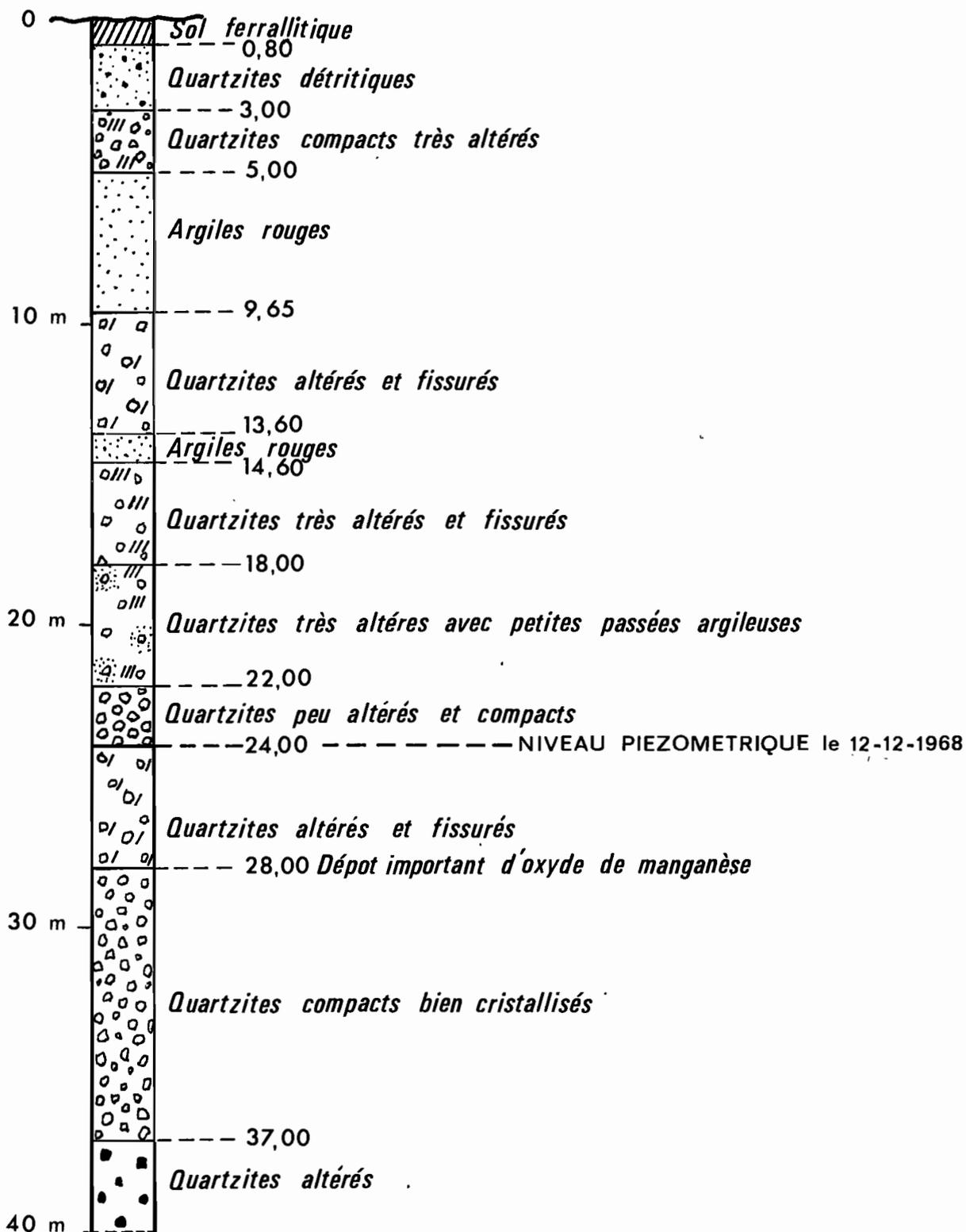
- 1) Formation d'une surface fondamentale dominée par des reliefs résiduels provenant de la dégradation d'une ancienne surface indéterminable localement,
- 2) Encaissement du système hydrographique (existence d'une couverture forestière liée à l'atténuation de la saison sèche ? La formation naturelle et actuelle à Tapia peut constituer un élément positif dans le sens de cette hypothèse),
- 3) Formation de la haute terrasse et première génération de lavaka : exagération de la saison sèche, déforestation,
- 4) Encaissement du système hydrographique, défoncement de la haute terrasse,
- 5) Formation de la terrasse moyenne, deuxième génération de lavaka moins développé et moins généralisé,
- 6) Phase colluviale et reprise de l'érosion avec dégagement de la terrasse moyenne. Multiplication des lavaka actuels, liée en partie à l'intervention humaine qui amplifie la tendance agressive du climat par accentuation de la saison sèche (déforestation naturelle et anthropique conjuguée).

Ce schéma d'ensemble est réduit en ce qui concerne le bassin versant proprement dit. On retrouve :

- les reliefs résiduels formés par le matériel le plus dur : casque de BENHENJY et bordure occidentale,

Forage dans les quartzites (puits n° 29)

Esquisse de la coupe géologique



- Les vestiges d'une basse surface d'aplanissement, calés contre les reliefs résiduels,

- les versants amonts, à relief heurté, façonnés par une succession de niches, cicatrices d'anciens lavaka,

- La haute terrasse, située à la base de ces versants et constituée par des éléments quartzitiques grossiers, parfois cuirassés,

- quelques lambeaux de terrasse moyenne à la confluence de la TAFAINA et de son affluent principal de rive droite,

- de nombreux lavaka actuels, actifs ou en formation.

Les sols du bassin vont être le reflet tout à la fois :

- de la roche-mère : lithosols et sols rajeunis sur granite de BEHENJY et granite de migmatitique, sols profonds dans la zone centrale migmato-gneissique (sauf les regosols des bancs de quartzites),

- des manifestations importantes de l'érosion et du remaniement : sols tronqués sur les reliefs résiduels à fortes pentes, remaniés avec stone-line plus ou moins profonde pour les interfluves et les versants équilibrés.

Pour les sols des bas-fonds et particulièrement des rizières, l'hydromorphie devient le principal facteur d'évolution, ses manifestations les plus extrêmes étant les sols à pseudo - gley.

La figure 7 représente la carte pédologique du bassin versant, les sols et les unités pédologiques étant décrits ci-après (10) :

1°) Les sols minéraux bruts

Ils appartiennent tous au sous-groupe des lithosols. La roche-mère est mise à nu par l'érosion. On trouve ces sols en complexe avec des sols pénévulés sur des reliefs résiduels granitiques et de migmatites granitoïdes.

2°) Les sols peu évolués

Ce sont des sols regosoliques formés sur quartzites. Celles-ci très résistantes à l'altération, se fissurent. Quelques poches altérées peuvent se manifester par endroits. Le profil est du type A-C. L'horizon A, humifère, épais de quelques centimètres, est bien structuré, poreux. La proportion de morceaux de quartzites est toujours élevée. L'horizon C est constitué par des quartzites fissurées.

3) Les sols ferrallitiques

Ils appartiennent tous à la sous-classe des sols fortement désaturés. Deux groupes ont été distingués : les sols remaniés et les sols pénévlués.

a) Les sols remaniés

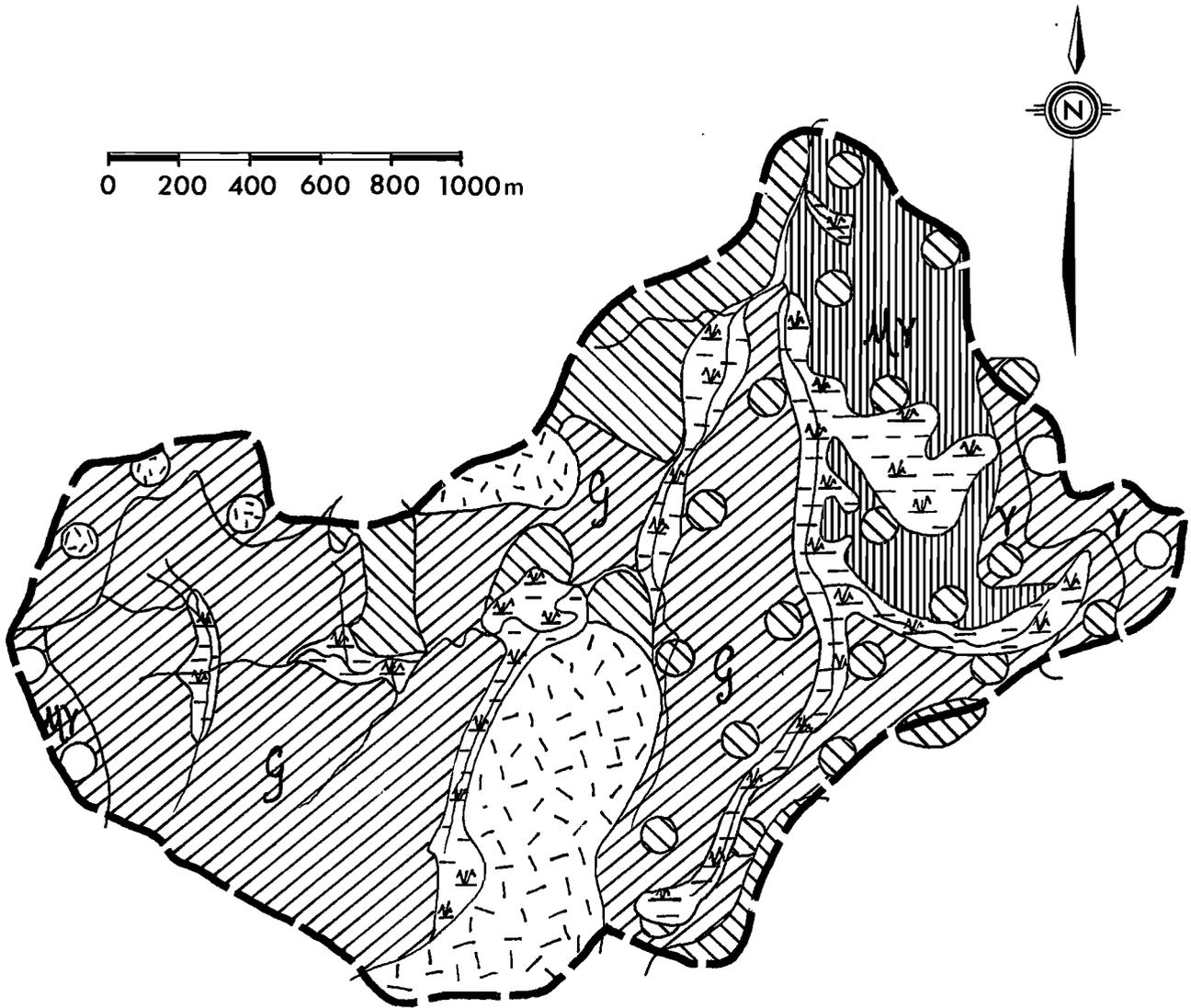
possèdent une "stone-line". Les minéraux primaires apparaissent dans le profil à une trentaine de centimètres ou juste en-dessous de cette stone-line ; l'épaisseur du recouvrement au-dessus de celle-ci permet de classer les sols dans le sous-groupe des sols remaniés modaux ou dans celui des sols remaniés pénévlués.

a-1- Les sols remaniés modaux : les minéraux primaires apparaissent à plus de 60 cm de profondeur, c'est-à-dire que le recouvrement au-dessus de la stone-line présente une épaisseur généralement supérieure à 50 ou 60 cm. Un exemple de profil type de ce sol est fourni par le sol I situé près de la station météorologique du bassin versant. Celle-ci est installée au niveau de raccordement du versant et d'alluvions anciennes. La stone-line se trouve entre 80 et 120 cm, elle est constituée de blocs de quartz anguleux et de quartz roulés. La morphologie du profil est :

- 0-10 cm : Horizon brun rouge humifère
Limono-argilo-sableux
Structure grumeleuse moyenne peu friable
très poreux
Bon enracinement
- 10-60 cm : Horizon rouge
Limono-argilo-sableux devenant limono-sableux en profondeur
Structure continue. Le sol est assez compact en place
Porosité tubulaire assez forte
Enracinement faible
Passage irrégulier avec l'horizon inférieur
- 60-90 cm : Horizon brun jaune
Limono-sableux
Structure continue secondairement particulaire, peu compacte en place
Porosité tubulaire
- 90-120 cm : Stone-line constituée d'un lit irrégulier de blocs de quartz anguleux ou arrondis
- 120-200 cm : Horizon rouge
Sablo-limoneux, très riche en morceaux de quartz
Structure continue peu friable
Porosité tubulaire très forte
Pas de racines

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Carte pédologique



CLASSE	SOUS - CLASSE	GROUPE	SOUS-GROUPE	ROCHE-MERE
Sols minéraux bruts	Origine non climatique	d'érosion	lithosols	Y = Granite G = Gneiss MY = Migmatite granitoïde ○ = COMPLEXE
Sols peu évolués	Origine non climatique	d'érosion	régosolique	
Sols ferrallitiques	Fortement désaturé	remanié	modal	
Sols ferrallitiques	Fortement désaturé	remanié	pénévolué	
Sols ferrallitiques	Fortement désaturé	pénévolué	avec érosion	
Sols hydromorphes	Peu humifères	à pseudogley	tacheté	

Le sol II situé à une cinquantaine de mètres au nord du profil I, présente une stone-line beaucoup plus dense; une discontinuité dans les caractéristiques hydriques (évaporation-infiltration) doit se manifester à son niveau.

Les sols remaniés modaux sont situés sur les versants équilibrés (nord-ouest du bassin versant) et dans les zones à relief de croupes d'interfluve au nord-est et à l'est du bassin versant, en association avec des sols remaniés pénévulés et des sols pénévulés d'érosion.

a- 2- Les sols remaniés pénévulés : Le recouvrement au-dessus de la stone-line est peu épais (souvent inférieur à 30 cm). Compte tenu de ce fait, le profil est semblable à celui des sols remaniés modaux. Ces sols sont situés en complexe avec les précédents dans la zone d'interfluve de l'est du bassin versant.

c) Les sols pénévulés ne possèdent pas de stone-line. Ce sont des sols qui ont été profondément rajeunis par l'érosion. Sur granite, la troncature du profil a atteint l'horizon C, la zone de départ affleure ainsi en surface. Sur migmatites et gneiss, l'horizon C n'est pas toujours atteint, le profil peut être comparé à celui d'un sol remanié tronqué légèrement en dessous de la stone-line. Ces sols sont situés sur les reliefs de rajeunissement du sud-ouest du bassin versant et en complexe avec des sols remaniés typiques du sud-est. Dans ce second cas, la troncature s'est faite juste au niveau de la stone-line qui apparaît de temps en temps en surface du sol (sur les replats les sols remaniés typiques dominant).

4°) Les sols hydromorphes.

Ils forment la totalité des rizières ou des bas-fonds non cultivés, et sont à rattacher aux sols peu humifères, à pseudogley, tachetés. De la tête à l'aval du thalweg, l'évolution des propriétés des sols se fait de la façon suivante :

1 - Augmentation du pourcentage des éléments fins : la texture passe de sableuse (les sols de rizière en tête de thalweg sont pour la plupart, taillés dans la zone de départ de sols ferrallitiques), à limono-argileuse;

2 - Augmentation du pourcentage de taches dues à l'hydromorphie.

Mis à part les sols minéraux, régosoliques et hydromorphes, qui occupent une faible superficie, les sols les plus caractéristiques sont les sols ferrallitiques très désaturés. La distinction originelle migmatites-gneiss ne joue plus et les propriétés physiques et chimiques des zones de départ, toutes situées à moins d'un mètre en-dessous de la stone-line, sont peu différentes.

II.5. Végétation

Le climat de cette région est représenté par la végétation caractéristique des Bois de "Tapias" (*Uapaca bojeri*) des pentes occidentales de H. HUMBERT. Il en reste d'ailleurs un témoin abîmé au Nord (en dehors de la zone étudiée) et composé principalement :

- d'une strate arborée assez fournie avec : *Uapaca bojeri* ("Tapias" : Euphorbiacées), *Cussonia bojeri* (Araliacés) *Rhus taratana* (Anacardiacés), *Sarcocollaena oblongifolia* (Chlaenacées), *Leptolaena* (Chlaenacées), *Agauria salicifolia* (Ericacées).

- de quelques plantes de sous-bois : *Senecio* (composées) *Philippia* (Ericacées), *Vernonia* (Composées), *Psiadia* (Composées)

- et de quelques graminées éparses (*Loudetia*, *Trachypogon*).

Ce témoin se maintient actuellement en équilibre grâce à une accalmie locale dans le régime des feux de la dernière décennie qui permet la réussite des germinations. Quelques rares individus isolés de "Tapias" et *Cussonia bojeri*, plus au sud, témoignent d'une plus grande expansion de ces formations boisées dans un passé récent.

La végétation actuelle (fig 8) modifiée par les feux et les actions anthropiques est essentiellement représentée par une savane herbeuse basse dégradée, de composition floristique variable selon la position topographique.

1°/ - L. Savane Herbeuse à *Aristida multicaulis* (Graminées) et *Ctenium concinum* (Graminées)

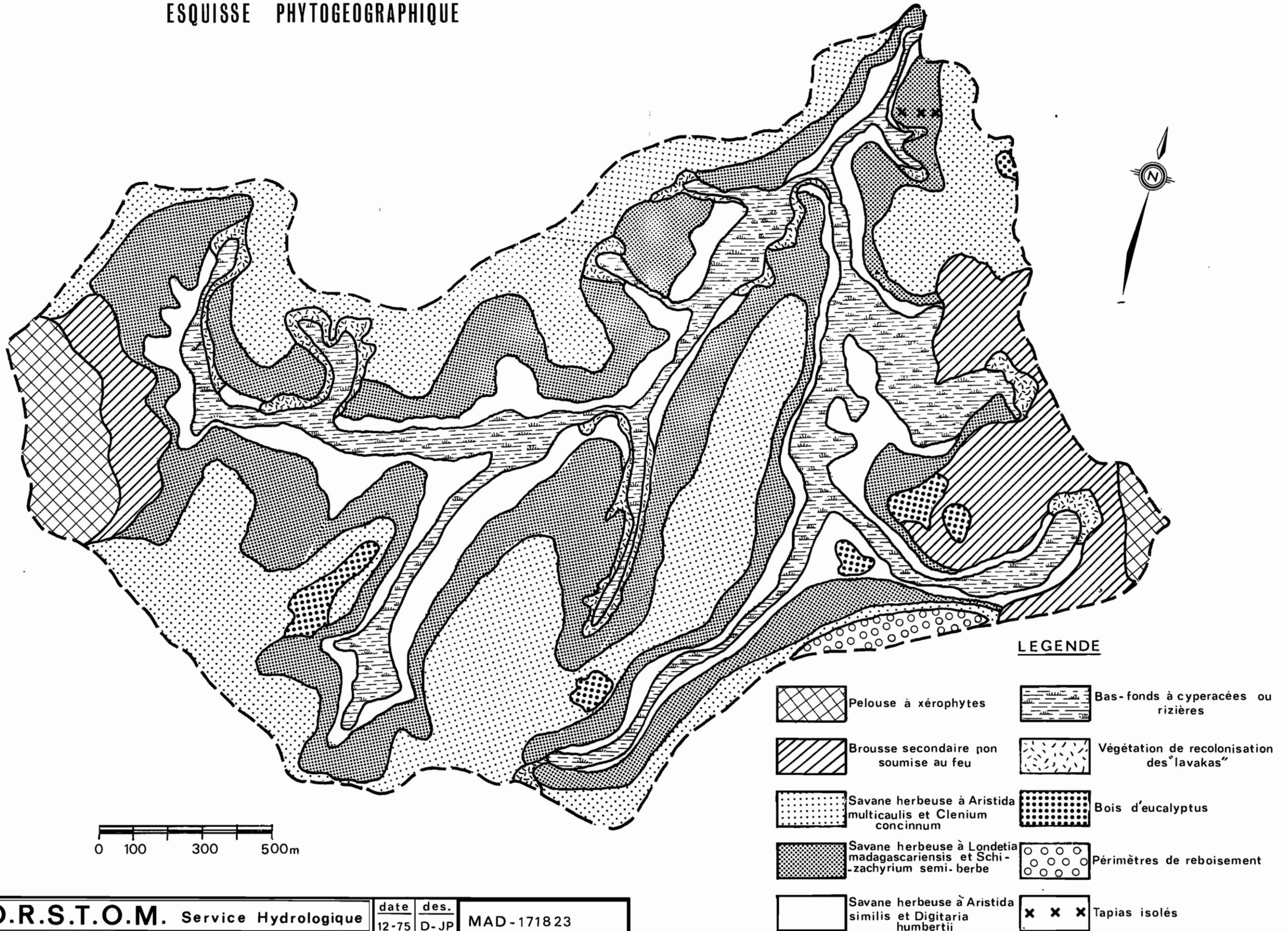
Elle est très bien représentée sur les sommets de "tanety". C'est une végétation basse, clairsemée, à graminées surtout cespiteuses. Ces formations brûlent en moyenne une fois tous les 2 ou 3 ans aussi la couverture y-est-elle faible, de l'ordre de 30 - 35 %.

Les espèces compagnes les plus fréquentes y sont :

Cymbopogon plicatus (Graminées)
Trachypogon polymorphus (Graminées)
Hypparrhenia lecomtèi -"
Digitaria longiflora -"
Panicum sp. -"
Emilia graminea (Composées)
Elephantopus scaber -"
et quelques *Helichrysum gymnocephalum* (Composées)

Fig-8

ESQUISSE PHYTOGEOGRAPHIQUE



2°/ - La Savane Herbeuse à Loudetia madagascariensis et Schizachrium semi-herbe

Localisée sur les pentes où l'érosion se traduit par de grandes plaques dénudées et parsemées, en surface, de cailloux de quartz. La couverture tombe en moyenne à 10% et la hauteur de la strate herbacée y est plus faible.

On y trouve aussi
Tachiadenus longiflorus (gentianacées)
Rhademea sp (Scrophulariacées)
Vernonia sp (Composées)

3°/ - La Savane Herbeuse à Aristida similis (Graminées) Aristida multicaulis (Graminées) et Digitaria humbertii (Graminées)

Sur les colluvions de bas de pente. La richesse relative de ces sols se traduit par une couverture de 80 à 100 % et les espèces y sont plus variées :

Aristida multicaulis (Graminées)
Aristida similis "-"
Digitaria humbertii "-"
Digitaria longiflora "-"
Sarcobotrya strigosa (Papilionacées)
Dianella ensifolia (Liliacées)
Aristea (Iridacées)
Helichrysum gymnocephalum (Composées) plus fourni et plus nombreux que sur les pentes
Pteris aquilina etc... (Polypodiacées)

La transition avec la terrasse alluviale (où sont localisées les cultures de Manioc) se fait par une ceinture haute et dense d'Hyparrhenia rufa (Graminées).

Signalons comme adventice des cultures : Ageratum conyzoides (Composées) et Rhynchelytrum repens (Graminées)

4°/ - La Végétation des Bas-fonds

Quand ils ne sont pas mis en culture (Riz), ces bas-fonds portent une végétation marécageuse à Cyperacées :

Kyllingia cylindrica
K. intricata
Cyperus aequalis
Scirpus cernuus
Mariscus fallax
Mariscus decaryi

Eleocharis minuta
Fimbristylis diphylla
Pycnus polystachyus
 "- *antsirabensis*
 "- *ferrugineus*
et de *Setaria pallide - fusca* (Graminées)
Echinochloa colonum
Xyris semi-fuscata (Xyridacées).

Mais la plus part du temps ces bas-fonds ont été aménagés en rizières. Les adventices poussant dans l'eau sont :

Leersia hexandra (Graminées)
et *Potamogeton javanicus* (Potamogetonacées)

Les diguettes sont recouvertes de :

Cynodon dactylon (Graminées)
Sacciolepis africana "-
Andropogon eucomus "-
Trichopteryx dregeana "-
Desmodium sp (Papilionacées)
Euphorbia hirta (Euphorbiacées)
Antherotoma naudini (Melostomacées)
Eragrostis atrovirens (Graminées)
Eragrostis tenuifolia "-
et quelques rares *Hyparrhenia rufa* (Graminées)

Sur les bords des fossés de rivières survivent quelques rares arbustes des formations secondaires : *Harunga madagascariensis* (Hypéricacées) ainsi que quelques Géophytes : *Disa incarnata* (Orchidées) et de nombreux *Cynorkis* (Orchidées)

5° / - Une mention spéciale doit être faite au versant Sud-Ouest du casque de BEHENJY situé en contre-bas de la route. Ce versant sans doute protégé des feux par la route et des vents dominants par le relief qui culmine à 1690 m, est actuellement en train de réembroussailler. Le tapis graminéen encore représenté par quelques touffes d'*Aristida similis* (Graminées) est entièrement étouffé par les *Philippia* (3 sp, Ericacées), le *Pteris aquilina* (Polypodiacées) *Helichrysum gymnocephalum* (Composées)
Helichrysum triplinerva "-
Vernonia sp etc...

Cette brousse secondaire à *Philippia* portée par ce versant non soumis aux feux démontre la vocation forestière de l'ensemble.

6°/ - Il existe un autre type de végétation liée de façon stricte à un type de substrat. C'est la végétation des rochers qui affleurent (surtout localisés dans la partie Ouest) encore appelée par Perrier la Pelouse à xerophytes. C'est la formation la moins dégradée (car protégé des feux par l'absence de graminées) et la plus spécialisée par la variété de ses caractères adaptatifs. Les types biologiques dominant sont les Chamaephytes succulents ou les Géophytes :

Kalanchoca pinnata	(Grassulacées)
Kalanchoe pumila	"
Aloe deltoideodonta	(Liliacées)
Aloe adecassa	"
Aerangis cryptodon	(Orchidées)
Jumellea sp	"
Gynanchum perreiri	(Asclepiadacées)
Peperomia sp etc...	(Piperacées)

Là ou une barrière rocheuse renfermant un peu d'humus est suffisante pour protéger des feux, une végétation arbustive relictuelle subsiste. Celle-ci se compose de :

Cussonia bojeri (Araliacées)
Psychotria (Rubiacees)
Erytroxylon (Erythroxylicées)
Eugenia (Myrtacées),
Vaccinium (Vacciniacées)
Agauria (Ericacées), Mundulea (Papilionacées) mêlées de Philippia (Ericacées), Smilax (Liliacées) Vernonia trinervis (Composées)

Entre les affleurements rocheux, quand la topographie le permet, existent de véritables prairies rases et humides à Aristida et Cyperacées liées à des nappes suspendues.

7°/ - Enfin signalons un dernier type de végétation en plein dynamisme :
La végétation de recolonisation des lavakas.

Les pentes stabilisées et presque verticales de ces lavakas sont colonisées par le Pteris aquilina et une graminée : Melinis minutiflora précédant l'installation de Philippia (Ericacées), Helichrysum (Composées) et Grotalaria (Papilionacées).

Si le réembuisonnement y semble se faire facilement et rapidement, il n'a pas de caractère définitif, l'évolution peut reprendre en sens inverse selon le degré d'érosion lié à la pluviosité annuelle. Aussi le réemboisement, stade ultime, est-il rarement atteint. Seuls quelques individus isolés de Trema orientalis (Ulmacées) et Psiadia (Composées) existent dans les fonds, sur les pentes les moins fortes.

8°/ - En dernier lieu, signalons la présence de bois et de périmètres de reboisements en Eucalyptus, généralement de petites dimensions entrepris par les paysans. Tous les deux ou trois ans, les arbres sont régulièrement coupés et servent à la fabrication de charbon de bois, source de revenus secondaire mais substantielle.

La végétation caractéristique est donc la savane herbeuse ou "bozaka". Cette végétation de faible biomasse et d'anracinement assez superficiel doit avoir une influence relativement réduite. Son rôle s'exerce principalement entre Décembre et Avril, avec un maximum situé à l'optimum de végétation, fin mars ; l'évapotranspiration est alors importante et la densité du tapis végétal peut être un frein pour le ruissellement.

L'aménagement des bas-fonds marécageux et des alluvions récentes, transformés pour la plupart en rizières, est également caractéristique et représentatif de la région. Cette mise en culture jouera un rôle certain en saison chaude lors des faibles ruissellements qui sont alors perturbés, soit par le stockage dans les rizières, soit par la vidange des eaux excédentaires. Au cours de la saison fraîche ces grandes zones humides sont aussi prédisposées à l'évaporation et à l'évapotranspiration; leur rôle ne doit pas être négligeable dans les fluctuations diurnes observées sur le débit de base.

II.6. Climatologie

Après avoir défini le type de climat régnant sur l'Ile de Madagascar en général puis sur le bassin versant, nous consacrerons un paragraphe à l'étude de la pluviométrie

II.6.1. Caractéristiques générales du climat

D'une manière générale, l'Ile de Madagascar est soumise au climat tropical austral. Ce dernier est provoqué par 2 centres d'action principaux : d'une part la zone de basse pression intertropicale, et d'autre part la cellule océanique semi-permanente de hautes pressions située en moyenne au Sud des Mascareignes. Ces centres d'action provoquent les vents qui soufflent de l'Est et, pendant l'été austral, les vents du Nord-Ouest (II). La translation méridienne de la zone de basse pression intertropicale crée deux saisons nettement différenciées: une saison chaude et humide de novembre à mars et une saison froide et relativement sèche d'avril à octobre.

II.6.2. Climatologie du bassin versant

L'équipement climatologique, très complet sauf en ce qui concerne l'inso-lation, est décrit au chapitre III. La période d'observations est suffisamment longue pour ne pas avoir à faire appel à une station extérieure au bassin. On dispose en effet :

- de 9 années (octobre 1962 à novembre 1971) pour :

La pluviométrie - les températures - l'humidité relative - le vent

L'évaporation Piche - l'évaporation sur bac de classe A
l'évaporation sur bac carré type ORSTOM

- de 4 années (octobre 1967 à novembre 1971) pour :

L'évapotranspiration potentielle sur 2 bacs de 2 m² avec couverture de
digitaria decumbens, type ROCHE,

L'évapotranspiration sur bacs lysimétriques de 4 m² avec couverture
en savane herbeuse naturelle, type INR,

On trouvera c-après le tableau N°1 comparant les mesures obtenues sur bacs ROCHE et INRA. On remarquera une très nette évolution dans les résultats des bacs INRA et, en particulier les deux dernières années sont manifestement déficitaires et il est difficile d'en tenir compte. Ce déficit doit être imputé au mode de drainage. En effet, en dehors d'une pluviométrie suffisante, les bacs étaient arrosés de 36 litres d'eau (4 arrosoirs de 9 litres) représentant 18 mm sur les bacs ROCHE et 9 mm sur les bacs INRA. Mais alors que dans le premier cas le drainage était continu, dans le deuxième cas l'eau n'était vidangée qu'une fois par jour à l'aide d'un robinet ; ceci a entraîné une transformation progressive du sol par hydromorphie. C'est la raison pour laquelle nous n'avons représenté que l'année 1967-68 sur la figure 9 qui compare, en regard des températures, les résultats de l'évaporation et de l'évapotranspiration obtenus avec les différents appareils.

Les tableaux N°2 à 10 résument les observations des années 1962-63 à 1970-71. Aussi nous nous contentons ici d'indiquer brièvement les caractéristiques des deux saisons, le climat tropical austral, bien que modifié par l'altitude, conservant ses caractères propres :

-La saison chaude ou été austral dure de novembre à mars. C'est une période d'instabilité orageuse au cours de laquelle on recueille environ 90% des précipitations. C'est également la période des cyclones tropicaux, de par la position géographique des hauts-plateaux ils n'intéressent qu'assez faiblement le bassin versant mais créent une augmentation de l'instabilité convective et de nombreux orages locaux. Les températures moyennes mensuelles sont voisines de 20° C avec des maxima journaliers de l'ordre de 30° C et des minima de 13 à 15° C.

L'hygrométrie moyenne varie aux alentours de 80 %, le maximum étant toujours proche de 100 % vers 06h et le minimum, voisin de 55 % en général, se situant vers 15h avant la précipitation. L'évaporation sur bacs ORSTOM et de classe A est forte : valeurs moyennes mensuelles supérieures à 4 mm et allant jusqu'à 6,8 mm avec des pointes journalières de 10 mm . L'évapotranspiration potentielle est également forte, de l'ordre de 4,5 mm mais dépassant parfois 6mm en février, au moment de la reprise de la végétation.

- La saison froide ou hiver austral dure d'avril à octobre. L'établissement des alizés du sud-est provoque un abaissement de la température se traduisant par des brouillards matinaux. Quelques précipitations de faible intensité mais pouvant durer plusieurs jours ont lieu de juin à août lorsque le régime des alizés est bien établi. C'est également la période la plus froide, certaines températures moyennes

mensuelles étant inférieures à 14° C et les températures extrêmes quotidiennes oscillant entre 5° C et 23° C. L'évaporation diminue très nettement jusqu'en août (valeurs mensuelles parfois inférieures à 2,5 mm) mais on note un regain à partir de septembre. Ce schéma est également suivi par l'évapotranspiration sur bacs

. Hormis l'année 1970-71 (valeurs excédentaires dues à une augmentation de la densité de la couverture végétale) la moyenne des valeurs de juin et juillet est de 1,1 mm alors qu'elle atteint 3,2 mm en septembre et octobre.

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Année 1967-1968

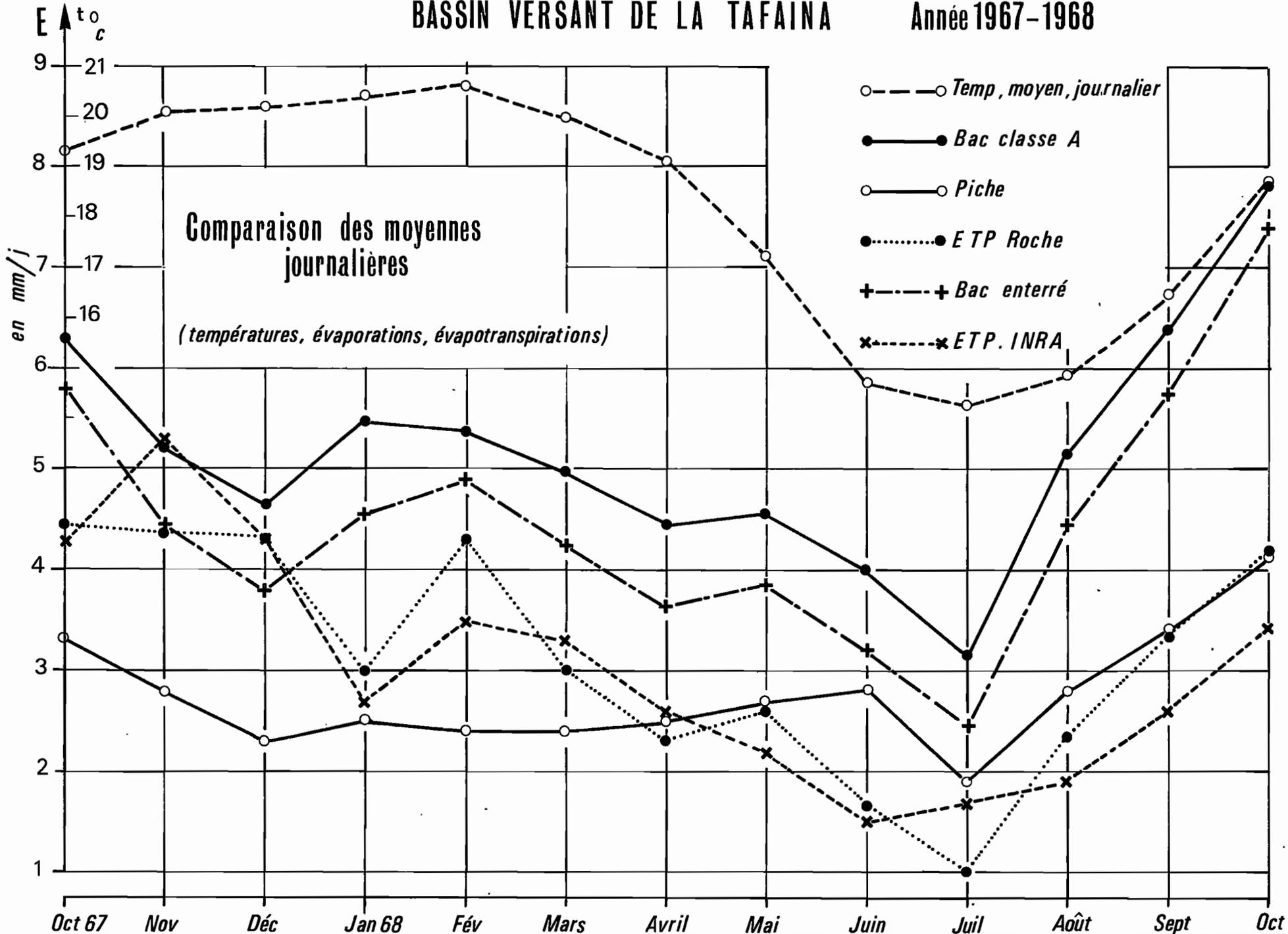


Fig-9

Tableau 1

COMPARAISON DES EVAPOTRANSPIRATIONS SUR COUVERTURE VEGETALE
NATURELLE ET SUR DIGITARIA DECUMBENS

(EN MM)

Mois	Année 1967-68		Année 1968-69		Année 1969-70		Année 1970-71	
	ETP ROCHE	BACS INRA						
N	4,35	5,3	6,35	4,1	5,57	2,6	3,12	3,0
D	4,30	4,3	4,26	5,5	5,36	4,3	4,19	2,7
J	2,95	2,7	3,02	3,2	1,77	3,7	5,43	-
F	4,30	3,5	4,19	3,4	7,75	3,2	7,80	1,1
M	3,00	3,3	3,78	3,6	2,99	3,7	2,37	2,4
A	2,35	2,6	3,62	2,7	4,59	2,8	3,49	3,0
M	2,64	2,2	1,92	2,3	2,89	2,4	6,54	2,8
J	1,65	1,5	0,86	2,3	0,80	2,1	5,02	2,9
J	0,99	1,7	1,71	2,5	0,54	2,0	4,85	2,2
A	2,35	1,9	1,53	2,6	0,85	2,1	3,12	2,9
S	3,35	2,6	2,96	2,9	2,28	2,7	4,02	2,5
O	4,17	3,4	2,53	5,1	3,70	3,7	3,22	2,8
Année	3,04	2,9	3,06	3,3	3,26	2,9	4,43	(2,6)

Tableau 2

RESUME CLIMATOLOGIQUE

AMBOHIDRANO - NORD

1962 - 1963

Mois	Pluie moy. à mm	Temp. moy. de l'air °C	Hum. moy. de l'air %	Vit. moy. du vent m/s	Evaporation Piche			Evaporation Bacs			Températ. moy. eau °C	Dist. Gun Bella ni mb	Défi- cit de satura- tion mb				
					Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.				Col °C	A °C		
																ORSTOM	Classe A
N	282,5	20,1	-	-	4,6	0,6	2,55	-	-	(4,5)	6,6	2,2	4,42	22,3	21,7	14,9	-
D	220,6	20,9	-	-	4,8	0,2	2,41	9,0	1,4	4,74	8,8	1,6	4,77	23,4	22,0	15,7	-
J	193,1	19,4	73,8	0,69	4,7	1,2	2,79	7,7	5,0	6,34	8,2	1,6	5,02	22,8	21,4	15,2	5,9
F	164,8	20,4	81,5	0,64	3,4	0,8	2,25	9,2	2,8	5,08	8,7	2,3	4,36	22,6	21,2	14,5	4,4
M	207,3	20,2	78,9	0,71	4,8	0,3	2,08	7,4	2,6	5,00	6,7	1,5	4,42	21,8	20,5	13,4	5,0
A	163,2	19,6	76,0	0,49	2,8	1,8	2,19	7,2	2,6	4,25	5,5	2,3	3,75	21,5	20,0	13,0	5,5
M	11,8	16,3	72,6	0,54	4,2	1,1	2,31	6,7	1,9	3,71	5,4	1,6	4,05	17,7	16,3	10,4	5,1
J	28,8	15,1	77,5	0,43	3,2	0,7	1,82	6,0	1,1	3,19	4,0	0,9	3,10	16,5	15,1	9,8	3,9
J	55,8	14,0	70,9	0,53	3,4	0,4	2,15	6,9	0,8	3,40	6,0	0,3	3,25	15,9	14,4	9,9	4,7
A	3,9	13,9	65,6	0,61	5,1	1,0	3,07	6,7	1,7	4,51	6,6	1,5	4,55	15,8	14,0	12,5	5,5
S	4,8	16,0	65,5	0,69	5,0	2,0	3,30	7,7	2,3	3,62	8,6	2,1	5,56	17,7	16,1	14,9	4,5
O	198,9	19,4	66,6	0,54	7,2	1,3	3,52	9,5	3,0	6,29	8,6	2,3	5,97	21,7	20,1	16,4	7,5
Totaux	1535,5						913,5			1662,73			1619,91				
Moy.		17,9	-	-			2,5			4,55			4,43	19,9	18,5	13,3	-

Tableau 3

RESUME CLIMATOLOGIQUE

AMBOHIDRANO - NORD

1963 - 1964

Mois	Pluie moy. à 1,50 mm	Temp. moy. de l'air °C	Hum. moy. de l'air %	Vit. moy. du vent m/s	Evaporation Piche			Evaporation Bacs			Températ. moy. eau °C	Dist. Gun Bella ni ml	Défi- cit de satura- tion mb				
					Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.				Col	A		
																mm	mm
N	138,8	19,3	78,3	10,620	6,4	0,8	2,38	10,0	11,5	14,62	18,1	11,5	14,40	21,2	19,9	13,7	4,9
D	346,8	20,4	80,9	10,580	4,5	0,8	2,37	18,1	11,9	14,96	17,1	12,1	14,39	23,3	22,0	14,6	4,6
J	160,1	20,0	78,8	10,543	5,6	0,9	2,88	18,50	2,85	16,37	17,78	10,88	15,80	23,7	21,9	16,3	4,96
F	322,1	21,7	85,8	10,450	5,5	1,0	2,47	19,00	2,75	15,88	17,61	10,88	15,29	24,4	22,5	15,3	3,69
M	165,8	20,4	85,7	10,644	5,3	0,5	2,42	18,40	1,80	4,86	16,63	11,76	14,67	22,9	21,2	12,8	3,43
A	6,5	18,9	83,8	10,589	4,3	1,4	2,40	16,25	2,75	5,02	15,92	13,53	14,69	21,3	19,5	13,6	3,54
M	14,6	16,4	85,5	10,539	3,5	1,2	2,27	16,50	1,50	3,40	15,92	11,06	13,71	18,4	16,4	11,7	2,71
J	41,6	15,0	87,6	10,476	3,0	0,8	1,60	13,80	0,50	2,29	14,42	10,88	13,04	16,7	15,2	-	2,12
J	42,7	13,9	84,0	10,734	1,6	0,2	0,79	14,70	0,50	2,52	14,51	10,88	13,08	15,1	14,1	-	2,55
A	5,3	14,4	81,9	10,650	2,6	0,4	1,17	16,20	0,70	4,03	15,75	11,06	14,09	16,5	14,7	-	2,97
S	6,0	16,0	85,3	10,741	5,4	0,5	1,95	19,20	2,50	5,82	18,14	12,47	15,52	17,6	16,2	-	2,68
O	55,6	18,0	79,6	10,679	5,3	0,7	1,13	19,50	1,75	6,32	18,40	11,76	16,10	19,7	18,2	-	4,21
O																	
To- taux	1305,9						787,60			1710,68			1670,79				
Moy.		17,9	83,1	0,604			2,15			4,67			4,57	20,1	18,5	-	3,53

Tableau 4

RESUME CLIMATOLOGIQUE

AMBOHIDRANO - NORD

1964 - 1965

Mois	Pluie moy. à 1,50 mm	Temp. moy. de l'air °C	Hum. moy. de l'air %	Vit. moy. du vent m/s	Evaporation Piche			Evaporation Bacs			Tempéra. moy. eau		Dist. Gun Bella ni ml	Défi- cit de satura- tion mb			
					Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	Moy.	Col	A					
															mm	mm	mm
N	211,3	20,6	83,2	0,541	5,9	1,3	3,22	8,50	2,80	5,52	8,49	2,21	5,64	22,3	20,9	-	4,08
D	312,0	20,2	83,3	0,526	4,3	0,5	2,30	7,50	1,00	4,58	7,69	2,83	5,09	22,4	21,2	-	3,96
J	404,6	20,1	86,3	0,713	4,9	0,5	2,01	7,50	0,20	3,82	7,96	0,48	4,62	22,4	21,5	-	3,11
F	290,6	20,8	83,9	0,530	3,5	0,5	2,16	7,00	1,45	4,35	7,56	2,21	5,28	23,6	22,6	-	3,96
M	192,6	19,1	80,2	0,640	3,4	1,0	1,95	6,30	1,25	3,66	7,52	1,50	4,39	21,4	20,6	-	4,38
A	87,3	18,9	74,2	0,513	3,2	1,0	2,45	6,00	2,65	4,34	5,53	3,09	4,73	21,6	20,9	-	5,64
M	0,9	16,2	69,8	0,594	4,2	1,7	2,62	5,50	3,00	4,19	5,30	3,09	4,33	18,3	17,6	-	5,56
J	2,0	14,6	73,3	0,502	4,5	1,4	2,67	5,45	1,50	3,54	4,91	2,07	3,95	16,6	15,8	-	4,44
J	35,0	14,4	76,8	0,577	3,3	0,5	2,08	4,75	0,75	3,14	5,04	0,79	3,55	15,7	14,9	-	9,81
A	50,5	15,2	72,9	0,661	4,2	0,6	2,32	6,50	1,75	4,38	5,75	1,68	4,17	16,8	16,4	-	4,68
S	23,9	16,5	70,1	0,566	5,6	1,6	2,68	7,80	2,25	4,66	7,96	2,07	4,90	19,1	18,3	-	5,61
O	19,6	18,2	70,3	0,603	6,8	1,7	3,24	8,50	2,10	5,94	8,62	2,65	6,01	21,5	20,5	-	6,21
To- taux	1630,3						904,80			1586,60			1722,81				
Moy.		17,9	77,0	0,560			2,47			4,34			4,72	20,1	19,2	-	4,62

Tableau 5

RESUME CLIMATOLOGIQUE

AMBOHIDRANO - NORD

1965 - 1966

Mois	Pluie moy. à 1,50 mm	Temp. Moy. de l'air °C	Hum. moy. de l'air %	Vit. moy. du vent m/s	Evaporation Piche			Evaporation Bacs			Températ. moy. eau		Défi- cit de satu- ration mb	Dist. Gun Bella ni ml			
					ORSTOM			Classe A			Col °C	A °C					
					Max mm	Min mm	Moy mm	Max mm	Min mm	Moy mm					Max mm	Min mm	Moy mm
N	156,8	19,6	71,6	0,622	6,7	1,2	2,75	8,50	1,25	5,45	7,96	0,61	5,37	22,6	21,5	6,84	-
D	387,2	20,3	79,4	0,541	4,3	0,4	2,10	6,75	1,25	4,21	6,41	1,10	4,41	23,1	22,2	4,83	-
J	172,4	21,1	73,0	0,522	4,5	1,1	2,81	8,50	2,50	5,81	8,18	2,43	5,85	24,5	23,5	6,76	-
F	128,0	21,1	78,7	0,594	4,3	1,4	2,32	7,00	1,50	4,45	7,96	1,54	4,20	23,7	22,9	5,33	-
M	117,0	19,7	71,5	0,712	5,2	1,2	3,01	8,60	2,75	5,78	8,40	1,32	5,39	22,3	21,6	6,54	-
A	51,7	19,8	72,5	0,476	4,0	1,4	2,67	5,80	1,80	4,14	5,30	2,65	4,17	22,3	21,8	6,35	-
M	52,4	18,2	71,2	0,380	4,4	1,0	2,38	5,00	0,80	3,19	4,20	1,23	3,14	20,6	19,7	6,02	-
J	8,3	15,2	74,6	0,630	3,2	1,0	1,91	4,60	1,45	2,86	5,53	1,32	2,88	16,8	16,4	4,39	-
J	9,8	14,4	71,3	0,622	3,8	1,3	2,13	6,00	1,10	2,99	4,60	1,32	3,04	15,9	15,5	4,71	-
A	66,6	15,1	69,9	0,644	3,5	0,7	2,46	5,60	1,50	3,84	5,92	0,88	3,58	17,0	16,5	5,17	-
S	17,3	17,9	68,0	0,551	6,3	0,8	2,96	8,00	2,25	4,89	6,63	2,21	4,35	20,3	19,6	6,56	-
O	11,5	18,4	65,4	0,635	8,5	1,5	3,89	9,30	2,25	6,49	9,46	0,88	5,50	20,9	20,1	7,33	-
To- taux	1179,0						957,60			1648,01			1580,64				
Moy.		18,4	72,2	0,577			2,62			4,51			4,33	20,8	20,1	5,90	-

Tableau 6

FICHE METEOROLOGIQUE
RESUME ANNUEL DES OBSERVATIONS
AMBOHIDRANO NORD
1966-67

Mois	Pluie 1,50 mm	Tempé. moy. de l'air	Hum. moy. %	Vit. moy. au vent	Evaporation			Evaporation			Evaporation			Temp. moy. Bac	Temp. moy. Bac	ETP. ROCHE (mm)	Déficit de sat. (mb)
					Piche mm	max	min	max	min	moy.	max	min	moy.				
NOV	151,4	19,7	67,4	0,598	6,1	0,5	3,70	9,50	2,10	6,58	9,73	2,65	6,56	22,5	21,7		7,48
DÉC	362,2	20,6	74,5	0,635	6,1	0,3	2,90	10,00	1,65	5,30	10,17	1,15	5,40	23,1	22,3		6,17
JANV	399,8	21,2	75,4	0,570	4,0	0,9	2,45	8,25	2,50	5,00	7,96	1,76	5,42	23,9	23,0		6,20
FÉV	157,8	21,1	74,2	0,565	3,6	1,6	2,70	8,20	1,50	4,90	7,52	1,94	5,14	24,7	23,3		6,46
MARS	560,1	21,3	80,4	0,388	3,3	0,6	2,00	7,55	2,15	4,00	8,27	2,07	4,42	24,0	23,0		4,97
AVRIL	51,8	19,6	73,3	0,482	4,5	0,6	2,54	5,50	2,00	4,14	6,40	2,65	4,65	22,5	21,7		6,09
MAI	1,6	17,7	72,6	0,510	3,5	1,4	2,30	6,00	1,10	3,82	5,75	2,20	4,40	19,8	19,4		5,55
JUIN	2,9	15,7	73,1	0,526	2,6	1,3	2,10	5,00	0,80	3,22	5,00	2,21	3,65	17,3	17,0		4,80
JUIL	1,8	15,7	71,1	0,620	3,1	1,8	2,32	6,00	1,80	3,54	6,41	2,65	3,96	17,1	16,8		5,16
AOUT	9,3	15,1	72,3	0,775	3,5	1,2	2,50	6,75	1,75	4,13	6,85	2,65	4,51	17,0	16,5		4,76
SEPT	24,3	17,1	69,9	0,594	6,9	2,0	3,10	7,75	1,80	5,20	7,52	1,59	5,54	20,0	19,2		5,87
OCT	55,0	19,3	63,9	0,554	5,7	1,3	3,33	9,15	1,80	5,80	9,51	2,56	6,30	22,1	20,9		6,97
Totaux	1778,0						972,60			1696,09			1822,63				
Moyen- nes		18,6	72,7	0,573			2,66			4,63			4,99	21,1	20,4		5,87

Tableau 7

FICHE METEOROLOGIQUE

RESUME ANNUEL DES OBSERVATIONS

AMBOHIDRANO NORD

1967-68

Mois	Pluie 1,50 mm	Tempé. moy. de l'air	Hum. moy. %	Vit. moy. du vent	Evaporation			Evaporation			Evaporation			Temp. moy. Bac org	Temp. moy. Bac A	ETP ROCHE (mm)	Déficit de satu- ration (mb)
					Piche mm	Bac	corston mm	Bac	A	mm	Bac	A	mm				
NOV	1254,9	20,1	75,3	0,516	4,5	0,6	2,80	18,25	11,50	14,47	18,84	12,65	15,20	23,4	22,1	14,35	5,81
DEC	1309,9	20,2	78,9	0,481	4,5	1,0	2,30	17,50	10,70	13,82	17,96	11,15	14,64	23,6	22,6	14,30	5,00
JANV	1104,1	20,4	77,9	0,714	4,4	1,1	2,50	19,50	11,00	14,53	19,73	12,21	15,48	23,1	22,6	12,95	5,30
FEV	1177,5	20,6	79,2	0,664	5,4	0,6	2,40	17,25	11,30	14,90	17,52	12,21	15,37	23,2	22,9	14,30	5,05
MARS	1154,3	20,0	78,7	0,621	4,3	0,9	2,40	16,75	11,10	14,24	17,74	12,21	14,97	22,9	22,4	13,00	4,98
AVRIL	38,1	19,1	73,9	0,453	3,6	1,6	2,50	15,75	11,25	13,63	16,37	10,88	14,43	22,0	21,5	12,35	5,77
MAI	19,9	17,2	71,4	0,454	5,2	1,1	2,70	15,25	10,80	13,86	16,06	11,99	14,56	19,7	19,3	12,64	5,62
JUIN	4,7	14,7	69,8	0,499	4,9	0,7	2,80	14,50	10,30	13,20	15,30	10,44	14,00	16,5	16,4	11,65	5,05
JUIL	13,7	14,3	76,1	0,602	3,5	0,9	1,90	14,50	10,60	12,47	14,86	10,44	13,14	15,9	15,8	10,99	3,90
AOUT	0,6	14,9	67,3	0,582	3,5	1,7	2,80	16,00	12,85	14,46	16,85	13,31	15,17	17,2	17,1	12,35	5,54
SEPT	10,0	16,5	64,9	0,639	6,1	0,7	3,40	18,00	10,60	15,74	18,62	11,41	16,40	19,7	19,1	13,35	8,59
OCT	48,6	18,7	62,2	0,630	6,2	2,4	4,10	10,0	13,10	17,39	10,17	13,27	17,80	21,7	20,9	14,17	8,15
Totaux	1136,3						995,30		1634,10			1834,22					
Moy.		18,0	72,9	0,571			2,71		4,46			5,09	20,7	20,2	13,04		5,56

Tableau 8

FICHE METEOROLOGIQUE

RESUME ANNUEL DES OBSERVATIONS

AMBOHIDRANO NORD

1968-69

Mois	Pluie 1,50 mm	Temp. moy. de l'air	Hum. moy. %	Vit. moy. du vent	Evaporation Piche mm			Evaporation Bacorston mm			Evaporation Bac A mm			Temp. moy. Bac org-	Temp. moy. Bac a	ETP ROCHE (mm)	Déficit de satu- ration (mb)
					max	min	moy.	max	min	moy.	max	min	mond				
NOV	240,0	19,9	74,0	10,555	6,5	10,7	13,17	19,00	11,30	15,38	19,50	12,35	15,85	22,7	21,8	16,35	6,04
DEC	367,7	20,4	77,8	10,462	4,9	10,6	12,24	18,75	11,00	13,77	18,50	11,00	14,23	23,4	22,5	14,26	5,32
JANV	131,7	21,0	75,1	10,560	4,5	10,9	12,74	18,50	11,55	15,05	18,20	12,25	15,39	24,4	23,6	13,02	6,20
FEV	271,1	21,3	75,2	10,606	5,0	10,7	12,77	19,30	11,00	15,11	19,30	11,00	15,78	24,7	24,0	14,19	6,29
MARS	105,1	21,2	73,9	10,452	3,8	10,9	12,78	17,50	11,25	15,41	17,75	10,80	15,80	24,8	24,0	13,78	6,57
AVRIL	209,5	20,8	78,3	10,326	3,3	11,3	12,09	18,00	12,00	13,80	19,50	12,00	14,32	23,6	23,1	13,62	5,33
MAI	6,7	17,7	74,4	10,216	3,7	11,7	12,42	15,00	12,00	13,63	15,75	13,00	14,31	20,5	20,2	11,92	5,19
JUIN	5,7	14,7	73,5	10,504	5,0	11,0	12,37	14,75	11,00	13,31	15,30	11,25	13,82	16,8	16,8	10,86	4,44
JUIL	6,7	14,8	73,0	10,577	3,1	11,3	12,41	15,00	10,75	13,60	15,30	11,75	13,98	16,9	17,1	11,71	4,55
AOUT	18,3	14,3	73,1	10,522	3,4	11,1	12,32	16,25	10,40	13,76	16,00	11,10	13,95	16,4	16,3	11,53	4,39
SEPT	2,9	17,4	64,1	10,322	4,8	12,3	13,60	18,50	13,50	15,95	18,50	13,50	16,56	20,4	20,1	12,96	7,14
OCT	102,8	19,9	64,3	10,298	7,2	11,7	14,35	10,40	12,55	17,24	12,00	13,25	17,84	23,3	22,4	12,53	8,30
Totaux	1468,2						1012,40			1704,20			1886,55				
Moy.		18,6	73,1	0,450			2,77			4,67			5,17	21,5	21,0	13,06	5,81

Tableau 9

FICHE METEOROLOGIQUE
RESUME ANNUEL DES OBSERVATIONS

AMBOHIDRANO NORD

1969-70

Mois	Pluie 1,50 mm	Temp. moy. de l'air	Hum. moy. %	Vit. moy. du vent	Evaporation Piche mm			Evaporation Bac custom mm			Evaporation Bac rond A mm			Temp. moy. Bac	Temp. moy. Bac	ETP ROCHE (mm)	Déficit de sa- turation (mb)	
					max	imin	Imoy.	max	imin	Imoy.	max	imin	Imoy.					
NOV	116,5	20,9	70,6	0,450	6,0	1,2	3,43	9,00	3,40	6,36	9,95	3,50	6,79	23,9	23,3	5,57	7,27	
DEC	496,4	21,3	79,7	0,467	4,1	0,7	2,53	7,40	1,25	3,75	8,25	1,00	4,10	24,1	23,4	5,36	5,15	
JANV	431,1	20,7	79,1	0,613	4,8	0,8	2,52	7,75	1,10	3,99	7,75	1,85	4,45	23,6	22,9	1,77	5,17	
FEV	207,6	21,4	75,0	0,565	5,3	1,6	3,50	8,00	1,95	5,42	8,75	2,75	5,94	24,9	24,3	7,75	6,37	
MARS	151,3	20,7	75,2	0,510	5,6	1,8	2,88	7,50	2,00	4,62	8,50	2,10	4,89	23,7	23,2	2,99	6,06	
AVRIL	52,6	19,2	74,4	0,511	5,0	1,0	2,56	7,50	-	4,11	7,00	-	4,43	22,3	21,9	4,59	5,70	
MAI	6,9	17,0	73,3	0,451	3,1	1,0	2,33	5,60	2,00	3,74	6,00	2,00	4,04	19,6	19,5	2,89	5,18	
JUIN	8,9	14,8	72,9	0,518	3,4	1,5	2,27	5,10	1,25	3,13	5,80	2,00	3,63	16,8	16,9	0,80	4,56	
JUIL	4,3	15,1	71,6	0,470	3,1	1,7	2,39	5,30	1,25	3,45	5,75	2,00	3,92	17,4	17,5	0,54	4,88	
AOUT	4,0	14,7	70,2	0,562	3,8	1,1	2,53	6,70	1,20	3,96	7,50	2,00	4,51	17,3	17,1	0,85	4,99	
SEPT	0,5	20,2	60,4	0,529	4,9	2,0	3,67	8,00	4,00	6,18	8,75	3,50	6,89	19,0	19,3	2,28	9,31	
OCT	9,7	18,7	62,1	0,495	5,6	2,9	4,30	9,00	4,25	7,00	9,75	4,50	7,88	22,2	21,4	3,70	8,18	
Totaux	1489,8						1061,20		1691,35		1866,91							
Moy.		18,7	72,0	0,511			2,90		4,63		5,11		21,2	20,8	3,26		6,07	

Tableau 10
FICHE METEOROLOGIQUE
RESUME ANNUEL DES OBSERVATIONS

AMBOHIDRANO NORD

1970-71

Mois	Pluie mm	Temp. de l'air moy.	Hum. % moy.	Vit. du vent moy.	Evaporation			Evaporation			Evaporation			Temp. Bac moy.	Temp. Bac moy.	ETP ROCHE (mm)	Déficit de satu- ration (mb)
					Piche mm	max	min	moy.	Bac orston mm	max	min	moy.	Bac mm				
NOV	164,0	20,2	74,2	0,347	4,8	1,8	2,73	7,25	2,00	4,08	8,25	1,60	4,57	23,0	22,4	3,12	6,11
DEC	183,1	20,2	75,0	0,425	4,9	1,3	2,93	9,25	2,25	4,76	9,00	2,00	5,32	23,2	22,3	4,19	5,92
JANV	347,6	20,1	79,4	0,560	8,3	0,7	2,73	8,80	1,00	4,67	9,60	1,35	4,93	23,5	22,8	5,43	4,85
FEV	440,9	20,8	77,8	0,546	5,2	0,8	2,91	7,60	1,25	5,01	7,90	2,50	5,48	24,5	24,0	7,80	5,46
MARS	57,7	19,9	74,3	0,480	5,2	2,0	3,13	8,00	3,00	5,58	8,40	2,40	6,01	24,1	23,8	2,37	5,98
AVRIL	22,0	19,4	72,1	0,431	6,1	2,2	3,45	7,50	3,90	5,34	7,75	3,75	5,83	22,7	22,8	3,49	6,29
MAI	11,5	17,3	71,6	0,420	5,9	1,6	3,19	6,50	1,00	4,58	7,25	2,00	4,31	20,4	20,2	6,54	5,61
JUIN	0,2	14,4	70,0	0,546	4,1	1,5	2,60	5,00	1,30	3,74	5,50	2,50	4,34	16,9	17,3	5,02	4,92
JUIL	4,0	14,5	71,0	0,541	3,7	0,8	2,45	5,50	1,50	3,80	6,00	2,50	4,39	16,9	17,2	4,85	4,79
AOUT	2,0	14,3	69,7	0,464	4,3	1,9	2,86	6,00	1,00	4,25	7,00	1,75	4,80	17,1	17,2	3,12	4,94
SEPT	28,7	16,3	67,3	0,469	6,3	1,5	3,63	8,50	1,25	5,64	9,20	2,80	6,57	19,9	19,8	4,02	6,06
OCT	2,4	18,3	69,0	0,508	8,7	1,4	4,40	9,50	4,50	6,94	9,75	4,50	7,53	22,1	21,5	3,22	6,52
Totaux	1264,1						1127,1			1776,75			1931,10				
Moy.		18,0	72,6	0,478			3,08			4,86			5,29	21,2	20,9	4,43	5,62

II-7 Pluviométrie

La région des Hauts-Plateaux de MADAGASCAR possède un poste pluviométrique très ancien créé en 1882 : celui de TANANARIVE. Sur près de 90 ans d'observations la moyenne interannuelle est 1360 mm avec un écart-type de 280 mm et un coefficient de variation de 0,21 (année calendaire). Un autre poste, celui de BEHENJY, situé par 19°12' S et 47°29' E, soit à environ 5 km du bassin versant, existe depuis 1934. On trouvera au tableau n°11 la liste des précipitations mensuelles et annuelles observées à ce poste. Il n'a pas été possible d'obtenir les données postérieures à février 1970. La moyenne interannuelle est 1343 mm (année hydrologique) soit une valeur très proche de celle du poste de la météorologie nationale de TANANARIVE ce qui pourrait nous conduire à prendre ce dernier comme poste de référence. Cependant, pour la période d'existence du poste de BEHENJY, une étude (12) a été menée sur le poste de TSEMBAZAZA situé à TANANARIVE : les résultats obtenus pour l'année hydrologique sont passablement différents : moyenne = 1260 mm et écart-type 170 mm. Il apparaît donc judicieux, malgré la période d'observation plus courte, de faire référence au poste de BEHENJY (1934-35 à 68 à 69 soit 32 ans complets et 3 incomplets).

Pluies annuelles à BEHENJY

La distribution des pluies est sensiblement gaussienne avec une légère distorsion pour les valeurs extrêmes. De la fig. 10 on peut tirer les renseignements suivants, de manière empirique :

50 ans, humide : 950 mm environ
20 ans, humide : 1820 mm
10 ans, humide : 1710 mm
5 ans, humide : 1580 mm
Médiane : 1350 (très voisin de la moyenne interannuelle)

5 ans, sec : 1120 mm
10 ans, sec : 990 mm
20 ans, sec : 880 mm environ

Les 6 valeurs extrêmes observées sont les suivantes :

1936-37 : 1999,3 mm	1943-49 : 670,1 mm
1934-35 : 1745,7 mm	1953-54 : 824,2 mm
1940-41 : 1692,8 mm	1943-44 : 894,4 mm

Au contrôle de double cumul la comparaison des valeurs avec celle de TANANARIVE montre que les pluies antérieures à 1941 seraient probablement excédentaires et devraient être corrigées par le coefficient 0,86. La moyenne interannuelle serait alors voisine de 1305 mm, la médiane de 1520 mm et les valeurs de récurrence élevées d'années humides plus faibles que celles qui ont été portées ci-dessus.

Pluies mensuelles à BEHENJY

L'étude du tableau n°11 montre que les mois les plus arrosés, dépassant 200 mm en moyenne, sont décembre, janvier, février et mars dont on pourra comparer les distributions aux graphiques 11 à 14.

Ces graphiques nous ont permis d'établir les valeurs pour différentes périodes de retour ; par simple déduction empirique :

Période de retour	DEC	JANV	FEV	MARS
50 ans, sec(indication)	90	45	50	50
20 ans, sec	130	70	75	75
10 ans, sec	160	90	95	90
5 ans, sec	205	135	130	120
Médiane	280	250	195	200
5 ans, humide	355	365	295	315
10 ans, humide	410	440	355	385
20 ans, humide	460	500	420	460
50 ans, humide(indication)	520	570	490	530

L'irrégularité interannuelle est très forte en général et tout particulièrement au mois de janvier au cours duquel on a observé le maximum et le minimum recueillis (573,9 mm et 35,5 mm).

Pluies journalières à BEHENJY :

On trouvera au tableau N°12 le nombre et la répartition des jours de pluie observés à BEHENJY du 5 février 1934 au 28 février 1970. Une remarque s'impose immédiatement : pendant 11 ans, de 1943-44 à 1953-54, le total des jours de pluie de l'année est toujours inférieur à 100 alors que pour les années antérieures et postérieures il est généralement supérieur à ce chiffre. Un examen plus attentif des relevés journaliers nous a montré que pendant cette période aucune des pluies n'est inférieures à 0,5mm. C'est tout à fait impossible et la responsabilité doit en être imputée au lecteur qui a dû les considérer comme négligeables. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas pris ces années en compte pour établir les valeurs figurant au bas du tableau N°12. En définitive il pleut en moyenne 128 jours par an, décembre et janvier étant les mois les plus arrosés alors qu'on observe le moins de jours de pluie en mai et septembre.

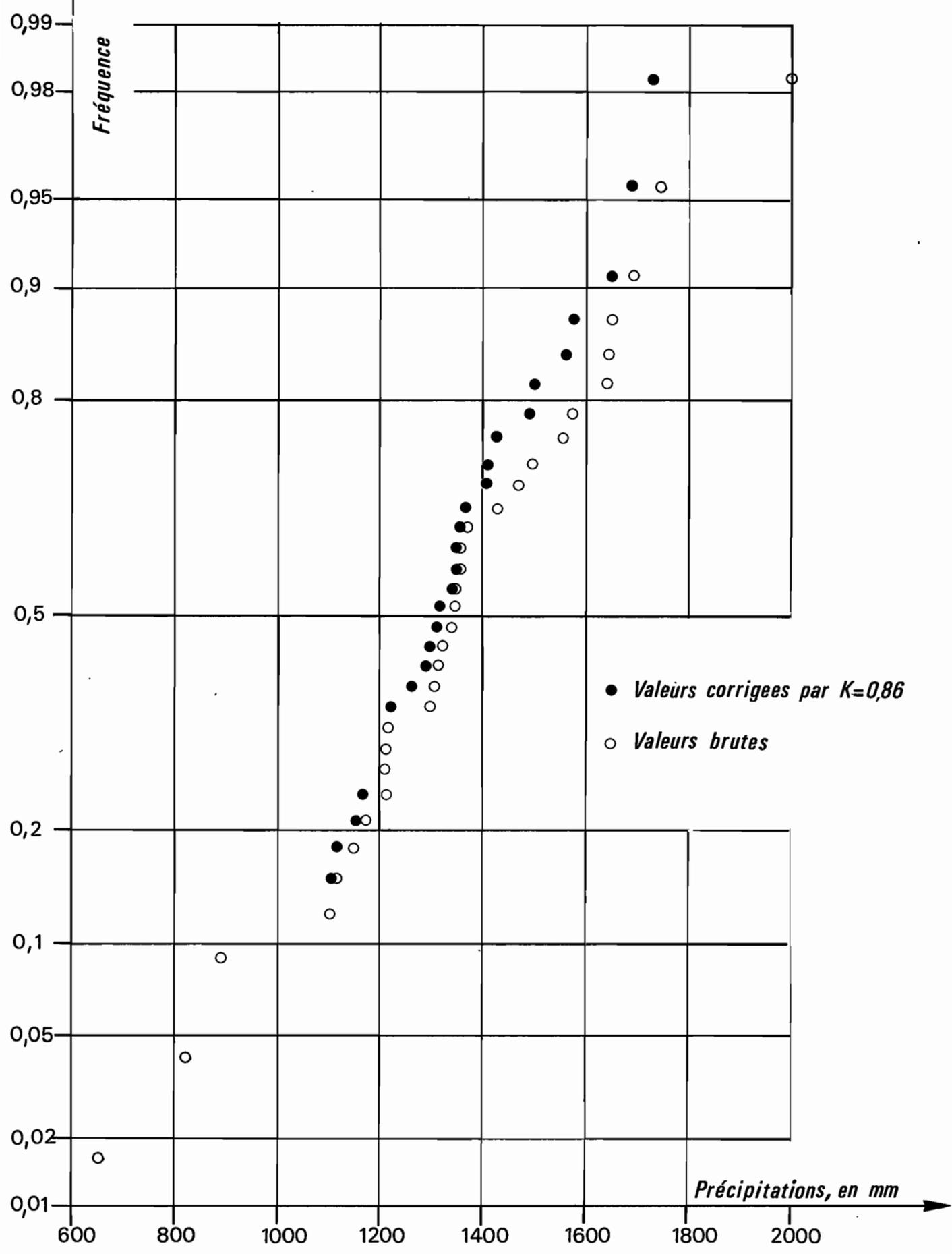
Quant aux hauteurs de pluie recueillies quotidiennement, nous avons classé les 117 valeurs supérieures ou égales, à 50 mm et leur avons attribué une fréquence $F_1 = n - 0,5/N$. N étant le nombre total des jours de pluie observés pendant la période du 5 février 1934 au 28 février 1970. Ce nombre 4033 a été corrigé en fonction des averses vraisemblablement non observées de 1943 à 1954. Selon la moyenne annuelle des jours de pluie on peut estimer que 580 jours supplémentaires auraient dû être observées, ce qui amène le nombre total de jours à 4613 arrondi à 4600. Les fréquences de chaque valeur supérieure ou égale à 50 mm répertoriées au tableau N°13 sont reportées au graphique N°15 duquel nous pouvons graphiquement déduire les valeurs caractéristiques suivantes :

1 fois sur 50 jours de pluies observées ou aura 53 mm
" " 100 " " " 66 mm
" " 500 " " " 95 mm
" " 1000 " " " 107 mm
" " 5000 " " " 133 mm (valeur très approximative)

on Pour établir la hauteur qu pourraient atteindre des pluies journalières pour différentes périodes de retour/attribue à chacune des valeurs supérieures à 50 mm la fréquence F_2 où N est égal à 13.037, nombre total de jours observés. Ces fréquences sont reportées à la figure N°15 dont nous pouvons déduire graphiquement : les hauteurs journalières de précipitation pour diverses récurrences :

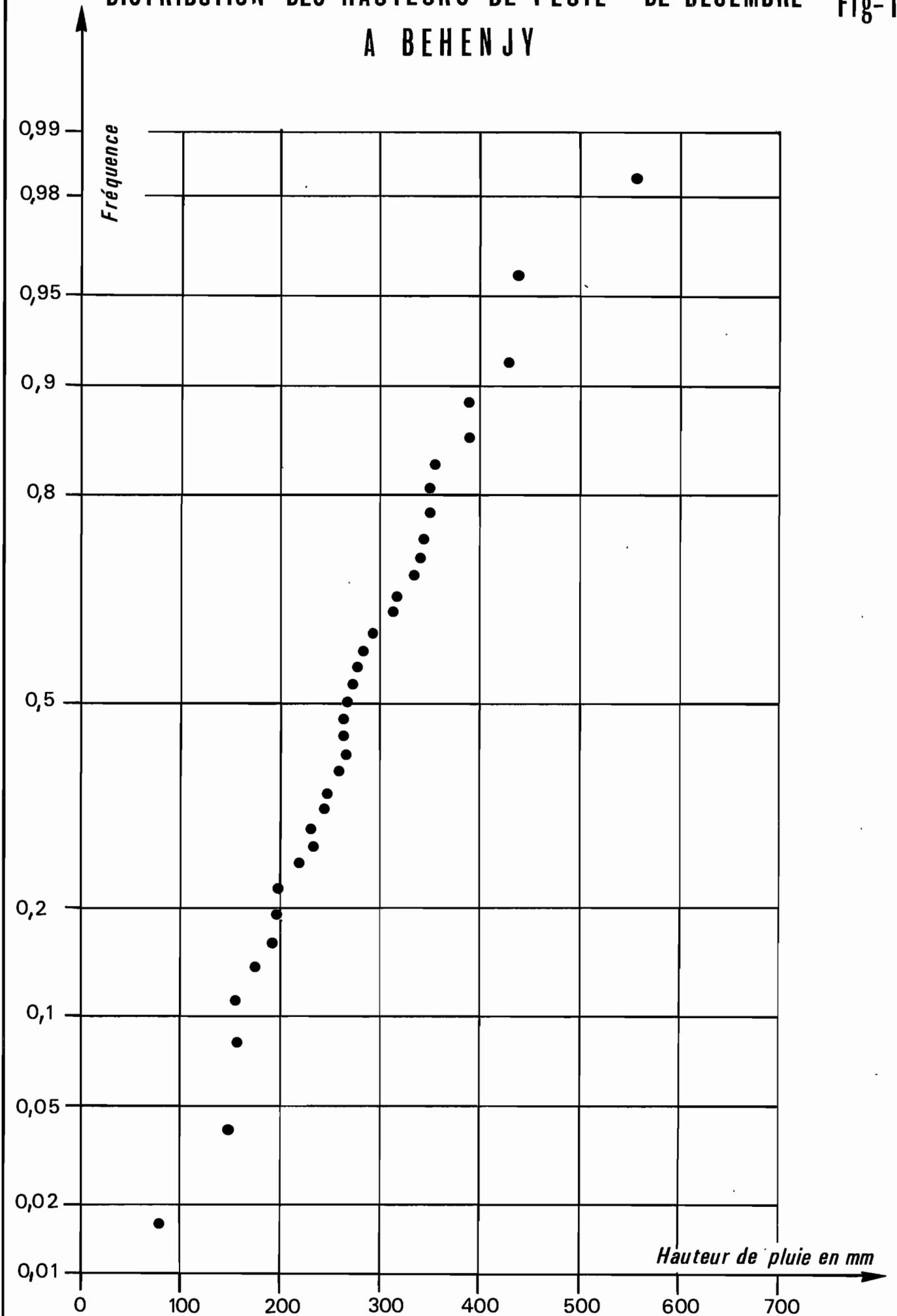
DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE (ANNEE HYDROLOGIQUE) A BEHENJY

Fig-10

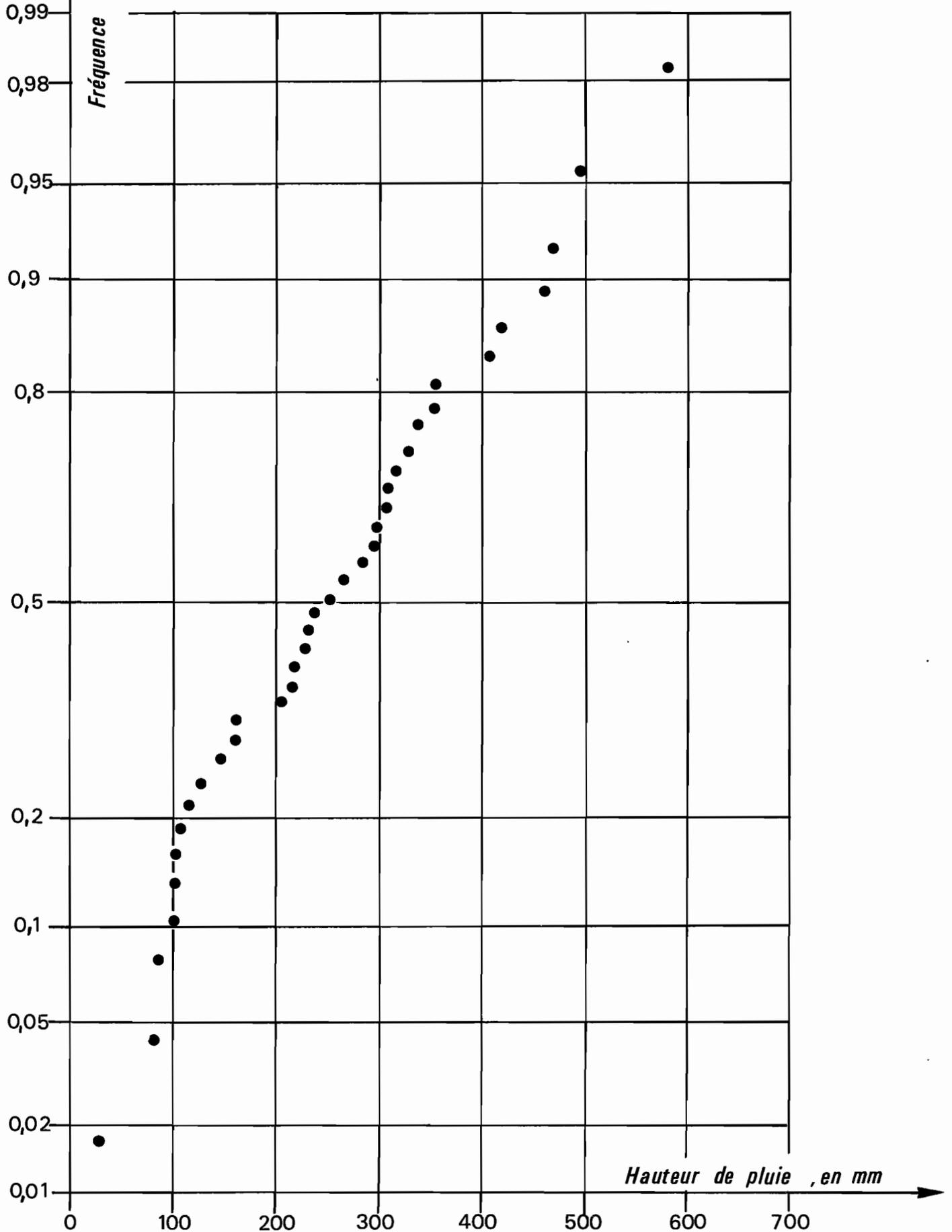


DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE DE DECEMBRE A BEHENJY

Fig-11

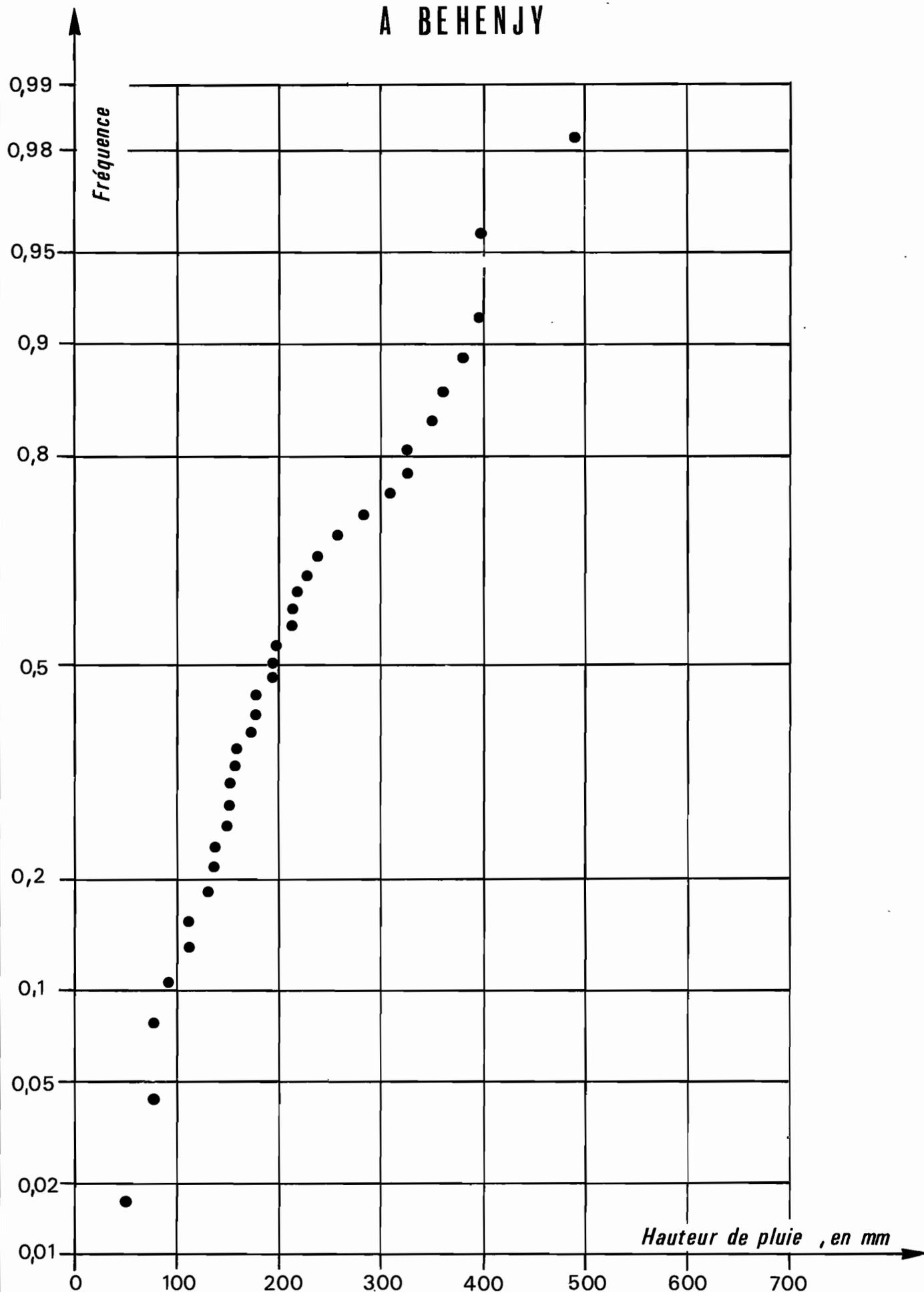


DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE DE JANVIER Fig-12 A BEHENJY



DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE DE FEVRIER A BEHENJY

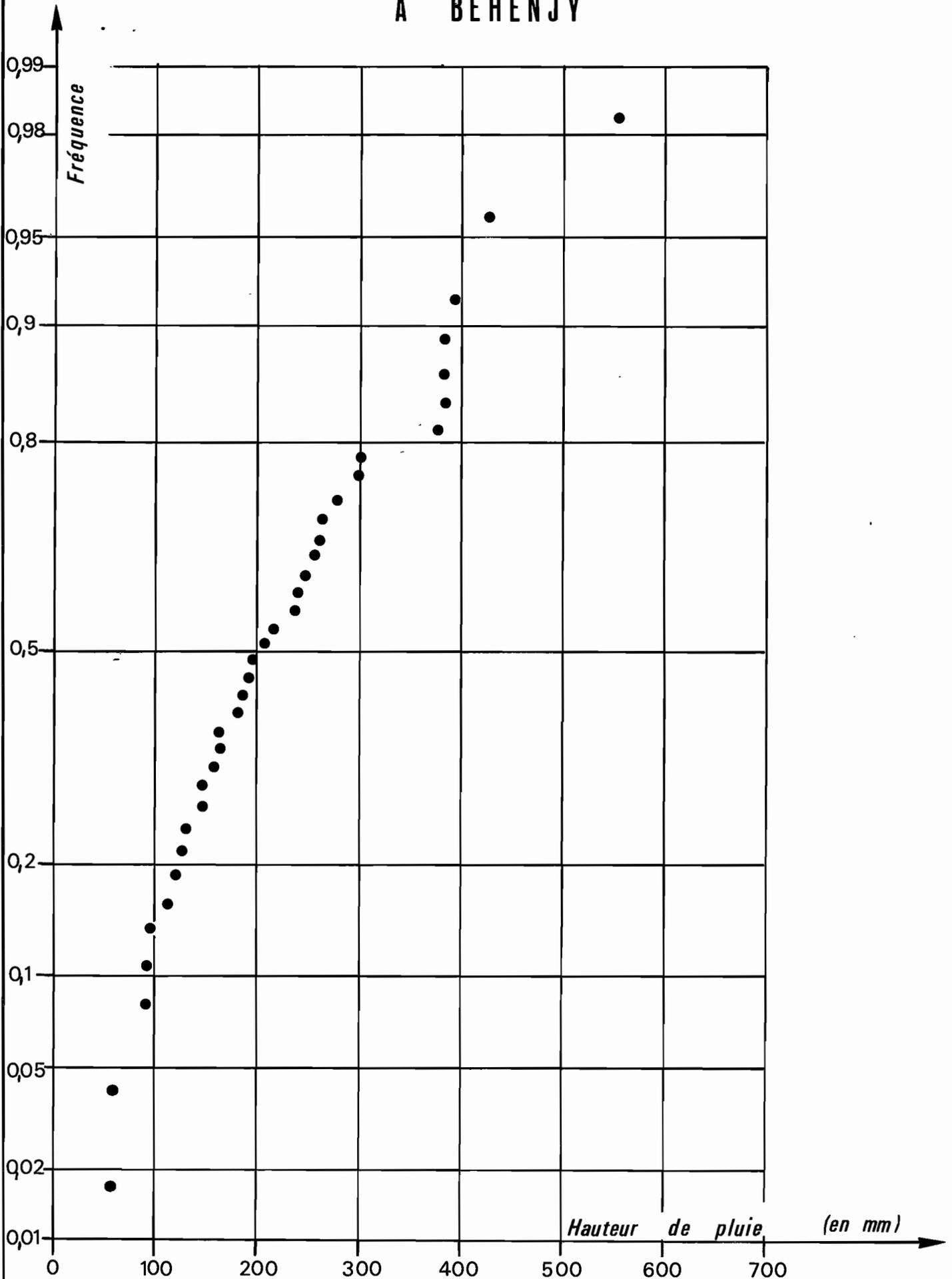
Fig-13



DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE PLUIE DE MARS

Fig-14

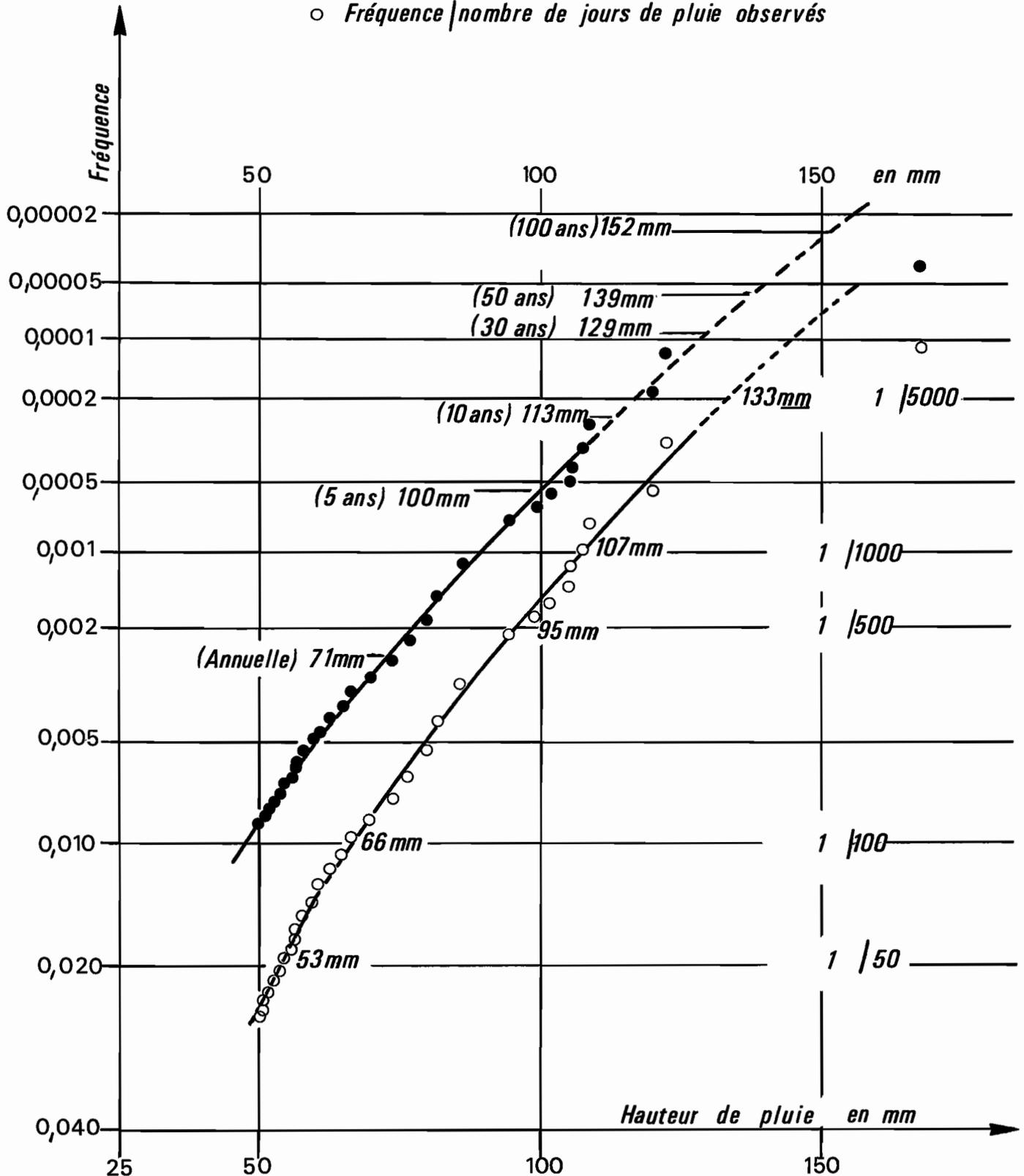
A BEHENJY



DISTRIBUTION DES PLUIES JOURNALIERES A BEHENJY

● Fréquence | nombre de jours observés

○ Fréquence | nombre de jours de pluie observés



Période de retour annuelle
: 71 mm

5 ans : 100 mm
10 ans : 113 mm
30 ans : 129 mm
50 ans : 139 mm
100 ans à titre indicatif : 152 mm

Il semble que la valeur de 167,3 mm observée le 23 janvier 1958 soit de fréquence très rare, au moins centennale. L'ajustement sur ordinateur d'une loi gamma incomplète (troncature 1,0 mm) donne une valeur centennale légèrement inférieure : 164,1 mm les valeurs annuelles, décennales et cinquantiennales étant respectivement de 75,5 mm, 119,3 mm et 150,6 mm, soit un peu supérieures aux estimations empiriques précédentes.

Intensités de la pluie à BEHENJY :

Le poste n'étant pas équipé d'un pluviographe nous ne pouvons donc donner la valeur des intensités observées à BEHENJY. Il nous a cependant semblé intéressant de reproduire la fig N°16 tirée d'une étude (13) effectuée à TSIMBAZAZA.

Elle donne les valeurs suivantes :

	Intensité 15 minutes	30 minutes	1 heure
annuelle	112 mm/h	84 mm/h	55 mm/h
Période de retour 5 ans	160 mm/h	112	72
" 10 ans	180 mm/h	132	84
" 50 ans	224 mm/h	170	110
" 100 ans	260 mm/h	190	124

Notons enfin les valeurs maximales enregistrées à TSIMBAZAZA.

-519 mm/h pendant 6 minutes le 15 novembre 1961

-175 mm/h pendant 15 minutes le 29 novembre 1962

Précipitations sur le bassin versant :

La période d'observation est de 9 années. Nous n'avons pas jugé utile de faire une étude statistique des précipitations sur une période aussi courte, d'une part parce qu'elle aurait pu être entachée d'erreur et d'autre part parce que le poste de BEHENJY est très proche. Il est d'ailleurs sûrement beaucoup plus représentatif de la pluviosité de l'ensemble du bassin que la station climatologique d'AMBOHIDRANO - NORD située à l'exutoire. C'est ainsi que l'examen des hauteurs mensuelles et annuelles figurant aux tableaux N° 14 et 15 montre que la hauteur moyenne interannuelle sur le bassin (1367 mm) est très proche de celle de BEHENJY (1343 mm) alors la valeur observée à la station d'AMBOHIDRANO-NORD (1421 mm) s'en éloigne assez fortement. Cet excédent est très vraisemblablement la conséquence de la situation de la station qui est installée au pied du relief dominant du "Casque de BEHENJY".

Les hauteurs recueillies mensuellement et la répartition des précipitations sont très voisines, les écarts n'étant en aucun cas significatifs.

Notons cependant la très forte valeur de la précipitation de Mars 1967 à la station d'AMBOHIDRANO-NORD : 560,1 mm alors que l'on a observé 452,2 mm sur le bassin et 380 mm à BEHENJY.

Quant aux précipitations journalières on trouvera ci-après la liste des 2 plus fortes pluies observées annuellement entre le 1er novembre 1962 et 31 octobre 1971.

<u>Année hydro</u>	<u>P max</u>	<u>P moy. bassin</u>	<u>Date</u>
1962-63	60,5	29,8	21-3-63
	59,0	47,8	31-12-62
1963-64	128,0	97,8	4- 2-64
	97,0	43,3	15- 2-64
1964-65	81,5	60,5	3-12-64
	76,1	58,7	3- 4-65
1965-66	88,5	75,3	8-12-65
	83,0	51,6	28-3-66
1966-67	103,5	88,3	30-12-66
	95,0	67,2	25- 1-67
1967-68	84,0	70,5	30-11-67
	80,6	68,6	5-12-67
1968-69	82,0	77,0	6- 2-69
	81,0	70,0	14-12-68
1969-70	86,6	79,2	9-2-70
	77,0	72,8	1-1-70
1970-71	90,0	71,8	26-1-71
	79,2	67,2	11-2-72

Moy. 72,2 mm

Sauf pour 1962-63 toutes les pluies maximales sont supérieures à la valeur de l'averse annuelle à BEHENJY (71,0 mm) mais elles ont été recueillies non pas en un point déterminé mais sur l'un quelconque des 23 postes du bassin. La valeur moyenne des plus fortes pluviométries recueillies chaque année sur l'ensemble du bassin est 72,2 mm, valeur qui peut à juste titre être rapprochée des 71 mm du poste de BEHENJY et qui confirme celui-ci dans sa représentativité.

Une étude approfondie des intensités sera faite après la mise sur cartes perforées de tous les pluviogrammes enregistrés et après leur passage à l'ordinateur. Mentionnons cependant les valeurs maximales observées au pluviographe A lors de l'averse du 2 décembre 1965 (P = 73 mm) :

312 mm/h pendant 5 minutes
192 mm/h pendant 15 minutes.

GRAPHIQUE PLUIE CUMULÉE - DURÉE - RECURRENCE

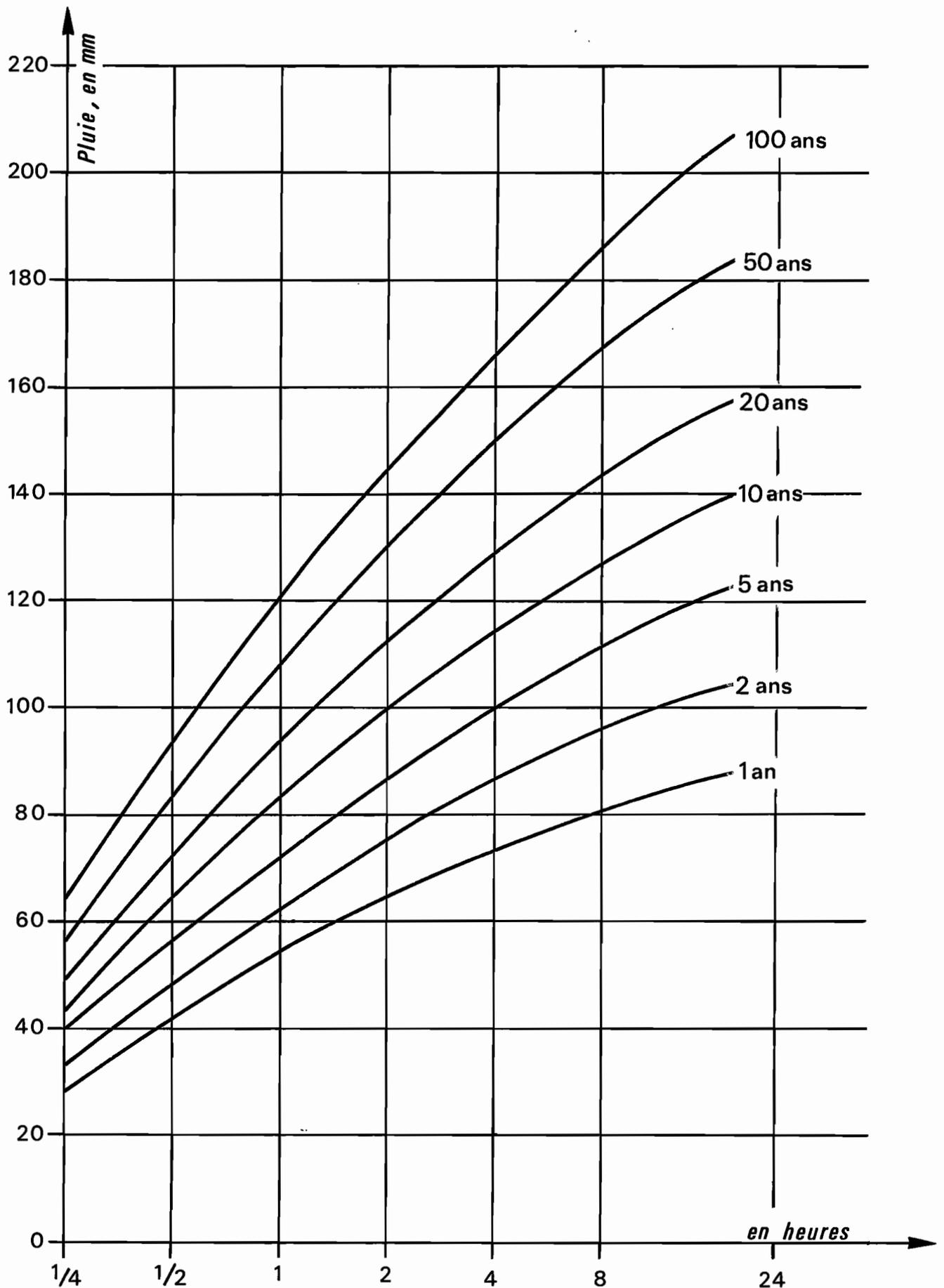


Tableau n°11

PRECIPITATIONS MENSUELLES ET ANNUELLES A BEHENJY (MM)

	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	Année
1934-35	165,4	1388,3	1494,0	1173,4	1257,9	1155,5	6,8	12,2	1,9	120,7	15,0	54,6	1745,7
	361248,6	1245,8	1329,6	1215,0	1277,3	12,3	5,1	16,9	28,9	133,1	14,0	47,1	1473,7
	371388,2	1348,1	1408,4	1379,6	1261,7	77,1	141,9	4,7	14,4	134,6	7,4	43,2	1999,3
	38192,7	1315,2	1166,9	1490,1	1154,4	114,1	4,6	4,5	0,7	0,6	2,2	2,0	1348,0
	391215,3	1200,5	1300,2	1286,2	1390,5	25,0	11,4	17,7	29,9	8,9	39,9	118,5	1644,0
1939-40	262,7	1439,5	1236,9	1192,9	1205,3	1163,0	113,7	11,7	6,1	12,0	17,0	83,7	1644,5
	411153,0	1548,6	1163,0	1360,3	1296,5	3,0	130,0	14,8	23,5	124,3	11,4	64,4	1692,8
	421144,1	1149,3	1296,5	1326,1	95,9	37,8	4,6	4,2	6,6	12,5	43,7	91,4	1212,7
	431174,6	1251,1	1321,3	1113,3	1185,9	80,5	7,0	1,9	1,4	1,1	1,3	12,1	1151,5
	4310	1264,8	85,0	1230,6	1110,6	94,8	6,6	12,9	10,2	0	3,1	75,8	894,4
1944-45	132,2	1351,5	1130,1	1257,8	1301,8	86,0	3,9	0	0	1,4	0	50,7	1315,4
	461148,1	1161,9	1256,6	1396,7	1160,3	28,9	12,4	9,8	36,0	123,1	0	112,2	1346,0
	471259,4	1263,2	1353,3	1179,7	1189,6	29,1	18,3	1,6	0	0	0	64,4	1358,6
	48182,3	1193,2	1573,9	1308,5	92,2	113,3	6,3	6,5	2,5	0	34,4	92,0	1498,9
	491144,5	85,2	35,5	1137,0	1216,4	0	115,7	10,6	12,9	13,8	0	8,5	670,1
1949-50	150,2	1179,8	1459,0	1154,8	1178,2	0	124,6	7,7	7,4	12,2	0	117,9	1353,6
	511243,6	1283,6	1219,6	1114,1	1232,7	21,2	146,6	0	0	0	7,2	48,2	1216,8
	521231,2	1237,2	1417,9	1158,0	1128,8	51,6	167,9	8,7	0	0	18,1	3,5	1322,9
	531264,8	1221,8	1109,6	1197,4	1372,7	8,5	2,5	5,2	0	0	27,3	4,5	1214,3
	541128,7	1296,7	1268,0	53,2	54,6	2,0	0	7,7	0	0	3,6	9,7	824,2
1954-55	235,0	1342,1	1148,7	1137,5	1382,2	-	170,9	3,0	0,1	18,0	0,5	134,0	-
	561125,2	1356,1	1354,3	1218,7	88,7	79,0	0,5	0	57,0	4,5	13,1	3,4	1300,5
	571126,8	1272,6	1102,5	1400,2	1551,7	46,2	117,4	0,5	2,7	1,4	13,1	47,2	1582,3
	581169,1	1258,5	1470,1	1213,5	1192,6	27,5	7,1	21,7	28,6	123,6	127,9	112,9	1653,1
	59192,7	1343,6	1242,1	1240,0	1421,0	0,9	0	5,1	9,4	0,3	2,8	72,8	1430,8
1959-60	162,4	1160,5	1339,5	1141,5	1245,0	35,4	4,8	2,7	0,8	0,3	0,5	23,7	1117,1
	61195,5	1280,7	1284,9	79,9	1380,6	80,4	9,3	0,4	47,1	110,4	8,2	30,1	1307,5
	621210,5	1266,3	90,5	1158,5	1233,8	45,3	157,3	10,3	6,9	8,4	4,8	80,3	1172,9
	631351,8	1197,7	1218,1	1153,1	1147,0	72,9	123,7	28,2	4,1	3,3	6,3	166,3	1372,5
	641172,4	1319,5	1207,7	1322,6	1127,0	13,5	11,3	39,2	71,2	1,2	2,7	76,3	1364,6
1964-65	229,0	1337,0	1311,7	1202,4	1255,6	69,0	0,4	1,0	38,6	158,4	32,3	27,0	1562,4
	661155,3	1430,7	1106,2	77,6	1161,3	42,3	129,2	5,2	6,0	158,0	27,7	4,0	1103,5
	671107,7	1269,6	1229,2	96,2	1380,0	43,8	8,2	0,7	2,0	8,5	17,7	57,8	1221,4
	681288,0	1236,9	1119,8	1155,4	1146,4	21,5	9,8	6,7	0	-	-	18,2	-
	691258,6	-	1106,0	1348,3	1119,8	74,8	0	0	0	-	12,0	134,2	-
Moyennes	183,1	279,3	255,9	219,1	228,5	51,7	16,6	7,9	12,8	11,7	15,2	61,6	1343mm

Tableau n°12

NOMBRE DE JOURS DE PLUIE A BEHENJY

	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	ANNEE	REMARQUES
15/234-3110/34													(90)	
1934-35	16	22	26	14	18	14	4	16	7	6	4	8	155	() = incomplet
36	24	24	24	19	17	0	12	17	21	20	13	10	209	! = non observé
37	19	20	26	18	22	12	11	9	6	13	6	5	167	!* = pas de relevé
38	9	22	20	20	12	17	5	8	2	3	3	4	125	! inférieurs à 0,5mm
39	14	16	20	21	23	13	5	7	9	4	5	12	146	! Années éliminées de
1939-40	19	27	17	21	14	14	11	4	4	8	2	10	151	! la moyenne
41	11	24	21	24	18	2	3	1	6	9	7	4	130	
42	8	17	19	22	11	6	2	2	9	7	8	8	119	
43	18	14	26	11	22	22	3	9	5	3	6	4	143	
44	0	20	7	13	13	6	3	3	6	0	2	5	78	!*
1944-45	7	18	7	12	14	6	1	0	0	1	0	3	69	!*
46	9	14	14	16	11	4	2	1	2	2	0	5	80	!*
47	21	14	18	12	17	3	2	1	0	0	0	4	92	!*
48	6	10	24	17	9	8	1	0	1	0	8	8	92	!*
49	7	5	5	12	13	0	1	2	1	2	0	1	49	!*
1949-50	11	9	12	6	10	0	2	2	2	1	0	8	63	!*
51	12	14	19	9	16	2	3	0	0	0	1	4	80	!*
52	17	8	21	11	12	4	5	1	0	0	4	1	84	!*
53	11	13	8	16	26	2	1	1	0	0	2	1	81	!*
54	7	17	11	10	8	1	0	2	0	0	1	3	60	!*
1954-55	12	18	11	8	19	5	6	1	1	2	1	4	(83)	
56	10	17	18	14	7	6	3	0	6	2	7	3	93	
57	12	24	14	17	26	9	5	2	6	3	4	6	128	
58	12	23	17	17	16	7	4	14	11	5	11	15	152	
59	10	23	19	15	23	1	0	8	4	1	3	4	111	
1959-60	21	14	17	13	18	5	2	2	2	1	1	7	103	
61	8	23	18	7	20	10	2	2	9	9	5	5	118	
62	13	23	13	11	17	9	10	4	4	8	3	14	129	
63	24	17	19	11	15	12	3	8	3	3	4	12	131	
64	17	18	12	18	17	4	3	10	10	3	5	7	124	
1964-65	14	25	25	16	23	10	2	3	12	12	10	5	157	
66	12	22	10	16	8	8	4	3	2	5	6	2	98	
67	9	16	14	5	21	7	1	1	4	6	6	9	99	
68	20	23	12	15	14	4	3	2	0	-	-	2	(95)	
69	19	(16)	12	15	9	7	0	0	0	-	2	7	(87)	
1/11/69-282/70													(62)	
Moyenne	15	20	18	15	17	9	4	6	6	6	5	7	4033	Moyenne/128jours

Tableau n°18

**CLASSEMENT ET FREQUENCE DES VALEURS SUPERIEURES A 50 MM OBSERVEES A
BEHENJY (PLUIES JOURNALIERES)**

n	Pmm	F ₁	F ₂	n	Pmm	F ₁	F ₂
1	167,3	0,000108	0,000038	36	72,2	0,00772	
2	122,0	0,000326	0,00012	37	72,0	0,00793	
3	120,0	0,00054	0,00019	38	71,5	0,00815	
4	108,7	0,00076	0,00027	39	69,6	0,00837	
5	107,5	0,00098	0,00035	40	69,5	0,00859	0,00303
6	105,1	0,00119	0,00042	41	69,4	0,00880	
7	105,0	0,00141	0,00050	42	69,0	0,00902	
8	101,6	0,00163	0,00058	43	68,8	0,00924	
9	99,2	0,00185	0,00065	44	67,8	0,00947	
10	94,5	0,00207	0,00073	45	66,5	0,00967	0,00341
11	94,3	0,00228		46	66,3	0,00989	
12	92,4	0,00250		47	66,1	0,01010	
13	89,0	0,00272		48	65,8	0,01032	
14	88,4	0,00293		49	65,0	0,01054	
15	85,9	0,00315	0,00111	50	64,8	0,01076	0,00380
16	85,2	0,00333		51	64,5	0,01098	
17	84,9	0,00359		52	64,3	0,01119	
18	82,9	0,00380		53	64,0	0,01141	
19	81,7	0,00402		54	63,5	0,01163	
20	81,4	0,00424	0,00150	55	62,7	0,01185	0,00418
21	80,4	0,00446		56	62,5	0,01207	
22	80,1	0,00467		57	62,0	0,01228	
23	80,0	0,00489		58	61,7	0,01250	
24	79,9	0,00511		59	61,0	0,01272	
25	79,7	0,00533	0,00188	60	60,5	0,01293	0,00456
26	79,3	0,00554		61	60,4	0,01315	
27	77,3	0,00576		62	60,0	0,01337	
28	77,0	0,00598		63	60,0	0,01359	
29	76,9	0,00620		64	60,0	0,01380	
30	76,1	0,00641	0,00226	65	59,9	0,01402	0,00495
31	75,3	0,00663		66	59,0	0,01424	
32	74,7	0,00685		67	58,7	0,01446	
33	74,1	0,00707		68	58,4	0,01467	
34	73,7	0,00728		69	58,3	0,01489	
35	73,5	0,00750	0,00265	70	58,0	0,01511	0,00533

F₁ Fréquence par rapport au nombre de jours de pluie

F₂ Fréquence par rapport au nombre de jours de pluie quelconques

CLASSEMENT ET FREQUENCE DES AVERSES SUPERIEURES A 50 MM OBSERVEES A

BEHENJY

(suite)

n	Pmm	F ₁	F ₂	n	Pmm	F ₁	F ₂
71	57,4	0,01533		94	53,8	0,02033	
72	57,3	0,01554		95	53,8	0,02054	0,00725
73	56,8	0,01576		96	53,4	0,02076	
74	56,7	0,01598		97	53,4	0,02098	
75	56,6	0,01620	0,00571	98	53,2	0,02120	
76	56,5	0,01641		99	53,0	0,02141	
77	56,5	0,01663		100	53,0	0,02163	0,00763
78	56,4	0,01685		101	52,7	0,02185	
79	56,2	0,01707		102	51,6	0,02207	
80	56,1	0,01728	0,00610	103	51,5	0,02228	
81	56,0	0,01750		104	51,4	0,02250	
82	56,0	0,01772		105	51,4	0,02272	0,00302
83	56,0	0,01793		106	51,1	0,02293	
84	55,9	0,01815		107	50,9	0,02337	
85	55,8	0,01837	0,00648	108	50,8	0,02337	
86	55,6	0,01859		109	50,8	0,02359	
87	55,5	0,01880		110	50,8	0,02380	0,00840
88	55,4	0,01902		111	50,8	0,02402	
89	54,6	0,01924		112	50,8	0,02424	
90	54,4	0,01946	0,00687	113	50,7	0,02446	
91	54,4	0,01967		114	50,5	0,02467	
92	54,2	0,01989		115	50,5	0,02489	
93	54,2	0,02011		116	50,2	0,02511	
				117	50,0	0,02533	0,00894

Tableau N° 14

PRECIPITATIONS MENSUELLES ET ANNUELLES A LA STATION
D'AMBOHIDRANO - NORD

	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	ANNEE
1962-63	1282,5	1220,6	1193,1	1164,0	1207,3	1163,2	11,8	28,8	55,8	3,9	4,8	1198,9	11535,5
64	1138,8	1346,3	1160,1	1322,1	1165,8	6,5	14,6	41,6	42,7	5,3	6,0	155,6	11305,9
65	1211,3	1312,0	1404,6	1290,6	1192,6	37,3	0,9	2,0	35,0	50,5	23,9	119,6	11630,3
66	1156,8	1387,2	1172,4	1128,0	1117,0	51,7	52,4	3,3	9,3	66,6	17,3	11,5	11179,0
67	1151,4	1362,2	1399,8	1157,3	1560,1	51,8	1,6	2,9	1,8	9,3	24,3	55,0	11772,0
68	1254,9	1309,9	1104,1	1177,5	1154,3	38,1	19,9	4,7	13,7	0,6	10,0	48,6	11136,3
69	1240,0	1367,7	1131,7	1271,1	1105,1	209,5	6,7	5,7	6,7	18,3	2,9	102,8	11468,2
70	1116,5	1469,4	1431,1	1207,6	1151,3	52,6	6,9	3,9	4,3	4,0	0,5	9,7	11489,8
71	1164,0	1183,1	1347,6	1440,9	57,7	22,0	11,5	0,2	4,0	2,0	28,7	2,4	11264,1
Moyenne	1190,7	1331,8	1260,5	1240,0	1190,1	75,9	14,0	11,5	19,3	17,8	13,2	56,0	11421 mm

Tableau N° 15

PRECIPITATIONS MENSUELLES ET ANNUELLES SUR LE BASSIN VERSANT

	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	Année
1962-63	1282,5	1218,6	1198,6	1157,9	1211,4	92,5	6,4	41,9	55,3	3,9	4,8	1142,6	11416,9
64	1140,7	1343,1	1175,4	1316,7	1135,0	18,9	17,1	23,8	40,3	1,7	2,1	63,7	11278,5
65	1212,9	1309,8	1353,8	1275,5	1199,8	75,4	0,1	0,8	24,2	42,1	19,7	26,1	11540,2
66	1169,4	1381,2	1167,5	1112,2	1134,0	53,4	48,9	6,8	7,5	59,5	14,2	12,2	11166,8
67	1139,1	1323,3	1338,4	1158,7	1452,2	47,6	6,6	0,5	0,2	4,4	19,6	43,6	11534,2
68	1205,7	1351,5	1105,6	1169,8	1161,9	40,6	18,6	4,8	7,0	0,1	10,0	35,7	11111,3
69	1246,0	1355,4	1115,4	1289,4	1122,9	223,4	1,0	3,5	3,7	11,9	2,2	119,7	11494,5
70	1112,8	1504,0	1409,7	1194,3	1171,6	56,3	13,2	4,5	7,1	3,3	0,1	8,6	11485,5
71	1150,8	1185,8	1357,1	1435,1	65,7	28,5	15,3	0	2,5	1,5	30,0	1,8	11274,1
Moyenne	1184,4	1330,3	1246,8	1234,4	1183,8	70,7	14,1	9,6	16,4	14,3	11,4	50,4	11367 mm

CHAPITRE III

EQUIPEMENT DU BASSIN VERSANT

Etant donné l'ambition de l'étude projetée l'équipement du bassin est très complet (fig N° 17) et deux observateurs permanents ont assuré les relevés : M. Jean-Marie et Jean de Dieu RAZANAJATOVO.

III-1 Station climatologique

Installée en 1962, une station climatologique située près de l'exutoire a permis de suivre les principaux facteurs climatiques. Elle comprend :

- Un abri météo avec thermohygrographe, psychromètre à aspiration, évaporomètre Piche, thermomètre ordinaire et thermomètres à maxi et mini, ces derniers ayant été abandonnés à la suite des casses trop fréquentes.
- Deux bacs d'évaporation, classe A et type ORSTOM, avec thermomètres et enregistrement de l'évaporation suivant le procédé mis au point et décrit par ALDEGHIERI (19).
- Un pyrromètre GUN BELLANI, abandonné en 1966 (plusieurs casses successives par jets de pierres).
- Un anémomètre ROBINSON
- Un pluviomètre ASSOCIATION doublé en 1966 par le pluviographe de la parcelle de ruissellement.

Cet équipement a été complété en Février-Mars 1967 par :

- Une batterie de 2 évapotranspiromètres de 2 m², type ROCHE, à couverture végétale de *digitaria decumbens*, suffisamment alimentée en eau (pluie et arrosage), pour mesurer l'évapotranspiration maximale. La couverture végétale est tondu le 1er et le 15 de chaque mois, alternativement sur chacun des évapotranspiromètres. Le drainage est recueilli au fur et à mesure et les résultats publiés tableau 10 sont la moyenne des observations sur les deux évapotranspiromètres.

- Trois lysimètres de 4 m², type INRA, à couverture végétale naturelle, chacun des lysimètres a une pente différente (horizontale, 7% et 15%). Des observations directes lors des fortes averses nous ont très vite amenés à abandonner les lysimètres à pente faible et forte car la totalité du ruissellement ne restait pas prisonnière des rebords et il y avait des pertes non mesurables. Seules les mesures sur le lysimètre horizontal ont donc été poursuivies. Il est rappelé que les résultats mensuels obtenus ont été donnée dans le tableau 10, chapitre II.

III.2. Equipement pluviométrique

L'équipement pluviométrique a été mis en place en 1962. Il comprend :

- 18 pluviomètres Association numérotés 1 (station climats) à 18
- 2 pluviographes journaliers CERF à augets basculeurs, A et B,
- 3 pluviographes à siphon , C, Det E

Ce réseau initial, 1 pluviomètre pour moins de 20 hectares, est d'une densité suffisante et n'a pas été complété en 1966. Seules de petites modifications ont été apportées :

- transformation des 3 pluviographes à siphon en pluviomètres, par retrait du mécanisme mais en conservant les carters d'origine
- addition d'un pluviographe CERF à augets basculeurs (F) à une dizaine de mètres de la station climatologique, pour l'étude de la parcelle de ruissellement

III-3 Equipement de l'exutoire

Le seuil rocheux limitant le bassin versant a été aménagé en 1962, par M. ALDEGHERI, pour la mesure des débits (2). Entre deux murs latéraux de 8 mètres de longueur, hauts de 2,5 mètres et espacés de 4 mètres, il a été construit un déversoir trapézoïdal à seuil épais d'une hauteur déversante de 0,60 mètres. Au-dessus de celui-ci une passerelle de mesure a été mise en place pour l'étalonnage. Un chariot coulissant sur UPN de 80 permet le déplacement en tout point de la section d'une perche ovale OTT de 80 mm actionnée verticalement par un treuil NEWA. Au droit de la section de mesure une échelle limnimétrique de 2 mètres renseigne sur la profondeur totale de la verticale. A 4 mètres en amont et en rive gauche, une deuxième échelle limnimétrique de 3 mètres, également calée au zéro du déversoir, permet la lecture des hauteurs d'eau. Au même endroit, un limnigraphe OTT type X, réduction 1/10, rotation 24 heures, permet l'enregistrement des variations du niveau de l'eau.

Deux tubes de 0,40 mètres de diamètre, calés au niveau du radier initial et bouchés par des plaques de tôle boulonnées, permettent la vidange des sédiments accumulés en amont et la remise au niveau initial du lit de la rivière. La progression des bancs de sable et le volume des sédiments apportés par les crues sont mesurés à l'aide de 10 fers à béton disposés jusqu'à 45 mètres du seuil. Ces "échelles à sable" sont relevées quotidiennement et la vidange est effectuée selon les nécessités (fig N° 18).

L'équipement de mesure du drainage de fond décrit ci-dessus a été complété en 1966 par un équipement de mesure du transport en suspension. Une fois vérifié que la turbulence était suffisante pour assurer une bonne homogénéité des concentrations, un appareillage a été construit localement pour permettre la prise instantanée d'un échantillon au milieu du canal et à 3 mètres en amont du déversoir. Cet appareillage comprend :

- un porte-à-faux en UPN 80, fixé au sol et portant un treuil NEWA et une poulie,

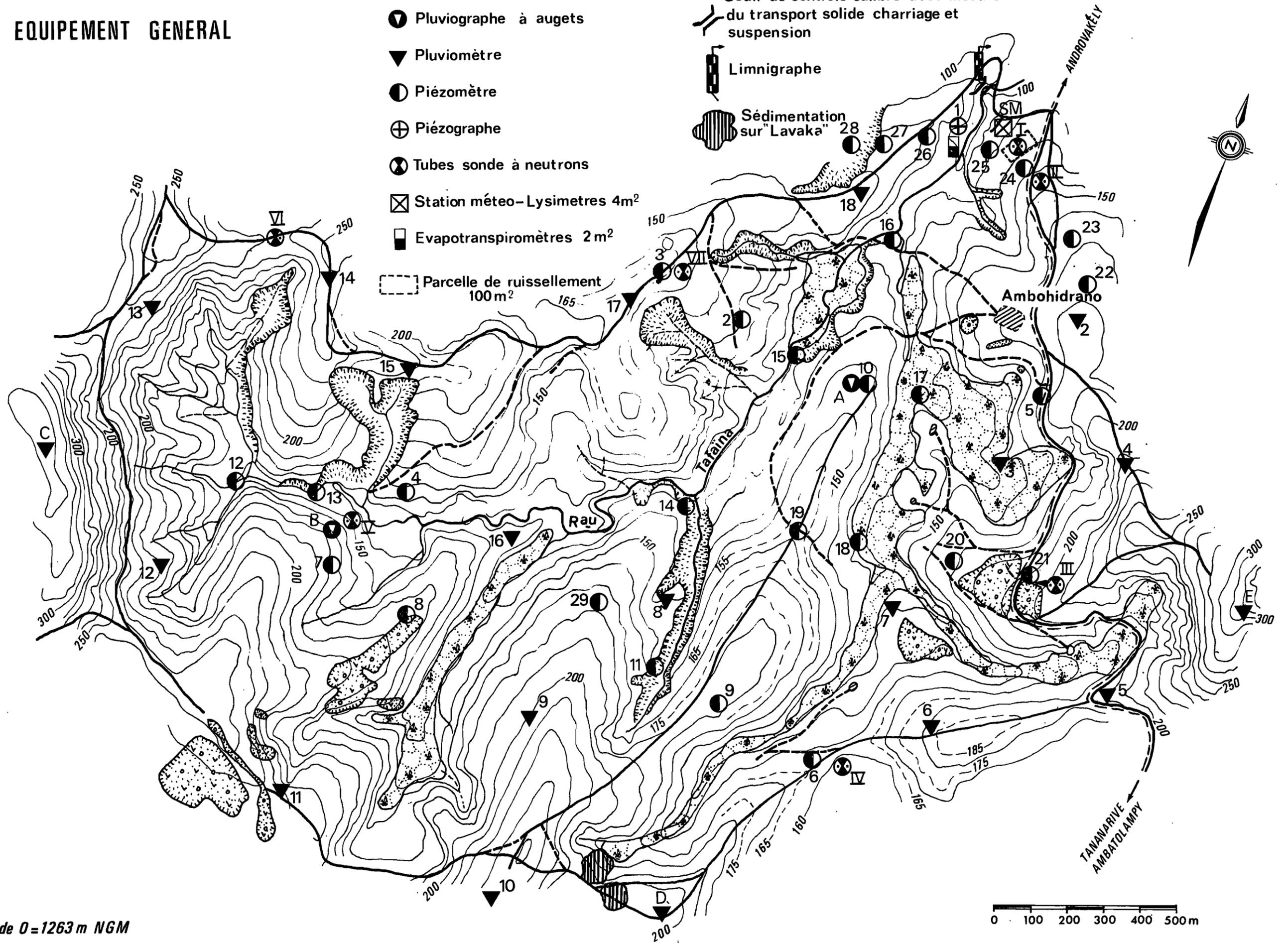
EQUIPEMENT GENERAL

Fig-17 LEGENDE

- Pluviographe à augets
- ▼ Pluviomètre
- Piézomètre
- ⊕ Piézographe
- ⊗ Tubes sonde à neutrons
- ⊠ Station météo-Lysimetres 4m²
- Evapotranspiromètres 2m²

- Seuil de controle calibré avec mesure du transport solide charriage et suspension
- Limnigraphe
- Sédimentation sur "Lavaka"

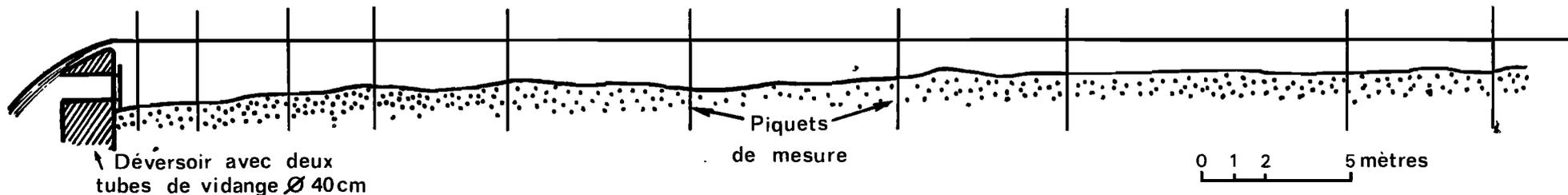
⊞ Parcelle de ruissellement 100m²



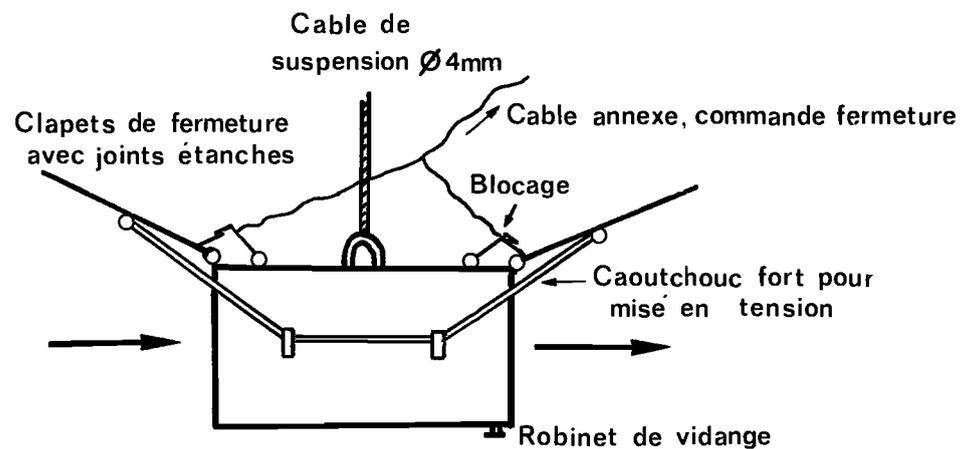
Altitude 0 = 1263 m NGM

0 100 200 300 400 500m

MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES



1) Mesure du charriage: implantation des piquets de mesure



2) Mesure du transport en suspension: schéma de l'échantillonneur

-Un treuil NEWA avec cable de 4 mm pour la manoeuvre de l'échantillonneur
-Un échantillonneur de 10 litres de capacité, composé d'un cylindre muni de 2 clapets étanches pouvant se reformer simultanément et commandés par un cable annexe. Une prise d'air et un robinet assurent la mise en dame-jeanne de l'échantillon (fig n° 18).

Au cours de la saison sèche 1970 un canal de mesures en étiage a été construit 50 mètres en amont de l'exutoire long de 2 mètres, large de 20 cm et haut de 30 cm. Il nous a permis :

- de contrôler l'étalonnage en très basses eaux
- de constater les fluctuations diverses du débit grace à l'adjonction pendant la saison sèche 1970, d'un limnigraphe OTT type X 43 à rapport 1/1.

III.4. Equipement piézométrique

L'étude des eaux souterraines dont on parle au paragraphe IV-3 (fig 38) a nécessité la mise en place de 29 points de mesures, installés en 3 étapes :

Aout-septembre 1966 :-1 piézographe numéroté 1 avec limnigraphe OTT R 16 à bande déroulante
-17 piézomètres en tubes galvanisés 40 X 49, numérotés 2 à 18
Aout-septembre 1967 -10 piézomètres numérotés 19 à 28
Décembre 1968 :- 1 piézomètre foré dans les quantzites, numéroté 29.

III.5. Equipement de la zone non saturée

L'étude de la zone non saturée a posé de très nombreux problèmes, et en premier lieu un problème méthodologique puisqu'à l'époque la mise en réserve dans les zones d'aération et de retention n'avait jamais fait l'objet de mesures systématiques satisfaisantes. La tensiométrie donnait alors des résultats difficilement interprétables et les méthodes neutroniques n'en étaient qu'au stade du laboratoire. C'est cependant ces dernières que nous avons choisies, en collaboration étroite avec le Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache. L'adaptation d'un appareillage de laboratoire aux dures conditions du travail sur le terrain (14) ainsi que la mise au point des étalonnages demandèrent beaucoup de temps et de patience puisque c'est seulement à la fin de 1969 qu'appareils et méthode ont été considérés comme satisfaisants. Bien sûr ces recherches furent au départ menées sur un seul tube de mesures et notre étude est donc quelque peu criticable par la faible densité du réseau, faiblesse que nous avons essayé de compenser autrement.

Installation des tubes de mesures :

Tube I,	profondeur en sol	528 cm,	novembre 1966
" II,	"	760 cm,	janvier 1969
" III,	"	225 cm,	octobre 1969
" IV,	"	225 cm,	"
" V,	"	70 cm,	février 1971
" VI,	"	256 cm,	"
" VII,	"	240 cm,	"

Appareillage utilisé

- ensemble HP et IP 110 en novembre 1966
- ensemble HP et EC 310 à partir d'octobre 1969. Ces deux ensembles sont construits par la C.S.F. (Cie Générale de télégraphie sans fil) sous licence C.E.A. (Commissariat français à l'Energie Atomique).

Essais parallèles

- Injection de tritium (H_3^*) autour du piézomètre N°24
- Etude de l'humidité des sols en surface à l'aide d'une sonde à pointe
- Mesures sur tubes en polyéthylène dans les parcelles de ruissellement

III-6 Equipement pour l'étude des transport solides

L'appareillage de terrain a déjà été décrit au paragraphe III-3 puisque les mesures sont effectuées à l'exutoire. Pour ce qui concerne les échantillons recueillis en suspension, le résidu sec et la granulométrie sont déterminés par le laboratoire de Pédologie du Centre ORSTOM de Tananarive.

III-7 Equipements particuliers

L'étude des bilans hydriques et de l'érosion sur la totalité de la superficie du bassin nous a amenés à essayer d'appréhender le ruissellement à une échelle plus réduite :

- sur parcelle de ruissellement pour les bilans hydriques
- en des pointes d'érosion préférentielle, nommés "lavakas"

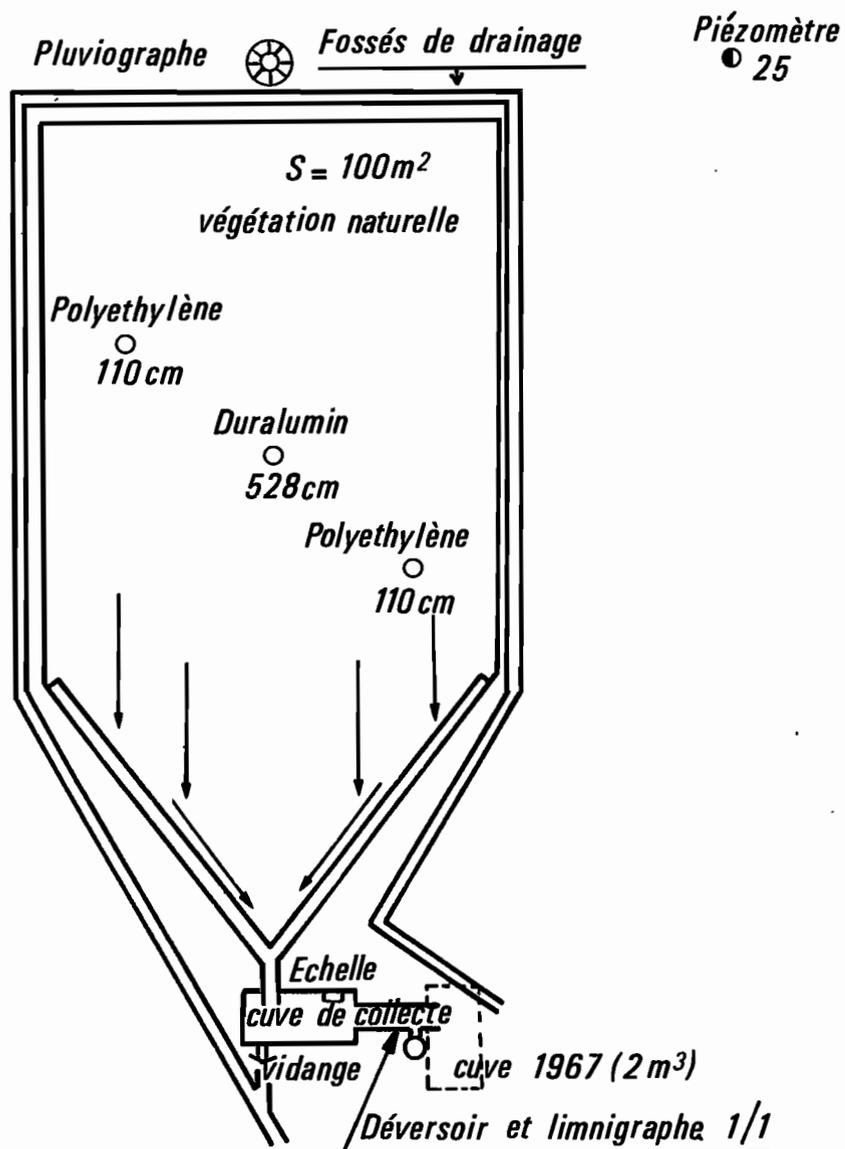
III-7-1 Parcelle de ruissellement

Pendant la saison sèche 1966 une parcelle de ruissellement de 100 m² avec couverture végétale naturelle a été construite (voir fig 19) : limitée par des bordures de tôle de 15 cm de hauteur et enfoncées de 5 cm, son équipement comprend :

- Un pluviographe CERF à augets basculeurs, journalier,
- Trois tubes pour mesures à la sonde à neutrons : un tube de duralumin profond de 528 cm (I) et deux tubes d'essai (essais négatifs d'ailleurs) en polyéthylène profonds de 110 cm,

-Une cuve de collecte du ruissellement de surface d'un volume de 1,5 m³ prolongée par un canal avec déversoir triangulaire de 45° d'ouverture et limnigraphe 1/1 (construction locale à partir d'un pluviographe à siphon) pour les très fortes avarées. Le dernier dispositif n'a pas donné satisfaction à cause des brins d'herbes venant parfois obstruer le déversoir, faussant complètement les résultats. Il a donc été ajouté, en 1967, une seconde cuve de 2 m³ qui recueille les eaux en provenance du déversoir.

PARCELLE DE RUISSELLEMENT



III-7-2 Mesure de l'érosion

Ces mesures ont été faites "in situ" sur des zones d'érosion préférentielle spéciales à MADAGASCAR et appelées "avakas". D'origine souvent controversée (effondrement par soutirage de la nappe, ruissellement de surface, action anthropique) ces lavakas se présentent comme de larges entailles plus ou moins récentes, certaines étant totalement fossilisées et reconquises par la végétation. Nous avons choisi pour cette étude :- un lavaka en voie de formation appelé "petit lavaka" et dont la zone d'arrachement atteint quelques décimètres,

-Un lavaka adulte à bords francs et subverticaux, appelé "grand lavaka" et dont la profondeur atteint presque vingt mètres.

Petit lavaka (fig n° 20): Il est alimenté par un bassin versant de 650 m² artificiellement réduit au sud par un fossé de drainage à cause d'une topographie trop peu accusée pour en définir véritablement la limite. Sa surface d'érosion est de 400 m². Une fosse de 8 m x 3 m, limitée par une tôle épaisse avec tubes de vidange, recueille les sédiments transportés. Les mesures sont faites sur 5 piquets auxquels on a attribué une zone d'influence.

Grand lavaka (fig n°21): Il forme un véritable entonnoir de réception d'une surface de 1100 m², les sédiments arrachés sur les parois étant en un premier stade déposés dans une zone de sédimentation de 50 m² avant d'être évacués par l'entremise d'un goulet très étroit. Celui-ci a été fermé par un barrage en béton de 2,5 mètres de hauteur, de 3,30 mètres de largeur à la base et de 4 mètres en crête. En amont 9 piquets de 1,70 mètres de hauteur permettent de mesurer l'épaisseur des sédiments transportés. La figure 21 porte trace du nivellement primitif destiné à préciser la zone d'accumulation des sédiments et mentionne une fosse rectangulaire construite alors mais qui fut immédiatement comblée.

Fig- 20

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

(Petit Lavaka)

BV = 650 m²

Surface d'érosion = 400 m²

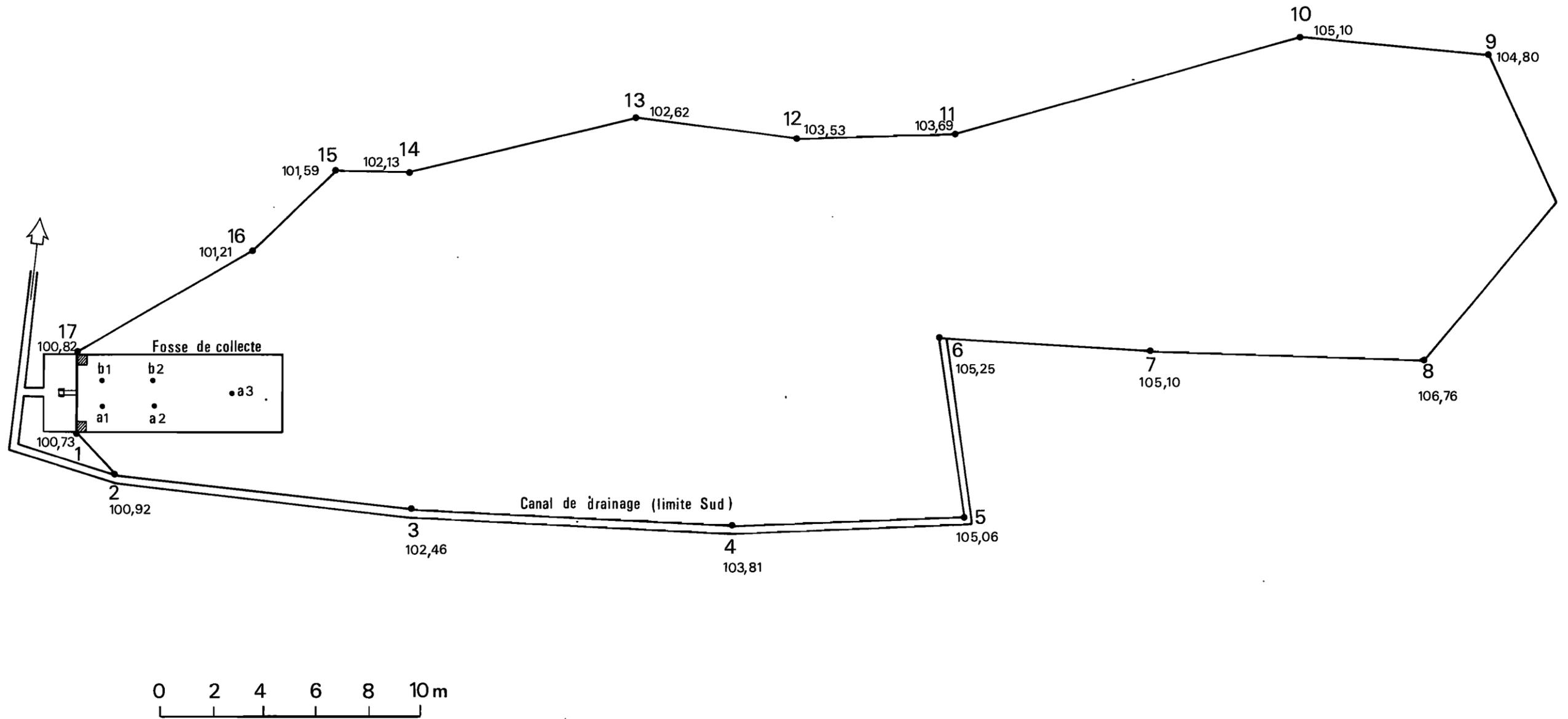
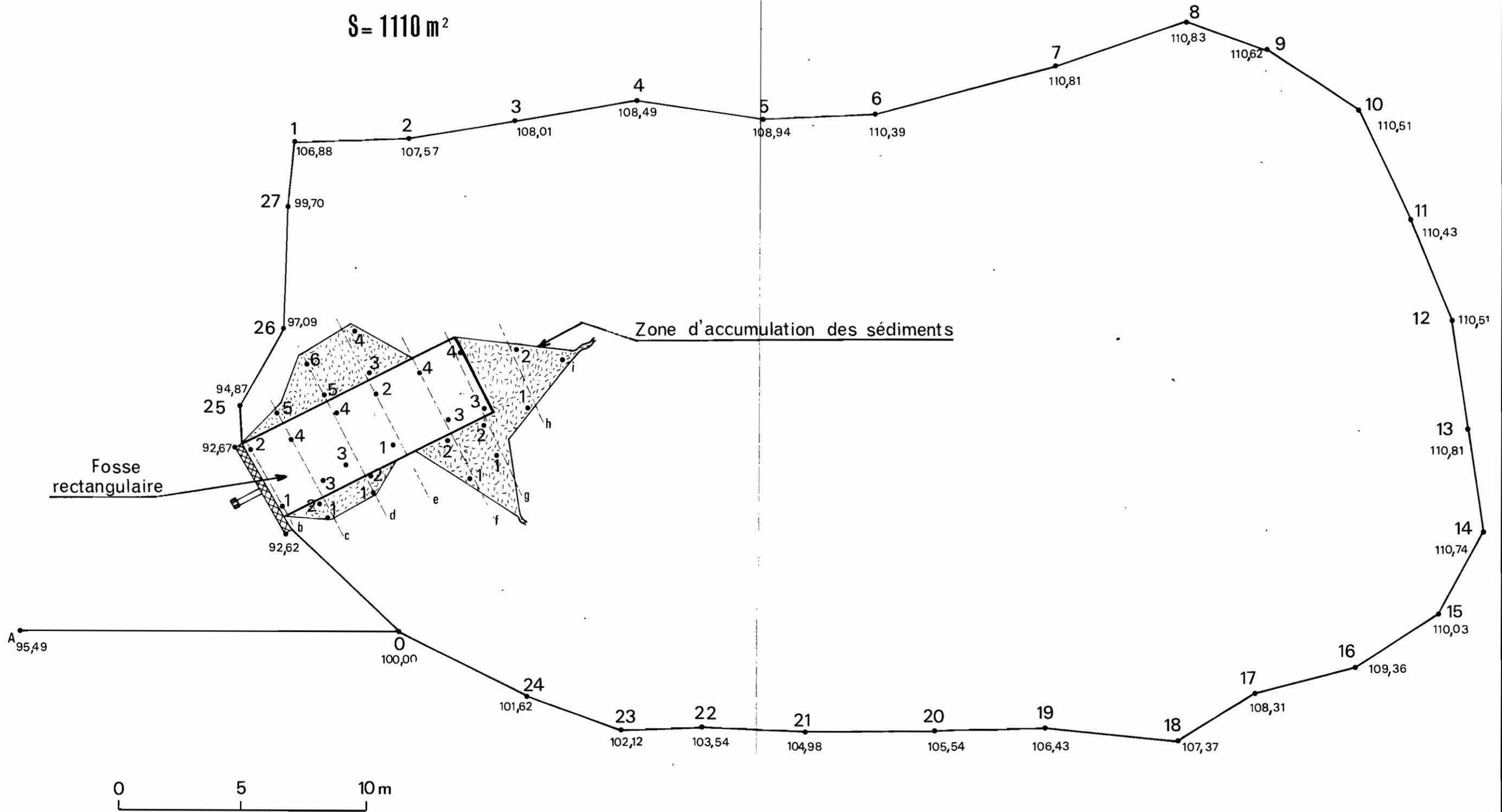


Fig-21

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

GRAND LAVAKA

S = 1110 m²



CHAPITRE IV

ETUDE DES BILANS HYDRIQUES

IV-1 Méthode utilisée

La méthode consiste tout simplement à essayer de mesurer "in situ" tous les paramètres du bilan hydrique. On n'utilise aucune des formules classiques pour des périodes allant de l'année hydrologique à des intervalles voisins de 15 jours, car ces mesures doivent nous permettre de vérifier l'équation générale du bilan avec une marge d'erreur inférieure à 10 %. Mais il faut auparavant définir les termes de ce bilan.

IV-1-1 Définition des termes du bilan hydrique :

Supposons un terrain parfaitement horizontal en surface et en profondeur, un substratum imperméable délimitant une dépression renfermant une formation aquifère (fig 22). Entre l'instant t_0 et l'instant t_1 le bilan est résumé par l'égalité suivante :

$$P = S + I + ETR$$

où P est la hauteur totale des précipitations

S est le stockage dans la zone non saturée,

I est la quantité d'eau infiltrée effectivement arrivée à la nappe,

ETR est l'évapotranspiration réelle qui regroupe l'évaporation directe sur sol nu, l'interception par le feuillage et l'utilisation par les plantes.

Dans le cas d'un bassin versant ce bilan simplifié est compliqué par les réalités suivantes : le terrain n'est pas horizontal et la nappe souterraine est mobile et alimente une rivière (fig 22) les deux paramètres supplémentaires sont donc :

R qui est le ruissellement de surface

et E_b qui est la participation de cette partie de la nappe à l'écoulement de base de la rivière.

Le bilan général s'écrit alors :

$$P = R + E_b + S + I + ETR \text{ tous ces termes ayant pour unité le mm}$$

Il faut signaler que dans cette formule le paramètre I n'est plus équivalent à toute l'eau infiltrée puisqu'une partie de celle-ci est restituée à l'exutoire. I est donc le stockage dans la nappe au dessous du niveau minimal.

IV-1-2 Détermination de la valeur des termes du bilan

Parmi les termes du bilan général défini ci-dessus, et quelle que soit la période considéré, les méthodes hydrologiques classiques permettent de connaître avec précision (paragraphe IV-2) :

- La pluie P que la densité optimale du réseau d'observation va nous permettre de calculer par simple moyenne arithmétique,
- Le ruissellement R et l'écoulement de base E_b qui pourront être séparés après l'étude des eaux de surface.

Le véritable problème réside dans la séparation de S, I et ETR, généralement englobés sous l'appellation de déficit d'écoulement D, calculé par simple différence:

$$D = P - (R + E_b)$$

a) Détermination de l'eau infiltrée et stockée dans la nappe

Les moyens matériels et le traitement des informations pour connaître I sont respectivement décrits aux paragraphes III-4 et IV-3. Il n'en reste pas moins qu'une fois connus les état piézométriques moyens de la nappe tous les 15 jours, le problème de la connaissance de I n'est pas pour autant résolu. Il est en effet lié à la porosité efficace d'ensemble du bassin :

$$I = \Delta h \times p_e \text{ où}$$

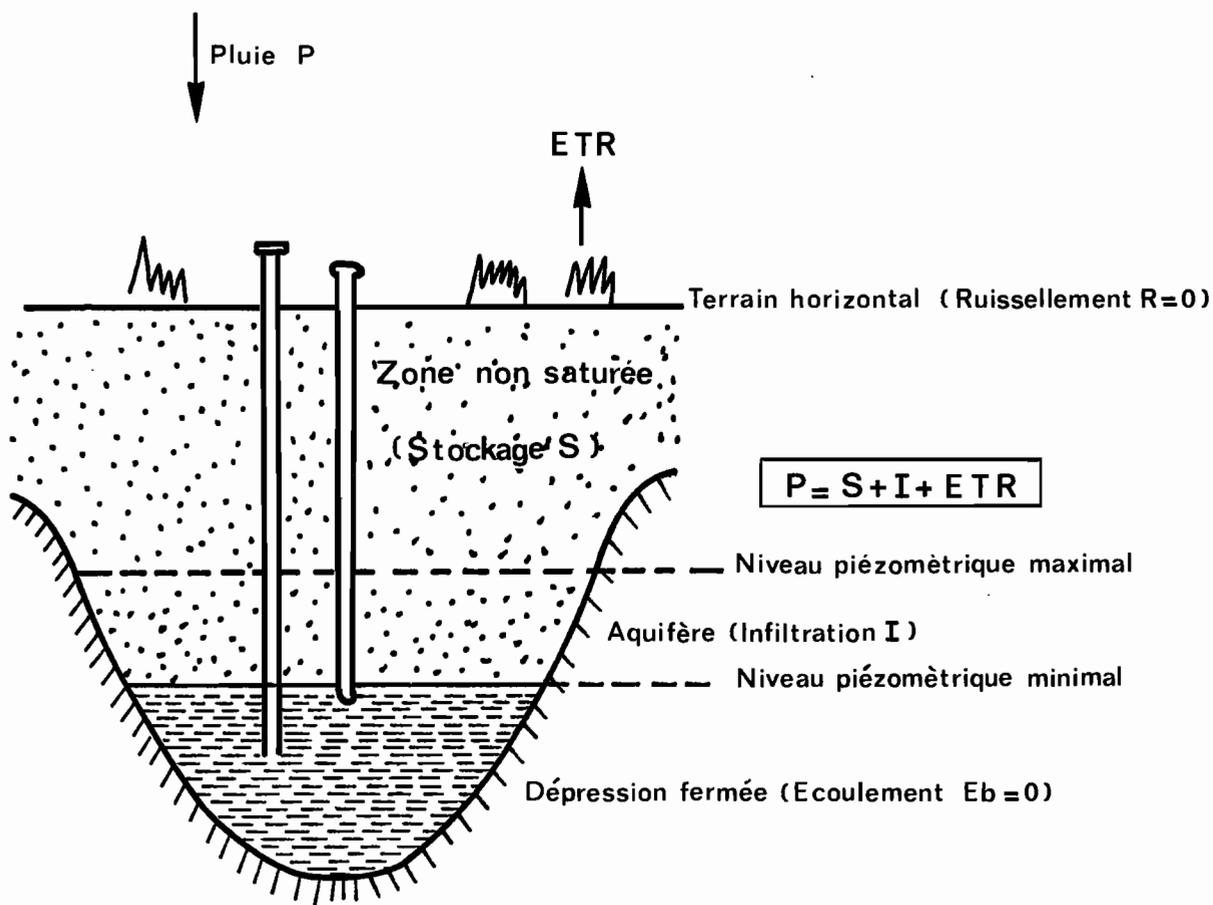
Δh est la différence d'altitude entre deux états piézométriques, en mm et P_e la porosité efficace de l'ensemble de l'aquifère, en %. Il faut donc en premier lieu déterminer P_e ce que nous avons résolu grâce à la proposition évidente suivante :

En période de baisse générale de la nappe et en dehors de toute précipitation notable, l'écoulement à l'exutoire est la conséquence directe de cet abaissement et la porosité d'ensemble de l'aquifère, pour cette tranche d'abaissement, peut être calculée suivant :

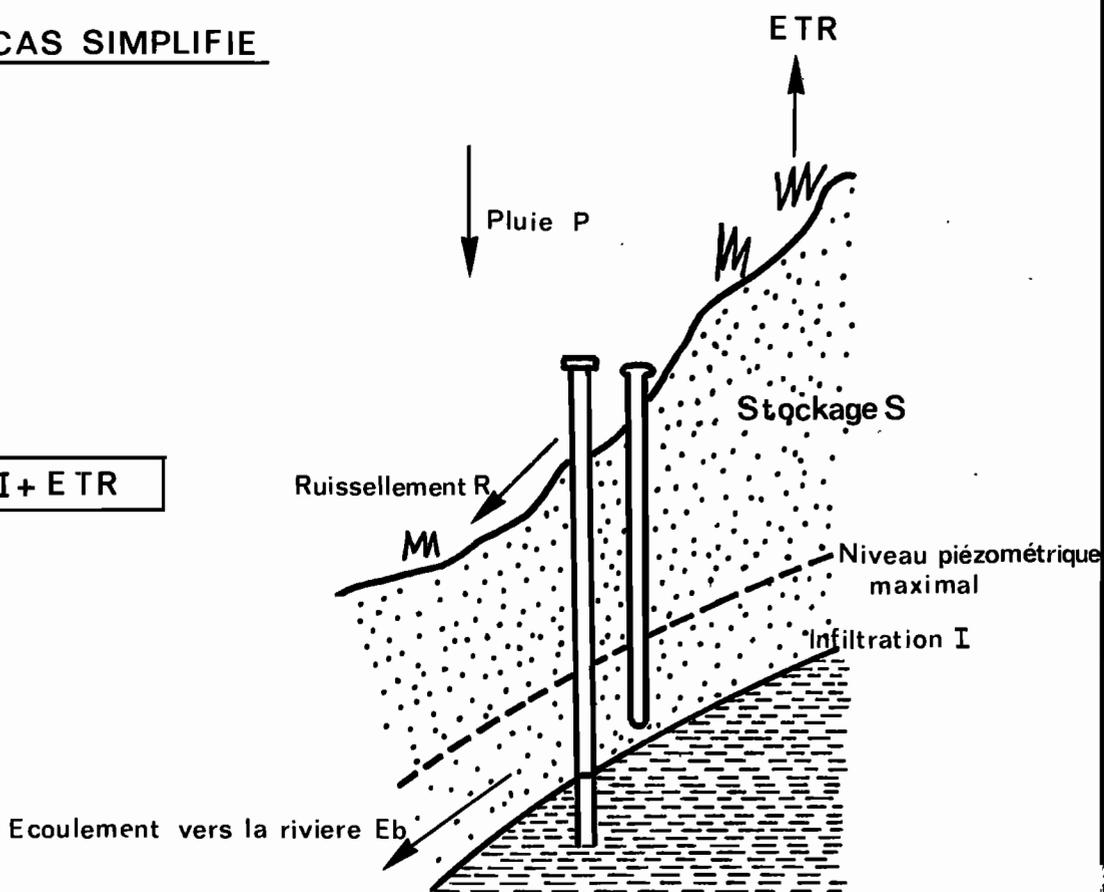
$$P_e \text{ en \%} = \frac{V_{eb}}{\Delta h \times S} \times 100$$

V_{eb} est le volume d'eau écoulé à l'exutoire entre les instants t_0 et t_1 et Δh est l'abaissement moyen de la nappe constaté sur l'ensemble de la surface S du bassin entre les altitudes h_0 et h_1 correspondant aux temps t_0 et t_1 ;

Nous l'avons dit, cette valeur de P_e n'est valable que pour la tranche d'aquifère Δh comprise entre les altitudes moyennes de la nappe h_0 et h_1 .



CAS SIMPLIFIE



$P = R + E_b + S + I + ETR$

CAS GENERAL

Heureusement pour l'aisance des calculs nous avons affaire, sur le bassin versant de la TAFANIA, à un aquifère homogène. Plusieurs calculs de P ont été effectués suivant cette méthode (16 et 17) et pour des niveaux piézométriques différents et nous ont donné des valeurs comprises entre 14,5 % et 15,4 %. Cette différence n'est pas significative et nous permet donc d'estimer $P_e = 15\%$.

Dans tous les cas la valeur de I sera égale à $0,15 \Delta H$.

b) Détermination du stockage S en zone non saturée :

Les moyens mis en oeuvre et les résultats obtenus sont respectivement décrits aux paragraphes III-5 et IV-4.

Un peu optimistes au départ, nous pensions pouvoir très rapidement mettre au point appareils et méthodologie, puis installer un réseau de tubes de mesures suffisamment dense pour procéder comme il est habituel avec la pluviométrie ou la piézométrie : courbes d'égale mise en réserve, attribution de zones d'influence ou moyenne arithmétique. Cet espoir a été déçu. D'une part comme nous l'avons déjà écrit parce que la mise au point a été longue, et d'autre part parce que nous nous sommes aperçus que la profondeur d'investigation du tube de mesures avait un rôle prépondérant. Nous prendrons pour exemple les mesures effectuées sur le tube n° II dont la profondeur en sol est 7,60 m et qui plonge dans la nappe dont le niveau piézométrique s'établit aux environs de 7 mètres. Entre le 28 octobre 1970 et le 25 février 1971 soit pendant 120 jours, nous y avons effectué 23 séries de mesures reproduites au tableau n°16.

La méthode employée pour calculer la mise en réserve est la méthode classique qui consiste à faire la somme (en impulsion / seconde) des valeurs relevées aux points de mesures pondérées par la tranche de sol intéressée, puis de faire le produit de la différence entre deux profils et de la pente de la droite d'étalement. Cette pente est égale, pour le tube II, à 0,161 soit 6,2 i/s pour 1 H_v (un point d'humidité volumique).

Pour chiffrer l'influence de la profondeur du tubage nous avons calculé l'évolution du profil pour 3 tranches de sol d'épaisseur différente :

1,35 m (Σ_1), 2,85 m (Σ_2), et 6,35 m (Σ_3) - Voir tableau N°17.

Sur la totalité de la période les mises en réserve ont été de :

56,7 mm	sur 1,35 m
88,9 mm	sur 2,85 m
179,0 mm	sur 6,35 m

Par rapport à l'évolution sur l'épaisseur totale de la zone saturée, soit 6,75 m, les erreurs introduites en utilisant des tranches de sol plus faibles sont les suivantes :

pour 1,35 m :	$\frac{56,7 \times 6,35}{1,35}$	= 266,7 mm	soit un excès de 87,7 mm ou 49%
pour 2,85 m :	$\frac{88,9 \times 6,35}{2,85}$	= 198,1 mm	soit un excès de 19,1 mm ou 11%

TABLEAU n° 16

TUBAGE II - MESURES BRUTES EN IMPULSIONS/SECONDE

Date	28.10	11.11	20.11	24.11	27.11	2.12	7.12	11.12	15.12	18.12	21.12	24.12
Prof. cm	1970											
20	118	164	151	155	162	166	163	161	150	146	157	152
30	166	201	193	190	201	203	197	196	193	188	194	193
50	223	235	234	235	241	239	238	236	231	236	237	238
70	212	215	209	210	216	219	216	223	215	217	217	222
90	190	183	185	190	187	193	190	191	191	193	190	193
100	195	199	195	202	201	203	206	199	203	202	202	201
150	202	210	203	202	196	198	197	198	199	198	206	200
210	224	224	224	224	222	226	221	223	223	223	226	229
250	239	252	243	243	243	241	245	244	243	245	247	246
310	238	242	254	257	260	260	257	255	160	260	258	262
360	261	238	261	262	254	261	258	254	255	258	260	262
410	255	263	262	260	262	261	260	262	259	259	264	263
450	250	260	264	255	256	256	256	253	253	258	260	260
510	232	243	251	253	259	261	252	253	250	256	255	258
560	270	236	272	266	273	271	269	272	270	269	273	270
610	279	266	260	259	264	264	263	261	261	264	264	262
650	299	280	295	297	288	293	296	294	295	295	295	295
710		299	300	300	299	304	299	299	299	304	300	305

Date	29.12	31.12	4.1.	8.1	1.1	18.1	29.1	16.2	19.2	22.2	25.2
Prof. cm	1971										
20	176	179	182	177	159	158	179	173	175	171	175
30	215	219	223	214	197	196	224	215	214	213	215
50	249	252	250	247	241	237	250	248	244	249	244
70	222	226	226	227	224	218	231	226	223	228	221
90	195	202	210	209	203	203	221	214	207	215	207
110	202	209	208	208	210	206	217	211	216	217	207
150	202	205	208	212	203	212	222	217	216	213	211
210	221	228	221	228	228	233	237	239	239	239	238
250	245	247	245	249	247	248	252	249	257	257	256
310	258	261	261	261	264	259	264	268	272	269	269
360	264	262	261	261	269	260	262	265	264	262	263
410	259	263	261	264	267	261	263	267	266	263	270
450	259	263	259	257	265	259	264	262	262	266	264
510	258	257	256	258	261	259	263	256	263	264	263
560	270	271	270	276	277	273	273	278	276	278	274
610	263	266	262	265	270	265	268	275	280	288	294
650	288	299	299	294	295	297	297	305	299	304	305
710	303	305	302	303	303	307	303	297	294	303	303

TABLEAU n° 17

EVOLUTION DU PROFIL POUR DIFFERENTES TRANCHES

DE SOL, TUBAGE n° II

Dates	28.10	11.11	20.11	24.11	27.11	2.12	7.12	11.12	15.12	18.12	21.12	24.12
Pluies en mm	70	97,4	27,0	9,8	25,1	21,0	5,7	12,0	0	2,5	37,8	0,3
Profondeur nappe en m	17,00	6,98	6,96	6,96	6,95	6,95	16,95	6,95	16,95	16,95	6,96	6,95
Ruissellement parcelle mm		2,9	0,9								3,8	0,9
1,35 m Σlen i/s	2477	2674	2606	2650	2698	2732	2712	2693	2649	2646	2679	2679
ΔΣ1 "		+ 197	- 68	+ 44	+ 48	+ 34	- 20	- 19	- 44	- 3	+ 33	0
S1 en mm		+31,7	-10,9	+7,1	+7,7	+5,5	-3,2	-3,1	-7,1	-0,5	+5,3	0
2,85 m Σ2 en i/s	15802	16104	15956	15995	16003	13057	16027	16018	15974	15976	16074	16054
ΔΣ2 "		+ 302	-148	+ 39	+ 8	+ 54	-30	-9	-44	+ 2	+98	-20
S2 en mm		+48,6	-23,8	+6,3	+1,8	+8,7	- 4,8	-1,5	- 7,1	+ 0,3	+ 15,8	-3,2
6,35 m Σ3 en i/s	14727	14844	15076	15055	15143	15227	15108	15068	15014	15096	15244	15239
ΔΣ3 "		+ 117	+ 232	- 21	+ 88	+ 84	- 125	- 34	- 54	+ 82	+ 148	- 5
S3 en mm		+18,8	+37,4	- 3,4	+14,2	+ 13,5	-20,1	- 5,5	- 8,7	+13,2	+23,8	-0,8

Dates	29.12	31.12	4.1.	8.1	14.1	18.1	29.1	16.2	19.2	22.2	25.2	Total
Pluies en mm	84,6	22,2	57,5	20,0	9,0	0	219,5	346,4	8,1	37,0	44,1	1087,0
Profondeur nappe en m	16,96	6,95	6,92	6,86	6,78	6,79	6,78	6,25	6,21	6,21	6,20	+0,83
Ruissellement parcelle mm	2,3		2,0		0,3		22,5	39,1		0,6	0,8	76,1
1,35 m Σlen i/s	2802	2868	2890	2860	2764	2726	2947	2870	2863	2891	2829	
ΔΣ1 "	+123	+66	+22	-30	-96	-38	+221	-77	-7	+28	-62	+352
S1 en mm	+19,8	+10,6	+3,5	-4,8	-15,5	-6,1	+35,6	-12,4	-11,3	+4,5	-10,0	+56,7
2,85 m Σ2 en i/s	16142	16268	16260	16303	16154	16191	16502	16395	16423	16436	16354	
ΔΣ2 "	+88	+126	-8	+43	-149	+37	+311	-107	+28	+13	-82	+552
S2 en mm	+14,2	+20,3	-1,3	+6,9	-24,0	+6,0	+50,1	-17,2	+4,5	+2,1	-13,2	+88,9
16,35 m Σ3 en i/s	15297	15483	15410	15513	15519	15371	15787	15750	15838	15886	15839	
ΔΣ3 "	+58	+186	-73	+103	+ 6	-148	+416	-37	+88	+48	-47	+1112
S3 en mm	+9,3	+29,9	-11,8	+16,6	+1,0	-23,8	+67,0	-6,0	+14,2	+7,7	-7,6	+179,0

En supposant une parfaite exactitude de mesures de terrain, sur des périodes plus courtes les erreurs peuvent encore être plus importantes. C'est ainsi que si on examine les profils établis le 11 et le 20 novembre 1970 on s'aperçoit qu'un dessèchement en surface coexiste avec un gain sur l'ensemble du profil. En utilisant les mesures jusqu'à 2,85 m on aurait pu croire à un dessèchement du profil de - 53,0 mm alors que les mesures effectuées jusqu'à 6,35 m nous montrent qu'en réalité il y a un gain de 37,4 mm.

En conclusion de ce qui précède une bonne connaissance des mouvements de l'eau dans la zone non saturée exige non seulement un réseau de tubes de mesure de densité suffisante mais exige également que les tubages soient profonds et dans le meilleur des cas avoisinent le niveau piézométrique. Cette constatation n'est guère réjouissante par le fait qu'elle n'est pas respectée sur le bassin versant de la TAFANIA. Nous reportons au paragraphe IV-4 la totalité des résultats obtenus sur chacun des tubes mais, pour réaliser notre objectif, il faudra nous appuyer principalement et à peu près exclusivement sur le tubage n° II. A partir des mesures effectuées sur celui-ci et permettant localement la séparation ETR/S nous devons trouver une solution de pis-aller, c'est-à-dire une loi régissant l'ensemble du bassin versant, chose possible à la condition que le tubage II soit suffisamment représentatif. Pour définir cette représentativité, nous avons à notre disposition des arguments géologiques, piézométriques et, surtout, les pentes de droites d'étalonnage de chacun des tubages.

Du point de vue de la géologie rien ne s'oppose à sa représentativité puisqu'il est implanté dans les migmatites dont l'altération est tout à fait identique à celle des Gneiss et paragneiss, l'ensemble de ces formations couvrant plus de 90 % du bassin.

Au point de vue de la piézométrie il se situe dans une zone de battement moyen.

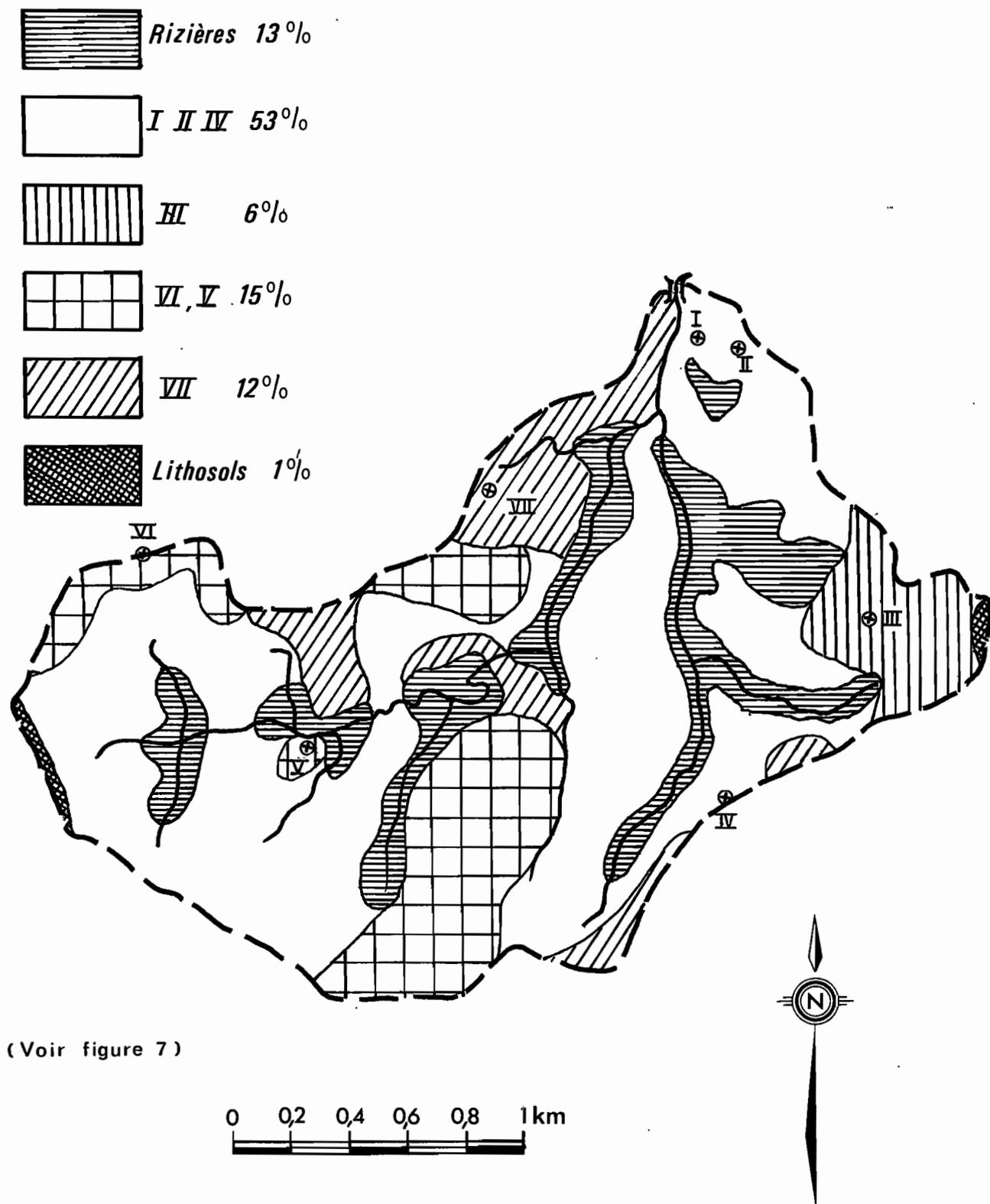
Quand à l'étalonnage il a été réalisé en champ puis au laboratoire des Radio-Isotopes de TANANARIVE et enfin à CADARACHE où des échantillons très importants de sol ont été envoyés. Les résultats sont concordants:

Tube I	pente = 0,61	soit 6,2 i/s	pour Hv
Tube II	" 0,161	" " "	" " "
Tube III	" 0,156	6,4 i/s	" "
Tube IV	" 0,161	6,2 i/s	" "
Tube V	" 0,172	5,8 i/s	" "
Tube VI	" 0,166	6,01 i/s	" "
Tube VII	" 0,167	6,0 i/s	" "

Les tubages I, II et IV, de même pente 0,161, ont une zone d'influence courant plus de 50 % du bassin comme on le constate à la figure n°23 dessinée à partir d'un échantillonnage de sols traités au laboratoire de Pédologie du Centre ORSTOM de TANANARIVE.

Une fois assurés de l'assez bonne représentativité du tubage II nous avons essayé de faire la séparation S/ETR en recherchant les valeurs de ETR, étude traitée ci-après.

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA



(Voir figure 7)

Zones d'influence des tubages de sonde à neutrons

Une fois assurés de l'assez bonne représentativité du tubage II, nous avons essayé de faire la séparation S/ETR en recherchant les valeurs de ETR étude traité ci-après.

c) Détermination des valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR :

La séparation S/ETR et le bilan hydrique établi à l'échelle de l'averse sur parcelle de ruissellement sont décrits en (14).

De même la connaissance de ETR en saison sèche (limite maximale 50 mm de pluie en 15 jours) s'effectue aisément à l'aide de la régression du profil hydrique. Cette connaissance est plus difficile à approcher en saison des pluies par le fait de l'évaporation directe lors d'une averse importante et à cause des variations relativement rapides des profils hydriques. Dans le cas présent et étant donné l'équipement du bassin nous avons essayé d'établir une relation directe entre ETR et la donnée la mieux connue : la pluie. La période d'études, choisie pour la sûreté des mesures et leur bonne densité, est la même que celle traitée précédemment : 120 jours, du 28 octobre 1970 au 25 février 1971 (tableaux 16 et 17). Le tableau n°18 résume les termes du bilan pour les périodes considérées, celles-ci variant de 9 jours au minimum à 18 jours au maximum. Dans la première partie de ce tableau nous avons établi le bilan en utilisant l'écoulement global à l'exutoire des bassins $E_g = E_b + R$. Les résultats obtenus, reportés sur la première partie de la fig N°24, sont encourageants mais témoignent d'une certaine incertitude pour les forts totaux de pluie. Ces écarts nous ont paru provenir de E_g car ce dernier tient compte du ruissellement sur l'ensemble du bassin et non pas du ruissellement au tubage n° II.

Nous avons heureusement à proximité immédiate la parcelle de ruissellement de 100 m² dont la pente et la couverture végétale sont identiques à celles entourant le tubage n° II. Dans la deuxième partie du tableau n° 18 nous avons donc séparé E_b et R à l'exutoire et pris en compte le ruissellement observé sur la parcelle. Le fait de prendre la valeur de E_b à l'exutoire signifie implicitement que la nappe, à la verticale du tubage n° II, participe à l'alimentation de l'écoulement de base de la même façon que l'ensemble de la nappe sur le bassin.

Cette hypothèse n'est vraisemblablement pas tout à fait exacte mais l'erreur ne peut en aucun cas être très grossière ce qui est d'ailleurs vérifié par l'excellente corrélation obtenue à la figure n° 24 (partie inférieure)

Dans les limites de validité de cette corrélation, (limite inférieure = 50 mm, limite supérieure vraisemblable dépendant des observations pluviométriques : 550 mm), on s'aperçoit que la croissance de l'évapotranspiration journalière diminue de façon exponentielle en fonction de la pluie. L'équation de la droite est la suivante :

$$ETR = 9,5 \log P - 14,6$$

TABLEAU N°18

TERMES DU BILAN POUR DES PERIODES VOISINES DE 15 JOURS

SUR 120 JOURS

PERIODE	Sans correction de ruissellement		avec correction de ruissellement	
	Paramètres en mm	ETR en mm	Paramètres en mm	ETR en mm
28.10 au 11.11.70 (14 jours)	P 97,4 I 3,0 S+18,8 Eg14,7	globale 60,9 par jour 4,4	P 97,4 I 3,0 S+18,8 Eb 9,9 R 2,9	globale 62,8 par jour 4,5
11.11 au 24.11.70 (13 jours)	P 36,8 I 3,0 S +34,0 Eg 9,5	Globale - 9,7 par jour - 0,7	P 36,8 I 3,0 S + 34,0 Eb 9,5 R 0,9	globale -10,6 par jour - 0,8
24.11 au 7.12.70 (13 jours)	P 51,8 I 1,5 S+ 7,6 Eg 10,9	globale 31,8 par jour 2,4	P 51,8 I 1,5 S + 7,6 Eb 10,9 R 0	globale 31,8 par jour 2,4
7.12 au 21.12.70 (14 jours)	P 52,3 I 1,5 S +22,8 Eg 13,6	globale 14,3 par jour 1,0	P 52,3 I 1,5 S +22,8 Eb 9,6 R 3,8	globale 14,6 par jour 1,0
21.12 au 4.1.71 (14 jours)	P 164,6 I 7,5 S+ 28,6 Eg 35,1	globale 95,4 par jour 6,8	P 164,6 I 7,5 S +26,6 Eb 23,7 R 9,0	globale 97,8 par jour 7,0
4.1 au 18.1.71 (14 jours)	P 29,0 I 19,5 S - 6,2 Eg 15,9	globale - 0,2 par jour 0	P 29,0 I 19,5 S - 6,2 Eb 15,0 R 0,3	globale 0,4 par jour 0,03
18.1. au 29.1.71 (11 jours)	P 219,5 I 1,5 S+ 67,0 Eg 71,7	globale 79,3 par jour 7,2	P 219,5 I 1,5 S+ 67,0 Eb 36,1 R 22,5	globale 92,4 par jour 8,4
29.1. au 16.2.71 (18 jours)	P 346,4 I 79,5 S - 6,0 Eg155,9	globale 117,0 par jour 6,5	P 346,4 I 79,5 S- 6,0 Eb 70,1 R 39,1	globale 163,7 par jour 9,1
16.2 au 25.2.71 (9 jours)	P 89,2 I 7,5 S +14,3 Eg 40,9	globale 26,5 par jour 2,9	P 89,2 I 7,5 S +14,5 Eb 30,5 R 1,4	globale 35,5 par jour 3,9

RELATIONS ETR - PRECIPITATIONS CALCULEES POUR DES PERIODES VOISINES DE 15 JOURS

ETR journalière en mm

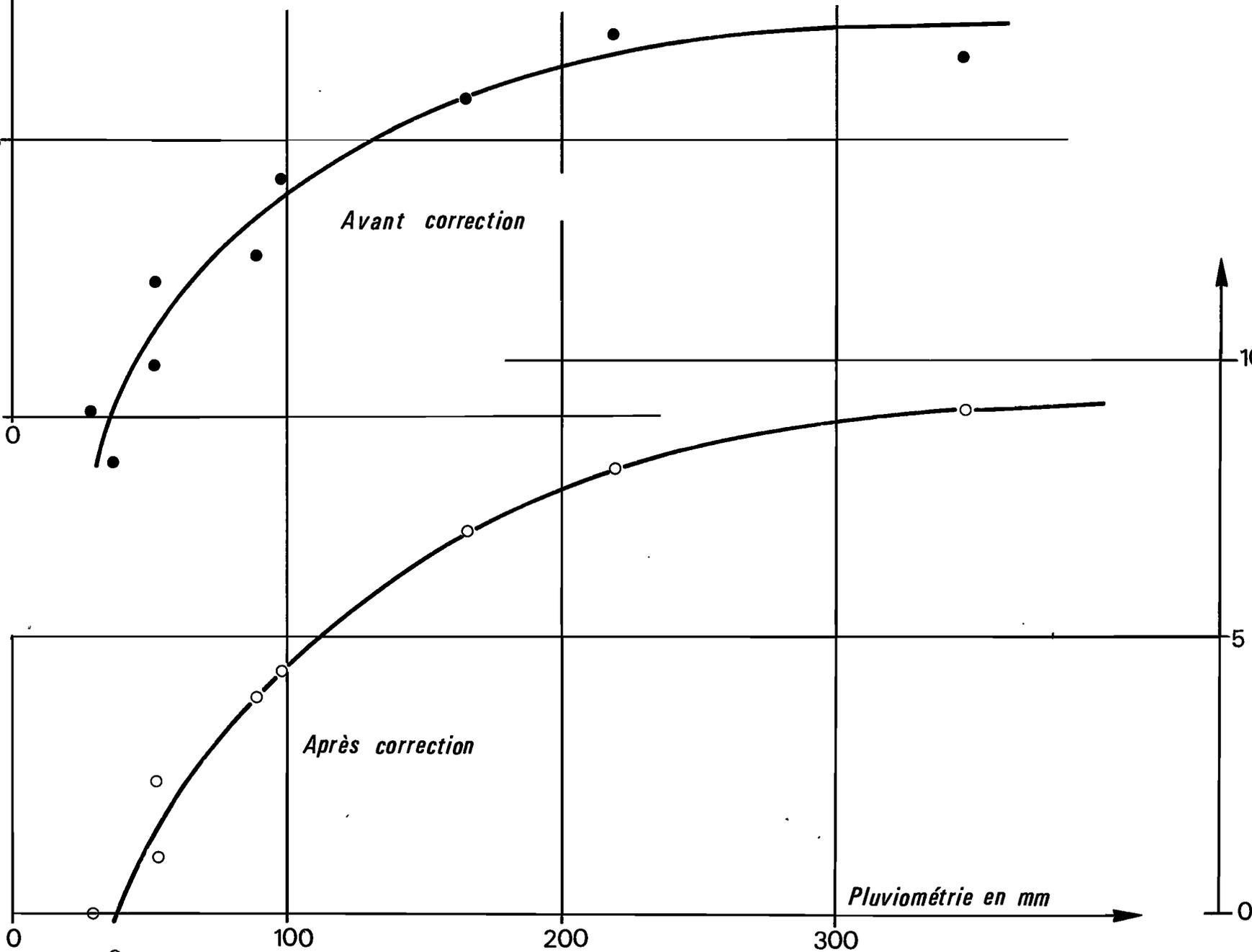
ETR journalière en mm

Avant correction

Après correction

Pluviométrie en mm

Fig-24



Pour toute la période de 120 jours le bilan calculé de la même façon que pour les courtes périodes est le suivant :

$$\begin{aligned}
 P &= 1087,0 \text{ mm} \\
 S &= 178,9 \text{ mm} \\
 I &= 124,5 \text{ mm} \\
 R &= 79,9 \text{ mm} \\
 E_b &= 215,3 \text{ mm} \\
 ETR &= 488,4 \text{ mm soit } 4,1 \text{ mm/j}
 \end{aligned}$$

Pendant la même période, mais sur tout le bassin, on a observé une pluviométrie moyenne de 1088,1 mm, un écoulement global à l'exutoire de 368,2 mm et une variation du niveau piézométrique de 0,70 m correspondant à un gain de 105 mm. On arrive donc à une évapotranspiration réelle de 436 mm et le facteur correctif à appliquer aux valeurs observé au tubage n° II est $\frac{436}{488,4} = 0,89$. L'application de ce coefficient aux valeurs caractéristiques du graphique n°25 nous permet de construire un abaque ETR journalier/P₁₅ jours reproduit à la fig. N°25. L'équation de la droite, pour l'ensemble du bassin est :

$$ETR = 8,36 \log 10 P - 12,85$$

d) Conclusions = Notre méthode peut en définitive être résumée par le tableau suivant :

PARAMETRE	BILAN SUR PERIODES DE L'ORDRE DE 15 JOURS	BILAN ANNUEL
Pluie	$p = \sum$ moyennes arithmétiques journalières	$P = \sum p$
Ecoulement E_g	$r = \sum$ observations déversoir	$R = \sum r$
	$e_b =$ " " "	$E_b = \sum e_b$
Infiltration I stockage des nappes	$i = \Delta h \times Pe$	$I = \sum I$
Evapotranspiration réelle ETR	e.t.r. saison sèche = regression profils II ou I X 0,89	$ETR = \sum e.t.r$
	e.t.r. saison des pluies = $8,36 \log P - 12,85$	
Stockage dans la zone non saturée S	périodes sèches : $s = 0$ périodes pluvieuses : $s = p - (r + e_b + i + e.t.r)$	$S = \sum s$

IV-2 Etude des eaux de surface

En dehors de la séparation ruissellement/écoulement de base, nécessaire à l'établissement des bilans hydriques, cette étude va aborder l'analyse des crues dans l'espoir de découvrir les paramètres principaux déterminant le ruissellement.

IV-2-1 Etalonnage de la station

Les installations décrites au chapitre III-3 permettent d'effectuer la mesure des débits dans de bonnes conditions. Dans le canal l'écoulement est uniforme et, en première approximation du moins, la répartition des vitesses est à peu près identique sur l'ensemble des verticales de la section. Pour vérifier ce fait les mesures ont d'abord été effectuées sur 5 verticales: V_1, V_2, V_3, V_4 et V_5 respectivement situées à 0,50 m, 1 m, 2 m, 3 m, et 3,5 m de la rive droite. Devant le bon groupement des points obtenus (voir fig 26) ces 5 verticales ont ensuite été réduites à 3: V_1, V_2 et V_3 .

Plus de 400 mesures ont été faites dont 250 entre 1962 et 1965 (2). Les très hautes eaux atteintes par la crue du 5 décembre 1967 n'ont pu être mesurées directement (nous étions en tournée à FARAFANGANA, projet F.A.O) mais le repérage immédiat des délaissées de crues et l'exécution de trois profils en travers en amont du canal ont permis de connaître le débit de pointe avec une assez bonne précision :

Données : pente de la ligne d'eau $i = 0,0016$
section du profil médian $s = 33,0 \text{ m}^2$
périmètre mouillé du profil median $p = 23,88 \text{ m}$
rayon hydraulique du profil median $r = 1,38 \text{ m}$
hauteur au limnimètre : 2,62 m

Application de la formule de STRIKLER-MANNING

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}$$

$V = 2 \text{ m/s}$ pour $n = 0,025$ soit $Q = 66 \text{ m}^3/\text{s}$

Application de la formule de BAZIN

$$V = \frac{87 \sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}} \sqrt{Ri}$$

$V = 1,9 \text{ m/s}$ pour $\gamma = 1,75$ soit $Q = 63 \text{ m}^3/\text{s}$

Extrapolation des vitesses moyennes sur la section de mesure

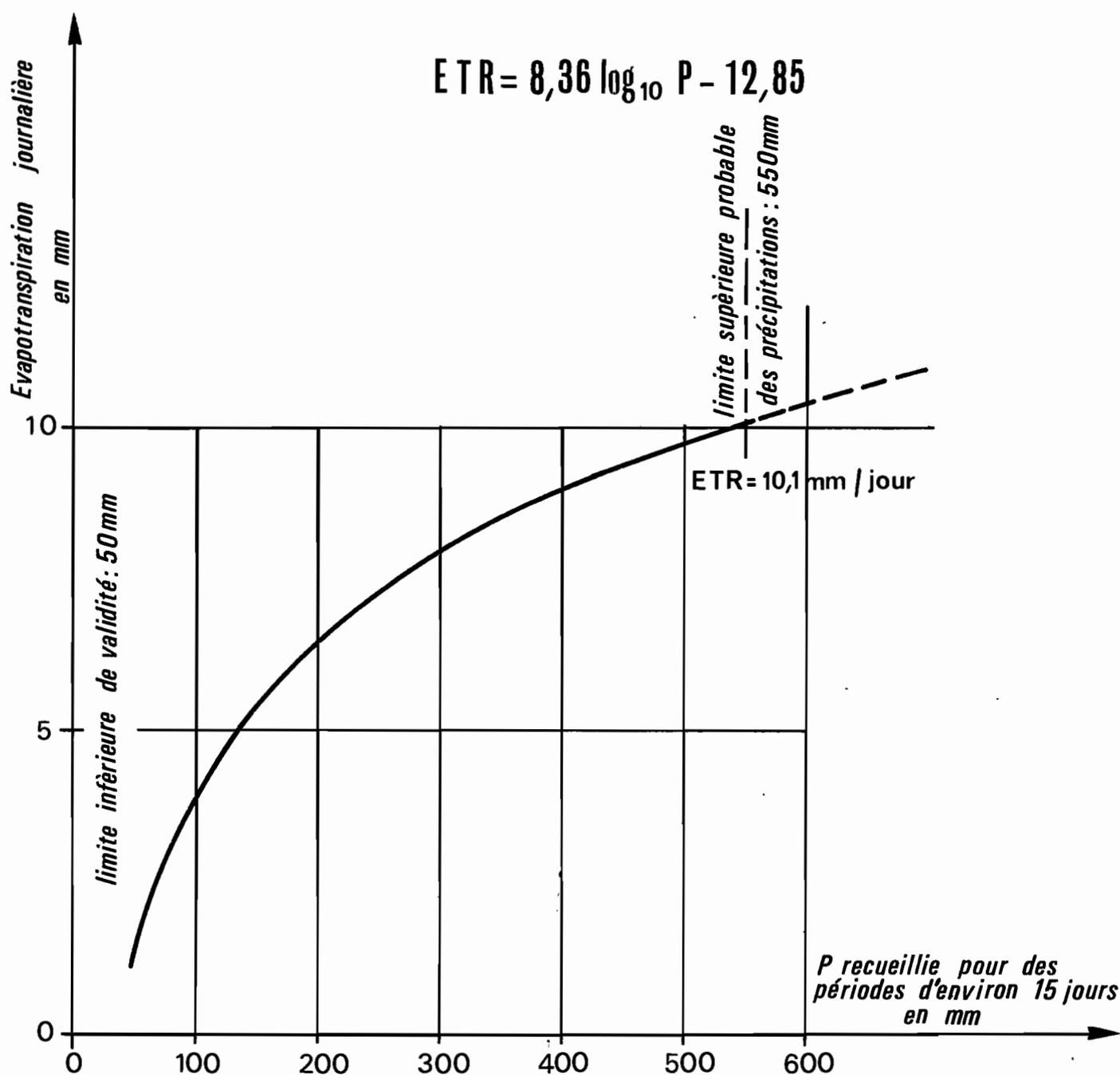
$V = 6,32 \text{ m/s}$ pour $H = 2,62 \text{ m}$, $L = 4 \text{ m}$ dont $Q = 66 \text{ m}^3/\text{s}$

Conclusions :

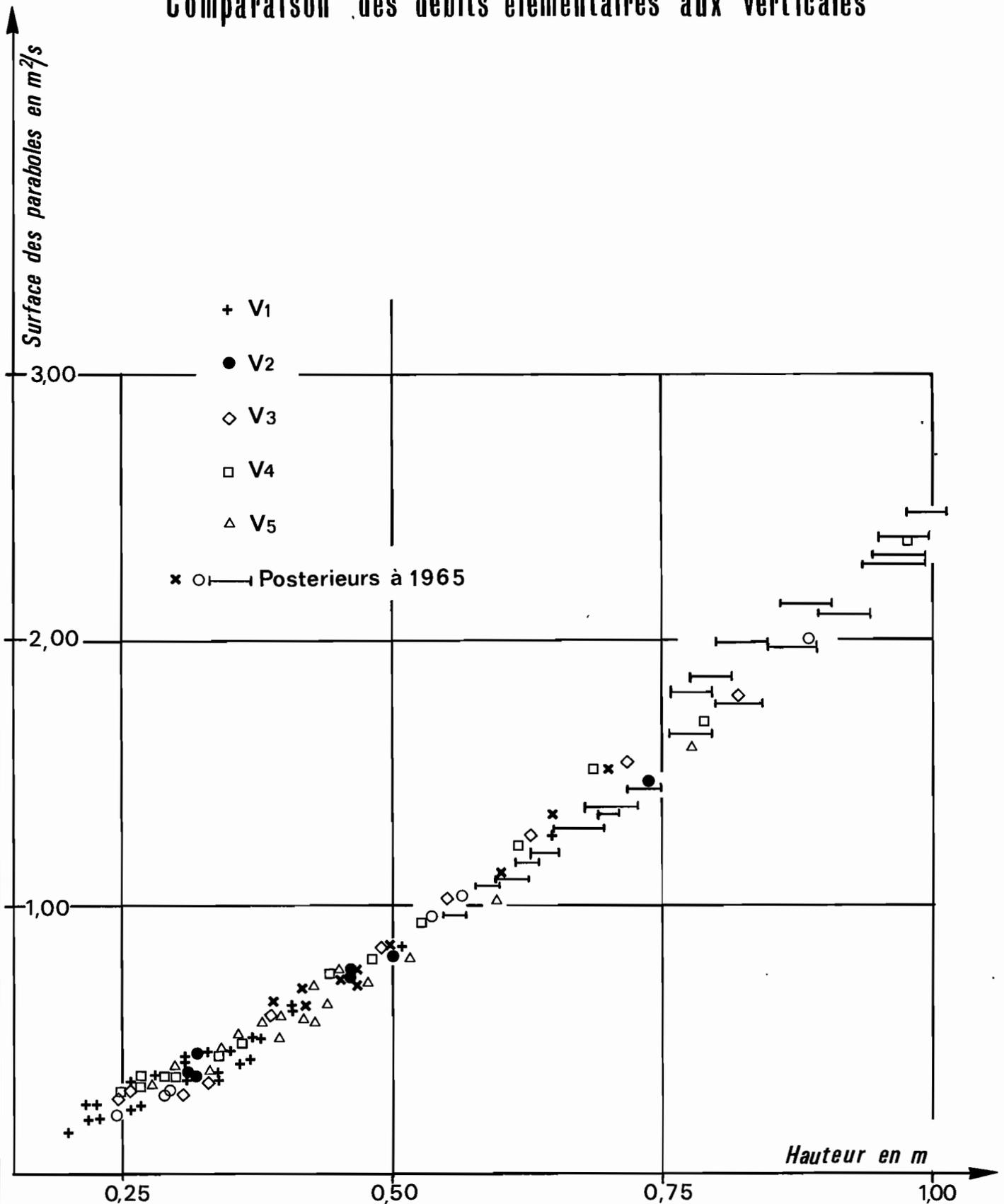
Les trois résultats obtenus sont très proches et on peut admettre que pour $H = 2,62 \text{ m}$, le débit est de l'ordre de $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce calcul et les nombreuses mesures effectuées nous ont permis de tracer la courbe de tarage et d'établir le barème d'étalonnage du tableau n°19.

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Abaque pour déterminer l'évapotranspiration journalière en fonction du total pluviométrique



Comparaison des débits élémentaires aux verticales



IV-2-2 Etude des crues

Un rapport déjà cité (2) étudie 74 crues observées entre novembre 1962 et octobre 1966 mais ce rapport ne tient pas compte des faibles ruissellements alors qu'entre le 1er novembre 1966 et le 31 octobre 1971 toutes les averses ayant provoqué un ruissellement, même très faible, ont été étudiées.

On trouvera, du tableau n°20 au tableau n°28, les caractéristiques pluviométriques et hydrologiques des 201 crues observées au cours de cette période; Ces caractéristiques sont les suivantes :

TABLEAU N°19 B.V.R. TAFANIA

BAREME D'ETALONNAGE

DU SEUIL DE MESURE

H mètres	Q m3/s	H mètres	Q m3/s
0,02	0,025	1,00	10,6
0,03	0,035	1,10	12,6
0,04	0,050	1,20	14,8
0,05	0,075	1,30	17,2
0,06	0,105	1,40	19,7
0,07	0,130	1,50	22,5
0,08	0,165	1,60	25,4
0,09	0,200	1,70	28,4
0,10	0,245	1,80	31,6
0,15	0,480	1,90	35,0
0,20	0,745	2,00	39,0
0,30	1,35	2,10	42,8
0,40	2,21	2,20	46,8
0,50	3,22	2,30	50,8
0,60	4,42	2,40	55,2
0,70	5,81	2,50	59,8
0,80	7,20	2,60	64,8
0,90	8,70	2,64	66,6

Caractéristiques des pluies

P_{moy} = hauteur moyenne de pluie recueillie sur le bassin, en mm

P_{max} = hauteur de pluie maximale ponctuelle, en mm

K = coefficient d'abattement de la pluie $\frac{P_{moy} \times 100}{P_{max}}$, en %

t = intervalle à la pluie précédente, en heures

P_{18}^a = hauteur de pluie dont l'intensité est supérieure à 18 mm/h, en mm, déterminée en faisant la moyenne entre les pluviographes A et B situés au 1/3 aval et 1/3 amont du bassin. Ces valeurs ne sont pas pondérées

par rapport à la moyenne et, lorsque ces pluviographes sont très arrosés et les intensités fortes, P_{15} est quelquefois supérieur à P_{moy} . C'est un indice de pluie utile.

$P_{max 15}$: hauteur maximale de pluie recueillie en 15 minutes, en mm, (à $\times 4$ pour avoir l'intensité en 15 minutes). Moyenne faite sur les 2 pluviographe A et B.

P_{5j} : total des pluies, en mm, recueillies les 5 jours précédents

Caractéristiques hydrologiques

V_r : volume ruisselé, en $10^3 m^3$
 H_r : lame d'eau ruisselée, en mm
 K_r : coefficient de ruissellement $\frac{H_r \times 100}{P_{moy}}$, en %

P_{moy}

t_p : temps de réponse du bassin, en heures, ou intervalle de temps séparant le centre de gravité de l'averse de la pointe de crue
 t_m : temps de montée de la crue, en heures
 t_b : durée du ruissellement, en heures
 Q_{max} : débit de pointe, en m^3/s
 Q_s : débit spécifique de pointe, en $l/s/km^2$

75 hydrogrammes relatifs aux crues de 1962 à 1966 ayant été publiés dans (2), on a jugé inutile d'en donner d'autres exemples graphiques, ici.

Un examen des 9 tableaux de caractéristiques montre que le ruissellement atteint de très fortes valeurs. Le coefficient de ruissellement dépasse 14 fois 30% et 3 fois 50% avec un maximum le 5 décembre 1967 quand K_r 62,2% pour une pluie moyenne de 68,6 mm, une pluie maximale ponctuelle de 80,6 mm, une pluie utile de 67,8 mm et une intensité de 110 mm/h pendant 15 minutes. Les débits spécifiques de pointe sont eux aussi très élevés puisqu'ils dépassent 7 fois 5 $m^3/s/km^2$ et 2 fois 10 $m^3/s/km^2$ avec un maximum très proche de 15 $m^3/s/km^2$ le 5 décembre 1967.

Selon la procédure et à l'aide de J. HERBAUD (20), plusieurs essais ont été tentés à l'ordinateur pour ajuster cette relation. Il a tout d'abord été difficile d'obtenir une série de lames d'eau calculées $H'r$ présentant avec la série H_r un écart absolu moyen vraiment faible. Cet écart n'est pas très grand si on se contente de calculer $H'R$ sur une courbe moyenne tracée à la main dans le plan (P_{moy} , H_r) ou dans le plan (P_{15} , H_r) ; mais la prise en compte d'un facteurs secondaire tel que $P = j$ améliore très peu le résultat. Le programme PQA, nouvelle méthode testée en 1972 montre cependant qu'on peut prendre en compte P_{5j} l'amélioration étant assez significative : 9 % de moins pour l'écart absolu moyen résiduel entre $H'r$ et H_r .

TABLEAU N°20

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1966-67

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	za heures	P18 mm	Pmax15 mm	P5 mm	Vr 10 ³ m ³	Hr mm	Kr %	tp h, mm	tm h, mm	tb h, mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
175	17/11/66	21,4	32,0	67		14,5	11,0	0	1,32	0,31	1,41	10'	25'	7h20	10,130	29
176	19/11	22,3	29,1	77	22	21,5	14,0	132,5	6,06	1,31	6,01	1h20'	1h10'	11h30	10,640	142
177	12/11	32,9	36,8	89	20	2,5	2,0	154,8	5,64	1,31	3,81	-	-	13h	10,200	44
178	18/11	15,3	23,5	65	101	11,5	10,8	10,1	1,50	0,31	2,21	1h28'	1h13'	4h50	10,330	73
179	24/11	34,9	58,5	60	139	29,0	14,5	0,21	6,45	1,41	4,11	1h	45'	13h	10,975	217
180	16/12	43,6	51,5	85	26	pas d'enregistrement			11,22	2,51	5,71	-	14h	18h	10,430	96
181	19/12	27,8	41,2	67	28	8,8	8,5	160,2	8,13	1,81	6,51	40'	1h40'	14h	10,560	124
182	19/12	24,8	36,4	68	9	19,5	8,5	188,0	10,35	2,31	9,31	5'	20'	7h20	11,16	258
183	23/12	42,5	47,7	89	64	22,3	11,8	162,5	18,45	4,11	9,61	25'	2h40'	14h	11,83	407
184	26/12	8,2	11,8	69	18	3,0	4,5	152,1	0,84	0,21	2,31	2h15'	2h25'	5h30	10,200	44
185	29/12	23,4	33,5	70	41	19,5	9,3	120,0	8,25	1,81	7,81	1h	56'	7h10	11,66	369
186	30/12	88,3	108,5	85	17	63,0	17,8	141,2	145,80	32,4	136,7	-	3h38'	20h	17,0	3778
187	31/12	11,2	20,0	56	20	4,3	4,8	122,1	2,76	0,61	5,51	1h15'	1h35'	7h	10,530	118
188	1/1/67	8,1	24,5	33	17	7,3	5,8	125,1	2,52	0,61	6,91	1h05'	15'	5h10	10,640	142
189	2/1	26,6	33,5	79	29	21,8	11,5	131,2	17,85	4,01	14,91	1h	1h20	9h30	12,61	580
190	4/1	25,7	36,2	71	20	9,5	5,0	140,1	9,12	2,01	7,91	-	17h30	15h	10,795	177
191	5/1	26,5	31,2	85	16	14,0	12,3	177,5	17,25	3,81	14,51	35'	1h	8h	12,82	627
192	7/1	12,5	16,3	77	26	12,5	7,5	192,8	4,20	0,91	7,51	1h20	1h40	4h30	10,795	177
193	7/1	13,2	15,8	84	12	8,5	4,5	197,2	2,55	0,61	4,31	-	14h15	8h30	10,380	84
194	16/1	16,4	33,0	50	49	8,0	9,0	18,5	5,25	1,21	7,11	1h	1h10	9h	10,640	142
195	21/1	8,1	13,9	58	90	6,0	3,8	116,9	0,39	0,11	1,11	-	13h50	5h20	10,120	27
196	22/1	47,2	53,3	89	15	17,5	9,5	18,6	17,55	3,91	8,31	-	14h30	12h30	11,22	271
197	23/1	16,6	20,5	81	17	9,5	6,3	155,8	1,17	0,31	1,61	1h20	1h55	6h30	10,745	166
198	24/1	44,2	59,0	75	18	24,5	12,5	172,4	51,90	11,5	126,1	32'	1h02	11h	19,18	2040
199	25/1	67,2	95,0	71	20	51,0	18,0	115,1	116,85	26,0	138,7	1h30	2h40	13h40	11,4	2533
100	17/2	16,8	21,0	80	15	4,5	4,5	18,7	2,70	0,61	3,61	-	15h30	11h	10,245	54

TABLEAU N°21

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1966-67 (suite)

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	ta heures	P18 mm	Pmax 15 mm	P5 j mm	Vr 10 ³ m ³	Hr mm	Kr %	tp h, mm	tm h, mm	tb h, mm	Qmax m ³ /s	Qs max h/s/km ²
101	18/2	23,6	28,6	83	17	15,0	7,0	21,8	7,35	1,6	6,9	2h20	1h40	6h	0,975	217
102	19/2	54,4	58,1	94	23	48,0	17,5	45,4	81,90	18,2	33,5	50'	1h15	11h	17,0	3778
103	27/2	49,3	67,9	73	120	46,3	24,5	0,2	55,35	12,3	24,9	35'	55'	11h	11,4	2533
104	1/3	14,8	24,2	61	17	7,0	5,0	54,1	(2,50)	(0,6)	(3,8)	diagramme perdu		(0,60)	(142)	
105	2/3	33,1	41,5	80	21	23,0	10,5	68,9	20,40	4,5	13,7	1h10	1h30	9h	1,66	369
106	3/3	39,5	46,3	86	17	19,0	8,0	102,0	22,50	5,0	12,6	-	5h30	12h	2,02	449
107	4/3	25,5	40,0	64	14	18,0	10,5	141,6	14,70	3,3	12,8	25'	1h05	10h30	2,31	513
108	5/3	76,3	84,0	91	15	61,0	17,5	117,8	109,20	24,3	31,8	1h	8h15	18h30	16,0	3556
109	6/3	43,6	52,7	83	12	30,0	11,3	189,3	61,80	13,7	31,5	46'	1h38	11h	13,6	3022
110	7/3	6,5	11,3	58	17	2,5	3,0	218,1	0,84	0,2	2,8	2h25	2h40	5h	0,410	91
111	9/3	12,8	19,4	66	42	9,0	7,0	151,9	3,36	0,7	5,8	-	3h05	7h	0,640	142
112	11/3	6,6	9,2	72	24	4,3	3,5	65,4	1,26	0,3	4,2	2h10	2h20	6h	0,290	64
113	12/3	47,1	66,0	71	14	39,5	10,0	28,4	44,40	9,8	20,9	-	3h25	13h	4,18	929
114	19/3	42,1	60,0	70	21	36,5	12,5	4,8	44,70	9,9	23,5	1h38	2h28	11h	8,25	1833
115	21/3	5,7	29,1	20	21	8,5	7,5	43,9	6,00	1,3	23,3	45'	1h	5h	1,35	300
116	26/3	59,5	83,2	72	11	56,5	18,5	14,7	(110 00)	(24,4)	(41,1)	pas d'enregistrement		13,9	3089	
117	27/3	5,6	9,7	58	12	5,0	4,8	68,3	0,99	0,2	3,9	1h15	1h15	4h	0,530	118
118	28/3	4,6	6,0	77	27	3,0	3,5	74,1	0,30	0,1	1,5	1h55	1h20	3h	0,270	60
119	30/3	4,3	5,1	84	44	3,8	3,8	78,7	0,96	0,2	4,9	2h35	2h20	6h	0,245	54
120	2/4	8,1	12,4	65	100	7,8	8,0	8,9	3,24	0,7	8,9	-	10'	8h	0,480	107
121	8/4	8,4	12,0	70	8	4,0	4,5	1,3	1,44	0,3	3,8	2h15	2h30	9h	0,225	50
122	17/4	9,7	18,4	53	76	3,8	4,0	8,0	1,56	0,3	3,5	1h40	2h30	8h	0,290	64
123	19/4	112,1	118,7	65	49	11,0	8,5	9,7	2,70	0,6	5,0	1h05	1h25	7h	0,480	107

TABLEAU N°22

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1967-68

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	ta heurs	P18 mm	Pmax 15 mm	P5j mm	Vr 10 ³ m ³	hr mm	kr %	tp h,mm	tm h,mm	tb h,mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
124	6/11/57	18,7	22,6	83	17	11,5	11,3	24,8	1,74	0,4	2,1	15'	40'	8h30	0,200	44
125	7/11	6,9	14,7	47	21	1,3	2,3	43,1	0,60	0,1	1,9	35'	2h05	6h	0,130	29
126	21/11	20,9	24,0	87	35	18,0	12,5	11,0	2,16	0,5	2,3	1h15	1h40	6h30	0,480	107
127	22/11	47,1	53,2	89	17	24,5	10,5	30,0	15,90	3,5	7,5	-	2h30	19h	0,860	191
128	23/11	28,2	33,3	85	9	11,5	6,0	72,3	5,67	1,3	4,5	1h20	1h	8h	0,670	149
129	26/11	25,6	29,7	86	64	20,8	18,5	96,3	9,96	2,2	8,6	50'	1h10	12h	1,29	287
130	30/11	70,5	84,0	84	42	49,8	28,5	34,0	68,40	15,2	21,6	10'	55'	12h	20,8	4622
131	4/12	15,6	19,0	82	63	11,5	9,0	71,1	1,68	0,4	2,4	-	2h10	10h	0,150	33
132	5/12	68,6	80,6	85	23	67,5	27,5	86,7	192,00	42,7	62,2	15'	50'	12h	65,7	14.600
133	10/12	16,2	22,9	71	18	6,3	5,0	90,0	4,14	0,9	5,7	-	2h30	12h	0,245	54
134	12/12	11,9	15,4	77	18	5,0	3,8	27,7	1,95	0,4	3,6	-	1h50	6h30	0,270	60
135	15/12	17,4	23,0	76	19	3,0	2,8	40,2	4,50	1,0	5,7	-	7h15	15h30	0,330	73
136	18/12	25,2	36,2	70	20	16,0	11,5	32,0	11,46	2,5	10,1	1h10	1h30	11h	0,920	204
137	19/12	6,4	8,6	74	20	5,0	5,0	51,6	1,65	0,4	5,7	-	1h50	10h	0,165	37
138	25/12	26,6	32,0	83	38	23,5	11,5	7,6	12,00	2,7	10,0	35'	6h30	16h	1,50	333
139	29/12	15,1	18,2	83	27	2,0	2,0	33,7	1,68	0,4	2,5	-	7h00	10h	0,200	44
140	30/12	23,2	23,7	98	13	1,0	2,5	48,8	5,04	1,1	4,8	-	9h30	17h	0,310	69
141	14/16/1/68	56,3	65,0	87	185	5,5	5,5	0	23,90	5,3	9,4	-	-	43h	0,585	130
142	23/1	16,6	22,5	74	51	5,0	4,8	5,9	2,25	0,5	3,0	40'	1h30	9h	0,245	54
143	24/1	5,3	12,1	44	21	4,5	5,0	22,5	0,42	0,1	1,8	1h50	2h20	4h	0,185	41
144	1/2	22,9	28,9	79	20	15,8	8,0	6,3	6,00	1,3	5,8	1h10	1h50	11h	0,920	204
145	2/2	6,2	15,0	41	16	0	1,0	22,9	0,54	0,1	1,9	-	20'	4h30	0,165	37
146	8/2	8,4	12,5	67	65	3,3	4,5	5,3	0,96	0,2	2,5	-	4h30	8h30	0,105	23
147	12/2	7,4	19,8	37	61	3,5	2,5	12,4	0,78	0,2	2,3	-	35'	8h30	0,105	23
148	14/2	39,4	45,2	87	40	18,0	10,5	11,4	13,56	3,0	7,6	-	40'	14h30	0,795	177

TABLEAU N° 23

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1967-68 (suite)

n°	Date	Pmoy mm	Pmax mm	K %	ta heures	P18 mm	Pmax15 mm	P5j mm	Vr 10 ³ m ³	Hr mm	Kr %	tp h, mm	tm h, mm	tb h, mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
149	16/2	28,6	32,2	89	48	6,8	5,5	46,8	9,12	2,0	7,1	1h35	3h30	11h	0,745	166
150	17/2	19,1	21,5	89	15	6,0	5,0	75,4	7,95	1,8	9,2	-	10h15	18h	0,860	191
151	19/2	9,0	11,8	76	56	0,8	1,8	89,9	1,35	0,3	3,3	-	1h30	13h	0,165	37
152	23/2	16,1	22,8	71	72	2,0	2,5	31,5	4,05	0,9	5,6	1h30	4h30	15h	0,270	60
153	1/3	36,5	37,9	96	42	20,0	12,0	8,1	24,30	5,4	14,8	15'	2h35	16h	1,85	411
154	2/3	24,6	35,3	70	10	25,0	12,0	44,6	20,40	4,5	18,4	50'	1h10	9h	5,26	1169
155	12/3	14,9	19,8	75	49	6,0	6,5	5,7	4,74	1,1	7,1	-	2h20	11h	0,430	96
156	14/3	24,5	33,0	74	20	13,0	11,0	20,6	13,74	3,1	12,5	40'	1h30	12h	1,22	271
157	14/3	12,5	27,0	46	13	5,5	4,5	44,9	2,61	0,6	4,6	-	1h	4h30	0,560	124
158	15/3	7,3	9,1	80	16	1,3	4,0	51,9	0,54	0,1	1,6	-	30'	3h40	0,230	51
159	16/3	5,8	7,9	73	22	2,8	4,0	59,2	1,95	0,4	7,5	40'	1h	6h	0,330	73
160	17/3	8,1	11,2	72	20	6,5	6,3	65,0	1,71	0,4	4,7	1h40	2h	6h	0,360	80
161	11/4	14,7	15,2	97	22	18,5	11,5	3,5	15,00	3,3	22,7	-	20'	7h	3,82	849
162	12/4	5,8	12,0	48	14	3,8	5,0	18,2	1,05	0,2	4,0	-	1h15	4h	0,330	73
163	15/10	27,5	46,5	59	21	33,0	15,5	8,2	30,00	6,7	24,2	-	1h15	7h30	2,18	484

TABLEAU N° 24

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1968-69

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	ta heures	P18 mm	Pmax15 mm	P5j mm	Yr 10 ³ m ³	Hr mm	Kr %	εp h, mm	εm h, mm	εb h, mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
1164	13/11/68	34,9	138,0	92	19	123,0	19,0	15,8	2,76	0,6	1,8	1h30	1h40	16h	10,640	142
1165	16/11	136,4	146,6	78	59	130,0	17,5	140,6	16,80	3,7	10,3	-	12h35	11h	14,56	1013
1166	17/11	130,8	152,5	59	21	124,0	13,0	172,5	13,92	3,1	10,0	50'	1h	18h	12,41	536
1167	19/11	141,6	148,8	85	23	115,8	6,0	167,2	10,20	2,3	5,4	-	1-	124h	10,350	78
1168	22/11	159,6	174,0	81	2	135,0	13,8	176,9	37,26	8,3	13,9	25'	1h55	15h	13,02	671
1169	24/11	122,8	123,8	96	39	114,0	6,8	185,8	6,39	1,4	6,2	1h35'	13h	110h	10,560	124
1170	14/12	170,0	181,0	86	5	141,0	13,3	122,9	57,84	12,9	18,4	-	13h45	113h30	18,40	1867
1171	15/12	148,7	160,5	80	12	127,5	17,0	192,9	41,16	9,1	18,7	-	1-	115h30	13,82	849
1172	18/12	116,0	118,3	87	10	111,8	2,5	115,5	3,33	0,7	4,6	-	17h	112h	10,310	69
1173	19/12	111,1	112,1	92	20	100	1,5	1158,9	1,08	0,2	2,2	-	15h	17h30	10,200	44
1174	21/12	115,4	117,6	88	10	110,8	1,8	158,0	1,68	0,4	2,4	-	1-	113h	10,225	50
1175	25/12	115,4	117,1	90	68	111,8	2,0	122,5	3,09	0,7	4,5	-	1-	114h30	10,225	50
1176	27/12	145,2	160,1	75	13	127,5	13,5	115,8	40,56	9,0	19,9	25'	12h50	15h	16,09	1353
1177	28/12	134,3	138,0	90	15	117,0	7,5	161,0	26,64	5,9	17,2	30'	12h25	11h	15,12	1138
1178	29/12	125,2	127,5	92	12	118,5	9,0	194,9	22,14	4,9	19,5	-	1-	112h	13,70	822
1179	13/1/69	137,8	146,8	81	17	124,0	12,0	110,0	19,40	4,3	11,4	45'	1h25	15h	11,74	387
1180	14/1	119,0	123,0	83	20	115,0	3,8	146,8	5,82	1,3	6,8	2h15	13h	110h	10,530	118
1181	26/1	116,4	120,6	80	20	116,5	6,0	119,5	2,20	0,5	3,0	1h	1-	19h30	10,330	73
1182	28/1	119,6	112,2	79	12	117,5	7,5	132,6	2,28	0,5	5,3	40'	1h40	15h	10,530	118
1183	4/2	117,0	123,8	71	5	110	1,5	110,6	0,93	0,2	1,2	2h35	13h35	16h	10,165	37
1184	5/2	112,8	117,5	73	-	117,5	4,5	125,1	1,86	0,4	3,2	-	12h10	17h	10,290	64
1185	6/2	177,0	182,0	94	9	148,5	16,5	137,9	93,00	20,7	26,8	40'	135'	114h	110,6	2356
1186	7/2	132,1	135,1	92	8	112,5	3,5	114,9	13,14	2,9	9,1	1h50	13h05	110h	11,22	271
1187	8/2	133,6	137,8	89	11	112,5	10,0	114,0	17,64	3,9	11,7	-	145'	116h	11,66	369
1188	11/2	140,6	145,0	90	11	129,5	9,5	1152,4	38,40	8,5	21,0	25'	1h	113h30	6,09	1353

TABLEAU N° 25

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1968-69 (suite)

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	ta heures	P 18 mm	Pmax 15 mm	P5 j mm	Vr 10 ³ m ³	Hr mm	Kr %	tp h, mm	tm h, mm	tb h, mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
189	12/2	9,1	12,5	73	17	2,5	3,3	116,0	0,72	0,2	1,8	1h45	1h15	3h	0,410	91
190	19/2	33,0	43,0	77	83	26,0	14,5	0,3	25,50	5,7	17,2	27'	1h02	9h	7,65	1700
191	22/2	9,5	15,0	63	22	6,5	5,0	39,6	0,96	0,2	2,2	1h15	1h20	4h	0,310	69
192	6/3	22,0	33,0	67	68	22,0	18,0	6,1	10,08	2,2	10,2	1h	1h	8h	2,71	602
193	8/3	49,7	65,2	76	42	40,5	18,0	22,0	46,50	10,3	20,8	50'	1h	10h30	12,6	2800
194	10/3	19,3	28,5	68	23	0,8	2,5	74,0	2,97	0,8	3,4	-	-	10h	0,430	96
195	3/4	46,7	57,4	81	226	42,5	22,5	0	43,80	9,7	20,8	35'	2h	10h	11,0	2444
196	4/4	10,5	11,1	95	23	6,0	7,0	46,7	1,92	0,4	4,1	1h05	1h40	5h	0,430	96
197	11/4	44,9	51,7	87	8	41,0	16,0	1,5	40,80	9,1	20,2	35'	-	7h30	9,70	2156
198	12/4	15,8	19,4	81	13	11,5	12,0	44,9	6,00	1,3	8,4	-	1h15	8h	1,35	300
199	14/4	70,3	76,7	92	43	59,0	39,3	60,7	79,80	17,7	25,2	30'	45'	7h	32,3	7178
200	20/4	16,5	26,9	61	87	10,0	8,5	0	11,61	2,6	15,6	45'	2h10	10h	1,58	351
201	25/4	17,0	25,1	68	67	15,0	11,0	16,5	7,32	1,6	9,6	15'	30'	8h	0,795	177
202	11/10	19,4	25,1	77	240	20,0	19,5	0	4,08	0,9	4,7	50'	1h40	15h30	1,22	271
203	23/10	14,7	22,8	64	20	1,0	2,8	7,0	0,75	0,2	1,1	-	14h	16h	0,150	33
204	24/10	16,0	16,3	98	16	6,5	6,0	21,7	0,84	0,2	1,2	-	17h	11h	0,105	23
205	25/10	21,6	23,5	92	18	13,0	6,5	37,7	2,01	0,4	2,1	2h	2h30	16h30	0,200	44
206	30/10	28,0	33,8	83	88	20,5	9,0	26,9	4,05	0,7	3,2	35'	1h30	16h30	0,725	161

TABLEAU N° 26

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1969-70

N°	DATE	Pmoy mm	Pmax mm	K %	a heures	P 18 mm	P max 15 mm	P 5 j mm	Vr 103 m ³	Hr mm	Kr %	tp h,mm	tm h,mm	Tb h,mm	Qmax m ³ /s	Qs max l/s/km ²
1207	1/11/69	145,8	149,0	94	43	132,5	20,0	128,0	25,95	5,8	12,6	40'	1h	17h30	16,37	1416
1208	7/11	122,2	128,6	78	13	16,3	4,0	129,6	1,83	0,4	1,8	24	13h	16h30	10,245	54
1209	1/12	114,0	115,5	190	76	114,0	5,5	121,5	1,50	0,3	2,4	24	1h20	16h	10,270	60
1210	6/12	135,9	151,9	169	15	129,0	16,5	132,9	16,92	3,8	10,5	40'	50'	19h	14,42	982
1211	7/12	117,6	129,5	160	20	118,0	14,8	154,8	9,78	2,2	12,3	30'	20'	17h	11,93	429
1212	11/12	126,7	144,2	160	14	129,0	24,5	169,1	30,12	6,7	125,1	15'	45'	10h	17,50	1667
1213	15/12	159,2	198,0	160	15	144,3	16,3	160,7	80,10	17,8	130,1	40'	1h30	12h	123,1	5133
1214	16/12	132,7	138,6	185	18	114,5	9,0	110,7	13,02	2,9	8,8	50'	40'	12h	2,02	449
1215	18/12	139,0	144,6	187	36	130,5	13,5	196,7	25,02	5,6	14,3	-	20'	13h	2,92	649
1216	23/12	139,3	145,7	186	42	17,5	7,0	155,8	12,96	2,9	14,6	-	14h50	11h	10,860	191
1217	24/12	135,9	137,6	195	8	119,5	12,0	156,1	22,20	4,9	13,7	30'	45'	10h30	3,02	671
1218	25/12	132,7	136,8	189	7	126,5	18,0	192,0	36,72	8,2	25,0	40'	13h05	11h	17,50	1667
1219	29/12	112,2	121,5	157	10	18,0	4,0	186,9	2,16	0,5	3,9	-	20'	18h	10,530	118
1220	30/12	144,0	155,5	179	6	127,5	12,0	163,2	59,40	13,2	130,0	1h	1h30	12h	18,40	1867
1221	31/12	127,7	134,6	180	17	15,0	4,0	174,5	16,86	3,7	13,5	-	17h00	13h	12,41	536
1222	1/1/70	172,8	177,0	195	14	158,0	15,0	111,1	120,60	26,8	136,8	-	-	10h	123,7	5267
1223	2/1	142,3	148,8	187	13	124,3	8,0	166,1	38,25	8,5	20,1	-	15h10	10h30	14,06	902
1224	3/1	145,8	165,5	170	13	132,5	12,5	199,0	46,20	10,3	22,4	1h	1h40	16h	10,2	2267
1225	4/1	117,7	119,1	193	14	12,0	1,8	122,6	4,62	1,0	5,8	-	13h30	17h30	10,695	154
1226	5/1	118,4	119,9	192	16	111,0	5,5	1206,3	8,67	1,9	10,5	1h	12h	16h	11,29	287
1227	7/1	113,0	114,9	187	17	110,5	10,5	1130,5	7,32	1,6	12,5	1h	1h	15h	11,74	387
1228	9/1	121,1	125,6	183	7	120,0	12,0	170,8	15,45	3,4	16,3	-	1h40	15h30	14,42	982
1229	13/1	127,3	144,5	161	92	122,8	15,0	136,5	26,16	5,8	21,3	1h40	1h	19h	13,34	742
1230	15-16/1	145,7	149,5	192	25	13,0	2,5	148,4	20,46	4,5	9,9	-	12h55	132h	10,695	154
1231	19/1	127,7	129,0	195	88	128,5	16,5	145,7	30,15	6,7	24,2	40'	12h	16h	19,54	2120

TABLEAU N° 27

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1969-70 (suite)

N°	DATE	Pmoy	Pmax	K	ta	P18	P max15	P 5j	Vr	Hr	Kr	tp	tm	tb	Qmax	Qs max
		mm	mm	%	heures	mm	mm	mm	10 ³ m ³	mm	%	h, mm	h, mm	h, mm	m ³ /s	l/s/km ²
1232	125/1	120,2	126,6	76	140	113,3	5,8	0	15,73	1,3	6,3	-	1h30	10h	10,530	118
1233	3/2	114,3	116,0	89	85	114,5	5,5	7,3	13,99	0,9	6,2	1h40	1h	5h	10,975	217
1234	6/2	114,5	119,0	76	70	114,5	4,5	14,3	12,28	0,5	3,5	-	20'	5h	10,330	73
1235	7/2	128,4	133,0	86	18	125,0	12,5	128,8	122,50	5,0	17,6	40'	1h10	6h	14,18	929
1236	9/2	179,2	186,6	91	22	168,0	17,8	150,9	178,20	39,6	150,0	35'	2h05	7h	145,2	11044
1237	117/2	128,1	134,9	80	20	121,0	9,0	110,5	112,90	2,9	9,8	45'	1h20	7h	11,74	387
1238	4/3	133,8	137,0	91	200	130,5	14,0	0	11,16	2,5	7,3	45'	1h20	8h30	12,71	602
1239	12/3	118,9	113,2	67	18	113,5	4,8	112,3	0,39	0,1	1,0	2h25	1h30	3h	10,200	44
1240	13/3	147,8	168,3	70	15	150,3	23,5	120,9	151,00	11,3	23,7	40'	40'	7h30	13,7	3044
1241	121/3	116,9	127,4	62	20	113,0	9,5	117,0	3,06	0,7	4,0	1h15	1h30	7h	10,430	96
1242	125/3	125,9	135,6	73	72	121,5	9,0	124,1	114,88	3,3	12,8	50'	1h10	8h	12,82	627
1243	128/3	110,2	115,9	64	70	113,8	4,5	130,0	0,6	0,1	1,3	1h20	1h10	4h	10,200	44
1244	7/4	125,8	139,6	65	7	118,5	5,0	0	3,78	0,8	3,3	3h	4h50	9h30	10,310	69
1245	114/4	112,8	139,7	32	70	119,0	8,8	112,1	2,28	0,5	4,0	1h20	1h	5h	10,430	96
1246	2/5	112,4	127,8	45	72	115,0	10,0	114,5	3,84	0,9	6,9	50'	10'	5h	10,975	217

TABLEAU N° 28

CARACTERISTIQUES DES CRUES 1970-71

N°	DATE	Pmoy	Pmax	K	ta	P18	Pmax 15	P25 j	Vr 3	Hr	Kr	tp	ta	tb	Qmax	Qsmax
		mm	mm	%	heures	mm	mm	mm	10 ³ m	mm	%	h, mm	h, mm	h, mm	m ³ /s	l/s/km ²
247	7/11/70	16,0	18,8	85	19	15,0	12,0	22,3	2,76	0,6	3,8	1h15	2h	5h30	0,695	154
248	10/11	32,4	54,1	60	68	11,0	6,8	38,4	18,96	4,2	13,0	-	1h15	8h30	2,66	591
249	24/11	19,2	20,6	93	20	1,5	1,8	10,9	1,20	0,3	1,4	-	1h45	5h	0,225	50
250	18/12	30,0	39,1	77	188	27,0	13,5	4,4	18,00	4,0	13,3	1h	1h45	7h30	5,54	1231
251	23/12	7,3	30,5	24	94	2,0	2,8	31,0	1,65	0,4	5,0	55'	5'	4h	0,585	130
252	25/12	30,1	38,9	77	45	17,5	13,5	7,3	3,72	0,8	2,7	-	-	12h	0,330	73
253	30/12	21,4	27,0	79	14	9,0	5,5	77,2	3,66	0,8	3,8	-	-	11h	0,585	130
254	31/12	17,7	19,6	90	17	16,5	9,5	68,5	10,62	2,4	13,3	30'	1h	7h30	2,71	602
255	1/1/71	14,4	18,6	77	24	10,5	8,5	77,6	6,00	1,3	9,3	40'	40'	5h	1,83	407
256	3/1	33,7	37,5	90	22	25,0	12,5	61,7	25,50	5,7	16,8	25'	-	10h	5,54	1231
257	7/1	8,2	19,1	43	21	10,5	9,3	53,9	3,90	0,9	10,6	-	10'	4h30	1,29	287
258	25/1	45,0	71,0	63	19	24,5	7,0	70,6	46,20	10,3	22,8	-	-	13h	5,81	1291
259	26/1	71,8	90,0	80	16	53,5	27,8	15,2	14,00	25,3	35,3	5'	45'	9h30	35,0	7778
260	30/1	29,2	37,9	77	12	19,5	6,0	15,8	24,30	5,4	18,5	1h50	4h50	14h	2,82	627
261	31/1	17,0	26,7	64	22	5,3	4,5	10,0	6,51	1,4	8,5	15'	1h10	7h	1,09	242
262	7/2	31,9	32,9	97	18	14,0	8,0	31,5	13,92	3,1	9,7	45'	-	12h	1,43	318
263	8/2	23,3	30,9	75	16	16,0	9,5	63,4	15,18	3,4	14,5	1h10	1h30	8h	3,22	716
264	9/2	15,0	16,8	89	21	15,0	6,0	86,7	9,24	2,1	13,7	50'	1h	7h	1,74	387
265	10/2	75,9	86,3	88	20	5,5	21,8	101,7	175,20	38,9	51,3	30'	1h05	8h	44,8	9956
266	11/2	67,2	79,2	85	15	39,0	16,0	16,2	120,00	(26,7)(40)	-	-	-	-	-	-
267	12/2	12,1	17,6	69	18	13,3	13,3	21,3	12,00	2,7	22,0	55'	55'	6h30	2,61	530
268	15/2	15,8	26,1	61	20	10,5	6,8	163,4	9,30	2,1	13,1	1h	1h25	6h	3,12	693
269	20/2	38,4	42,3	91	42	18,0	8,0	29,8	27,30	6,1	15,8	-	1h30	13h	1,88	418
270	23/2	14,2	22,1	64	65	11,5	10,0	45,2	5,46	1,2	8,5	1h	50'	9h	0,975	217
271	24/2	24,9	35,0	71	5	13,8	7,5	53,0	14,04	3,1	12,5	50'	8'	14h30	1,83	407
272	25/2	38,4	40,3	95	14	40,0	10,5	77,9	57,60	12,8	33,3	35'	-	9h30	8,10	1800
273	5/3	16,7	20,8	80	6	6,3	3,3	3,5	6,96	1,5	9,2	30'	1h03	8h	1,66	369
274	16/3	19,8	23,6	84	90	7,5	8,3	7,4	4,26	0,9	4,8	-	4h10	10h	0,410	91
275	10/4	22,8	38,0	60	340	22,3	11,0	0	10,32	2,3	10,1	20'	30'	7h30	2,02	449

Divers essais ont été fait pour définir le facteur principal :

$$F = P_{moy}$$

$$F = P_{18}$$

$$F = 0,5 P_{moy} + P_{max 15}$$

$$F = 0,5 P_{18} + P_{max 15}$$

$$F = 0,25 (P_{moy} + P_{18}) + P_{max 15}$$

$F = 0,5 (P_{moy} + P_{18})$: Seule cette dernière définition a donné satisfaction et doit être le facteur principal

$f = P_{5j}$ améliore sensiblement la relation et doit être le facteur secondaire

FONCTIONNEMENT DU PROGRAMME PQA ET RESULTATS OBTENUS :

1°) Ajustement à la main d'une courbe dans le plan (F, Hr). La courbe (Γ) représentée à la fig N°27 et qui ne fait pas intervenir le facteur secondaire P5 j, a une allure vaguement hyperbolique et son tracé réalise à la fois la minimisation de l'écart absolu moyen entre Hr et H'r et l'obéissance à deux contraintes bien connues :

- qu'il n'y ait pas de points d'inflexion,
- qu'en chaque point de la courbe la pente de la tangente soit au plus égale à 1.

En fait, il y a deux gammes de valeurs pour lesquelles la courbure est forte, entre $F = 5$ mm et $F = 15$ mm d'une part, entre $F = 40$ mm et $F = 50$ mm d'autre part. Au-delà de $F = 50$ mm, la courbe s'identifie à une droite de pente 1.

L'écart absolu moyen résiduel est 1,275 mm

2°) Ajustement d'un réseau d'hyperboles dans le plan (F, hr)

Ces hyperboles, relatives chacune à une valeur de P5 jours :

- sont tangentes à l'origine à l'axe des F
- admettent, pour la demi-branche utile située dans le premier quadrant, une asymptote de pente 1
- admettent une deuxième asymptote de pente b (paramètre optimisé par le programme PQA)

L'écart absolu moyen résiduel est 1,177 mm en adoptant $b = 0,4$.

3°) Fonctionnement du programme PQA

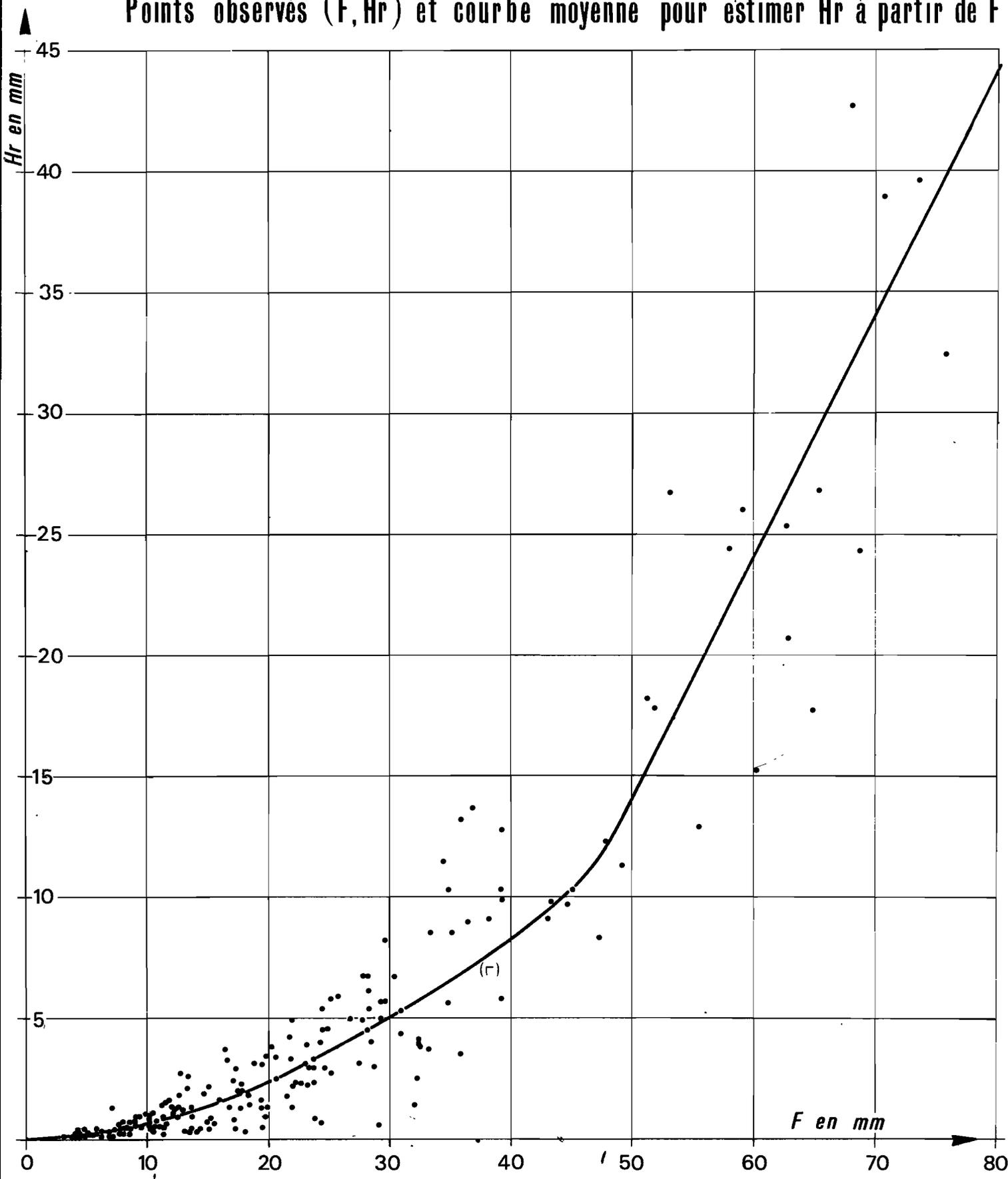
A) pour chaque couple de valeurs observées (F, Hr) on calcule un coefficient

$$a = \frac{F(b+1) - H.r - b \frac{F^2}{H.r}}{1-b} \quad (I)$$

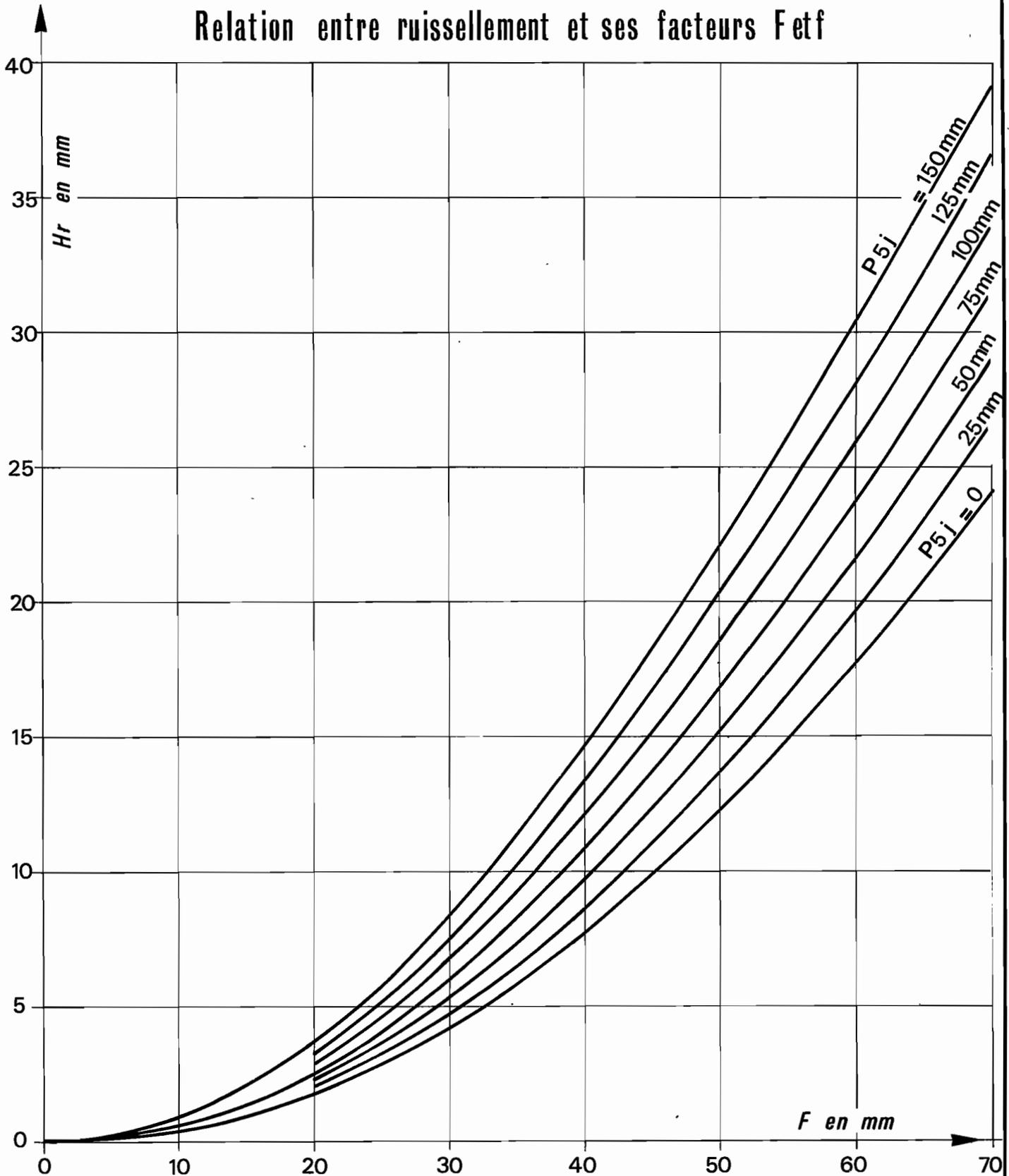
Son expression n'est autre que celle de l'abscisse à l'origine de l'asymptote de pente 1 de l'hyperbole du réseau défini plus haut qui passe par le point (F, Hr) le paramètre b étant la pente de la deuxième asymptote.

BASSIN DE LA TAFAINA

Points observés (F, Hr) et courbe moyenne pour estimer Hr à partir de F



Relation entre ruissellement et ses facteurs F et f



Programme PQA
 $F = 0,5 (P_{moy} + P_{18})$
 $f = P_{5j}$

B) on considère les logarithmes de a et on cherche s'ils sont liés aux valeurs de P5 j. Effectivement, on trouve qu'on peut ajuster une droite de regression, avec un coefficient de corrélation r qui peut dépasser 0,4 pour certains des essais effectués ce qui est hautement significatif. En effet l'écart-type de r pour un échantillon de 200 couples est alors :

$$G_r = 1 - r^2 / \sqrt{N} = 0,06 \text{ valeur très faible puisqu'il suffirait de trouver } G_r = 0,14 \text{ pour que la liaison soit significative au seuil de probabilité 99\%}$$

C) le calcul de la lame théorique H''r à partir de F et P5j se fait en utilisant la droite de regression de a en P5j (calcul d'une valeur théorique a') puis en résolvant l'équation (I) par rapport à Hr, avec la précaution suivante : prendre la plus grande racine si b < 0 et la plus petite si b > 0.

Il faut noter que la valeur optimale (b = 0,4) est assez précise malgré le petit nombre de valeurs testées qui l'encadrent (b = 0,2; - 0,8; -2,5) car le minimum de la courbe des écarts résiduels en fonction de b est très "plat" ; on a en effet la correspondance :

b	-0,2	-0,4	-0,8	-2,5
(Hr - H''r) moyen	1,420	1,177 mm	1,184 mm	1,260 mm

En définitive la relation entre H''r, F et P5j peut être exprimée sous la forme mathématique suivante :

$$\begin{aligned} H''r &= 0,5 \left[\beta + \sqrt{\beta^2 + 1,6 F^2} \right] && \text{II} \\ \text{avec } \beta &= 0,6 F - 1,4 && \text{III} \\ \text{et } \gamma &= 0,00042 (P5j) + 6,566 && \text{IV} \end{aligned}$$

Ces formules permettent de calculer le réseau d'hyperboles de la fig N° 28. Nous avons également représenté aux fig N° 29 une des hyperboles du réseau et certains points observés qui doivent être en principe et sont effectivement disposés autour de la courbe. ON trouvera enfin à la fig N° 30 un graphique de sortie d'ordinateur : lames ruisselées observées et calculées.

IV-2-3- Écoulements journaliers mensuels et annuels

Le dépouillement des enregistrements au limnigraphe et l'étude des crues ont permis d'établir les écoulements journaliers, mensuels et annuels, reproduits aux tableaux N° 29 à 33. On remarquera que les écoulements de juin à aout 1968 paraissent excédentaires. Il est vraisemblable que, pendant cette période correspondant à nos congés le flotteur du limnigraphe ait été coincé à la cote H = 0,05 m. C'est la raison pour laquelle nous avons rajouté () des valeurs qui paraissent plus crédibles et qui abaissent l'écoulement de base annuel de 2,8%.

IV-2-4 Bilan hydrique des écoulements de surface sur le bassin :

Dans le but de suivre la méthodologie exposée au paragraphe IV-1 nous avons le 1er et le 15 de chaque mois, séparé le ruissellement et l'écoulement de base.

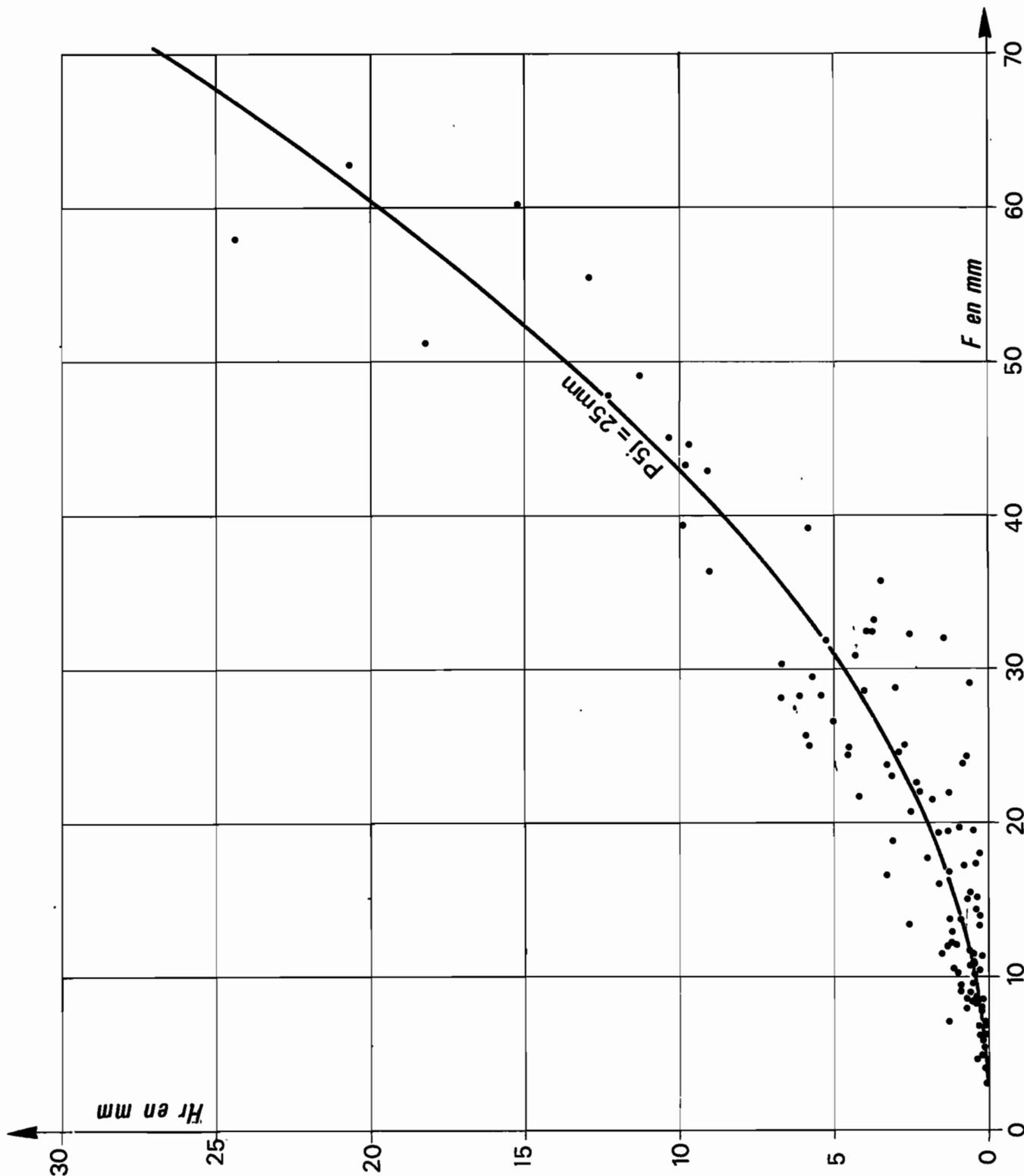
Avec l'aide de la pluviométrie nous avons pu ensuite calculer, pour chaque période, le déficit d'écoulement ou la restitution par la nappe (voir tableaux N°34 à 38).

Les bilans annuels sont extrêmement cohérents puisque, pour des pluviosités variant de 1534,2 mm à 1112,4 mm, les paramètres moyens observés sur 5 années sont les suivants :

Ruissellement :	13,1%	avec des extrêmes de	10,5	et	15,5%
Écoulement de base :	36,3%	"	"	33,1	et 39,3%
Déficit d'écoulement:	50,6%	"	"	48,2	et 54,5%.

BASSIN DE LA TAFAINA

Report des points observés (F, Hr) correspondant à $0 < P5j < 50\text{mm}$



BASSIN DE LA TAFAINA

Lames ruisselées observées et calculées

Essai optimal

Lames observées (o)
Lames calculées (•)

$$y = x$$

X = Lames ruisselées observées (mm)

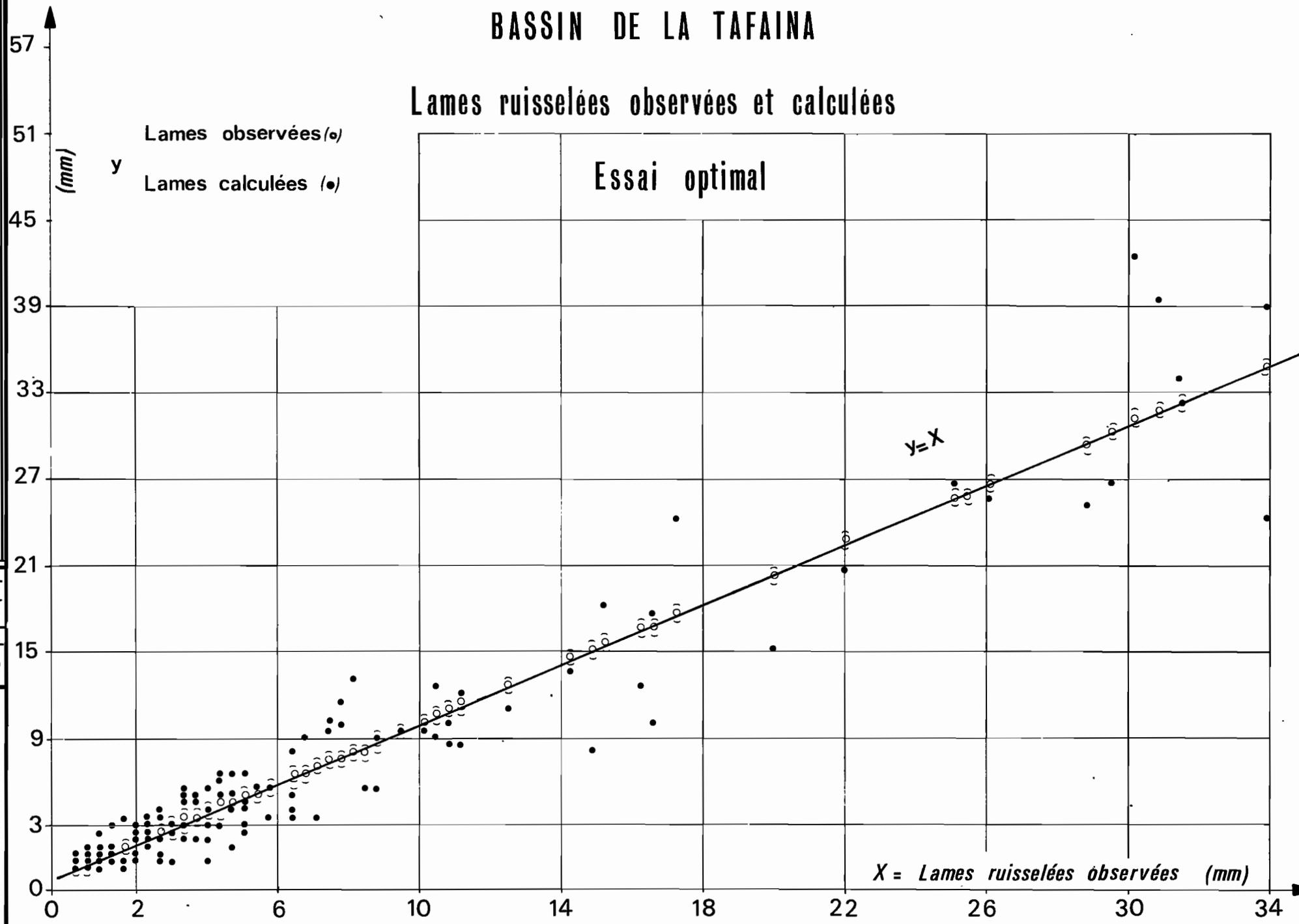


Fig- 30

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA
CAMPAGNE 1966 - 1967
DEBITS MOYENS JOURNALIERS

TABLEAU 29

Jours	Nov.	Dec.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
1	0,02	(0,02)	0,22	0,07	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
2	0,02	0,02	0,15	0,07	0,24	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
3	0,02	0,02	0,53	0,06	0,43	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
4	0,02	0,02	0,20	0,05	0,43	0,16	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
5	0,02	0,02	0,43	0,05	0,86	0,16	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
6	0,02	0,02	0,29	0,05	1,09	0,15	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
7	0,04	0,02	0,43	0,05	0,48	0,13	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
8	0,04	0,02	0,16	0,05	0,24	0,16	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
9	0,10	0,03	0,10	0,05	0,24	0,16	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
10	0,09	0,03	0,07	0,05	0,18	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
11	0,05	0,03	0,06	0,05	0,20	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
12	0,04	0,02	0,05	0,05	0,48	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
13	0,12	0,02	0,05	0,05	0,38	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
14	0,07	0,02	0,05	0,05	0,24	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
15	0,03	0,02	0,05	0,05	0,20	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
16	0,02	0,13	0,09	0,05	0,16	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
17	0,02	0,09	0,10	0,06	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
18	0,06	0,04	0,07	0,10	0,13	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
19	0,04	0,18	0,06	0,51	0,29	0,16	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
20	0,03	0,13	0,05	0,43	0,53	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
21	0,02	0,10	0,09	0,13	0,29	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
22	0,02	0,07	0,24	0,12	0,22	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
23	0,02	0,18	0,27	0,09	0,16	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
24	0,06	0,16	0,69	0,07	0,16	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
25	0,05	0,09	1,35	0,07	0,16	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
26	0,02	0,12	0,74	0,07	(0,86)	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
27	0,02	0,10	0,18	0,33	0,58	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
28	0,02	0,07	0,13	0,20	0,29	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
29	0,02	0,13	0,10		0,22	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
30	0,02	1,09	0,09		0,18	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
31		0,64	0,07		0,16		0,05		0,05	0,05		0,03
Moy.	0,04	0,12	0,23	0,11	0,34	0,13	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03

MOYENNE ANNUELLE : 0,11 m³/s

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA
CAMPAGNE 1967 - 1968
DEBITS MOYENS JOURNALIERS

TABLEAU 30

Jours	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
1	0,03	0,16	0,07	0,06	0,24	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03
2	0,03	0,10	0,07	0,16	0,43	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03
3	0,03	0,07	0,06	0,09	0,16	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03
4	0,03	0,10	0,06	0,07	0,10	0,09	0,05	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03
5	0,03	2,15	0,05	0,07	0,12	0,10	0,05	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03
6	0,05	0,53	0,05	0,06	0,09	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03
7	0,06	0,16	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
8	0,05	0,10	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
9	0,03	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
10	0,03	0,12	0,05	0,07	0,06	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
11	0,03	0,10	0,05	0,06	0,07	0,16	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
12	0,03	0,10	0,05	0,06	0,12	0,18	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
13	0,03	0,07	0,04	0,06	0,15	0,12	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03
14	0,03	0,09	0,06	0,13	0,38	0,10	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03
15	0,03	0,10	0,33	0,12	0,20	0,09	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,22
16	0,03	0,10	0,13	0,09	0,15	0,09	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,06
17	0,03	0,07	0,09	0,27	0,15	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,05
18	0,03	0,16	0,07	0,29	0,12	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04
19	0,03	0,18	0,06	0,15	0,12	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
20	0,03	0,12	0,06	0,12	0,12	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
21	0,05	0,09	0,06	0,09	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
22	0,13	0,07	0,06	0,07	0,09	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
23	0,29	0,07	0,09	0,15	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
24	0,24	0,07	0,12	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
25	0,06	0,16	0,10	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
26	0,16	0,16	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
27	0,12	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
28	0,06	0,07	0,07	0,04	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
29	0,04	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
30	0,64	0,16	0,07		0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
31		0,15	0,07		0,06		0,07		0,07	0,05		0,03
Moy.	0,08	0,19	0,08	0,10	0,12	0,09	0,05	0,07 (0,06)	0,07 (0,05)	0,06 (0,05)	0,04	0,04

MOYENNE ANNUELLE : 0,08 m³/s
(0,08)

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA
CAMPAGNE 1968 - 1969
DEBITS MOYENS JOURNALIERS

TABLEAU 31

Jours	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
1	0,02	0,03	0,10	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
2	0,02	0,04	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
3	0,02	0,03	0,06	0,04	0,07	0,86	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
4	0,02	0,03	0,07	0,07	0,06	0,16	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
5	0,02	0,03	0,07	0,13	0,05	0,16	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
6	0,02	0,04	0,07	1,20	0,18	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
7	0,02	0,03	0,07	0,61	0,12	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
8	0,02	0,03	0,06	0,47	0,51	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
9	0,02	0,03	0,06	0,42	0,18	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
10	0,02	0,03	0,05	0,15	0,13	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03
11	0,02	0,03	0,05	0,56	0,16	0,40	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08
12	0,02	0,03	0,05	0,45	0,10	0,42	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
13	0,11	0,04	0,18	0,18	0,07	0,15	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03
14	0,06	0,16	0,19	0,15	0,07	1,10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03
15	0,03	1,24	0,18	0,12	0,07	0,29	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03
16	0,44	0,25	0,09	0,10	0,06	0,13	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
17	0,38	0,15	0,06	0,09	0,06	0,10	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
18	0,13	0,16	0,05	0,07	0,06	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
19	0,21	0,15	0,05	0,34	0,06	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
20	0,11	0,15	0,05	0,20	0,05	0,20	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
21	0,05	0,13	0,05	0,13	0,05	0,16	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
22	0,52	0,16	0,04	0,16	0,06	0,10	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
23	0,15	0,12	0,04	0,12	0,09	0,10	0,06	0,06	0,05	0,07	0,03	0,03
24	0,18	0,07	0,04	0,07	0,09	0,09	0,06	0,06	0,05	0,10	0,03	0,06
25	0,09	0,12	0,04	0,07	0,07	0,16	0,06	0,06	0,05	0,07	0,03	0,08
26	0,07	0,16	0,10	0,06	0,07	0,12	0,06	0,06	0,05	0,06	0,03	0,04
27	0,05	0,44	0,10	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,03	0,04
28	0,03	0,65	0,12	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03
29	0,03	0,65	0,09		0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03
30	0,03	0,22	0,07		0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,10
31		0,12	0,06		0,05		0,06		0,05	0,05		0,06
Moy.	0,10	0,18	0,08	0,22	0,09	0,19	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04

MOYENNE ANNUELLE : 0,10 m³/s

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA
CAMPAGNE 1969 - 1970
DEBITS MOYENS JOURNALIERS

TABLEAU 32

Jours	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
1	0,39	0,10	1,70	0,10	0,07	0,06	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
2	0,12	0,05	0,70	0,10	0,07	0,06	0,12	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
3	0,09	0,03	1,20	0,17	0,07	0,06	0,09	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
4	0,07	0,03	0,48	0,13	0,24	0,05	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,05	0,03	0,38	0,12	0,16	0,05	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,06	0,34	0,43	0,16	0,10	0,05	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
7	0,10	0,21	0,36	0,40	0,10	0,12	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
8	0,12	0,10	0,30	0,29	0,09	0,10	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
9	0,09	0,05	0,49	1,90	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
10	0,05	0,05	0,24	0,46	0,10	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
11	0,04	0,44	0,19	0,16	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
12	0,04	0,22	0,16	0,13	0,13	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
13	0,04	0,16	0,47	0,13	0,83	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
14	0,03	0,09	0,25	0,12	0,24	0,13	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
15	0,03	1,05	0,50	0,10	0,16	0,10	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
16	0,02	0,34	0,32	0,10	0,15	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
17	0,02	0,20	0,24	0,25	0,12	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
18	0,02	0,40	0,15	0,18	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
19	0,02	0,18	0,58	0,12	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
20	0,02	0,12	0,28	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
21	0,02	0,12	0,17	0,10	0,16	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
22	0,02	0,09	0,15	0,12	0,13	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
23	0,02	0,19	0,15	0,12	0,10	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
24	0,01	0,16	0,21	0,13	0,09	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
25	0,01	0,75	0,17	0,12	0,29	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
26	0,01	0,27	0,14	0,10	0,12	0,10	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
27	0,01	0,16	0,14	0,10	0,10	0,10	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
28	0,01	0,16	0,12	0,09	0,13	0,09	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
29	0,01	0,24	0,10		0,10	0,09	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
30	0,01	0,94	0,15		0,09	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
31		0,38	0,10		0,07		0,05		0,03	0,03		0,02
Moy.	0,05	0,25	0,36	0,22	0,14	0,7	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

MOYENNE ANNUELLE : 0,11 m³/s

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF
DE LA TAFAINA
CAMPAGNE 1970 - 71
DEBITS MOYENS JOURNALIERS

TABLEAU 33

Jours	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
1	0,04	0,05	0,19	0,22	0,15	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
2	0,04	0,04	0,13	0,16	0,12	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
3	0,03	0,04	0,42	0,13	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
4	0,03	0,04	0,16	0,12	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
5	0,03	0,03	0,07	0,13	0,16	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
6	0,03	0,03	0,07	0,24	0,13	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
7	0,08	0,03	0,12	0,24	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
8	0,05	0,03	0,06	0,44	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
9	0,03	0,03	0,05	0,28	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
10	0,03	0,04	0,04	2,10	0,09	0,16	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
11	0,10	0,03	0,03	(1,80)	0,09	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03
12	0,04	0,03	0,03	0,03	0,43	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03
13	0,03	0,03	0,03	0,27	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03
14	0,03	0,02	0,03	0,24	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
15	0,03	0,02	0,03	0,30	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
16	0,03	0,02	0,03	0,27	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
17	0,03	0,02	0,03	0,18	0,18	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
18	0,03	0,22	0,03	0,16	0,09	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
19	0,03	0,10	0,03	0,15	0,16	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
20	0,03	0,05	0,03	0,25	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
21	0,03	0,04	0,04	0,33	0,09	0,07	0,08	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
22	0,03	0,03	0,13	0,16	0,07	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
23	0,03	0,06	0,16	0,29	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
24	0,05	0,03	0,29	0,32	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
25	0,07	0,10	0,60	0,95	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
26	0,04	0,07	1,80	0,29	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
27	0,04	0,10	0,33	0,20	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
28	0,03	0,16	0,29	0,18	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
29	0,03	0,09	0,24		0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
30	0,05	0,13	0,50		0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
31		0,25	0,25		0,07		0,05		0,05	0,04		0,02
Moy.	0,05	0,07	0,20	0,39	0,10	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03

MOYENNE ANNUELLE : 0,09 m³/s

TABLEAU 34

ANNEE 1966-67 - BILAN HYDRIQUE DE L'ECOULEMENT DE SURFACE

PERIODE	PLUIE mm	ECOULEMENT						DEFICIT mm	RESTITUTION mm
		Global		Ruissellement		de base			
		V. m ³	mm	V. m ³	mm	V. m ³	mm		
Novembre 1-15	88,7	164.368	14,3	113.020	2,9	151.348	11,4	74,4	
16-30	50,4	141.990	9,3	7.950	1,8	134.040	7,5	41,1	
Décembre 1-15	40,8	33.696	7,5	0	0	33.696	7,5	33,3	
16-31	293,7	289.872	64,4	205.300	45,6	84.572	18,8	229,3	
Janvier 1-15	127,0	248.832	55,3	53.990	12,0	194.842	43,3	71,7	
16-31	200,2	377.136	83,8	193.110	42,9	184.026	40,9	116,4	
Février 1-15	6,3	75.168	16,7	0	0	75.168	16,7		10,4
16-28	157,2	194.832	43,3	147.300	32,7	47.532	10,6	113,9	
Mars 1-15	319,8	511.056	113,6	280.960	62,4	230.096	51,2	206,2	
16-31	127,6	396.144	88,0	162.950	36,2	233.194	51,8	39,6	
Avril 1-15	25,8	196.128	43,6	4.680	1,0	191.448	42,6		17,8
16-30	21,8	150.336	33,4	4.260	0,9	146.076	32,5		11,6
Mai 1-15	6,1	97.200	21,6	0	0	97.200	21,6		15,5
16-31	0,5	76.032	16,9	0	0	76.032	16,9		16,4
Juin 1-15	0,1	71.280	15,8	0	0	71.280	15,8		15,7
16-30	0,4	71.280	15,8	0	0	71.280	15,8		15,4
Juillet 1-15	0,1	64.800	14,4	0	0	64.800	14,4		14,3
16-31	0,1	69.120	15,4	0	0	69.120	15,4		15,3
Août 1-15	0	59.616	13,2	0	0	59.616	13,2		13,2
16-31	4,4	63.590	14,1	0	0	63.590	14,1		9,7
Septembre 1-15	0	57.888	12,9	0	0	57.888	12,9		12,9
16-31	19,6	50.976	11,3	0	0	50.976	11,3	8,3	
Octobre 1-15	11,6	49.248	10,9	0	0	49.248	10,9	0,7	
16-31	32,0	44.237	9,8	0	0	44.237	9,8	22,2	
ANNEE	1534,2	13.354.825	745,4	1.073.520	238,4	12.281.305	1506,9	957,1	160,2

P= 1534,2 mm
R= 238,4 mm soit 15,5%
E_d = 506,9 mm soit 33,1%
D = 788,9 mm soit 51,4%

TABLEAU 35

ANNEE 1967-68 BILAN HYDRIQUE DE L'ECOULEMENT DE SURFACE

PERIODE	PLUVIOMETRIE mm	ECOULEMENT						DEFICIT mm	RESTITUTION mm
		Global V. m3		Ruissellement mm		de base V. m3			
Novembre 1-15	64,4	45.187	10,0	2340	0,5	42.847	9,5	54,4	
16-30	211,8	166.838	37,1	102.090	22,7	64.748	14,4	174,7	
Décembre 1-15	163,5	352.080	78,3	204.270	45,4	147.810	32,9	85,2	
16-31	118,1	158.544	35,2	31.830	7,1	126.714	28,1	82,9	
Janvier 1-15	62,8	92.275	20,5	23.000	5,1	69.275	15,4	42,3	
16-31	42,2	112.320	25,0	3.570	0,8	108.750	24,2	17,2	
Février 1-15	93,6	104.544	23,2	21.840	4,9	82.704	18,3	70,4	
16-29	84,3	139.968	31,1	22.470	5,0	117.498	26,1	53,2	
Mars 1-15	130,9	203.040	45,1	66.330	14,7	137.250	30,5	85,8	
16-31	22,9	128.304	28,5	3.660	0,8	124.104	27,6		5,6
Avril 1-15	36,2	126.144	28,0	16.050	3,6	110.094	24,4	8,2	
16-30	4,4	97.200	21,6	0	0	97.200	21,6		17,2
Mai 1-15	0	68.688	15,3	0	0	67.688	15,3		15,3
16-31	18,6	75.600	16,8	0	0	75.600	16,8	1,8	
Juin 1-15	0	76.032	16,9	0	0	76.032	16,9		16,9
16-30	4,8	69.120	15,4	0	0	69.120	15,4		10,5
Juillet 1-15	1,2	69.120	15,4	0	0	69.120	15,4		14,2
16-31	7,0	70.157	15,6	0	0	70.157	15,6		3,6
Août 1-15	0	63.936	14,2	0	0	63.936	14,2		14,2
16-31	0	64.627	14,4	0	0	64.627	14,4		14,4
Septembre 1-15	10,0	63.072	14,0	0	0	63.072	14,0		4,0
16-30	0	44.928	10,0	0	0	44.928	10,0		10,0
Octobre 1-15	35,7	55.296	12,3	30.000	6,7	25.296	5,6	23,4	
16-31	0	45.965	10,2	0	0	45.965	10,2		10,2
Année	1112,4	2492985	554,1	528.440	117,3	1.964.545	436,8	699,5	141,2

P = 1112,4 mm
 R = 117,3 mm soit 10,5%
 E = 436,8 mm soit 39,3%
 D_D = 558,3 mm soit 50,2%

ANNEE 1968-69 - BILAN HYDRIQUE DE L'ECOULEMENT DE SURFACE

TABLEAU 36

PERIODE	PLUVIOMETRE mm	ECOULEMENT						DEFICIT mm	RESTITUTION mm
		Global		Ruissellement		de base			
		V. m3	mm	V. m3	mm	V. m3	mm		
Novembre 1-15	40,8	142.768	9,51	2760	0,6	40.008	8,9	31,3	
16-30	211,9	1215.568	147,91	184.570	18,8	130.998	129,1	164,0	
Décembre 1-15	154,4	1160.272	135,61	199.000	122,0	61.272	113,6	118,8	
16-31	198,1	1321.840	171,51	198.520	121,9	1223.320	149,6	126,6	
Janvier 1-15	68,8	1119.232	126,51	125.220	5,6	94.012	120,9	42,3	
16-31	42,8	192.380	120,61	4.480	1,0	88.400	119,6	22,2	
Février 1-15	240,3	1406.253	190,31	165.690	136,8	1240.563	153,5	150,0	
16-28	49,1	1134.352	129,91	26.460	5,9	1107.892	124,0	19,2	
Mars 1-15	100,2	1164.592	136,61	59.550	13,2	1105.042	123,4	63,6	
16-31	22,7	186.400	119,21	0	0	186.400	119,2	3,5	
Avril 1-15	189,7	1344.822	176,61	172.320	138,3	1172502	138,3	113,1	
16-30	33,7	1142.560	131,71	18.930	4,2	1123630	127,5	2,0	
Mai 1-15	1,0	185.450	119,01	0	0	185.450	119,0	18,0	
16-31	0	183.030	118,51	0	0	183.030	118,5	18,5	
Juin 1-15	2,7	181.130	118,01	0	0	181.130	118,0	15,3	
16-30	0,8	176.205	116,91	0	0	176.205	116,9	16,1	
Juillet 1-15	0,8	172.144	116,01	0	0	172.144	116,0	15,2	
16-31	3,5	169.120	115,41	0	0	169.120	115,4	11,9	
Août 1-15	0,3	162.208	113,81	0	0	162.208	113,8	13,5	
16-31	11,0	179.315	117,61	0	0	179.315	117,6	6,6	
Septembre 1-15	0	164.800	114,41	0	0	164.800	114,4	14,4	
16-30	9,0	145.360	110,11	0	0	145.360	110,1	1,1	
Octobre 1-15	20,3	151.840	111,51	14080	0,9	147.760	110,6	8,8	
16-31	92,6	159.098	113,11	17650	1,7	151.448	111,4	79,5	
ANNEE	1494,5	13061239	160,21	1769,230	170,91	12292.009	1509,31	944,9	130,6

P = 1494,5 mm
R = 170,9 mm soit 11,4%
E = 509,3 mm soit 34,1%
D^b = 814,3 mm soit 54,5%

ANNEE 1969-70 - BILAN HYDRIQUE DE L'ECOULEMENT DE SURFACE

PERIODE	PLUVIOMETRIE	ECOULEMENT						DEFICIT	RESTITUTION
		Global		Ruissellement		de base			
		V. m3	mm	V. m3	mm	V. m3	mm		
	mm	V. m3	mm	V. m3	mm	V. m3	mm	mm	
Novembre 1-15	111,5	111.912	25,5	31620	7,0	83.292	13,5	86,0	
16-30	21,7	22.464	5,0	0	0	22.464	5,0	16,7	
Décembre 1-15	212,7	257.126	57,1	138.420	30,8	118.706	26,3	155,6	
16-31	298,6	408.240	90,7	188.340	41,9	219.900	48,8	207,9	
Janvier 1-15	325,8	678.672	150,8	287.730	63,9	390.942	86,9	175,0	
16-31	56,2	274.320	61,0	35.880	8,0	238.440	53,0		4,8
Février 1-15	145,9	388.368	36,3	206.970	46,0	181.398	40,3	59,6	
16-28	48,4	142.992	31,8	12.900	2,9	130.092	28,9	16,6	
Mars 1-15	111,4	223.344	49,6	62.550	13,9	160.794	35,7	61,8	
16-31	60,2	165.456	36,8	18.540	4,1	146.916	32,7	23,4	
Avril 1-15	40,7	98.064	21,8	6060	1,3	92.004	20,5	18,9	
16-30	15,6	92.016	20,4	0	0	92.016	20,4		4,8
Mai 1-15	12,4	86.400	19,2	3840	0,9	82.560	18,3		6,8
16-31	0,8	69.984	15,6	0	0	69.984	15,6		14,8
Juin 1-15	0,9	53.568	11,9	0	0	53.568	11,9		11,0
16-30	10,3	47.520	10,6	0	0	47.520	10,6		0,3
Juillet 1-15	0	47.088	10,5	0	0	47.088	10,5		10,5
16-31	0,4	43.632	9,7	0	0	43.632	9,7		9,3
Août 1-15	0,3	45.360	10,1	0	0	45.360	10,1		9,8
16-31	3,0	48.384	10,8	0	0	48.384	10,8		7,8
Septembre 1-15	0	45.360	10,1	0	0	45.360	10,1		10,1
16-30	0	42.077	9,3	0	0	42.077	9,3		9,3
Octobre 1-15	1,8	36.288	8,1	0	0	36.288	8,1		6,3
16-31	6,8	33.005	7,3	0	0	33.005	7,3		0,5
Année	1485,4	2464640	770,0	992850	220,7	2471790	549,3	821,5	106,1

P = 1485,4 mm
 R = 220,7 mm soit 14,8%
 Eb = 549,3 mm soit 37,0%
 D = 715,4 mm soit 48,2%

ANNEE 1970-71 - BILAN HYDRIQUE DE L'ECOLEMENT DE SURFACE

TABLEAU 38

PERIODE	PLUVIOMETRIE	ECOULEMENT						DEFICIT	RESTITUTION
		Global		Ruissellement		de base			
		V. m3	mm	V. m3	mm	V.m3	mm		
	mm						mm	mm	
Novembre 1-15	99,0	79315	17,6	21.720	4,8	57.595	12,8	81,4	
16-30	73,4	50544	11,2	1.200	0,3	49.344	10,9	62,2	
Décembre 1-15	25,8	45360	10,1	0	0	45.360	10,1	15,7	
16-31	156,1	130896	29,1	37.650	8,4	93.246	20,7	127,0	
Janvier 1-15	83,8	130.032	28,9	35.400	7,9	94.632	21,0	54,9	
16-31	272,6	414.288	92,1	190.650	42,4	223.638	49,7	180,5	
Février 1-15	285,9	815.600	136,8	354.840	78,9	260.760	57,9	149,1	
16-28	136,6	324.432	72,1	104.400	23,2	220.032	48,9	64,5	
Mars 1-15	24,8	136.944	30,4	6960	1,5	129.984	28,9	5,6	
16-31	36,5	128.736	28,6	4260	0,9	124.476	27,7	7,9	
Avril 1-15	22,8	107.568	23,9	10.320	2,3	97.248	21,6	1,1	
16-30	5,7	80.352	17,9	0	0	80.352	17,9	12,2	
Mai 1-15	1,1	66.528	14,8	0	0	66.528	14,8	13,7	
16-31	14,2	79.920	17,8	0	0	79.920	17,8	3,6	
Juin 1-15	0	69.552	15,5	0	0	69.552	15,5	15,5	
16-30	0	68.256	15,2	0	0	68.256	15,2	15,2	
Juillet 1-15	0,6	66.528	14,8	0	0	66.528	14,8	14,2	
16-31	1,9	67.219	14,9	0	0	67.219	14,9	13,0	
Aout 1-15	0	60.134	13,4	0	0	60.134	13,4	13,4	
16-31	1,5	62.554	13,9	0	0	62.554	13,9	12,4	
Septembre 1-15	30,0	54.518	12,1	0	0	54.518	12,1	17,9	
16-30	0	41.645	9,3	0	0	41.645	9,3	9,3	
Octobre 1-15	0	36.547	8,1	0	0	36.547	8,1	8,1	
16-31	1,8	33.869	7,5	0	0	33.869	7,5	5,7	
Année	1274,1	2.951.337	656,0	767.400	170,6	2183937	485,4	761,1	143,0

P =1274,1 mm
R =170,6 mm soit 13,4%
Eb=485,4 mm soit 38,1%
D =618,1 mm soit 48,5%

IV-2-5- Le ruissellement sur parcelle expérimentale

Au paragraphe III-7-1 nous avons décrit la parcelle de ruissellement de 100 m² et le dispositif mis en place. Après adjonction de la 2^{ème} cuve de collecte de 2 m³, en saison sèche 1967, toutes les eaux de surface en provenance de la parcelle ont pu être recueillies. On trouvera aux tableaux n°39 à 42 (dates décalées de 24h, correspondant au matin du relevé) les hauteurs de pluie quotidiennes observées au pluviographe F avec , en regard le ruissellement collecté, en litres. Les valeurs mensuelles et annuelles du ruissellement sont données en mm.

Le sol de la parcelle est un sol ferrallitique remanié modal caractérisé par la présence d'une "stone-line" à 1 mètre de profondeur. Les horizons de surface ont été décrits comme suit (M. SOURDAT) :

0-10 cm : Horizon brun rouge humifère
Limo - argilo-sableux
Structure grumeleuse moyenne peu friable
Très poreux
Bon enracinement

10-60 cm : Horizon rouge
Limo - argilo - sableux devenant limono-sableux en profondeur
Structure continue - sol assez compact en place
Porosité tubulaire assez forte
Enracinement faible

Tout comme pour les crues observées à l'exutoire nous avons recherché les paramètres directement responsables du ruissellement (18). Pour 24 averses ayant provoqué un ruissellement de novembre 1968 à février 1970, nous avons essayé d'établir une relation entre l'humidité préalable du sol et divers paramètres de pluie d'une part et la lame d'eau ruisselée d'autre part.

L'humidité préalable du sol en surface sur 8 cm était mesurée au centre de la parcelle à l'aide d'un humidimètre à pointe (18) mis au point par P. MOUTONNET, ingénieur au C.E.N de Cadarache.

Après divers essais, les paramètres de pluie retenus ont été les suivants :
Pi 10 = hauteur de pluie d'intensité supérieure à 10 mm/h
Pe 10 = total de pluie excédentaire à l'intensité de 10 mm/h
Pc e = total de pluie corrigé faisant intervenir les différentes intensités,

Supérieures à 10 mm/h, coefficient 1
Supérieures à 20 mm/h, coefficient 1,5
Supérieures à 30 mm/h, coefficient 2

On trouvera au tableau N°43 la liste des paramètres pris en considération.

En définitive les résultats obtenus entre H_r et les divers paramètres de pluie conduisent à des liaisons graphiques à tendance hyperbolique, permettant de calculer H_r . La précision de ces liaisons est donnée par les coefficients de corrélation entre H_r observé et H_r calculé.

Hr/P10	$r = 0,916$ $r^2 = 0,84$
Hr/Pce	$r = 0,925$ $r^2 = 0,86$
Hr/Pe 10	$r = 0,942$ $r^2 = 0,89$

La simple utilisation des facteurs de pluie donne déjà d'excellents résultats, surtout en utilisant Pe 10 (fig n° 31), le coefficient de corrélation $r = 0,942$

L'influence de l'humidité du sol en surface, bien que moins importante que notre a priori, est représentée aux figures n°32 et 33. On obtient en définitive, entre valeurs observées et calculées de H_r :

Hr/Pe 10 corrigé Hv%	$r = 0,97$ $r^2 = 0,94$
----------------------	----------------------------

Ce qui est excellent, surtout si on élimine le point n°8 (il semble aberrant et est peut être dû à une lecture erronée dans la cuve de collecte) ce qui nous donnerait alors $r = 0,99$ et $r^2 = 0,98$.

PARCELLE DE RUISSELLEMENT

CORRELATION Hr / Pe 10

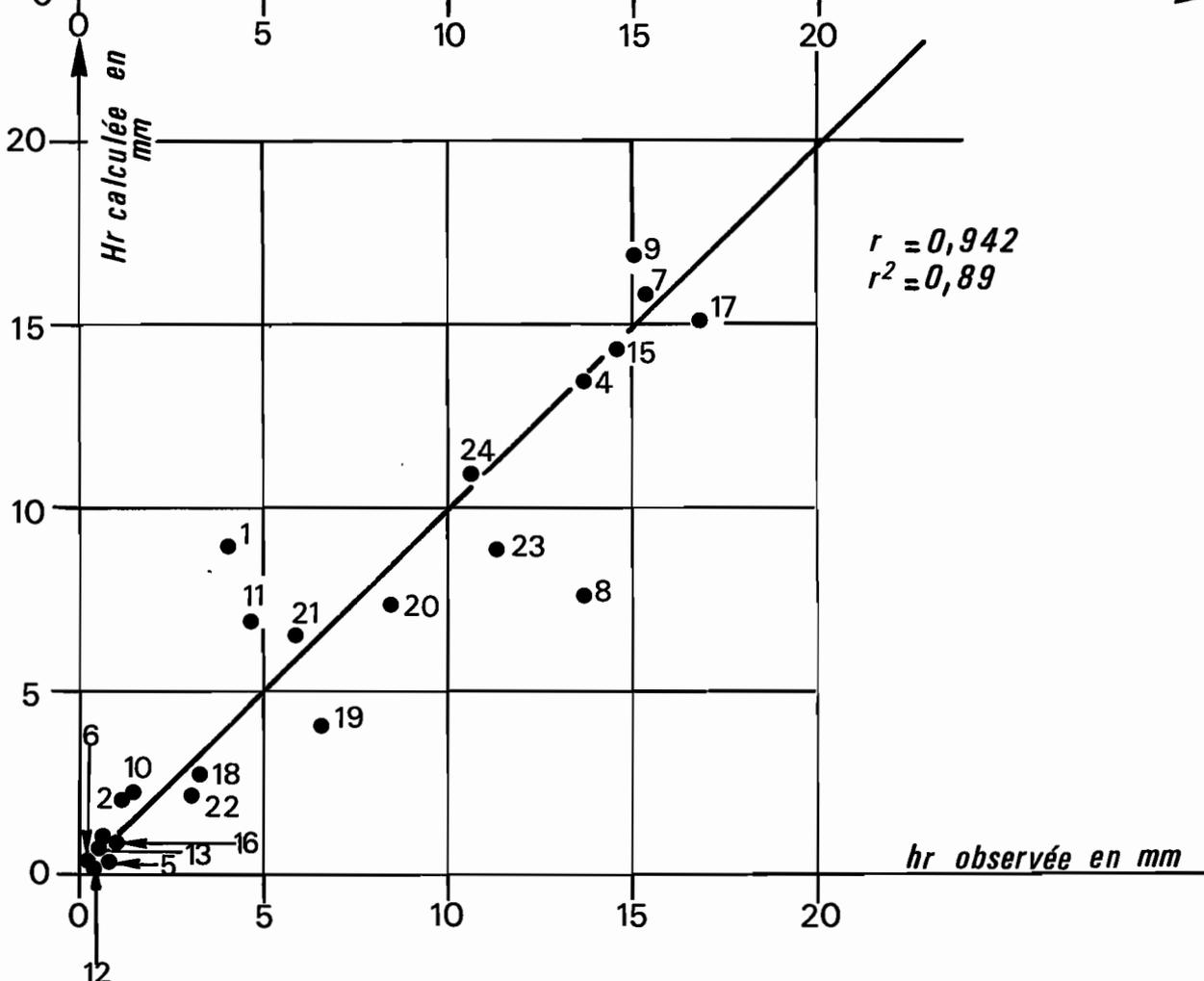
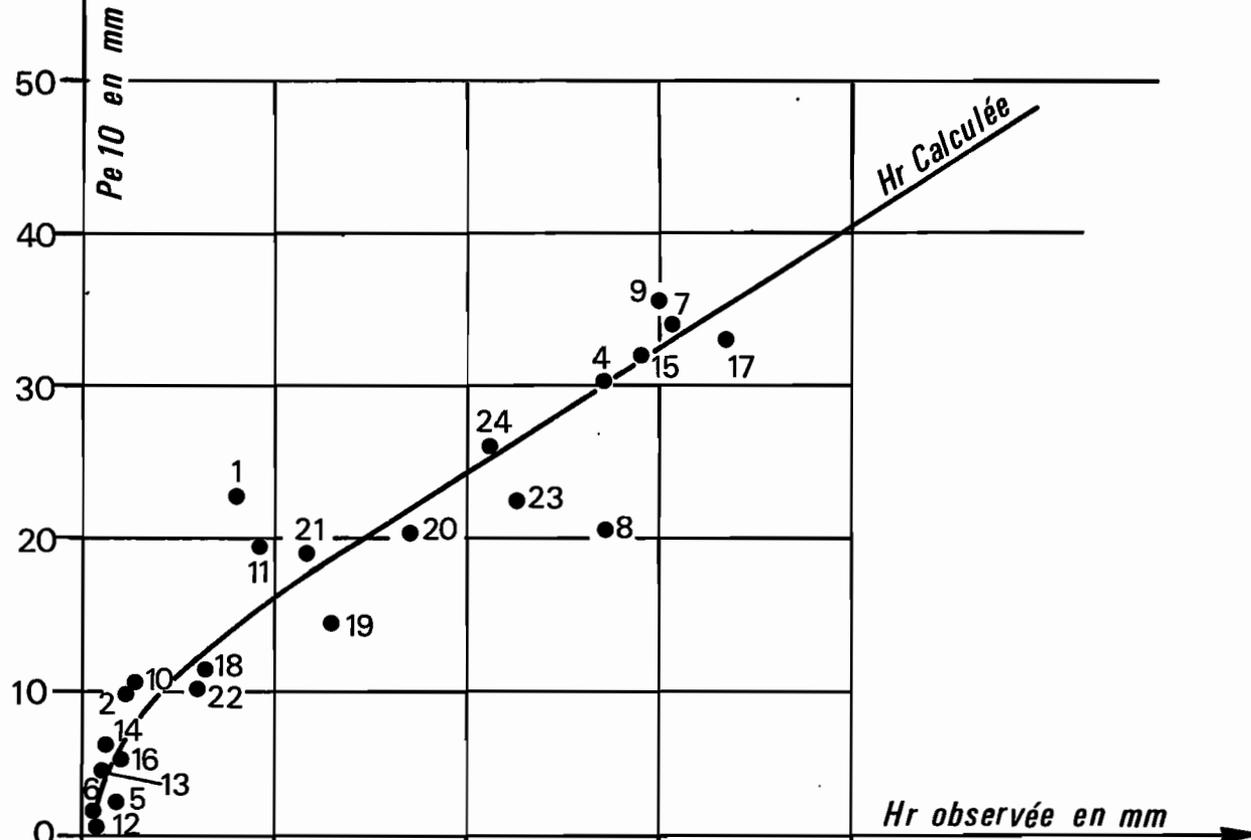
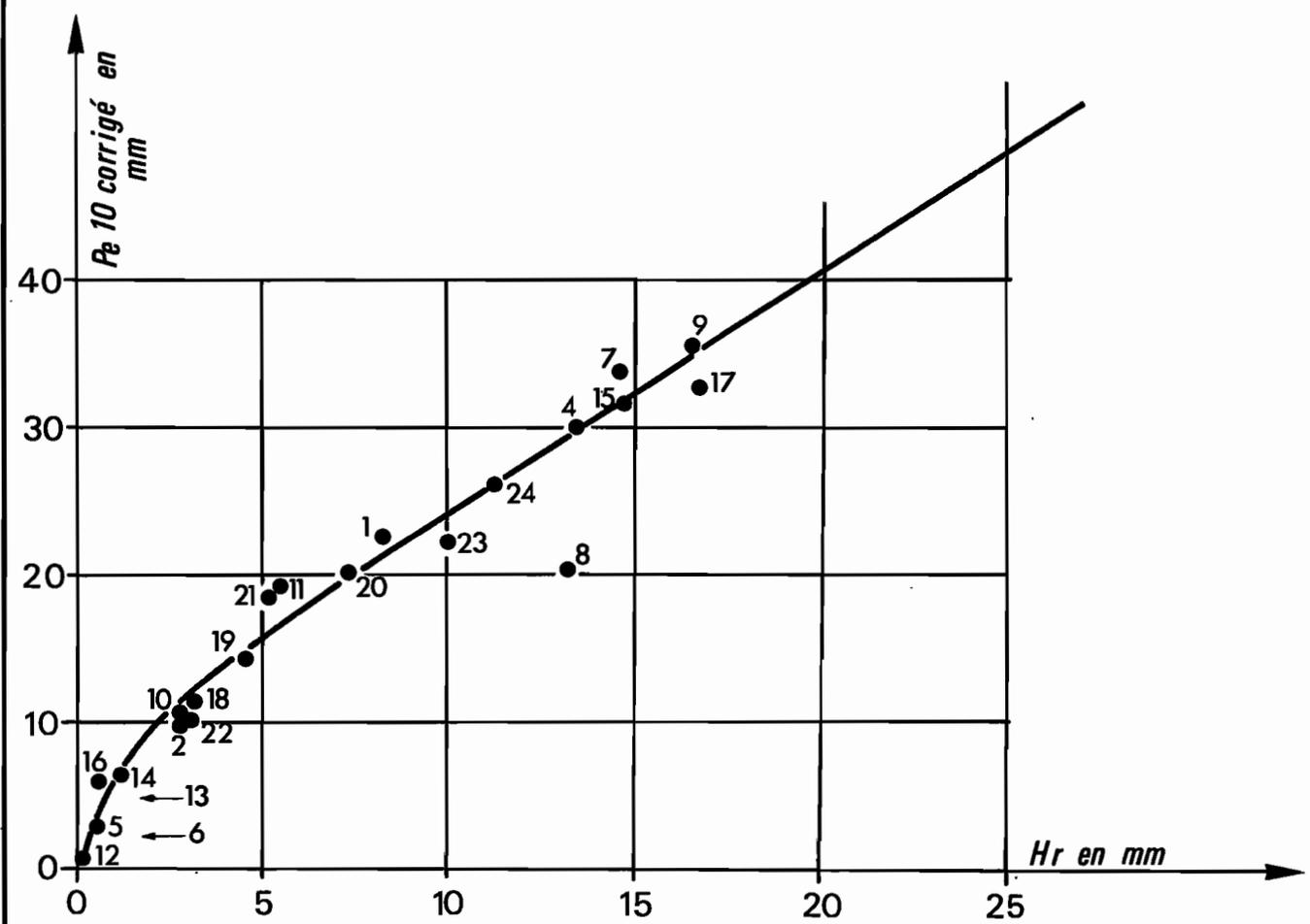
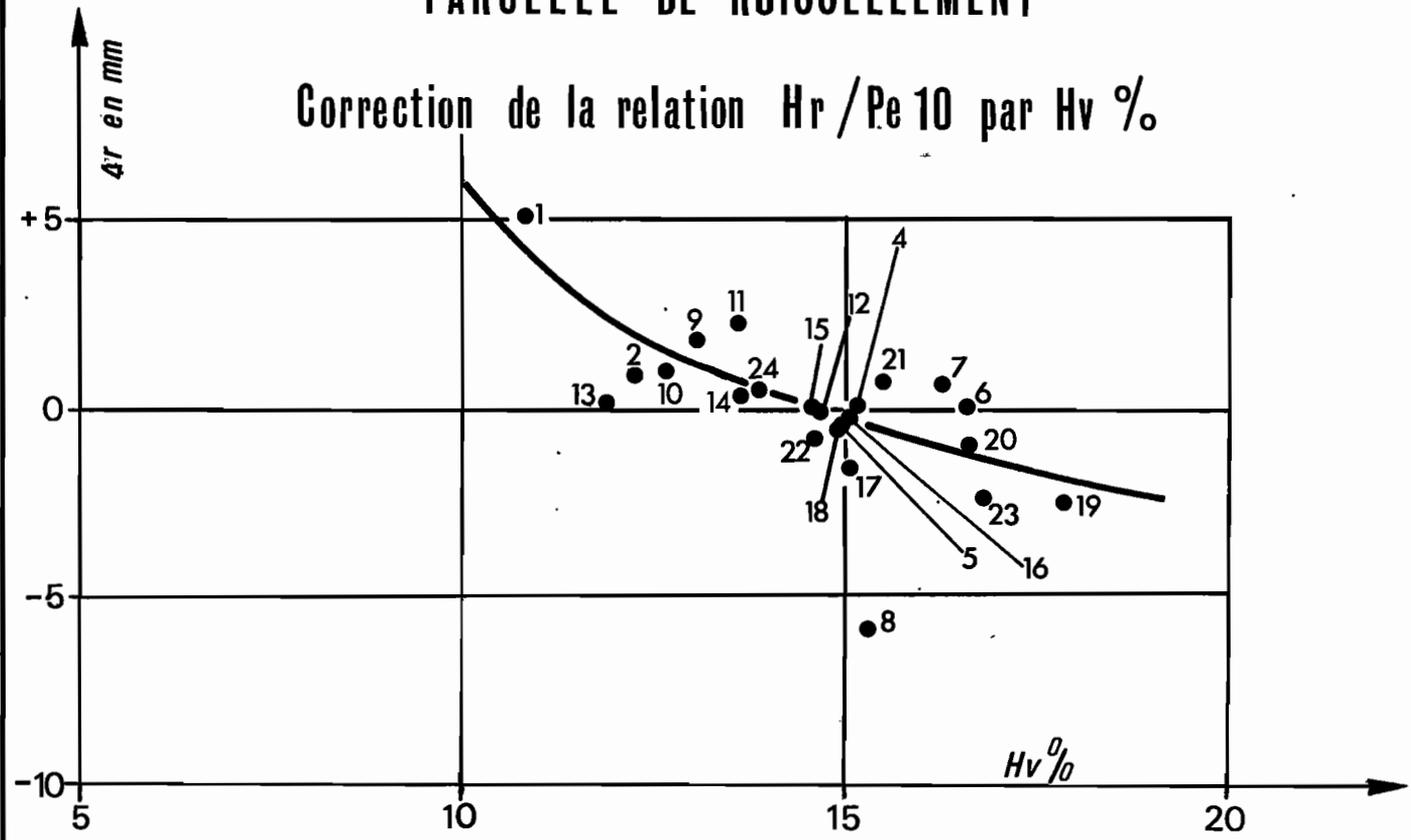


Fig- 32

PARCELLE DE RUISSELLEMENT

Correction de la relation $H_r / P_e 10$ par $H_v \%$



PARCELLE DE RUISSELLEMENT

Corrélation Hr/ Pe 10 corrigée par Hv %

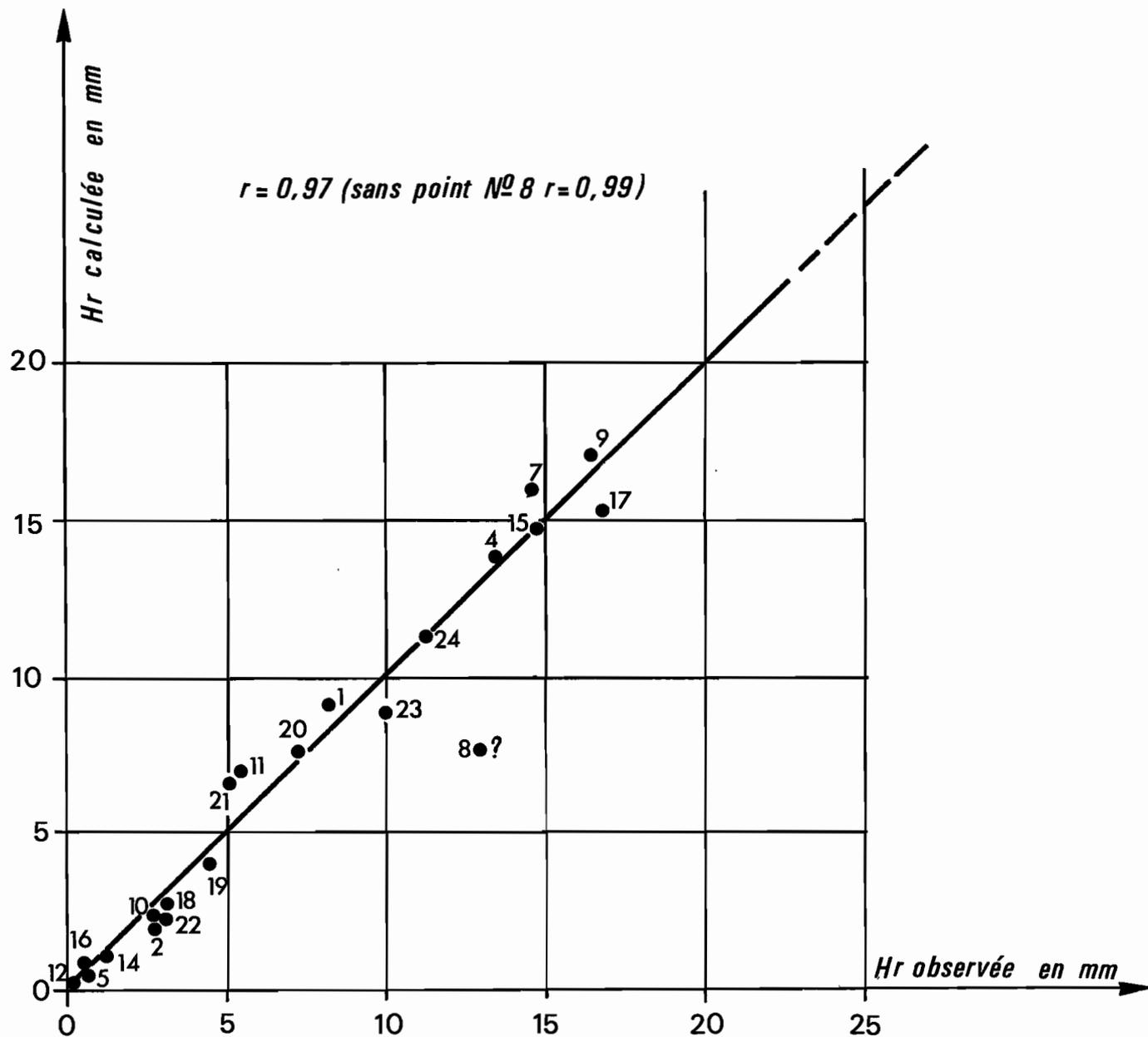


TABLEAU N°39

PARCELLE DE RUISSELLEMENT DU BVR TAFAINA

ANNEE 1967-68

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril		Octobre	
	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.
1			42,2	880					12,9	80				
2	0,4		3,2		0,2		18,2	45	31,7	495				
3	8,9				0,2		4,9		28,0	239				
4	2,7				1,2		4,9				13,2	25		
5	6,2		14,0	62					6,9					
6	3,3		64,0	3025			2,4				0,7			
7	22,5		14,6		2,4									
8	14,7	350	5,4						0,5					
9							6,4		3,5					
10			5,8				5,1		3,6					
11			22,9	170							3,5			
12			3,8								14,8	20		
13			10,8	30			3,4		17,8	114	1,6			
14			5,7						18,0	176				
15	9,0		3,5		38,2	146	43,7	520	7,5				4,0	
16	4,6		13,7		18,0				2,5				38,0	955
17	2,4		1,0				31,8	155	7,9	83				
18	2,6		5,0		3,5		16,3	41	5,0					
19	1,6		36,2	560			0,8		0,3					
20	5,3		8,6	55			9,3	5						
21	1,5		2,1		4,5		0,4							
22	21,2	150			0,7				0,2		3,0			
23	50,6	457					20,0	65						
24	33,1	400	3,2		14,8	51								
25	0,5				8,0						0,8			
26			23,4	310	1,8									
27	23,5	300	6,1		2,5									
28	5,7		4,2		5,5	5								
29	1,8		1,2						7,0					
30			18,2	51										
31			23,7	350										
Mois	222,1	166	342,5	54,9	101,5	2,0	167,6	8,3	153,3	11,9	37,6	0,5	42,0	9,6
	Kr=7,5%		Kr = 16,0%		Kr = 2,0%		Kr = 5,0%		Kr = 7,8%		Kr = 1,2%		Kr = 22,9%	

Kr = 0 en mai (P = 18,9) Juin (P = 14,4 mm) Juillet (P = 12,1 mm) Août (P = 0)
 Septembre (P = 9,9mm)

Année P = 1111,9 mm
 R = 10,370 litres soit 103,7 mm soit Kr = 9,3%
 D = 1008,2 mm soit 91,7%

TABLEAU N°40

PARCELLE DE RUISSELLEMENT DU BVR TAFAINA

ANNEE 1968-69

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril		Octobre	
	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.	P mm	R l.
1			4,8		6,5									4,0
2			2,4											0,1
3										13,0	95			
4					3,4		7,5					43,7	1100	
5							13,5	7				11,1		
6							11,3	15						
7			16,4	114			70,6	1525	14,0	125	1,9			
8							32,1	58						
9							29,9	139	31,8	460				
10							0,4		3,0					
11	1,2		5,2		2,1		10,2		20,0	16				
12	3,3				2,5		35,4	1360			33,8	1120	7,5	
13	2,4		1,7		5,8		7,3				13,4	125		
14	36,4	395	11,1		46,8	1360								
15			80,6	2625	23,0	83					56,5	2400		
16			41,5	1257			1,8							
17	29,4	623	16,7											
18	28,4	239	11,1											
19	18,7		18,3	130										
20	15,8	27	12,1				40,8	1500						
21	1,5		8,4				6,0				26,9	706		
22	1,8		17,6	30			1,9							
23	71,5	1525	0,8				3,2		12,4	48				2,1
24					1,0				7,2					16,9
25	20,7	156			7,9				2,5					13,8
26			15,2		2,4						20,6	311	23,5	955
27					12,9	108							7,4	
28			39,0	1020	6,1									
29			34,2	347	12,2								27,5	620
30	6,6		25,4	320	4,1									
31			0,4											
Mois	237,6	29,7	362,9	58,4	130,9	15,5	271,9	46,0	103,9	7,5	207,9	57,6	202,8	15,8
	!Kr= 12,5%		!Kr=16,1%		!Kr= 11,8%		!Kr= 16,9%		!Kr= 7,2 %		!Kr= 27,7%		!Kr= 15,4%	

Kr = 0 en Mai (P = 5,1 mm) Juin (P = 4,1 mm) Juillet (P = 4,7 mm) Août (P = 14,8 mm) Septembre (P = 2,7 mm)

Année P = 1449,3 mm
R = 23.044 litres soit 230,4 mm soit Kr = 15,9%
D = 1218,9 mm soit 84,1%

PARCELLE DE RUISSELLEMENT DU BVR TAFAINA

ANNEE 1969-70

TABLEAU N°41

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars		Avril		
	P mm	R l.	P mm	R l.									
1			20,0	62	134,6								
2	146,7	1100	16,5	58	170,9	2180							
3	4,7		1,5		139,5								
4			7,5		163,5	2840	15,1	295					
5					115,5				131,5	623			
6	4,3		4,9		119,9	320							
7	19,9		24,0	228	110,0		112,3				26,6	20	
8	26,8	62	8,3		114,9	644	130,7	1130	0,7				
9	8,0				115,2		9,6						
10			5,2		116,7	445	186,6	2820	6,5				
11			8,5	15					1,6				
12	5,2		43,9	1450					7,3		2,6		
13			17,2						5,6				
14	0,3		5,4		133,4	2360			134,8	665	7,5	20	
15					117,5								
16			40,1	305	127,0	45	1,3		8,5				
17			29,5	90			6,5						
18							134,9	1060					
19			44,6	11680									
20			23,1		122,8	852							
21			5,0						7,5				
22			11,8						116,8	350			
23							3,9						
24			45,7	320			5,0		0,6				
25			35,0	230			0,5						
26	10,5		34,7	580	126,6	1582			20,8	187	2,0		
27			4,5		1,5						6,7		
28			7,0										
29			9,2						8,2				
30			4,0		1,8						6,8		
31			54,9	1210	6,9								
Mois	116,4	11	165	12,1	62,3	1438,2	1102,7	206,4	153,1	150,4	18,3	52,2	0,4
	Kr=10,0%		Kr=12,2%		Kr=23,4%		Kr=25,7%		Kr=12,1%		Kr=0,8%		

Kr = 0 en Mai (P = 6,9 mm) Juin (P = 7,3 mm) Juillet (P = 5,3 mm) Août (P = 4,9 mm)
 Septembre (P = 0) Octobre (P = 9,5 mm)

Année P = 1509,6 mm
 R = 24,828 litres soit 248,3 mm soit Kr = 16,4%
 D = 1261,3 mm soit 83,6%

PARCELLE DE RUISSELLEMENT DU BVR TAFAINA

ANNEE 1970-71

TABLEAU N°42

Jours	Novembre		Décembre		Janvier		Février		Mars	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
	mm	l.	mm	l.	mm	l.	mm	l.	mm	l.
1			15,3		19,6	145	12,0		9,7	
2	19,8		3,5		9,6				1,8	
3			1,6		4,4					
4			3,1		23,9	45				
5	3,9		1,0		0,1				1,4	
6	3,9						7,6		11,9	20
7	16,8	20			17,8		37,5		1,5	
8	18,8				2,1		31,1	582		
9	0,5				0,4		17,2	55		
10			11,3				12,5		1,9	
11	33,7	266	0,7				71,0	1380		
12	1,1						79,2	1620	4,5	
13							14,4	270		
14					8,6	25	6,1			
15							7,4			
16	6,2		1,4				11,0			
17	12,4	93	1,1						16,9	
18	5,6						5,4			
19	1,7		36,2	375			2,7		12,2	
20			1,6							
21					0,4		37,0	55		
22					21,8					
23	8,0				22,0					
24	1,8		0,3		14,2		22,1			
25	19,6				23,0		22,0	80		
26	5,5		27,1	83	31,8	166	39,7	995		
27			10,7		178,0	2075				
28			37,2	230	16,0		3,4		145	
29	1,4		10,1		12,3					
30	0,8		2,5		7,9					
31			19,7		25,6					
Mois	161,5	3,8	134,4	6,9	339,5	24,6	439,3	50,4	66,3	0,2
	Kr = 2,3%		Kr = 3,7%		Kr = 7,2%		Kr = 11,4%		Kr = 0,3%	

Kr = 0 en Avril (P = 20,9 mm) Mai (P = 11,3 mm) Juin (P = 0,2 mm) Juillet (P = 3,8 mm)
 Août (P = 2,2 mm) Septembre (P = 28,7 mm) Octobre (P = 1,1 mm)

Année P = 1259,2 mm
 R = 8580 litres soit 85,8 mm soit Kr = 6,8%
 D = 1173,4 mm soit 93,2%

PARCELLE DU BVR TAFANIA
LAMES D'EAU RUISSELÉE ET PARAMETRES DE PLUÏE

TABLEAU N°43

IN°	DATE	HR	C	HV	PT	P _ε 10	Pe 10	Pc e
		mm	1/s	%	mm	mm	mm	mm
1	13.11.68	4,0	164,5	10,9	36,3	131,0	23,0	37,5
2	6.12	1,1	176,5	12,3	16,4	15,5	9,8	13,6
3	27.12	10,2	103,5	15,2	49,0	-	-	-
4	13.1.69	13,6	103,5	15,2	46,8	138,0	30,5	48,0
5	14,1	0,8	102,0	15,0	23,0	4,0	2,7	3,0
6	5.2	0,2	117,0	16,6	11,3	3,5	1,9	2,5
7	6.2	15,3	114,0	16,3	70,6	152,0	34,2	52,5
8	11.2	13,6	105,0	15,3	36,0	134,0	20,5	27,8
9	19.2	15,0	84,0	13,1	40,8	141,0	33,4	56,5
10	6.3	1,3	81,0	12,7	14,5	113,0	10,5	17,3
11	8.3	4,6	90,0	13,7	31,8	127,0	19,5	29,5
12	10.3	0,2	99,0	14,7	20,0	2,5	0,9	0,9
13	22.3	0,5	73,5	11,9	12,4	110,0	4,7	4,7
14	1.12	0,6	90,0	13,7	13,5	8,5	6,5	10,8
15	11.12	14,5	98,0	14,6	39,0	137,0	32,1	58,1
16	16.12	0,9	102,5	15,1	29,5	110,0	5,7	7,1
17	18.12	16,8	102,5	15,1	44,6	139,5	33,0	58,4
18	23.12	3,2	101,0	14,9	40,0	118,5	11,5	14,9
19	7.1.70	6,5	127,5	17,8	14,9	115,0	14,2	23,6
20	19.1	8,5	117,0	16,6	22,8	125,0	20,2	32,7
21	25.1	5,8	106,5	15,5	25,0	124,5	19,0	27,0
22	3.2	3,0	98,0	14,6	15,1	113,5	10,2	17,1
23	7.2	11,3	119,0	16,8	30,7	130,0	22,5	34,6
24	17.2	10,6	91,5	13,9	34,9	133,0	26,3	43,2

Pt = hauteur totale de pluie recueillie, en mm

C = comptage de l'humidimètre à pointe, en impulsions/s

Hv% = humidité volumique du sol en surface (tranche de 8 cm), en %

IV-3 Etude des eaux souterraines

Sur l'ensemble du bassin on note la présence d'une nappe d'eau souterraine, type "nappe d'arènes granitiques", dont le niveau piézométrique est en rapport direct avec la topographie.

Malgré la diversité des formations géologiques cette nappe est homogène. En effet les granites de Behenjy à l'est et les granites migmatiques à l'ouest sont peu étendus et n'interviennent que pour former une limite très nette du bassin souterrain. Quant aux formations médianes, migmatites à l'est, gnaiss et paragneiss au centre et à l'ouest, leurs réactions en tant que roche-magasin vont être très semblables car les migmatites ont conservé leur structure gneissique "lit par lit". Seule va donc intervenir l'épaisseur de l'altération. Une attention particulière doit être accordée à l'épais banc de quartzites N-S qui traverse le bassin dans sa partie centrale. Etant donné la réputation "d'imperméabilité" attribuée aux quartzites on pouvait penser que notre système aquifère allait être scindé. En réalité il n'en est rien et notre opinion est étayée, d'une part par la description du forage N°29 effectué en décembre 1968 (fig N°6) et par les réactions de la nappe dans ce forage, d'autre part par la présence fréquente de suintements et de sources lorsqu'un banc de quartzites recoupe le relief dans un point bas. Les quartzites n'affectent pas ou très peu le mouvement d'ensemble de la nappe : très altérés ils ont le même comportement que les roches environnantes et permettent en tout cas les transmissions latérales, peu altérés ils sont toujours ici fortement diaclasés et jouent alors un rôle de drain vis-à-vis des formations gneissiques encaissantes.

IV-3-1 Mise en place du réseau piézométrique (fig 34)

Août-Septembre 1966 : installation de piézomètres N°1 à 18. Les puits N°1 à 10 ont été percés à l'aide d'une sondeuse à tige hélicoïdale, diamètre 6 pouces pour le piézomètre N°1 et 2 pouces pour les piézomètres 2 à 10. La présence d'épais "stone-lines" et la faible puissance de la machine n'ont pas permis de respecter toujours les emplacements initialement choisis.

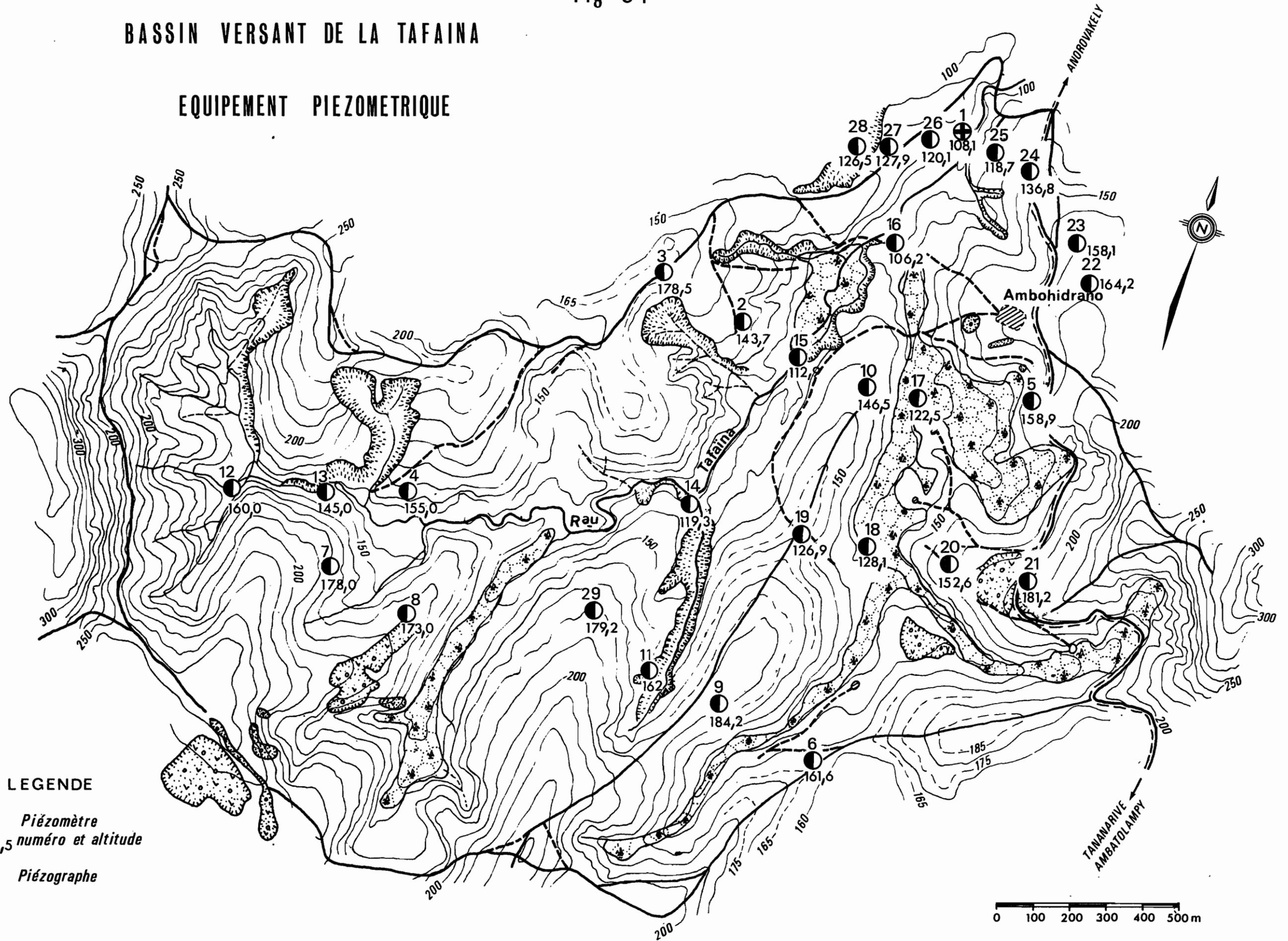
Les piézomètres N°11 à 18 ont été percés à l'aide d'une tarière à main. Les n° 12, 13, 14 et 16 sont situés aux abords immédiats de la rivière et n'ont d'autre destination que de fournir un repère topographique, leurs fluctuations étant soumises au régime des eaux de surface. Tout comme le n°1, les n°11, 15, 17 et 18 ont été installés sur des banquettes latérales matérialisant des terrasses anciennes.

Septembre 1967 : installation des piézomètres n°19 à 28. Percés à l'aide d'une machine plus puissante, ces piézomètres avaient pour but l'augmentation de la densité du réseau et la création d'une ligne de mesures proche de l'exutoire pour mettre en évidence l'étanchéité du bassin. De nombreux essais de forage ont aussi été effectués dans les quartzites, au N.E. du piézomètre n°4 et au S.O du n°11, mais ils ont dû être abandonnés devant l'extrême dureté de la roche.

Fig- 34

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

EQUIPEMENT PIEZOMETRIQUE



LEGENDE

- 3
178,5
Piézomètre
numéro et altitude
- ⊕ Piézographe



Altitude 0 = 1263m NGM

Décembre 1968 : Sondage du piézomètre n°29.

Après son passage à Tananarive, Monsieur RODIER a pu débloquent d'importants crédits pour effectuer dans les quartzites un sondage profond avec une machine de très forte puissance équipée de trepans et de couronnes de diamants. Le sondage a atteint 40 mètres de profondeur pour un niveau piézométrique se situant alors aux alentours de -24 mètres. Le coût prohibitif d'un tel sondage n'a pas permis d'en effectuer d'autres mais il nous apporte déjà des renseignements inestimables sur la présence et les fluctuations d'une nappe dans les quartzites, toutes précautions étant prises par ailleurs pour éviter un apport d'eau de ruissellement en provenance de la surface.

IV-3-2 Mesures du niveau piézométrique

Sauf pour le piézomètre n°29 tubé au fur et à mesure de l'avancement, et pour le n°1 équipé d'un piézographe (tubage 5 ponces, limnigraphe OTT R₁₆ mensuel avec réduction 1), le tubage des autres piézomètres a été effectué avec des tubes galvanisés 5 40X49 crépinés à la base à l'aide de traits de scie. Le sommet des tubes a été fileté, manchonné et fermé avec les bouchons à vis adéquats.

Malgré cet équipement sommaire et bon marché on peut estimer que l'ensemble des piézomètres a remarquablement fonctionné, sauf les N°12, 13, 14 et 16 dont nous avons déjà signalé l'importance secondaire et qui se sont très souvent colmatés parce qu'ils sont situés près de la rivière dans des zones argileuses. Des ennuis fréquents nous ont cependant été occasionnés par les jeunes bergers qui, pour meubler leur temps, ont assez systématiquement réussi à dévisser les bouchons de fermeture pourtant bloqués à la clé à griffes. Le but final était de jeter de petits cailloux et d'écouter le bruit de leur descente le long du tube puis de leur impact avec l'eau. Explications, réprimandes et menaces ont été bien peu opérantes, les responsables ou leur amis se contentant de changer de piézomètre. Il va sans dire que trop de cailloux ou des cailloux trop gros ont fini par boucher définitivement certains piézomètres. C'est le cas des n° 2, 3, 5, 8, 10, 17, 22 et 23.

Un agent local spécialement affecté à ce travail a visité quotidiennement les piézomètres et mesuré le niveau de la nappe à l'aide d'une sonde H.W.K. à arrêt automatique qui, bien que fragile, a donné entière satisfaction. Cela n'a pas été toujours le cas de l'observateur dont de fréquentes lacunes ont été révélées par les contrôles hebdomadaires effectués sur plusieurs piézomètres différents. C'est d'ailleurs pour cette raison que les états piézométriques bimensuels ne seront pas établis à partir des relevés bruts journaliers effectués par l'observateur. Ils le seront à l'aide des courbes de variation de la nappe tracées à partir du report sur graphique des lectures journalières et qui ne tiennent pas compte des erreurs de lecture ou des observations inventées.

IV-3-3- Etablissement et traitement des états piézométriques

Pour témoigner valablement des variations du niveau moyen de la nappe au cours de l'année il faut dresser des cartes de l'état piézométrique du bassin suivant une périodicité donnée. L'état quotidien étant superflu et même erroné étant donné le temps nécessaire pour effectuer l'ensemble des mesures, l'état mensuel étant trop sommaire, nous avons choisi de faire des états bimensuels établis le 1er et le 15 de chaque mois.

C'est en fonction de cette répartition que nous avons déterminé l'importance des surfaces d'influence, la somme de celles des piézomètres d'une même zone de battement étant égale à la surface de cette zone. Notons que, suivant les périodes correspondant aux trois programmes, nous avons été amenés à supprimer les résultats de certains piézomètres qui, comme nous l'avons écrit précédemment, ont été bouchés. On se rend compte d'autre part que les zones de battement supérieur à 3 m sont très mal représentées sauf à partir de 1969 par le piézomètre n°29. Pour compenser, nous avons attribué ces zones (20% de la superficie totale) aux piézomètres ayant le plus fort battement moyen observé. C'est ainsi, par exemple, que pour l'année 1966-67 nous avons attribué aux piézomètres n°1, 4 et 7 (zone de battement 2-3 m, 15% du bassin) les coefficients 10,15 et 15% soit un total de 35%. Nous obtiendrons malgré tout des valeurs du niveau moyen de la nappe légèrement sous-estimées. Cette solution de pis-aller n'est guère satisfaisante mais elle est de toute façon préférable aux résultats que nous aurions eu avec la méthode de THIESSEN, où dans le cas présent, 70 % de la zone de battement supérieur à 4 m auraient été attribués au piézomètre n°11 dont l'amplitude moyenne sur 5 ans n'est que de 0,90 m.

On trouvera dans les pages suivantes :

- La figure 35 avec - les zones d'égal battament de la nappe du 1er novembre 1966 au 31 octobre 1971.
- Les tableaux n° 44 et n° 45 indiquant les paramètres de base à introduire pour les trois programmes de calcul (altitudes et aires d'influence Δh variation moyenne du niveau de la nappe dans le bassin.
- à titre d'exemple les courbes de variation du niveau de la nappe au piézo-
graphe 1 et aux piézomètres n°6, 27 et 29 au cours de l'année 1970-71 (fig
n°36 à 40)

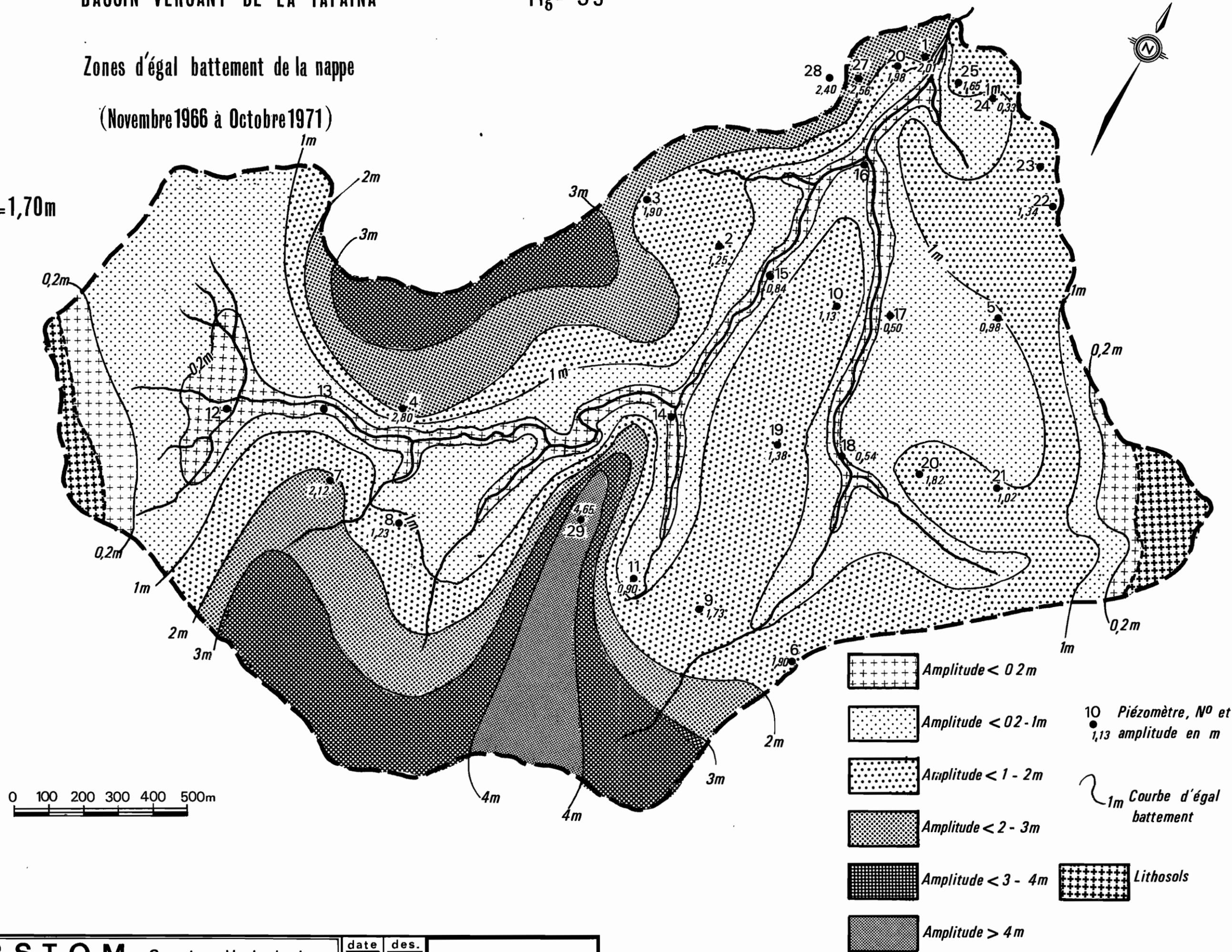
La totalité des mesures piézométriques dans les tableaux n°46 à 50 (altitude moyenne de la nappe, variation moyenne Δh de niveau, stockage par infiltration correspondant $I = \Delta h \times Pe$, Pe porosité de 15 %).

On notera que la carte des zones d'égal battement de la nappe (fig 35) porte en exergue l'indication d'un battement moyen sur la période novembre 66 - octobre 71 égal à 1m70. Cette valeur ne doit pas être confon-
due avec la variation Δh du niveau moyen de la nappe qui apparaît dans les tableaux 46 à 50.

Zones d'égal battement de la nappe

(Novembre 1966 à Octobre 1971)

$\Delta h = 1,70m$

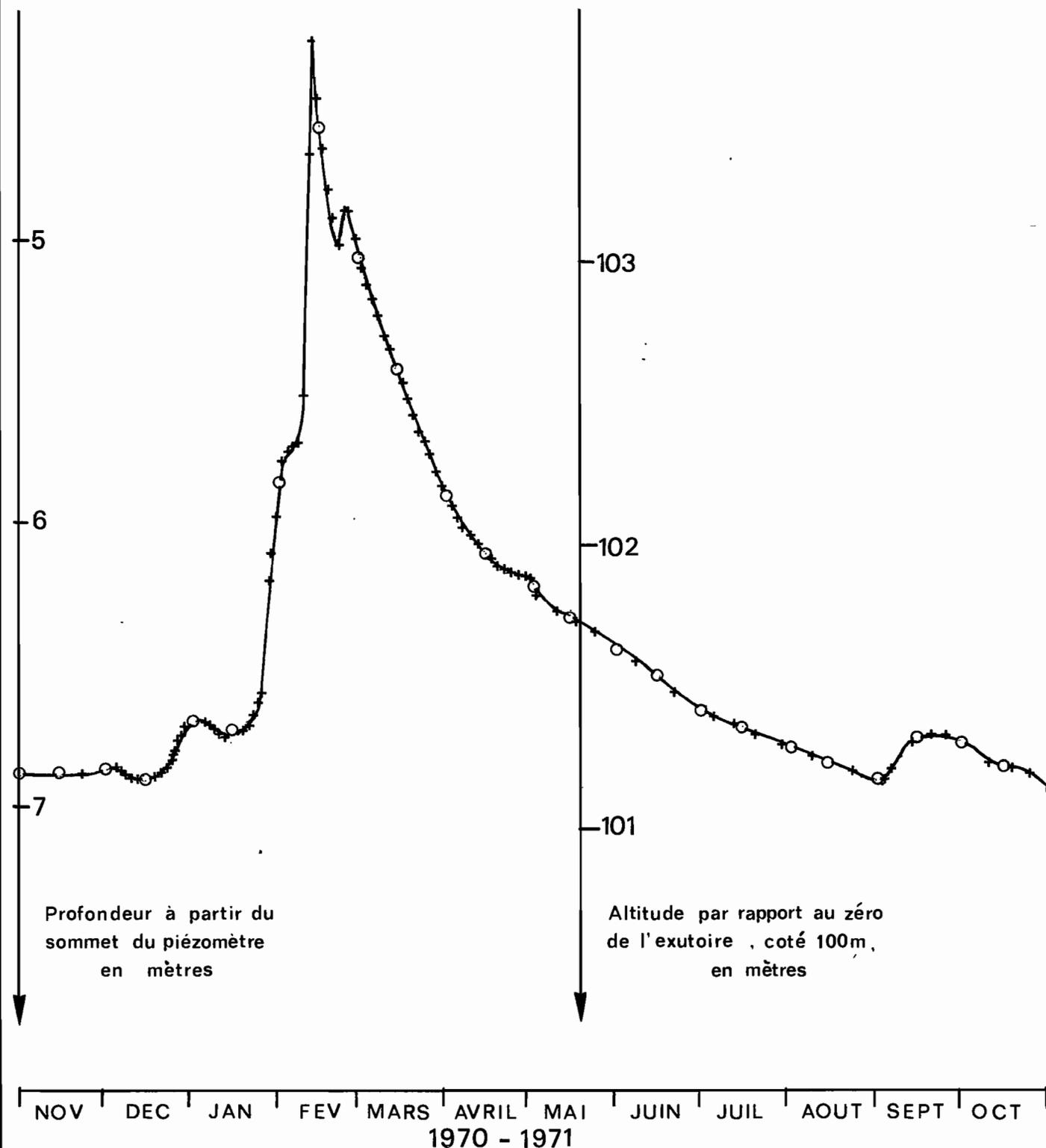


- Amplitude <math>< 0,2m</math>
- Amplitude <math>< 0,2-1m</math>
- Amplitude <math>< 1-2m</math>
- Amplitude <math>< 2-3m</math>
- Amplitude <math>< 3-4m</math>
- Amplitude $> 4m$
- Lithosols
- 1m Courbe d'égal battement
- 10 Piézomètre, N° et 1,13 amplitude en m

Variations du niveau piézométrique du 1-11-70 au 31-10-71

+ Relevé quotidien

○ Valeur des états bimensuels

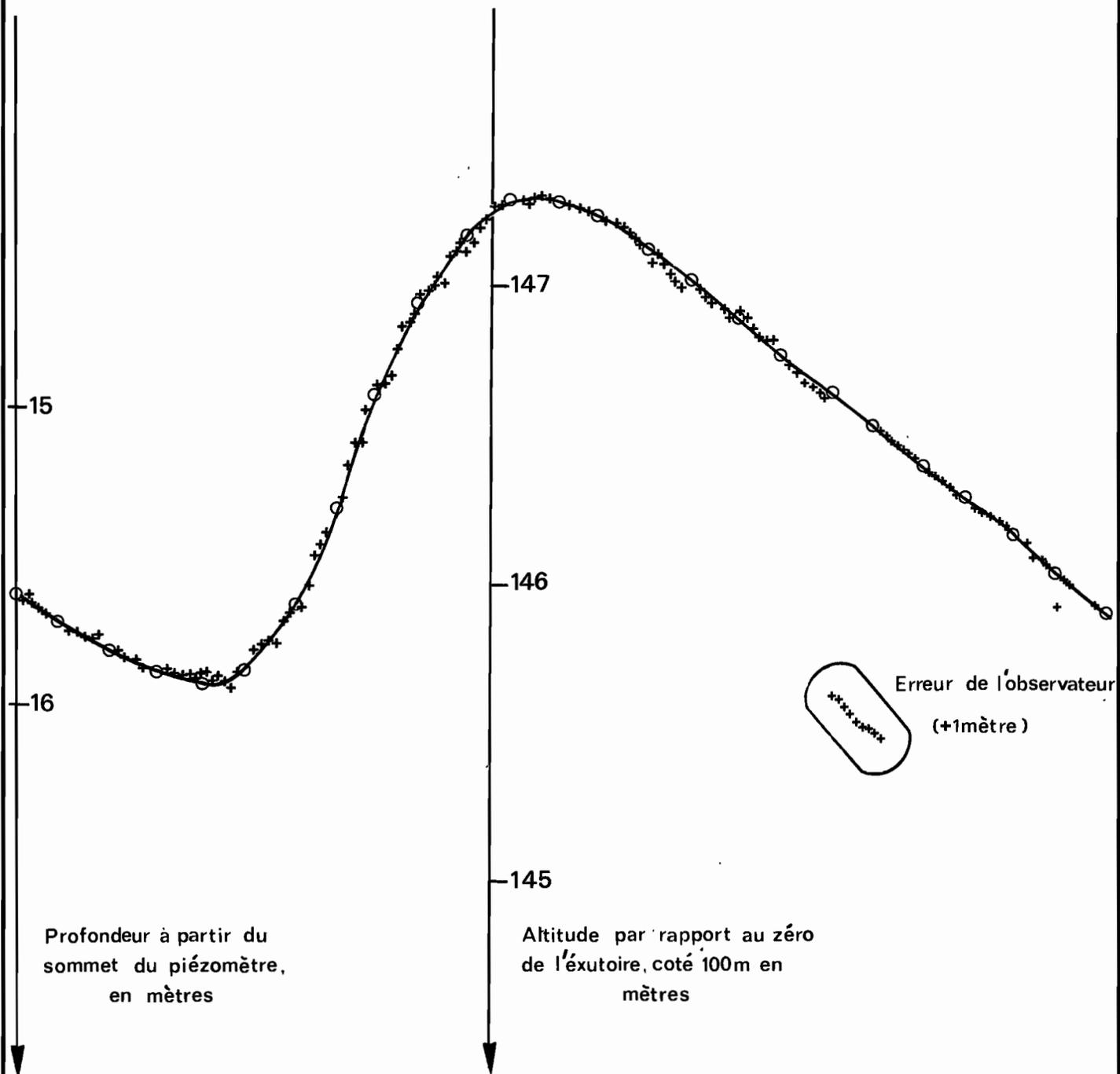


Profondeur à partir du sommet du piézomètre en mètres

Altitude par rapport au zéro de l'exutoire, coté 100m, en mètres

PIEZOMETRE P₆

Variations du niveau piézométrique du 1-11-70 au 31-10-71

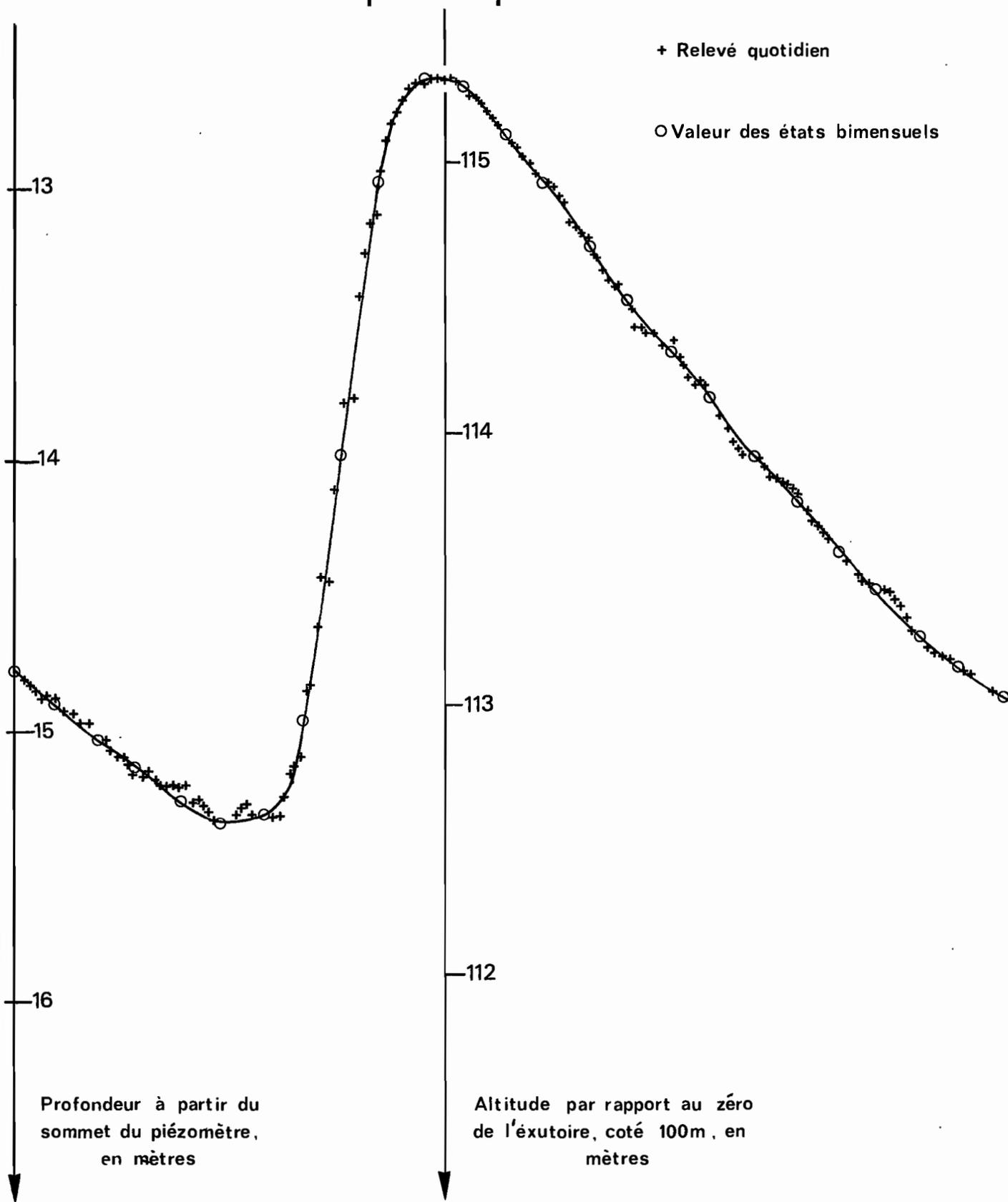


NOV | DEC | JAN | FEV | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT | OCT
1970-1971

+ Relevé quotidien
O Valeur des états bimensuels

PIEZOMETRE P₂₇

Variations du niveau piézométrique du 1-11-70 au 31-10-71



+ Relevé quotidien
 o Valeur des états bimensuels

Profondeur à partir du
 sommet du piézomètre,
 en mètres

Altitude par rapport au zéro
 de l'exutoire, coté 100m, en
 mètres

NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT
1970 - 1971											

TABLEAU N° 44

ALTITUDES ET HAUTEURS DES PIEZOMETRES

N°	ALTITUDE Z DU SOMMET DU PIEZOMETRE (m)	HAUTEUR H AU-DESSUS DU SOL (m)
1	108,10	0,90
2	143,70	0,10
3	178,50	1,10
4	155,00	0,30
5	158,90	0,30
6	161,60	0,10
7	178,00	0,20
8	173,00	0,20
9	184,20	0,10
10	146,50	0,20
11	162,50	0,20
12	160,00	0,10
13	145,00	0,10
14	119,30	0,40
15	112,90	0,20
16	106,20	0,40
17	122,50	0,30
18	128,10	0,30
19	162,90	0,30
20	152,60	0,20
21	181,20	0,10
22	164,20	0,10
23	158,10	0,60
24	136,80	0,20
25	118,70	0,70
26	120,10	0,30
27	127,90	0,10
28	126,50	0,40
29	179,20	0,40

TABLEAU N° 45

VARIATION DES ZONES D'INFLUENCE DES PIEZOMETRES

N°	PERIODE 1966-67	PERIODE 1967-68 1968-69	PERIODE 1969-70 1970-71
1	0,100	0,060	0,060
2	0,040	-	-
3	0,040	-	-
4	0,150	0,060	0,060
5	0,050	-	-
6	0,040	0,031	0,035
7	0,100	0,060	0,060
8	0,040	-	-
9	0,045	0,031	0,035
10	0,045	-	-
11	0,050	0,070	0,070
12	0,040	0,040	0,040
13	0,035	0,035	0,035
14	0,040	0,040	0,040
15	0,050	0,060	0,060
16	0,035	0,035	0,035
17	0,050	-	-
18	0,050	0,060	0,060
19	-	0,031	0,036
20	-	0,031	0,036
21	-	0,031	0,036
22	-	0,031	-
23	-	-	-
24	-	0,060	0,060
25	-	0,032	0,036
26	-	0,032	0,036
27	-	0,110	0,060
28	-	0,060	0,060
29	-	-	0,050
TOTAL	1,000	1,000	1,000

TABLEAU N° 46

ANNEE HYDROLOGIQUE 1966-67 - RESULTATS PIEZOMETRIQUES

DATE	ALTITUDE MOYENNE H DE LA NAPPE (m)	DIFFERENCE D'ALTITUDE $\Delta H (+)$ AVEC L'ETAT PRECEDENT (m)
01-11-66	135,94	-
15	135,96	+0,02
01-12-66	135,92	-0,04
15	135,91	-0,01
01-01-67	136,10	+0,19
15	136,29	+0,19
01-02-67	136,48	+0,19
15	136,47	-0,01
01-03-67	136,55	+0,08
15	136,88	+0,33
01-04-67	137,12	+0,24
15	137,19	+0,07
01-05-67	137,25	+0,06
15	137,28	+0,03
01-06-67	137,30	+0,02
15	137,29	-0,01
01-07-67	137,23	-0,06
15	137,12	-0,11
01-08-67	136,99	-0,13
15	136,88	-0,11
01-09-67	136,76	-0,12
15	136,66	-0,10
01-10-67	136,54	-0,12
15	136,43	-0,11
01-11-67	136,33	-0,10

Altitude moyenne des piézomètres = 146,89 m

Altitude moyenne de la nappe = 136,675 m soit -12,215 m/sol

Variation du stock de la nappe : $(136,33 - 135,94) = + 0,39$ m
de niveau soit + 58,5 mm (avec 15% de porosité).

TABLEAU N° 67

ANNEE HYDROLOGIQUE 1967-68 - RESULTATS PIEZOMETRIQUES

DATE	ALTITUDE MOYENNE H DE LA NAPPE (m)	DIFFERENCE D'ALTITUDE Δ H (+) AVEC L'EPAT PRECEDENT (m)
01-11-67	131,19	-
15	131,17	-0,02
01-12-67	131,17	0
15	131,20	+0,03
01-01-68	131,21	+0,01
15	131,25	+0,04
01-02-68	131,32	+0,07
15	131,39	+0,07
01-03-68	131,49	+0,10
15	131,59	+0,10
01-04-68	131,68	+0,09
15	131,71	+0,03
01-05-68	131,71	0
15	131,70	-0,01
01-06-68	131,68	-0,02
15	131,64	-0,04
01-07-68	131,59	-0,05
15	131,54	-0,05
01-08-68	131,47	-0,07
15	131,40	-0,07
01-09-68	131,29	-0,11
15	131,19	-0,10
01-10-68	131,09	-0,10
15	131,00	-0,09
01-11-68	130,93	-0,07

Altitude moyenne des piézomètres = 140,71 m

Altitude moyenne de la nappe = 131,385 soit -9,325 m/sol

Variation du stock de la nappe : - 0,26 m de niveau soit 39 mm.

TABLEAU N°43

ANNEES HYDROLOGIQUE 1968-69 - RESULTATS PIEZOMETRIQUES

DATE	ALTITUDE MOYENNE H DE LA NAPPE (m)	DIFFERENCE D'ALTITUDE $\Delta H (+)$ AVEC L'ETAT PRECEDENT (m)
01-11-68	130,93	-
15	130,85	-0,07
01-12-68	130,83	-0,02
15	130,83	0
01-01-69	130,96	+0,13
15	131,07	+0,11
01-02-69	131,20	+0,13
15	131,43	+0,23
01-03-69	131,54	+0,11
15	131,64	+0,10
01-04-69	131,73	+0,09
15	131,82	+0,09
01-05-69	131,82	0
15	131,81	-0,01
01-06-69	131,77	-0,04
15	131,71	-0,06
01-07-69	131,65	-0,06
15	131,58	-0,07
01-08-69	131,50	-0,08
15	131,43	-0,07
01-09-69	131,34	-0,09
15	131,27	-0,07
01-10-69	131,19	-0,08
15	131,12	-0,07
01-11-69	131,09	-0,03

Altitude moyenne des piézomètres = 140,71 m

Altitude moyenne de la nappe = 131,365 m soit -9,345 m/sol

Variation du stock de la nappe : + 0,16 de niveau soit 24 mm.

TABLEAU N°3

ANNEE HYDROLOGIQUE 1969-70 - RESULTATS PIEZOMETRIQUES

DATE	ALTITUDE MOYENNE H DE LA NAPPE (m)	DIFFERENCE D'ALTITUDE $\Delta H (+)$ AVEC L'ÉTAT PRECEDENT (m)
01-11-69	133,02	-
15	132,96	-0,06
01-12-69	132,91	-0,05
15	132,95	+0,04
01-01-70	133,21	+0,26
15	133,71	+0,50
01-02-70	134,11	+0,40
15	134,28	+0,17
01-03-70	134,29	+0,01
15	134,29	0
01-04-70	134,22	-0,07
15	134,13	-0,09
01-05-70	134,05	-0,08
15	133,97	-0,08
01-06-70	133,88	-0,09
15	133,79	-0,09
01-07-70	133,69	-0,10
15	133,60	-0,09
01-08-70	133,51	-0,09
15	133,43	-0,08
01-09-70	133,35	-0,08
15	133,29	-0,06
01-10-70	133,21	-0,08
15	133,14	-0,07
01-11-70	133,11	-0,03

Altitude moyenne des piézomètres = 142,99 m
 Altitude moyenne de la nappe = 133,60 m soit -9,39 m/sol

Variation de stock de la nappe : + 0,09 m de niveau soit
 + 13,5 mm

TABLEAU N° 30

ANNEE HYDROLOGIQUE 1970-71 - RESULTATS PIEZOMETRIQUES

DATE	ALTITUDE MOYENNE H DE LA NAPPE (m)	DIFFERENCE D'ALTITUDE ΔH (+) AVEC L'ETAT PRECEDENT (m)
01-11-70	133,11	-
15	133,05	-0,06
01-12-70	133,03	-0,02
15	132,99	-0,04
01-01-71	133,00	+0,01
15	132,94	-0,06
01-02-71	133,13	+0,19
15	133,33	+0,20
01-03-71	133,63	+0,30
15	133,84	+0,21
01-04-71	133,94	+0,10
15	133,92	-0,02
01-05-71	133,85	-0,07
15	133,79	-0,06
01-06-71	133,70	-0,09
15	133,62	-0,08
01-07-71	133,53	-0,09
15	133,46	-0,07
01-08-71	133,37	-0,09
15	133,29	-0,08
01-09-71	133,20	-0,09
15	133,15	-0,05
01-10-71	133,07	-0,08
15	133,03	-0,04
01-11-71	132,96	-0,07

Altitude moyenne des piézomètres = 142,99 m
 Altitude moyenne de la nappe = 133,355 soit -9,365 m/sol

Variation du stock de la nappe : - 0,15 m de niveau soit
 - 22,5 mm

IV-4 Etude de l'eau en transit dans la zone non saturée

Entre la surface du sol et la frange capillaire de la nappe, la zone non saturée véhicule une partie des eaux météoriques, celle-ci pouvant alimenter l'aquifère ou être mise en réserve pour éventuellement être reprise par l'évapotranspiration.

IV-4-1 Méthode utilisée

Le dispositif mis en place pour cette étude a été décrit au paragraphe III-5. De même nous avons exposé au paragraphe IV-1 la façon que nous pensions employer pour séparer S/ETR tout en signalant que cette solution pouvait être modifiée. Des recherches parallèles sont en effet menées sur d'autres bassins versants et en particulier par H. CAMUS sur le B.V.R de KORHOGO. Il est très possible que ces recherches aboutissent bientôt et qu'une méthodologie nouvelle nous permettent d'exploiter les milliers de points de mesure exécutés sur le B.V.R TAFANIA.

Dans cette optique et pour une éventuelle utilisation ultérieure les différents profils effectués sont présentés au paragraphe suivant.

IV-4-2 Mesures effectuées sur les différents tubages

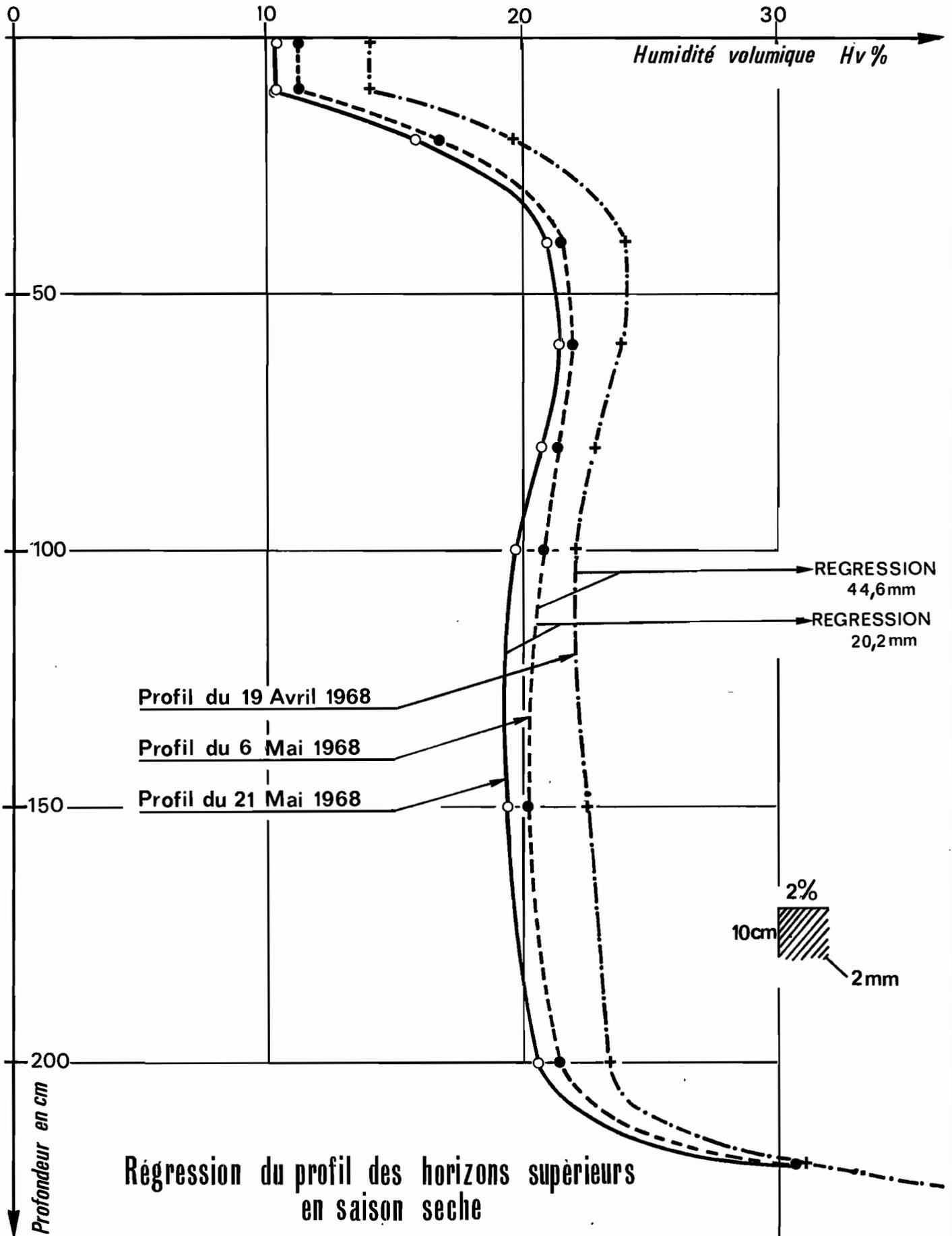
Nous rappelons que le tubage n°1, installé en novembre 1966 a une profondeur dans le sol de 5,28 mètres et que, en dehors de deux autres tubes en polyéthylène ayant donné de mauvais résultats, il a fonctionné seul jusqu'au 30 janvier 1969 date d'installation du tubage n°II qui a une profondeur de 7,60 mètres. Les tubages III et IV ont été mis en place le 15 octobre 1969 et les tubages V,VI et VII le 17 février 1971.

Le sol du tubage n°1 qui va servir de référence pendant plus de deux années est un sol remanié modal caractérisé par la présence d'une stone-line (ancienne surface d'érosion) profonde et épaisse au niveau de laquelle doit se manifester une discontinuité dans les caractéristiques hydriques. Cette hypothèse de F. BOUGEAT est vérifiée ici car au-delà de 2,20-2,30 m, niveau de la stone-line, l'humidité reste toujours très élevée et varie peu.

Nous rappelons également que la période 1966-69 correspond à la mise au point des appareils de mesure et à leur expérimentation. On pourra ainsi constater de nombreuses lacunes dans la périodicité des mesures. Les lacunes sont consécutives aux diverses pannes provoquées principalement par la mauvaise étanchéité de l'intégrateur et par des décharges électriques dans les plaquettes THT (plaquette très haute tension: 1900 volts environ). De plus les éclairs faisaient varier l'aiguille de l'intégrateur rendant les lectures impossibles lors des orages. Du tableau n°52 au tableau n°53 on trouvera les mesures brutes effectuées sur le tubage n°I de novembre 1966, à l'aide de l'ensemble humidimètre à neutrons - intégrateur HP-IP 110. On peut remarquer un manque de sensibilité assez net dès que l'on aborde les fortes humidités, principalement au-dessous de la stone-line située à 2,25 mètres. Un examen approfondi montre aussi dans la tranche supérieure certaines variations difficilement explicables.

BASSIN VERSANT REPRESENTATIF DE LA TAFAINA
TUBAGE N° 1

Fig- 40



Enfin toutes ces mesures sont extrêmement dépendantes des valeurs-étui (constante de l'appareil) qui témoignent de dérives importantes non seulement entre les mesures mais au cours d'un même profil. Cette dérive n'est pas proportionnelle au temps et c'est la raison pour laquelle la mesure-étui figurant sur les tableaux est la moyenne entre les mesures-étui du début et de la fin du profil.

Ces constatations assez peu réjouissantes conduisent :

- à suspecter quelque peu l'exactitude des profil effectués
- à procéder au dépouillement en utilisant une relation $R/Hv\%$,

R étant le rapport $\frac{\text{mesure en } i/s}{\text{mesure étui en } i/s}$

(on a une relation d'étalonnage linéaire $Hr = a R + b$ au lieu d'une relation $Hr = a N + b$, N étant simplement le nombre d'impulsions mesurées. Avant novembre 1969, pour le tubage 1, on avait $Hr = 30 R - 7$), puis à reporter ces valeurs sur papier millimétré, le gain ou la perte entre 2 profils étant mesurés par planimétrie. Un exemple en est donné à la fig n°40.

Après sélection des profils et choix de ceux qui paraissent les plus vraisemblables, on peut admettre que pour les saisons sèches durant lesquelles l'apport stocké des pluies est nul ou minimal, une estimation de ETR est possible. Le tableau 54 récapitule les résultats ainsi obtenus.

TABLEAU N° 1

TUBAGE N° 1

PROFILS A L'HUMIDIMETRE A NEUTRONS (PENTE = 1/6,2)

Z réel en cm	Coefficient d'influence	1966					1967					
		25/11	9/12	30/12	12/1	24/1	25/1	9/2	20/2	22/3	22/5	13/6
10	1,5	1138,6	132	1153,6	1125,4	1154,5	1148,8	1112,5	1151,8	1148,8	1192,4	174,3
20	1,5	1175,2	1167,4	1171,6	1167,4	1187,5	1183	1156	1187,2	1182,4	1133,4	1127,2
40	2,0	1189,6	1174	1193,8	1186,6	1207	1205	1178,8	1205,8	1195,0	1157,2	1154,8
60	2,0	1190,2	1165,6	1192	1190,8	1204	1203	1175,8	1202,8	1193,8	1159,6	1155,4
80	2,0	1180	1157,2	1183	1184,8	1201	1198	1172,2	1199,2	1189,6	1156	1151,8
100	3,5	1165	1153,6	1181,2	1178,8	1196,5	1200	1169,2	1195,6	1184,8	1151,2	1150,6
150	5,0	1136,8	1126		1150	1156,0	1151,2	1136,9	1148,8	1147,6	1130,8	1128,4
200	3,5	1138	1124,2	1146,4	1150,6	1154,5	1150,6	1138			1130,8	1130,2
220	1,5	1162			1200	1202,5	1195	1196	1195	1187	1186	1190
230	1,5	1258			1268	1270	1262	1258	1264	1254	1260	1268
250	3,5	1261	1258	1264	1277	1270	1269	1262	1262	1254		
300	5,0	1275	1269	1275	1292			1276	1285	1270	1277	1279
350	5,0	1280	1278	1274	1294	1287,5	1280	1281	1290			
400	5,0	1271	1262	1258	1287			1276	1278	1266	1278	1282
450	5,0	1261	1251	1248	1280	1272,5	1256	1268	1270	1285		
500	5,0	1274	1268	1266	1285	1285	1274	1296	1287	1276	1303	1304
Etui		1152,4	1150,3	1149,4	1150	1159	1151,8	1149,7	1156	1144	1153	1156

Z réel en cm	Coefficient d'influence	1966		1967		1968		1969		1970		1971	
		27/6	10/7	8/8	21/8	4/9	18/9	20/10	15/11	16/11	20/11	27/11	
10	1,5	183,4	183,7	179,5	175	178,3	84	88,2	99	1103,8	1103,8	1130,2	
20	1,5	1121,2	1121,2	1115,2	1106,8	1110,4	1109,2	1118,2	1138,6	1132	1136,8	1175,2	
40	2,0	1151,2	1140,4	1142,2	1129,6	1132	1133,2	1136,2	1160,8	1154,8	1156,6	1190,8	
60	2,0	1150,6	1152,4	1147,6	1136,8	1136,8	1133,2	1133,8	1156	1150	1152,4	1186,6	
80	2,0	1147,2	1148,8	1148,8	1139,8	1142,8	1138,6	1133,8	1142,2	1142,2	1141	1177	
100	3,5	1150	1148,8	1147,0	1141,6	1141,6	1141,6	1139,2	1136,2	1133,8	1136,2	1163,8	
150	5,0	1124,8	1130,8	1133,2	1126	1127,2	1128,4	1121,2	1127,2	1121,2	1128,4	1128,4	
200	3,5	1129,6	1132		1130			1126,6	1136,8	1133,2	1136,2	1136,8	
220	1,5	1195	1197	1207	1197	1198	1200	1199	1146		1140,4	1144	
230	1,5	1270	1273	1276	1266	1270	1268	1268	1262		1263	1249,6	
250	3,5				1268								
300	5,0	1289	1290	1296	1282	1284	1280	1286	1284		1287	1273,6	
350	5,0												
400	5,0	1289	1290	1288	1274	1282	1278	1282	1274		1283	1271,2	
450	5,0												
500	5,0	1310	1318	1290	1288	1292	1288	1298	1282		1289	1278,4	
Etui		1156	1158	1157,2	1151,2	1151,2	1151,8	1151,2	1150	1150,6	1151,2	1151,2	

TABLEAU N°52

TUBAGE N° I

PROFILS A L'HUMIDIMETRE A NEUTRONS (PENTE = 1/6,2)

Z réel en cm	Coefficient d'influence	1968 23/1	30/1	15/2	16/2	14,3	19/4	6/5	21/5	5/6	21/6	5/7	23/7	6/8	21/8	6/9	1/10
10	1,5	110,4	109,2	133,8	124,8	136,2	98,4	79,8	74,1	102	89,4	85,2	84	78	78,6	74,2	70,8
20	1,5	157,8	150	181,8	172,2	187,2	151,2	131,4	126	138	119,4	122,4	117	114,6	112,8	111,6	112,8
40	2,0	186	174	198,0	192	199,8	181,2	163,2	160,8	157,8	156	150	143,4	142,2	137,4	128	131,4
60	2,0	186	174	191,4	190,2	194,4	180	166,8	163,8	158,4	155,4	151	151,2	148,8	141,6	135	132,6
80	2,0	182,4	171	184,2	187,8	187,8	172,8	162,6	159	154,4	151,2	150	147	148,2	142,2	139,8	137,4
100	3,5	177	166,8	178,8	184,8	184,8	168,6	159	152,4	151,2	151,2	137	145,8	144,6	141,6	141,6	139,8
150	5,0	150	142,2	146,4	151,8	151,2	148,2	136,2	133,2	133,6	131,4	127,2	129	130,8	127,8	126,6	128,4
200	3,5	154,8	145,2	156,0	154,8	162	152,4	142,8	138,6	138,6	132	132,6	133,8	133,2	130,8	129	132,6
220	1,5	162	147,6	159,6	159,6	169,2											181,8
230	1,5	261,6	241,2	259,2	256,8	269,4	268	263	260	260	260	259	260	259	260	260	270
250	3,5						279	265	263	267	268	261	260	265	265	263	278
300	5,0	280,8	252,0	282	279,6	290,4	292	291	282	282	280	279	281	280	278	279	294
350	5,0																
400	5,0	278,4	242,4	276	268,8	279,6	291	280	280	278	275	270	275	269	272	270	286
450	5,0																270
500	5,0	279,6	243,6	281	271,2	279,6	298	290	288	284	280	284	279	279	280	278	298
Etui		153	139,5	154,2	153	153,6	150	149,4	150,3	149,7	150	150,5	150,3	150,6	149,4	151,5	153,6

N.B. Le coefficient d'influence dépend de l'épaisseur de sol concernée par chaque mesure.

TABLEAU N°53

TUBAGE N°1

PROFILS A L'HUMIDIMETRE A NEUTRONS (PENDE = 1/6,2)

Z réel en cm	Coefficient d'influence	1969 2/1	3/1	4/1	5/1	6/1	8/1	9/1	10/1	11/1	12/1	23/1	7/8
10	1,5	117	110	106	128	116	112	113	113	109	110	108	89
20	1,5	149	146	140	165	160	157	157	155	156	149	154	113
40	2,0	169	167	158	189	188	182	186	184	180	174	182	139
60	2,0	167	167	159	188	183	184	188	185	182	178	186	149
80	2,0	169	166	158	187	183	180	187	182	173	175	178	150
100	3,5	164	164	157	182	182	183	182	179	181	172	178	148
150	5,0	131	149	128	148	148	147	152	149	148	143	147	126
200	3,5	136	151	129	151	152	149	153	154	150	146		125
220	1,5	176	202	170	205	202	203	208	200	203	192	203	208
230	1,5	239	270	232	274	278	277	281	278	269	266	269	282
250	3,5	240	278	237	278	282	280	282	280	278	264	271	282
300	5,0	260	296	253	293	295	298	303	297	291	288	284	292
350	5,0												301
400	5,0		295	243	290	287	279	297	289	285	286	284	290
450	5,0												288
500	5,0		293	242	289	284	297	301	289	294	286	293	300
Etui		144	145,8	131,1	152,7	152,4	153,6	155,7	153,6	154,5	151,5	156	153

Ensemble HP, IP 110

Z réel en cm	Coefficient d'influence	Profils	1969 14/12	17/12	19/12	20/12	21/12	31/12
10	1,5		138	147	144	142	138	157
20	1,5		164	173	173	165	168	191
40	2,0		181	193	210	189	186	209
60	2,0		175	187	188	187	186	206
80	2,0		168	184	185	182	183	200
100	3,5		159	178	182	183	180	200
110	5,0	1						
200	3,5	(125 cm)	116	129	136	140	141	153
220	1,5		109	111	112	127	129	139
230	1,5	2	218	217	220	224	226	248
250	3,5	(225 cm)	255	256	257	257	262	280
300	5,0		255	254	257	258	258	277
350	5,0		271	270	269	270	272	296
400	5,0		281	277	277	279	279	297
450	5,0		263	262	264	261	267	281
500	5,0	3	262	258	265	263	270	274
	5,0	(525 cm)	270	269	272	276	271	284

Suite du tableau N°53

Correction			1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	0,97
	Σ 1		12076	12231	12279	12217	2199	12452
	Σ 2		13346	13590	13681	13698	3695	14076
	Σ 3		111356	11543	11701	11731	11786	12625
	Δ Σ 1	corrigé	+184	+50	-65	-19	+48	
	Δ Σ 2	corr.	+259	+96	+18	-3	+37	
	Δ Σ 3	corr.	+198	+167	+32	+58	-246	
	Δ 1mm		+351,8	+29,7	+8,1	-10,5	-3,1	+7,7
	Δ 2mm		+572,1	+41,7	+15,5	+2,9	-0,5	+6,0
	Δ 3mm		+1941,5	+32,0	+26,9	+5,2	+9,3	-39,7

Ensemble HP, EC 310

Tableau n°54
SAISON SECHE 1966-67

PERIODE	NB DE JOURS	EVOLUTION DU PROFIL EN MM	PLUIE EN MM	ETR TOTALE EN MM	ETR JOURNALIERE EN MM
du 22/3/67 au 22/5	61	- 150,6			
du 22/5 au 13/6	22	- 14,9	0,2	15,1	0,69
du 13/6 au 10/7	27	- 9,2	1,2	10,4	0,39
du 10/7 au 21/8	42	- 5,1	1,0	6,1	0,15
du 21/8 au 20/10	60	+ 6,7	56,6	34,9 (15mm infil- trés)	0,58

SAISON SECHE 1967-68

PERIODE	NB DE JOURS	EVOLUTION DU PROFIL EN MM	PLUIE EN MM	ETR TOTALE EN MM	ETR JOURNALIERE EN MM
19/4/68 au 6/5	17	-44,6	3,8	48,4	2,85
6/5 au 21/5	15	-20,2	0	20,2	1,35
21/5 au 5/6	15	-	-	(19,5)	(1,30)
5/6 au 21/6	16	-19,6	0	19,6	1,23
21/6 au 23/7	32	-15,0	9,0	24,0	0,75
23/7 au 21/8	29	- 9,4	7,5	16,9	0,58
21/8 au 6/9	16	-14,6	0	14,6	0,91
6/9 au 1/10	25	- 5,4	10,0	15,4	0,62

SAISON SECHE 1968-69

Pannes successives de 1^{er} humidimètres ou mesures aberrantes
Aucun résultat valable

Les différentes mises au point effectuées en partie sur le bassin ont abouties à la mise en service d'un humidimètre absolument étanche et d'une échelle de comptage remplaçant avantageusement l'intégrateur. Ce nouvel ensemble, mis à notre disposition par le C.E.N Cadarache en novembre 1969 est appelé ensemble HP - EC 310. Sans être d'une fiabilité absolue il témoigne d'un progrès très net : facilités de lecture et surtout constante d'appareil à dérive négligeable. Cette constante est directement liée aux valeurs des plaquettes T.H.T. : 1850 volts + 100 volts. Celles-ci ayant dû être changées plusieurs fois les corrections suivantes ont dû être apportées, toutes se rapportant à la valeur finale d'étude mise en service le 1er juin 1970.

Corrections : X 1,06 du 14/12 au 21/12/69
X 0,97 du 31/12 au 4/ 1/70
0 du 26/1 au 19/ 2/70
X 1,06 du 12/3 au 1/ 6/70
0 à partir du 1/6/70

Pour cette période couvrant les années hydrologiques 1969-70 et 1970-71 nous n'avons pas fait figurer ici les données brutes (sauf dans la seconde partie du tableau 50, donnée à titre d'exemple) mais les évolutions du profil pour 125, 225 et 525 cm sont résumées dans les tableaux N°55. et 56. Les calculs ont été faits selon

$$\Delta \text{ mm} = \frac{1/s}{6,2} \times C$$

où Σ = somme des différents comptages en impulsions/seconde pondérés par leur zone d'influence $\frac{1}{6,2}$ = la pente de la droite d'étalonnage et C = la correction consécutive aux valeurs des plaquettes T.H.T. Pour ce qui concerne les valeurs observés au tubage n°II, les tableaux N°57 à 59 résument les résultats obtenus en 1968-69, 1969-70 et 1970-71 sur 3 tranches de sol : 1,35 mètres, 2,85 mètres et 6,35 mètres.

Etant donné l'importance de ce tubage nous avons porté dans ces tableaux non seulement l'évolution mais également la valeur intégrale des profils, en mm. Les tableaux N°60 à 62 montrent la variation des profils observés sur les tubages III à VII.

IV-4-3- Variation des réserves de la zone non saturée

Cette étude fera partie d'un prochain rapport. Suivant les résultats obtenus parallèlement sur d'autres bassins, elle sera faite en utilisant la proposition du paragraphe IV-1 ou les méthodes nouvelles découvertes par ailleurs.

IV-4-4 Progression dans le sol de tritium radioactif

A titre expérimental nous avons injecté de l'eau tritiée autour du piézomètre N°24 à la fin d'octobre 1969. Quatre injections de 10 m Curie chacune ont été faites en croix à 20 cm de l'axe de ce piézomètre. Des prélèvements d'eau, effectués périodiquement, et analysés immédiatement par le laboratoire des Radio-Isotopes de TANANARIVE devaient nous indiquer, par comptage de la radioactivité, le moment de l'arrivée de l'eau tritiée dans le piézomètre. Nous avons été très surpris de ne rien constater au cours de la saison des pluies suivante. A fortiori lorsque la saison 1970-71 n'a pas non plus indiqué l'arrivée du tritium dans la nappe.

TABLEAU N°55

EVOLUTION, EN MM, DES PROFILS HYDRIQUES
DU TUBAGE N°I-ANNEE 1969-70 PENTE = 1/6,2

DATE	125 cm	225 cm	525 cm
DEPART	PROFIL TOTAL	PROFIL TOTAL	PROFIL TOTAL
1e 14/12/69	- 351,8	572,1	1941,5
17/12	+ 29,7	+41,7	+32,0
19/12	+ 8,1	+15,5	+26,9
20/12	- 10,5	+ 2,9	+ 5,2
21/12	- 3,1	- 0,5	+ 9,3
31/12	+ 7,7	+ 6,0	-39,7
1/ 1/70	- 5,1	-11,2	-11,1
2/1	- 0,5	- 7,4	- 8,0
4/1	+ 8,1	+20,4	+47,0
26/1	- 32,5	-49,0	-50,6
27/1	- 10,9	-13,3	-22,3
28/1	- 8,6	-10,6	-11,6
30/1	- 3,5	- 2,4	-13,3
31/1	+ 7,7	+ 4,4	+ 4,4
2/2	- 9,6	- 9,1	- 9,5
13/2	+ 19,0	+26,2	+17,4
16/2	- 13,5	-13,4	- 9,2
17/2	- 1,5	- 6,9	-11,2
18/2	+ 19,4	+19,8	+26,0
19/2	- 8,5	- 4,7	- 6,9
12/3	- 30,6	-55,6	-104,7
16/3	+ 26,9	+40,0	+ 76,1
23/3	- 10,3	- 9,1	- 36,5
1/6	- 37,6	-31,5	- 41,5
23/6	- 24,0	-32,7	-51,3
9/7	- 4,5	- 4,4	+ 8,1
18/8	- 17,9	-15,5	- 2,8
28/10	- 18,3	-26,9	-28,6

125 : 229,0 mm
soit en profil total au 28/10 : 225 : 436,1 mm
525 : 1734,9 mm

TABLEAU N°56.

EVOLUTION, EN MM, DES PROFILS HYDRIQUES
DU TUBAGE N°1-ANN2E 1970-71 PENTE = 1/6,2

DATE	125 cm	225 cm	525 cm	DATE	125 cm	225 cm	525 cm
11/11/70	+37,3	+33,5	+27,0	22/2	+13,9	+ 15,6	+25,6
16/11	+ 2,7	+ 7,5	- 5,1	25/2(10h)	+ 6,5	+ 3,7	+ 0,6
18/11	+ 1,5	+16,2	+18,4	25/2	+25,9	+ 28,9	+29,4
20/11	+ 4,2	-12,6	- 6,3	(17h40)			
24/11	- 1,8	- 4,0	- 3,5	25/2	+21,4	+ 21,4	+21,4
27/11	+ 7,7	+ 7,6	+13,9	(19h30)			
2/12	+ 8,6	+ 8,4	+ 9,4	2/3	-60,4	- 59,5	-55,6
7/12	+ 1,5	+ 2,1	+ 9,8	5/3	-10,8	- 15,5	-21,5
11/12	- 1,9	- 0,8	+ 2,1	9/3	- 4,5	- 4,8	+13,5
15/12	- 1,9	- 5,3	- 2,7	18/3	-16,5	- 25,3	-68,9
18/12				23/3	- 2,5	- 1,8	- 1,9
(10h50)	- 4,3	- 2,3	- 7,9	30/3	-15,9	- 29,3	-39,8
18/12				2/4	- 5,0	- 8,0	- 8,2
(18h50)	+ 8,9	+10,2	+13,5	14/4	- 5,9	- 6,1	-18,5
21/12	+ 1,1	+ 3,4	+15,0	26/4	-16,2	- 23,6	-21,0
23/12	- 1,1	- 0,5	- 8,4	14/5	-11,6	- 19,3	-22,3
24/12	+ 0,2	- 1,1	+ 4,7	4/6	-13,9	- 12,3	-12,3
29/12	+25,9	+29,2	+31,1	23/6	- 5,1	- 10,6	-12,1
31/12	+16,0	+13,5	+16,2	8/7	- 8,3	- 8,3	-14,4
4/1/71	+50,9	+61,9	+62,7	29/7	- 7,1	- 9,4	-11,0
8/1	- 7,3	+11,7	+18,0	2/9	- 7,2	- 4,3	-12,3
14/1	-20,5	-19,8	- 4,4	21/9	+ 8,2	+ 3,1	+ 1,9
18/1	- 7,7	- 9,4	-11,9	20/10	-13,5	-10,5	- 4,5
28/1	+42,4	+55,2	+91,9	29/10	- 1,9	- 1,7	- 4,6
16/2	-13,1	-19,8	+ 2,0				
19/2	-14,0	-15,2	-37,7				

soit en profil total au 29/10 :
 125 cm 233,9 mm
 225 cm 428,7 mm
 525 cm 1727,3 mm

TABLEAU N° 57

EVOLUTION DES

PROFILS HYDRIQUES, EN MM, TUBAGE N° II
ANNEE 1968-69

PENTE = 1/6,2

DATE	135cm	235 cm	635 cm	Niv. piézo (m)	Δ 135	Δ 285	Δ 635
130/1/69	1404,0	1967,4	12494,5	6,45	11	1	1
113/2	1430,9	11029,9	12545,8	6,35	11+26,7	1+62,5	1+51,3
119/2	1392,3	1973,2	12489,0	6,20	11-38,6	1-56,7	1-56,8
1 4/3	1379,0	1941,5	12441,5	6,20	11-13,3	1-31,7	1-47,5
113/3	1389,0	1936,5	12519,0	6,23	11+10,0	1- 5,0	1+77,5
119/3	1397,9	1972,9	12532,7	6,26	11+ 8,9	1+36,4	1+13,7
123/3	1407,4	1967,7	12540,5	6,25	11+ 9,5	1- 5,2	1+ 7,8
124/3	1404,9	1972,0	12531,9	6,26	11- 2,5	1+ 4,3	1- 8,6
127/3	1397,7	1962,5	12536,5		11- 7,2	1- 9,5	1+ 4,6
1 1/4	1393,0	1948,3	12527,6	6,28	11- 4,7	1-14,2	1- 8,9
115/4	1414,6	1988,9	12526,1	6,34	11+21,6	1+40,6	1- 1,5
117/4	1398,4	1951,5	12507,4	6,35	11-16,2	1-37,4	1-18,7
123/4	1405,7	1985,5	12580,0	6,33	11+ 7,3	1+34,0	1+72,6
119/5	1404,8	1963,1	12601,6	6,37	11-0,9	1-22,4	1+21,6
118/6	1362,3	1878,1	12448,1	6,46	11-42,5	1-85,0	1-153,5
1 7/7	1360,1	1901,5	12458,4	6,57	11- 2,2	1+23,4	1+10,3
130/7	1354,7	1889,0	12469,8	6,62	11- 5,4	1-12,5	1+11,4
122/9	1355,1	1883,1	12407,1		11- 0,4	1- 5,9	1-62,7
	1	1	1		11	1	1

TABLEAU N°50

EVOLUTION DES
PROFILS HYDRIQUES, EN MM, TUBAGE N°II
ANNEE 1969-70
PENTE = 1/6,2

DATE	135cm	285 cm	635 cm	Niv. (m) piézo	$\Delta 135$	$\Delta 285$	$\Delta 635$
12/11/69	459,3	1017,5	2552,0	6,31			
17	439,6	993,7	2538,0	6,25	-19,7	-23,8	-14,0
27	418,3	961,2	2454,2	6,22	-21,3	-32,5	-83,8
4/12	423,4	953,3	2410,6	6,25	+5,1	-7,9	-43,6
8	408,6	1001,4	2463,3	6,25	-14,8	+48,1	+52,7
13	464,8	1031,3	2610,4	6,26	+56,2	+29,9	+147,1
17	478,6	1043,6	2594,0		+13,8	+12,3	-16,4
20	494,5	1074,2	2656,9	6,26	+15,9	+30,6	+62,9
2/1/70	459,1	1086,8	2739,2	6,18	-35,4	+12,6	+82,3
4	473,1	1053,8	2558,8		+14,0	-33,0	-180,4
7	459,0	1027,5	2537,6		-14,1	-26,3	-21,2
26	453,0	1037,9	2599,4	6,29	-6,0	+10,4	+61,8
30	440,2	1027,2	2587,7	6,31	-12,8	-10,9	-11,7
7/2	464,1	1067,7	2659,1		+23,9	+40,7	+71,4
11	446,9	1026,1	2572,5	6,20	-17,2	-41,6	-86,6
14	433,5	1008,0	2543,5	6,20	-13,4	-18,1	-28,0
17	443,1	1015,6	2549,0	6,38	+9,6	+7,6	+4,5
20	433,2	1004,7	2540,6	6,46	-9,9	-10,9	-8,4
24	435,4	1010,7	2532,8	6,23	+2,2	+6,0	-7,8
27	429,0	994,4	2567,6		-6,4	-16,3	+34,8
10/3	413,9	964,2	2437,0	6,27	-15,1	-30,2	-130,6
16	435,5	998,2	2499,7	6,28	+21,6	+34,0	+62,7
24	423,3	982,3	2476,8	6,28	-12,2	-15,9	-22,9
1/4	416,1	975,0	2426,5		-7,2	-7,3	-50,3
14	449,3	1008,5	2504,1	6,43	+33,2	+33,5	+77,6
17	435,9	987,8	2473,0	6,38	-13,4	-20,7	-31,1
21	514,5	1131,3	2671,0	6,44	+78,6	+143,5	+198,0
24	432,7	993,5	2500,9		-81,8	-137,8	-170,1
28	412,5	964,9	2455,2		-20,2	-28,6	-45,7
13/5	427,4	978,7	2462,4	6,41	+14,9	+13,8	+7,2
1/6	415,3	966,8	2439,7	6,52	-12,1	-11,9	-22,7
23/6	419,8	975,2	2443,5	6,52	+4,5	+8,4	+3,8
16/7	412,8	952,2	2415,2	6,52	-7,0	-23,0	-28,3
21/8	417,1	961,3	2421,3	6,69	+4,3	+9,1	+6,1
15/9	415,6	951,7	2397,6	6,81	-1,5	-9,6	-23,7
28/10	399,4	935,7	2375,2	7,00	-16,2	-16,0	-22,6

TABLEAU N°59
EVOLUTION DES
PROFILS HYDRIQUES, EN MM, TUBAGE N°II
ANNEE 1970-71
PENTE = 1/6,2

DATE	135cm	285 cm	635 cm	Niv. (m)	piézo	Δ 135	Δ 285	Δ 635
11/11/70	1431,3	1984,5	12394,2	6,98	11	1	1	1
120	1420,3	1960,6	12431,6	6,96	11	-11,0	-23,9	+37,4
124	1427,4	1966,9	12428,2	6,96	11	+ 7,1	+ 6,3	- 3,4
127	1435,2	1968,2	12442,4	6,95	11	+ 7,8	+ 1,3	+14,2
2/12	1440,6	1976,9	12456,0	6,95	11	+ 5,4	+ 8,7	+13,6
7	1437,4	1972,1	12435,8	6,96	11	- 3,2	- 4,8	-20,2
11	1434,4	1970,6	12430,3	6,95	11	- 3,0	- 1,5	- 5,5
15	1427,3	1963,5	12421,6	6,95	11	- 7,1	- 7,1	- 8,7
18	1426,8	1963,9	12434,8	6,95	11	- 0,5	+ 0,4	+13,2
21	1432,1	1979,7	12458,7	6,96	11	+ 5,3	+15,8	+23,9
24	1432,1	1976,5	12457,9	6,95	11	0	- 3,2	- 0,8
29	1451,9	1990,6	12467,3	6,96	11	+19,8	+14,1	+ 9,4
31	1462,6	1011,0	12497,3	6,95	11	+10,7	+20,4	+30,0
4/1/71	1466,1	1009,7	12485,5	6,92	11	+ 3,5	- 1,3	-11,8
8	1461,3	1016,6	12502,1	6,86	11	- 4,8	+ 6,9	+16,6
14	1445,8	992,6	12503,1	6,78	11	-15,5	-24,0	+ 1,0
18	1439,7	998,5	12479,2	6,79	11	- 6,1	+ 5,9	-23,9
29	1475,3	1048,7	12546,3	6,78	11	+35,6	+50,2	+67,1
16/2	1462,9	1031,5	12540,3	6,25	11	-12,4	-17,2	- 6,0
19	1461,8	1036,0	12554,5	6,21	11	- 1,1	+ 4,5	+14,2
22	1466,3	1038,1	12562,3	6,21	11	+ 4,5	+ 2,1	+ 7,8
25	1456,3	1024,8	12554,7	6,20	11	-10,0	-13,3	- 7,6
2/3	1462,1	1034,7	12563,7	6,14	11	+ 5,8	+ 9,9	+ 9,0
9	1467,1	1057,3	12610,2	6,13	11	+ 5,0	+22,6	+46,5
18	1441,1	1006,1	12516,8	6,17	11	-26,0	-51,2	-93,4
23	1441,9	1009,5	12532,6	6,17	11	+ 0,8	+ 3,4	+15,8
30	1432,4	998,7	12516,0	6,25	11	- 9,5	-10,8	-16,6
2/4	1424,2	988,7	12498,2	6,25	11	- 8,2	-10,0	-17,8
14	1421,6	991,2	12496,6	6,34	11	- 2,6	+ 2,5	- 1,6
26	1420,5	986,5	12479,8	6,39	11	- 1,1	- 4,7	-16,8
14/5	1412,9	975,5	12470,5	6,45	11	- 7,6	-11,0	- 9,3
4/6	1413,4	972,6	12473,7	6,51	11	+ 0,5	- 2,9	+ 3,2
23/6	1406,6	961,1	12463,7	6,55	11	- 6,8	-11,5	-10,0
3/7	1410,6	964,8	12473,7	6,60	11	+ 4,0	+ 3,7	+10,0
29/7	1405,0	956,9	12449,4	6,67	11	- 5,6	- 7,9	-24,3
2/9	1405,6	956,6	12441,8	6,81	11	+ 0,6	- 0,3	- 7,6
21/9	1416,9	969,0	12461,1	6,87	11	+11,3	+12,4	+19,3
20/10	1404,7	965,5	12466,9	6,95	11	-12,2	- 3,5	+ 5,8
29/10	1410,0	965,3	12459,7	7,04	11	+ 5,3	- 0,2	- 7,2

EVOLUTION DES PROFILS, EN MM, TUBAGE N° III
ANNEES 1969-70 et 1970-71 PENTE = 1/6,4

TABLEAU N° 60

1969-70			1970-71		
DATE	125 cm	250 cm	DATE	125 cm	250 cm
Départ	profil total	profil total	Départ	profil total	profil total
15/10/69	356,4	837,7	28/10/70	392,9	864,8
12/11	+83,6	+88,0	11/11	+26,1	+19,5
118	-16,4	-10,6	116	- 2,3	+ 2,3
126	- 7,4	+ 7,3	120	+ 7,0	+ 5,7
4/12	-12,3	-48,4	124	+ 1,7	+ 3,2
113	+50,8	+82,5	127	+12,6	+14,4
117	-0,1	+11,2	2/12	+ 9,0	+ 7,2
121	-2,7	+ 8,3	7	- 7,8	- 4,1
131	+37,5	+64,0	111	+ 6,8	+ 6,3
4/1/70	- 2,2	-18,2	115	- 6,3	- 6,6
7	-13,1	- 1,5	118	- 5,6	- 2,9
127	-29,6	-53,9	121	+ 4,4	+ 5,9
131	+ 5,9	+ 4,8	124	+ 0,2	+ 5,2
6/2	+ 2,4	+10,4	129	+26,0	+25,0
7	+ 4,3	+ 9,5	131	+ 8,3	+14,2
111	-19,5	-40,2	14 /1/71	+ 6,1	+15,2
114	+ 1,2	+ 4,0	8	- 7,4	+ 9,0
117	- 3,9	- 5,5	114	-19,1	-17,7
120	- 4,5	- 4,5	118	- 4,9	-10,2
124	+ 8,1	+ 6,6	128	+39,4	+68,9
127	+ 0,2	+ 0,6	116/2	-14,1	-26,7
10/3	-60,5	-51,3	119	- 3,4	- 2,7
116	+23,4	+31,7	122	- 7,8	- 8,3
114/4	+52,0	+94,4	125	+ 7,3	+ 6,4
117	-17,4	-38,4	12/3	- 3,0	- 5,0
121	- 1,7	- 1,9	115	- 7,4	-10,5
124	- 1,3	+ 0,4	118	- 6,9	- 9,6
113/5	-13,6	-21,7	123	- 6,2	-12,0
1/6	- 9,9	-11,2	130	-35,2	-43,5
123/6	- 5,7	-14,6	2/4	-12,8	-10,2
116/7	- 4,0	- 3,7	114	+ 4,5	+ 5,9
119/8	+ 0,6	- 2,7	126	- 9,1	-13,6
126/10	- 5,9	-12,7	114/5	- 8,1	-11,7
128/10	+ 0,9	- 2,0	4/6	- 1,9	- 7,9
			123/6	- 1,8	- 9,5
			8/7	+ 3,7	+ 7,4
			129/7	- 2,7	- 8,4
			2/9	- 3,2	-10,8
			121/9	+12,9	+17,6
			120/10	-12,5	-13,1
			129/10	- 1,2	-10,6

EVOLUTION DES PROFILS, EN MM, TUBAGE N°IV
ANNEES 1969-70 et 1970-71 PENTE = 1/6,2

TABLEAU N°1

1969-70			1970-71		
DATE	125 cm	250 cm	DATE	125 cm	250 cm
Départ	Profil total	Profil total	Date	Profil total	Profil total
15/10/69	402,4	800,1	26/10/70	365,2	762,2
12/11	+71,0	+134,1	11/11	+62,4	+48,8
18	-27,2	- 27,9	16	+ 7,2	+12,3
26	-10,5	- 9,5	20	+14,7	+16,8
4/12	+ 3,0	- 38,1	24	- 6,2	- 4,8
13	+60,3	+109,1	27	+12,1	+16,0
17	- 2,3	+ 21,0	2/12	+ 8,0	+19,5
20	+ 0,3	+ 14,5	7	- 6,9	- 5,6
31	+23,8	+ 48,6	11	+ 1,0	- 2,4
4/1/70	- 2,2	- 0,2	15	- 9,0	+ 1,4
7	- 3,5	- 2,5	18	- 6,9	- 7,3
27	-48,0	- 89,9	21	+ 4,7	+10,2
30	-14,2	- 22,3	24	+ 4,4	+ 5,1
6/2	+12,3	+ 15,2	29	+37,3	+41,9
11	+14,8	+ 4,4	31	+ 5,5	+ 3,8
14	-12,1	- 8,0	4/1/71	+ 7,7	+24,0
17	- 6,9	- 11,1	8	-15,2	+ 0,7
20	+ 1,4	- 3,4	14	-23,6	-19,6
24	- 7,7	- 3,1	18	-10,7	-15,2
10/3	-49,0	- 95,1	28	+64,0	+86,1
16	+32,7	+ 40,7	16/2	-20,7	+ 5,2
14/4	+31,1	+ 63,5	19	-11,7	-23,9
17	-16,9	- 34,3	22	+ 4,8	+ 4,9
21	-11,2	- 14,0	25	- 2,4	- 6,0
24	+ 0,6	+ 3,4	2/3	- 9,8	-14,8
13/5	- 7,4	- 25,2	5	-11,0	- 6,7
1/6	-23,9	- 25,8	18	-13,6	- 5,4
23/6	- 8,1	- 23,1	30	-19,5	-50,6
6/7	- 6,8	- 20,2	2/4	- 5,4	- 5,7
26/10	-30,6	- 44,3	14	- 7,6	-10,3
			26	-17,5	-31,6
			14/5	-10,7	-19,2
			4/6	+ 3,8	- 8,1
			23/6	- 2,9	- 5,6
			8/7	- 5,4	- 9,5
			29/7	- 0,9	- 9,5
			2/9	- 3,1	-10,4
			21/9	-11,9	+ 4,8
			20/10	-20,5	-23,5
			29/10	- 7,7	- 9,3

TABLEAU N°62

EVOLUTION DES PROFILS, EN MM, AUX TUBAGES V, VI et VII
ANNEE 1970-71

TUBAGE V (P = 1/5,8)		TUBAGE VI (P = 1/6,01)			TUBAGE VII (P = 1/6)		
DATE	75 cm	DATE	125 cm	285 cm	DATE	125 cm	260 cm
Départ	profil total	Départ	profil total	profil total	Départ	profil total	profil total
9/3/71	226,5	9/3/71	497,8	1122,4	9/3/71	464,3	1014,1
19/3	- 1,2	19/3	+ 7,1	-23,0	19/3	- 8,6	-29,5
23	- 6,7	23	- 8,7	- 4,8	23	- 7,2	- 9,7
30	- 6,7	30	-14,1	-13,2	30	-19,9	-23,2
2/4	- 1,0	2/4	- 3,3	- 6,7	2/4	+ 3,3	+ 0,2
14	- 4,0	14	+ 8,6	- 1,2	14	-10,3	-11,2
26	- 8,6	26	-19,4	-16,9	26	-14,1	-17,3
15/5	- 8,3	14/5	-20,9	-27,0	14/5	- 9,3	-15,5
4/6	- 2,8	4/6	+ 6,7	+ 0,5	4/6	+ 5,2	+ 5,4
23/6	- 5,3	23/6	-16,1	-16,1	23/6	- 6,3	-15,2
29/7	- 6,1	8/7	- 8,3	-12,7	8/7	+ 4,2	+ 0,8
21/9	+ 6,1	29/7	- 7,3	-19,9	29/7	- 3,9	- 1,2
20/10	-11,0	2/9	- 8,5	-12,3	2/9	- 4,5	-18,2
29/10	+ 2,7	21/9	+30,4	+14,5	21/9	+18,3	+18,7
		20/10	-33,9	-32,3	20/10	-18,8	-25,5
		29/10	- 3,7	+ 6,2	29/10	+ 4,2	+ 8,8

Ce n'est qu'à la fin d'octobre 1971 que nous avons en fin observé des taux de comptage élevés, alors que le niveau piézométrique était établi à environ - 7,03 m.

Ces taux de comptage sont les suivants :

15 octobre 71	760 impulsions/minute
20 octobre	5841 i/mn
29 octobre	25.921 i/mn
6 novembre	1194 i/mn
22 novembre	2642 i/mn
30 novembre	1985 i/mn
9 décembre	1132 i/mn
13 décembre	1285 i/mn
21 décembre	1289 i/mn
23 décembre	762 i/mn
27 décembre	765 i/mn
30 décembre	753 i/mn
4 janvier 72	772 i/mn
8 janvier	759 i/mn
18 janvier	1060 i/mn
24 janvier	1091 i/mn
27 janvier	679 i/mn
31 janvier	665 i/mn

Nous avons reporté ces valeurs à la fig. N°41 qui montre que la pointe de comptage qui correspond à l'arrivée du H₃ radioactif dans la nappe s'est produite au 26 ou 27 octobre.

Il a donc fallu exactement 2 années et près de 2800 mm de pluie pour que l'eau tritiée effectue un déplacement vertical de 7 mètres.

En supposant que le tritium se déplace comme l'hydrogène de l'eau, ce qui malgré certaines oppositions est toutefois généralement admis, l'eau météorique de la pluie du 1er novembre 1969, (46,7 mm au pluviomètre 1) a mis un peu plus de 700 jours pour arriver à la nappe après un parcours d'environ 700 cm, soit une progression moyenne de 1 cm/jour.

Il serait audacieux de vouloir tirer des conclusions de cette seule expérience. Il est indispensable qu'elle soit renouvelée ailleurs car si elle est confirmée beaucoup de nos a priori sur le mode de propagation de l'eau dans le sol seraient quelque peu perturbés. On pourrait alors supposer que les eaux d'infiltration s'établissent dans la zone non saturée en strates superposées, leur progression verticale pouvant être directement liée à la masse des strates supérieures ("effet-piston").

IV-5 Etablissement des bilans

A l'échelle de la parcelle et de l'averse des bilans ont déjà pu être établis (14). A l'échelle du bassin cette étude fera l'objet d'un prochain rapport ou d'une thèse d'état. (voir historique).

PIEZOMETRE 24

Evolution de la radioactivité (H_3^*) de l'eau de la nappe

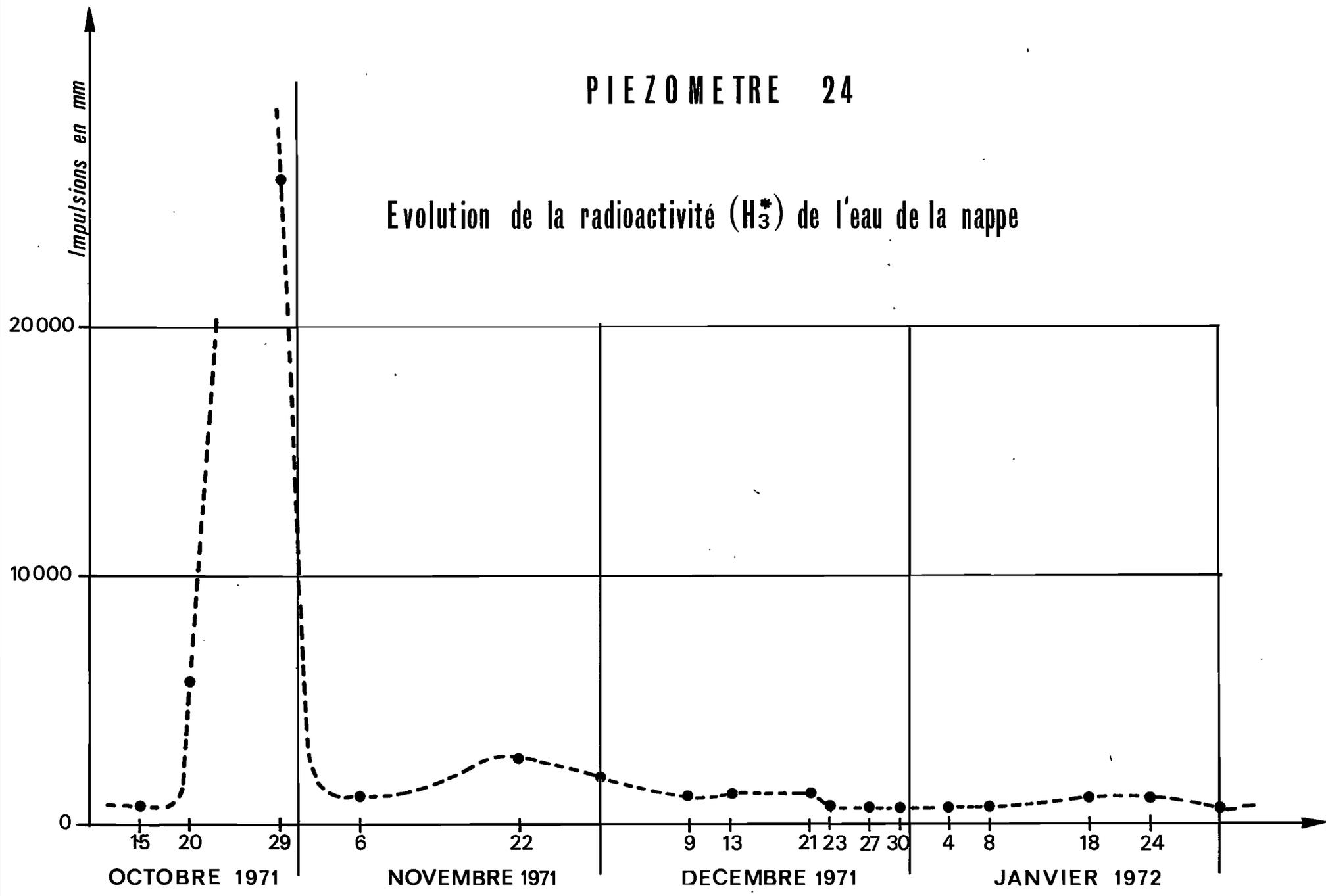


Fig-41

CHAPITRE V

ETUDE DE L'EROSION

Le dispositif mis en place pour cette étude a été décrit au chapitre III

V-1 Méthode utilisée

Les divers matériaux arrachés sur la superficie du bassin versant aboutissent en définitive à la rivière où ils sont véhiculés en suspension pour les éléments fins et charriés sur le fond pour les éléments grossiers.

L'objet de cette étude est d'estimer les volumes transités annuellement à l'exutoire sous ces deux formes de transport de façon à connaître le poids total des sédiments évacués. L'érosion sera donnée en T/hectare/an et en mm d'arrachement/an.

Pour ce qui concerne le charriage de fond les mesures faites à chaque piquet (doté d'une surface d'influence) permettent de connaître les volumes retenus en amont du déversoir. Le volume réel V est lié au volume mouillé V_F par la relation $V = 0,95 V_F$ et la densité apparente moyenne des sédiments secs, déterminée au laboratoire de Pédologie du Centre ORSTOM de TANANARIVE, est $d = 1,8$ (nombreux minéraux lourds)

Le problème est nettement plus complexe quand on aborde l'étude des transports en suspension. Ceux-ci ne peuvent être en effet "piégés" comme le sont les transports de fond et il y a nécessité d'échantillonner au cours de leur passage pour connaître la concentration en sédiments. Le produit de celle-ci en g/m³, et du débit liquide en m³/s, donne le transport solide en g/s. L'idéal consisterait à pouvoir faire un prélèvement quotidien en basses eaux et, en saison des pluies, d'exécuter pour chaque crue un nombre de prélèvements suffisant pour construire un "sédimentogramme" analogue au classique hydrogramme.

Dans le cas du BVR de la Tafania cet idéal ne pouvait être atteint. Il aurait en effet supposé, étant donné le grand nombre et l'imprévisibilité des crues, la présence jour et nuit d'un opérateur consciencieux et une infrastructure de traitement des échantillons extrêmement étoffée avec des laborantins se consacrant uniquement à ce problème. Quoiqu'il en soit 258 prélèvements (tableaux N° 63 à N° 66) ont été effectués au cours de la période d'observation, permettant :

-le tracé de 16 "sédimentogrammes" complets, dont quatre ont été représentés à titre d'exemple aux figures N° 42 à 45.

-Le tracé de la fig. N°46 qui met en relation, d'une part le transport solide Q_s et d'autre part les hauteurs d'eau H.

Cette fig N°52 laisse apparaître une très nette corrélation entre Q_s et H mais ne doit pas nous leurrer. Il faut en effet remarquer que les ordonnées sont en échelle logarithmique et resserrent donc artificiellement les points. De plus la valeur de Q_s est le produit $C \times Q$ et Q est déjà parfaitement corrélié à H. Ce graphique est cependant fertile en renseignements car on peut en déduire certaines estimations valables :

-Le débit solide de pointe atteint par les deux plus fortes crues observées (H = 2,64 m le 8/12/65 et H = 2,62 m le 5/12/67) devait être voisin de 400 kg/s.

-La courbe moyenne passant entre les points représentés, bien que ne pouvant en aucun cas nous renseigner ponctuellement sur la valeur de Q_s en fonction de H, permet d'approcher sans risque d'erreur grossière la masse de sédiments évacuée annuellement à l'exutoire. Il est en effet remarquable de constater que, à hauteur à l'échelle identique, les transports solides ne sont pas obligatoirement plus élevés en début de la saison des pluies. Ceci est contraire aux a priori enseignés mais est mis en évidence par de nombreux résultats et en particulier ceux de la campagne 1968-69 présentés ci-après :

<u>N° Du prélèvement</u>	<u>Hauteur à l'échelle H</u>	<u>Concentration C</u>
	en m	en g/m ³
1611686	0,52 (décrué)	4920
1512684	0,52 (décrué)	710
2712685	0,52 (décrué)	780
1902693	0,50 (décrué)	2110
0803696	0,52 (décrué)	1250

(NOTA : les 6 premiers chiffres du N° de prélèvement indiquent la date - 190269 = 19 février 1969).

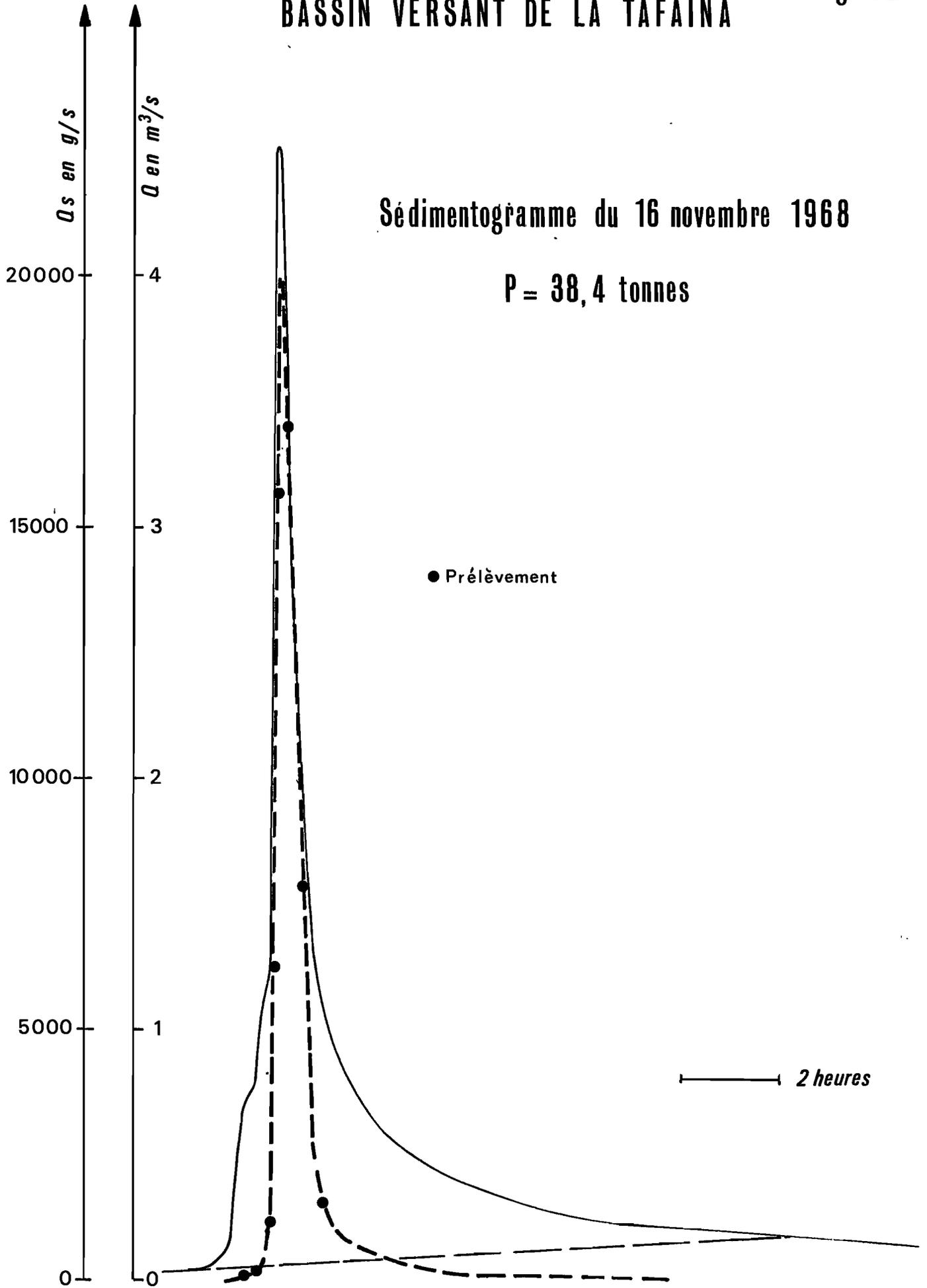
C'est ainsi qu'il a été absolument impossible de tracer des courbes chronologiques d'évolution de C en fonction de l'avancement de la saison pluvieuse. Sans vouloir remettre en cause les idées reçues et parfaitement logiques (il paraît évident que le matériel "disponible" au transport est plus important au début de saison des pluies) nous pensons que le BVR Tafana est un cas particulier et que la responsabilité en incombe au processus spécial d'érosion qui est de règle sur les Hauts plateaux malgaches. Nous avons déjà signalé que la majeure partie de l'arrachement du sol se fait dans les zones d'érosion préférentielle appelées localement "lavakas".

Dans la plupart des cas l'exutoire de ces "lavakas" est un goulet très étroit propice à un engorgement des matériaux arrachés en amont. Il est vraisemblable de penser que le désengorgement se produit lors des averses au cours de la saison, le ruissellement consécutif entraînant alors vers la rivière des sédiments arrachés antérieurement mais stockés au niveau du goulet "des lavakas".

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Sédimentogramme du 16 novembre 1968

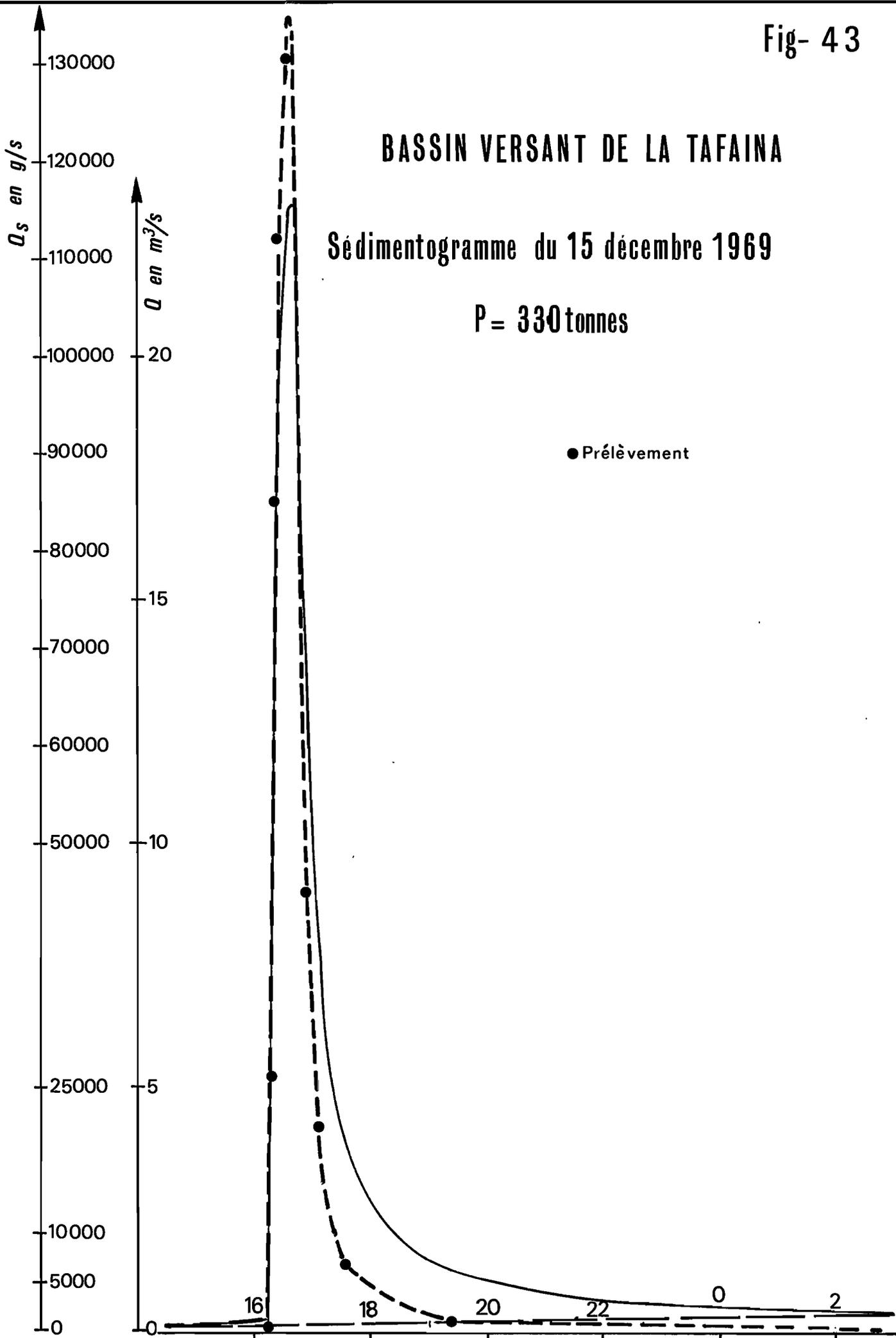
P = 38,4 tonnes



BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Sédimentogramme du 15 décembre 1969

P = 330 tonnes

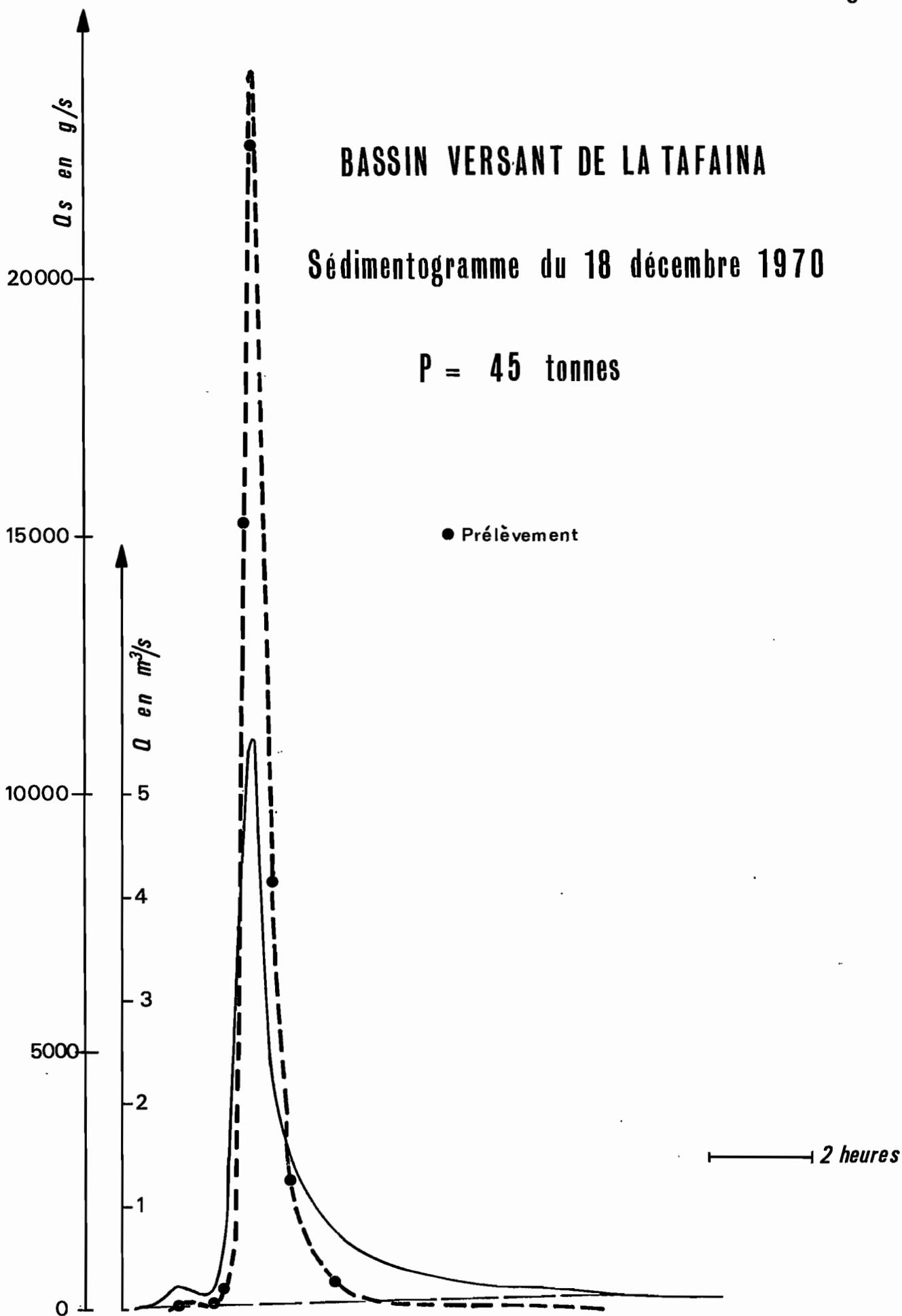


BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Sédimentogramme du 18 décembre 1970

P = 45 tonnes

● Prélèvement



BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA

Sédimentogramme du 25 février 1971

P = 86,4 tonnes

● Prélèvement

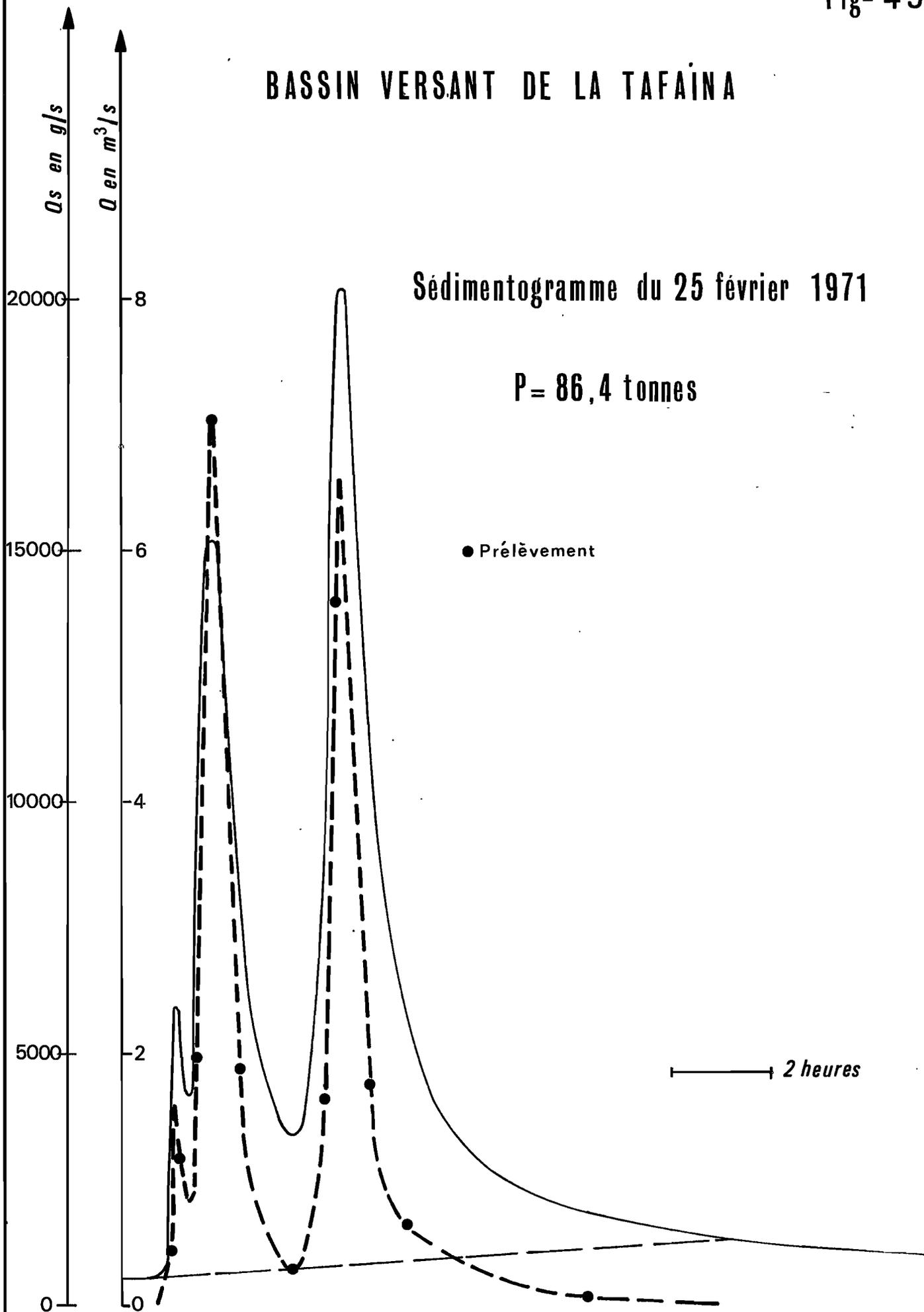


TABLEAU N° 63

LISTE DES PRELEVEMENTS ET DES VALEURS DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

Référence	N°	H mètres	résidu sec 3 en g/m	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s	Référence	N°	H mètres	résidu sec 3 en g/m	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s
1967-68						2211681	54	0,38	670	2,02	1353,40
0611671	21	0,08	400	0,165	66,00	2	55	0,48	1210	3,02	3654,20
2111671	22	0,06	70	0,105	7,35						
2	23	0,15	410	0,480	196,80	1512681	56	0,185	240	0,670	160,80
3	24	0,095	240	0,225	54,00	2	57	0,48	500	3,02	1510,00
						3	58	0,52	700	3,46	2422,00
3011671	25	0,39	1470	2,12	3116,40	4	59	0,52	710	3,46	2456,60
2	26	0,27	920	1,16	1067,20						
3	27	0,065	210	0,120	25,20	2712681	60	0,535	1700	3,65	6205,00
						2	61	0,70	1400	5,81	8134,00
0612671	28	0,10	380	0,245	93,10	3	62	0,695	1600	5,75	9200,00
						4	63	0,605	1170	4,50	5265,00
1812671	29	0,06	90	0,105	9,45	5	64	0,52	780	3,46	2698,80
2	30	0,14	470	0,430	202,10	6	65	0,40	410	2,21	906,10
3	31	0,21	420	0,795	333,90						
4	32	0,065	60	0,120	7,20	1301691	66	0,35	340	1,74	591,60
0202681	33	0,08	20	0,165	3,30	0802691	67	0,30	320	1,35	432,00
1402681	34	0,16	80	0,530	42,40	1902691	68	0,70	2290	5,81	13304,90
2	35	0,205	310	0,780	241,80	2	69	0,60	2400	4,42	10608,00
3	36	0,16	140	0,530	74,20	3	70	0,50	2110	3,22	6794,20
4	37	0,055	10	0,090	0,90	4	71	0,20	470	0,745	350,15
0103681	38	0,34	560	1,66	929,60	0603691	72	0,08	30	0,165	4,95
0203681	39	0,54	1030	3,70	3811,00	2	73	0,30	1290	1,35	1741,50
2	40	0,64	2450	4,98	12201,00	3	74	0,25	1330	1,04	1383,20
						4	75	0,20	890	0,745	663,05
1968-69						5	76	0,14	380	0,430	163,40
1311681	41	0,065	150	0,120	18,00	0303691	77	1,10	3600	12,6	45.360,00
2	42	0,08	110	0,165	18,15	2	78	0,96	2070	9,86	20410,20
						3	79	0,82	1880	7,50	14100,00
1611681	43	0,19	100	0,695	69,50	4	80	0,72	1590	6,09	9683,10
2	44	0,24	130	0,975	126,75	5	81	0,62	1520	4,70	7144,00
3	45	0,30	870	1,35	1174,50	6	82	0,52	1250	3,46	4325,00
4	46	0,52	1780	3,46	6158,80	7	83	0,42	700	2,41	1687,00
5	47	0,60	3530	4,42	15602,60	8	84	0,36	490	1,83	896,00
6	48	0,52	4920	3,46	17023,20						
7	49	0,35	4540	1,74	7899,60	2004691	85	0,29	855	1,29	1102,95
						2	86	0,24	709	0,975	691,28
1711681	50	0,12	460	0,330	151,80						
2	51	0,365	1040	1,88	1955,20						
3	52	0,415	1330	2,36	3138,80						
1911681	53	0,105	170	0,265	45,05						

TABLEAU N° 64

LISTE DES PRELEVEMENTS ET DES VALEURS DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

Référence	N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s	Référence	N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transp solide en g/s
1969-70											
071169I	187	10,065	146	10,120	17,52	6	120	10,16	124	0,530	65,72
0612691	88	0,55	3300	3,82	12606,00	1812691	121	0,35	1459	1,74	2538,66
2	89	0,45	1962	2,71	5317,02	2	122	0,46	2670	2,82	7529,40
3	90	0,35	1454	1,74	2529,96	3	123	0,35	1119	1,74	1947,06
4	91	0,30	1157	1,35	1561,95	4	124	0,22	546	0,860	469,50
5	92	0,20	881	0,745	656,35	5	125	0,20	225	0,745	167,65
6	93	0,15	554	0,480	265,92	6	126	0,10	46	0,245	11,27
0712691	94	0,20	395	0,745	294,28	2312691	127	0,15	126,8	0,480	60,88
2	95	0,36	831	1,83	1520,73	2	128	0,21	282,2	0,795	224,30
1112691	96	0,15	636	0,480	305,28	2412691	129	0,14	110,2	0,430	47,39
2	97	0,25	974	1,04	1012,96	2	130	0,27	306,1	1,16	355,00
3	98	0,35	1485	1,74	2583,90	3	131	0,37	jeté		
4	99	0,45	2344	2,71	6352,24	4	132	0,45	1331,3	2,71	3710,22
5	100	0,75	(1285)	6,51	(8365,35)	5	133	0,47	1226,7	2,92	3581,96
6	101	0,80	3317	7,20	23882,24	6	134	0,35	1080,1	1,74	1879,37
7	102	0,65	2556	5,12	13086,72	7	135	0,19	230	0,695	159,85
8	103	0,45	1401	2,71	3796,71						
9	104	0,23	566	0,920	520,72	2512691	136	0,35	514,3	1,74	894,88
1212691	105	0,06	63	0,105	6,62	2	137	0,63	1232,3	4,84	5964,38
						3	138	0,73	1893,3	6,23	11795,2
1512691	106	0,10	181	0,245	44,35	4	139	0,80	2260,3	7,20	16274,1
2	107	0,85	3368	7,95	26775,60	5	140	0,60	1906,4	4,42	8426,2
3	108	1,15	6225	13,7	85282,50	6	141	0,40	705,2	2,21	1550,4
4	109	1,40	5712	19,7	112526,40	7	142	0,29	167,9	0,975	163,7
5	110	1,50	5805	22,5	130612,50						
6	111	1,15	3285	13,5	45004,50	3012691	143	0,87	2536	8,25	20922,0
7	112	0,85	2698	7,95	21449,10	2	144	0,35	464,4	1,74	808,0
8	113	0,55	1768	3,82	6753,76						
9	114	0,28	717	1,22	874,74	0301701	145	0,45	898,2	2,71	2434,1
1612691	115	0,075	50	0,150	7,50	2	146	0,97	3297	10,0	32970,0
						3	147	0,35	647,6	1,74	1126,0
1612692	116	0,15	557	0,480	267,36						
3	117	0,35	1015	1,74	1766,10	1301701	148	0,37	619,9	1,93	1196,4
4	118	0,35	1226	1,74	2133,24	1901701	149	0,43	1399,7	2,51	3513,2
5	119	0,20	659	0,745	490,96	2	150	0,93	2551,4	9,38	23932,1
						3	151	0,35	1969,5	1,74	3426,9

TABEAU N°65.

LISTE DES PRELEVEMENTS ET DES VALEURS DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

réf. N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s	Réf. N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s		
702701	1152	0,35	1656,51	1,74	2882,31	3001711	1186	0,16	478	0,530	253,34
2	1153	0,57	1586,71	4,06	6442,00	2	1187	0,36	707	1,83	1293,81
3	1154	0,35	1150,81	1,74	2002,39	3	1188	0,46	709	2,82	1999,38
						4		0,26	jeté		
403701	1155	0,17	299,11	0,585	174,97						
2	1156	0,46	2811,91	2,82	7929,56	10902711	1189	0,15	144	0,480	69,12
3	1157	0,35	1010	1,74	1757,40	2	1190	0,35	346	1,74	602,04
4	1158	0,25	1115	1,04	1159,60						
						11002711	1191	0,18	356	0,640	228,00
303701	1159	0,90	2151,51	8,70	18718,05	2	1192	0,78	12850	6,93	19750,50
2	1160	0,75	2592,91	6,51	16879,78	3	1193	0,98	13250	10,2	133150,00
3	1161	0,60	1736,51	4,42	7675,33	4	1194	1,18	13190	14,4	145936,00
4	1162	0,45	1329,41	2,71	3602,67	5	1195	1,58	13690	24,8	191512,00
5	1163	0,30	706,41	1,35	953,64	6	1196	1,88	14500	34,3	154350,00
						7	1197	2,07	16190	41,7	258123,00
503701	1164	0,45	2169,41	2,71	5879,07	8	1198	1,38	12550	19,2	48960,00
2	1165	0,32	747,21	1,50	1120,80	9	1199	0,48	12510	3,02	7580,20
						10	1200	0,28	920	1,22	1122,40
970-71						1102711	1201	0,11	256	0,290	74,24
812701	1166	0,10	167	0,245	40,92						
2	1167	0,10	144	0,245	35,28	1102712	1202	0,60	1211	4,42	5352,62
3	1168	0,22	458	0,860	393,88	3	1203	0,86	13011	8,10	124389,10
4	1169	0,60	3457	4,42	15279,94	11202711	1204	0,11	130	0,290	37,70
5	1170	0,671	4184	5,40	22593,60	112402711	1205	0,36	999	1,83	1828,17
6	1171	0,40	3737	2,21	8258,77	2	1206	0,26	1527	1,09	1664,43
7	1172	0,30	1865	1,35	2517,75	3	1207	0,17	464	0,585	271,44
8	1173	0,20	758	0,745	564,71						
1912701	1174	0,055	44	0,090	3,96	112502711	1208	0,26	1009	1,09	1099,81
						2	1209	0,38	11452	2,02	12933,04
0701711	1175	0,38	912	2,02	1842,24	3	1210	0,50	11540	3,22	14958,80
2	1176	0,28	869	1,22	1060,18	4	1211	0,70	13026	5,81	17581,06
3	1177	0,18	517	0,640	330,88	5	1212	0,50	11453	3,22	14678,66
						6	1213	0,30	512	1,35	691,20
2501711	1178	0,43	1710	2,51	4292,10	7	1214	0,62	872	4,70	14098,40
2	1179	0,33	777	1,58	1227,66	8	1215	0,82	11857	7,50	13927,50
3	1180	0,23	544	0,920	500,43	9	1216	0,60	997	4,42	4406,74
4	1181	0,13	111	0,380	42,18	10	1217	0,40	729	2,21	1611,09
						11	1218	0,20	151	0,745	112,50
2601711	1182	1,50	2331	22,5	52447,50						
2	1183	1,30	1924	17,2	33092,80						
3	1184	1,00	1985	10,6	21041,00						
4	1185	0,80	1823	7,20	13125,60						

TABLEAU N° 65

LISTE DES PRELEVEMENTS ET DES VALEURS DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

Référence	N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s	Référence	N°	H mètres	résidu sec en g/m ³	débit liquide en m ³ /s	transport solide en g/s
1971-72											
12411711	1219	10,15	412	0,480	197,76	10	1239	0,80	2898	7,20	20865,
2	1220	10,25	1349	1,04	1402,96	11	1240	0,70	2448	5,81	14222,
3	1221	10,44	3312	2,61	18644,32	12	1241	0,50	1893	3,22	6095,
4	1222	10,35	1609	1,74	12799,66	13	1242	0,40	1551	2,21	3427,
5	1223	10,25	1025	1,04	1066,00						
6	1224	10,15	277	0,480	132,96	10712711	1243	0,09	26	0,200	5,
12511711	1225	10,06	82	0,105	8,61	10812711	1244	0,10	1513	0,245	370,
						2	1245	0,24	3979	0,975	3879,
12711711	1226	10,10	173	0,245	42,39						
2	1227	10,34	1478	1,66	2453,48	10912711	1246	0,30	1125	1,35	1518,
3	1228	10,24	1622	0,975	1581,45	2	1247	0,70	3653	5,81	21223,
4	1229	10,12	658	0,330	217,14	3	1248	0,90	4198	8,70	36522,
						4	1249	1,10	4542	12,6	57229,
10612711	1230	10,10	63	0,245	15,44	5	1250	1,45	4645	21,1	98009,
2	1231	10,20	1137	0,745	847,07	6	1251	1,65	4705	26,9	1126564,
3	1232	10,30	2984	1,35	4028,40	7	1252	1,86	4899	33,6	1164606,
4	1233	10,90	4751	8,70	141333,70	8	1253	2,05	6203	40,9	1253702,
5	1234	11,10	4760	12,6	159976,00	9	1254	1,75	6460	30,0	1194100,
6	1235	11,20	4942	14,8	173141,60	10	1255	1,56	5845	24,2	1141449,
7	1236	11,30	5427	17,2	193344,40	11	1256	1,25	5382	16,0	86112,
8	1237	11,43	5504	20,5	112832,00	12	1257	0,24	1302	0,975	1269,
9	1238	11,00	jeté			13	1258	0,11	296	0,290	85,

En conclusion des propos précédents nous pensons pouvoir raisonnablement, et seulement à l'échelle annuelle, utiliser la courbe moyenne passant entre les points de la fig N°6.

Notre estimation de la masse des sédiments transportés en suspension se fera donc en utilisant :

- Les "sédimentogrammes" établis par prélèvements sur le terrain,
- La relation H/Q_s pour les débits moyens journaliers correspondants à de faibles crues ou à des décrues prolongées
- Les sédimentogrammes reconstitués à partir de la relation H/Q_s pour les 29 crues non échantillonnées dont le débit de pointe a dépassé 5 m³/s. Cette valeur correspond en effet à un débit solide moyen de 11 kg/s et la simple utilisation du débit moyen journalier risquerait d'entraîner de trop fortes erreurs.

La transposition du poids de sédiments transportés en volume se fait par la formule : $P = 1,45 V$ où 1,45 représente la densité apparente moyenne des résidus secs.

V-2 Le charriage de fond

Les divers transports de fond recueillis dans la fosse amont du déversoir sont résumés aux tableaux N° 67 à 71. Il faut signaler que les volumes mesurés sont, lors des grosses crues, inférieurs aux volumes réels transportés. Lorsque la fosse est presque pleine il se produit une mise en vitesse "un remous" qui a pour effet d'évacuer une partie des sédiments au-dessus du déversoir. Cette perte n'est pas mesurable et difficilement estimable. Nos valeurs vont donc être entachées d'une erreur par défaut mais celle-ci doit être minime en regard du bilan global car les transports de fond sont relativement moins élevés que les transports en suspension.

TABLEAU N°7

CHARRIAGE DE FOND 1966-67

PERIODE		VOLUME EN M ³
DU	AU	
1/11/66	8/11	0
8/11	9/11	1,2
9/11	14/11	0
14/11	24/11	0
24/11	20/12	2,8
20/12	24/12	3,5
24/12	28/12	0
28/12	31/12	23,0
31/12	6/1 /67	9,9
6/ 1/67	25/1	9,8
25/ 1	20/2	51,7
20/ 2	28/2	11,6
28/ 2	3/3	9,4
3/ 3	6/3	6,5
6/ 3	14/3	7,6
14/ 3	22/3	2,1
22/ 3	28/3	21,0
28/ 3	17/9	0
17/ 9	31/10	0

soit : un volume mouillé de 160,10 m³
un volume réel de 152,10 m³
un poids de 274 tonnes

TABLEAU N° 88.

CHARRIAGE DE FOND 1967-68

PERIODE		VOLUME EN M3
DU	AU	
1/11/67	1/ 2/67	23,6
1/12	6/12	35,0
6/12	18/12	3,9
18/12	28/12	3,4
28/12	18/ 1/68	0
18/ 1/68	3/ 3/	1,0
3/ 3	16/ 5	4,0
16/ 5	24/10	0
24/10	31/10	0

soit : un volume mouillé de 70,90 m3
 un volume réel de 67,36 m3
 un poids de 121, tonnes

TABLEAU N° 89

CHARRIAGE DE FOND 1968-69

PERIODE		VOLUME EN M3
DU	AU	
1/11/68	25/11	5,6
25/11	13/12	0
13/12	19/12	12,5
19/12	1/ 1/69	17,0
1/ 1/69	10/ 1	0
10/ 1	10/ 2	21,8
10/ 2	17/ 2	3,2
17/ 2	9/ 3	28,3
9/ 3	15/ 4	52,0
15/ 4	28/ 4	3,4
28/4	30/10	0

soit : un volume mouillé de 143,80 m3
 un volume réel de 136,61 m3
 un poids de 245 tonnes

TABLEAU N° 70

CHARRIAGE DE FOND 1969-70

PERIODE		VOLUME EN M3
1/11/69	12/11	3,2
12/11	11/12	9,3
11/12	12/12	3,8
12/12	16/12	16,0
16/12	26/12	16,2
26/12	31/12	3,9
31/12	2/ 1/70	10,3
2/ 1/70	22/ 1	27,0
22/ 1	4/ 2	0
4/ 2	9/ 2	12,5
9/ 2	10/ 2	40,5
10/ 2	5/ 3	19,8
5/ 3	14/ 3	7,5
14/ 3	26/ 3	2,4
26/ 3	6/ 4	0
6/ 4	28/ 4	0,4
28/ 4	16/ 7	1,7
16/ 7	31/10	0

soit : un volume mouillé de 174,50 m3
un volume réel de 165,78 m3
un poids de 298 tonnes

TABLEAU N° 71

CHARRIAGE DE FOND 1970-71

PERIODE		VOLUME EN M3
DU	AU	
1/11/70	14/12	3,0
14/12	21/12	3,2
21/12	5/ 1/71	7,0
5/ 1/71	18/ 1	1,2
18/ 1	28/ 1	31,4
28/ 1	10/ 2	17,6
10/ 2	11/ 2	34,9
11/ 2	27/ 2	41,8
27/ 2	8/ 7	9,4
8/ 7	31/10	0,5

soit : un volume mouillé de 150,00 m3
un volume réel de 142,50 m3
un poids de 257 tonnes

V-3- Le transport solide en suspension

La méthode employée pour le calcul des transports solide en suspension est décrite au paragraphe V-1.

On trouvera au tableau n°72 : la liste des "sédimentogrammes" mesurés ou reconstitués, au tableau n°73 : la valeur moyenne des transports solides pour diverses cotes et débits, (d'après la figure 46).

A partir des valeurs de ces deux tableaux nous avons pu établir les transports solides journaliers mensuels et annuels qui figurent aux tableaux n°74 à 78.

V-4- Bilans annuels de l'érosion sur le bassin

En définitive le bilan érosif résultant des mesures effectuées sur le charriage et le transport en suspension est le suivant :

ANNEE	CHARRIAGE		SUSPENSION		TOTAL		EROSION	
	Poids en T	Volume en m ³	Poids en T	Volume en m ³	Poids en T	Volume en m ³	T/ha	mm
1966-67	1274	1152	12260	11500	12534	11712	5,6	0,380
1967-68	1121	167	11254	1865	11375	1932	3,1	0,21
1968-69	1245	1137	11361	1938	11607	11075	3,6	0,24
1969-70	1298	1168	12659	11834	12957	12000	6,6	0,44
1970-71	1257	1143	12092	11443	12349	11586	5,2	0,35
Moyenne								
15 années	1239	1133	11925	11328	12164	11461	4,8	0,32

Pendant les cinq années d'observation le volume de sédiments transite à l'exutoire correspond à une érosion supérieure à 24 tonnes/hectare soit un arrachement de 1,6 mm répartis uniformément sur toute la surface du bassin.

TABLEAU N°2

LISTE DES SEDIMENTOGRAMMES

Année hydrologique	Date	transport solide mesuré en tonnes	transport reconstitué en tonnes	Année hydrologique	Date	transport solide mesuré en tonnes	transport reconstitué en tonnes
1966-67	9-11-66	2,31		1969-70	1-11-69		45,90
	23-12	5,22			11-12	60,60	
	30-31-12		501,00		15-12	330,00	
	24/25-1-67		198,60		16-12	7,60	
	25/26-1		305,40		18-12	24,50	
	19/20-2		216,00		24-12	18,60	
	27-2		132,00		25-12	43,80	
	5-3		331,20		30-12		111,60
	6-3	79,50			1-1-70		480,00
	19/20-3		82,20		3-1		124,80
1967-68	30-11-67		208,50	19-1		75,00	
	5/6-12		888,00	9/10-2		870,00	
	114-2-68	1,77		18-2		30,00	
	2-3		35,70	14-3	11,60		
1968-69	16-11-68	38,40		1970-71	18-12-70	45,00	
	14/15-12		114,00		25-1-71		105,00
	27/12	22,50			26-1		438,00
	28/29-12		41,10		10-2	768,00	
	6/7-2-69		219,60		25-2	86,40	
	11/12-2		95,40				
	19-2		34,20				
	8-3		132,00				
	8-4		96,00				
	11/12-4		88,80				
14/15-4		336,00					

TABLEAU N° 73

VALEURS MOYENNE DES TRANSPORTS SOLIDES

Hauteur à l'échelle en mètres	Débit liquide Q en m ³ /s	Débit solide Qs en g/s	transport journalier tonne/jour
0,04	0,060	4	0,35
0,05	0,075	5	0,43
0,06	0,105	7	0,60
0,07	0,130	14	1,21
0,08	0,165	22	1,90
0,09	0,200	34	2,94
0,10	0,245	50	4,32
0,11	0,290	60	5,18
0,12	0,330	75	6,48
0,13	0,380	88	7,60
0,14	0,430	105	9,07
0,15	0,480	123	10,60
0,16	0,530	150	
0,17	0,585	176	
0,18	0,640	215	
0,19	0,695	250	
0,20	0,745	300	
0,30	1,35	1200	
0,40	2,21	3000	
0,50	3,22	6000	
0,60	4,42	10000	
0,70	5,81	15000	
0,80	7,20	21000	
0,90	8,70	29000	
1,00	10,6	39000	
1,50	22,5	110000	
2,00	39,0	238000	
2,50	59,8	370000	
2,64	65,7	400000	

TABLEAU N° 74

BV TAFATNA - TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION 1966-67 (tonnes)

JOURS	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
1			3,63	0,43	2,94	1,64
2			1,64	0,43	4,32	1,64
3			12,96	0,35	9,07	2,94
4			2,94		9,07	1,90
5			9,07			1,90
6			5,18		1410,70	1,64
7	0,23		9,07		10,60	1,21
8			1,90		4,32	1,90
9	2,31		0,60		4,32	1,90
10			0,43		2,42	1,64
11			0,35		2,94	1,21
12					10,60	1,21
13	0,60				7,60	1,21
14	0,43				4,32	1,21
15					2,94	1,21
16		1,21	0,52		1,90	0,95
17		0,52	0,60	0,35	1,64	1,64
18			0,43	0,60	1,21	0,95
19		2,42	0,35			1,90
20		1,21		216,00	82,20	1,21
21		0,60	0,52	1,21	5,18	0,60
22		0,43	4,32	0,95	3,63	0,60
23		5,22	6,10	0,52	1,90	0,52
24	0,35	1,90		0,43	1,90	0,52
25		0,52		0,43	1,90	0,43
26		1,20	504,00	0,43		0,43
27		0,60	2,42	6,48	(300,00)	0,43
28		0,43	1,21	2,94	5,18	0,35
29		1,21	0,60		3,63	0,35
30			0,52		2,42	0,35
31		1501,00	0,43		1,90	
MOIS	3,92	518,47	569,79	231,55	900,75	35,59

Poids total transporté en 1966-67 = 2260 tonnes
 soit un volume arraché de 1560 m³

TABLEAU N°75

BV TAFAINA - TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION 1967-68 (tonnes)

JOURS	MOIS	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
1			1,90	0,43		4,32	
2			0,60	0,43	1,90	35,70	
3			0,43	0,35	0,52	1,90	
4			0,60		0,43	0,60	0,52
5					0,43	0,95	0,60
6	0,35	888,00			0,35	0,52	0,43
7	0,35	1,90			0,35	0,43	0,43
8		0,60			0,35	0,43	
9		0,43				0,35	
10		0,95			0,43		
11		0,60			0,35	0,43	1,90
12		0,60			0,35	0,95	2,42
13		0,43				1,64	0,95
14		0,52	0,35	1,77	7,60	0,60	
15		0,60	6,48	0,95	2,94	0,52	
16		0,60	1,21	0,52	1,64	0,52	
17		0,43	0,52	4,75	1,64	0,43	
18		1,90	0,43	5,18	0,95	0,43	
19		2,42	0,35	1,64	0,95		
20		0,95	0,35	0,95	0,95		
21	0,35	0,52		0,52	0,60		
22	1,21	0,43		0,43	0,52		
23	5,18	0,43	0,52	1,64	0,43		
24	4,32		0,95	0,43	0,43		
25	0,35	1,90	0,60	0,43			
26	1,90	1,90	0,43				
27	0,95	0,43	0,43				
28	0,35	0,43	0,43				
29					0,35		
30	200,50	1,90					
31		1,64					
MOIS	223,81	914,04	14,26	25,02	66,87	9,75	

Poids total transporté en 1967-68 = 1254 tonnes
 soit un volume arraché de 865 m3

TABLEAU N° 76

BV TAFAINA - TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION 1968-69 (tonnes)

JOURS	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
MOIS						
1			0,60	0,43		
2			0,52	0,35		
3			0,35		0,43	96,00
4			0,43	0,43	0,35	1,90
5			0,43	1,21		1,90
6					2,30	0,52
7				219,60	1,00	0,43
8				10,30	132,00	0,35
9				8,50	2,30	0,35
10				1,64	1,21	
11					1,90	
12				95,40	0,60	88,80
13	0,95		2,42	2,42	0,43	
14	0,40		2,60	1,64	0,43	
15		114,00	2,30	0,95	0,43	336,00
16	38,40	4,32	0,52	0,60		1,21
17	7,60	1,64	0,35	0,52		0,60
18	1,21	1,90		0,43		0,52
19	3,00	1,64		34,20		0,52
20	0,95	1,64		2,94		2,94
21		1,21		1,21		1,90
22	12,50	1,90		1,90		0,60
23	1,64	0,95		0,95	0,52	0,60
24	2,42	0,43		0,43	0,52	0,52
25	0,52	0,95		0,43	0,43	1,90
26	0,43	1,90	0,60	0,35	0,43	0,95
27			0,60	0,35	0,35	0,43
28			0,95			0,43
29		63,60	0,52			0,43
30		3,63	0,43			0,35
31		0,95	0,35			
MOIS	70,02	200,66	113,97	387,18	145,63	540,15

Poids total transporté en 1968-69 = 136 . 3 tonnes
soit un volume arraché de 938 m³

TABLEAU N°77

BV. TAFANIA - TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION 1969-70 (tonnes)

JOURS MOIS	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI
1	45,90	0,60	480,00	0,60	0,43	0,35	0,43
2	1,00		23,70	0,60	0,43	0,35	0,95
3	0,52		124,80	2,00			0,52
4	0,43		10,60	1,21	11,60		0,43
5			7,60	0,95	1,90		0,43
6	0,35	6,70	9,07	1,90	0,60		
7	0,60	3,20	7,20	7,20	0,60	0,95	
8	0,95	0,60	5,50	5,18	0,52	0,60	
9	0,52		11,10		0,43	0,43	
10			4,20	1870,00	0,60	0,35	
11		60,60	2,60	1,90	0,60	0,43	
12		3,50	1,90	1,21	1,21	0,43	
13		1,90	10,30	1,21	150,00	0,35	
14		0,52	4,50	0,95	4,32	1,21	
15		330,00	11,50	0,60	1,90	0,60	
16		7,60	6,20	0,60	1,64	0,52	
17		2,94	4,20		0,95	0,43	
18		24,50	1,64	30,00	0,52	0,35	
19		2,42	75,00	0,95	0,43	0,35	
20		0,95	5,00	0,60	0,43		
21		0,95	2,00	0,60	1,90		
22		0,52	1,64	0,95	1,21		
23		2,90	1,64	0,95	0,60		
24		18,60	3,10	1,21	0,52		
25		43,80	2,00	0,95	5,18		
26		4,75	1,45	0,60	0,95	0,60	
27		1,90	1,45	0,60	0,60	0,60	
28		1,90	0,95	0,52	1,21	0,52	
29		4,32	0,60		0,60	0,52	
30		111,60	1,64		0,52	0,40	
31		7,60	0,58		0,43		
MOIS	50,27	644,87	723,66	1034,04	192,83	10,34	2,76

Poids total transporté en 1969-70 = 2659 tonnes
 soit un volume arraché de 1834 m3

TABLEAU N° 70

AV TAFAINA - TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION 1970-71 (tonnes)

JOURS	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL
MOIS						
1			2,50	3,63	1,64	
2			1,21	1,90	0,95	
3			8,70	1,21	0,60	
4			1,90	0,95	0,60	
5			0,43	1,21	1,90	
6			0,43	4,32	1,21	
7	0,45		1,10	4,32	0,60	
8			0,35	9,60	0,60	
9				5,00	0,60	
10	5,60			768,00	0,52	1,80
11	0,60			(450,00)	0,52	0,70
12	0,60			9,07	0,52	0,43
13				4,75	0,43	0,43
14				4,32		
15				5,50		
16				4,75	0,60	
17				2,42	2,42	
18		45,00		1,90	0,52	0,52
19		0,60		1,64	1,90	0,43
20				4,50	0,60	0,43
21				6,48	0,52	
22			1,21	1,90	0,43	
23			1,90	5,18	0,43	
24	0,35		5,18	6,30	0,43	
25	0,43	0,60		86,40		
26		0,43	543,00	5,18		
27		0,60	6,48	2,94		
28		1,90	5,18	2,42		
29		0,52	4,32			
30		1,21	11,50			
31		4,40	4,50			
MOIS	7,43	55,26	1599,89	1405,79	18,54	4,74

Poids total transporté en 1970-71 = 2092 tonnes
 soit un volume arraché de 1443 m³

V-5 Erosion sur les lavakas

Les valeurs mesurées au chapitre précédent : près de 5T/hectare/an soit plus de 3/10 de mm d'arrachement, supposent une érosion homogène sur l'ensemble du bassin versant. Il est bien évident qu'il n'en est rien en général dans la réalité et à plus forte raison sur les hauts plateaux malgaches où les matériaux véhiculés par les rivières proviennent en majeure partie de zones d'érosion préférentielle : les "lavakas" dont nous avons déjà parlé plusieurs fois et en particulier au paragraphe II-4. Nous avons tenté de mesurer l'érosion de ces zones privilégiées à l'aide du dispositif décrit au point III-7-2 et mis en place le 24 octobre 1969. Nous rappelons brièvement les caractéristiques des zones d'étude :

- "Grand lavaka", isolé par sa position d'un apport de ruissellement extérieur, en pleine activité :

Surface de réception pluviométrique : 1110 m²
Surface d'érosion : 1110 m²

- "Petit lavaka, limité au sud par un fossé collectant un ruissellement parasite, en voie de formation :

Surface de réception pluviométrique : 650 m²
Surface d'érosion : 400 m²

On trouvera aux tableaux n°79 et 80 les volumes accumulés dans les fosses à sédiments au cours des années hydrologiques 1969-70 et 1970-71. Pour le "Grand lavaka" et pour l'année 1969-70 nous avons également essayé de trouver une relation entre les apports de sédiments et divers paramètres pluviométriques. Après plusieurs essais il est apparu que la meilleure relation était obtenue en utilisant une pluie efficace égale à la hauteur pluviométrique excédentaire à 10 mm. Le nombre de points est restreint (sept) mais le coefficient de corrélation est excellent : $r = 0,99$ ainsi que le montre la figure n°7

Sur l'ensemble des 2 années les valeurs observées sont très fortes puisque :

- pour le petit lavaka l'érosion est voisine de 66T/hect/an soit 4 mm/an, valeurs environ 12 fois supérieures à celles observées sur toute la superficie du bassin,

- pour le grand lavaka l'érosion est de l'ordre de 510 T/hect/an soit 31 mm/an, valeurs presque 100 fois supérieures à celles de l'ensemble du bassin

NOTA : On pourra reprocher aux observations la longueur des périodes. En réalité les lectures ont été très nombreuses mais celles que nous présentons sont celles observées sur sédiments secs ou presque secs.

Au cours de périodes sans pluviométrie des mesures successives nous ont en effet montré une perte de volume due au départ de l'eau retenue dans les sédiments.

Le passage du volume au poids se fait par l'égalité $P = 1,65 V$ où 1,65 est la densité apparente moyenne mesurée sur plusieurs échantillons recueillis dans les fosses à sédiments (mesures effectuées par le laboratoire de Pédologie du Centre ORSTOM de TANANARIVE).

BASSIN VERSANT DE LA TAFAINA
 GRAND LAVAKA (1110 m²)

Relation érosion-pluviométrie - Année 1969-1970

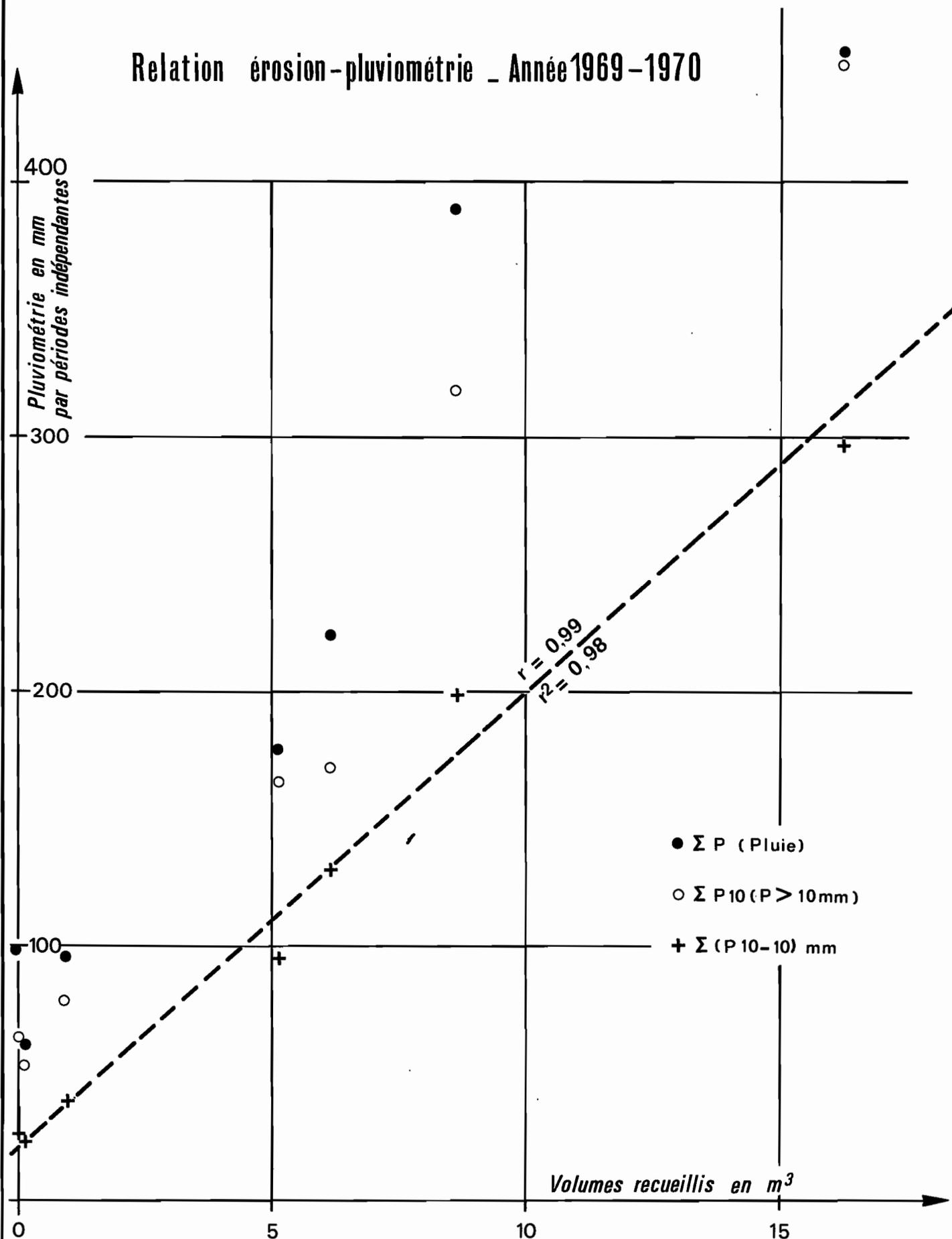


TABLEAU N°79

EROSION DU GRAND LAVAKA (1110 m²)

ANNEE HYDROLOGIQUE 1969-70

PERIODE	Volumes cumulés en m ³	Volumes partiels en m ³	Pluie totale cumulée en mm	Pluie totale partielle en mm	Pluie partielle supérieure à 10 mm	Pluie cumulée excédentaire à 10 mm	Pluie partielle excédentaire à 10 mm
10.69 au 11.11	5,114	5,114	176,5	176,5	164,4	94,4	94,4
11 au 29.12	13,763	8,649	566,3	389,8	318,0	292,4	198,0
12 au 21.1.70	29,991	16,228	1017,4	451,1	446,1	588,5	296,1
1.1 au 9.2	30,972	0,981	1113,5	96,1	79,3	627,8	39,3
2 au 17.3	37,140	6,168	1334,7	221,2	169,4	757,2	129,4
3 au 6.4	37,276	0,136	1394,8	60,1	52,7	779,9	22,7
4 au 31.10	37,276	0	1494,2	99,4	63,2	806,2	26,3

Erosion : V = 37,276 m³ soit 61,505 tonnes pour d = 1,65
ou 33,6 mm d'arrachement

ANNEE HYDROLOGIQUE 1970-71

Période	Volume cumulé en m ³	Volume partiel en m ³
1.11.70 au 3.12	5,690	5,690
3.12 au 18.12	5,826	0,136
18.12 au 28.12	8,492	2,666
28.12 au 3. 3.71	31,540	23,048

Erosion : V = 31,540 m³ soit 52,041 tonnes ou 28,4 mm d'arrachement

EROSION DU PETIT LAVAKA (400 m²)

TABEAU 80

ANNEE HYDROLOGIQUE 1969-70

Période	Volume cumulé en m ³	Volume partiel en m ³
24/10/69 au 3/11	0,635	0,635
3/11/ au 29/12	1,103	0,468
29/12 au 21/1/70	1,444	0,341
21/1 au 9/2	1,973	0,529
9/2 au 12/2	2,183	0,210
12/2 au 17/3	2,344	0,161
17/3 au 31/10	2,344	0

Erosion : V = 2,344 m³ soit 3,868 tonnes
ou 5,86 mm d'arrachement

ANNEE HYDROLOGIQUE 1970-71

Période	Volume cumulé en m ³	Volume partiel en m ³
du 1/4/70 au 3/12	0,345	0,345
du 3/12 au 18/12	0,345	0
du 18/12 au 28/12	0,382	0,037
du 28/12 au 3/3/71	0,870	0,488
du 3/3 au 31/10	0,870	0

Erosion : V = 0,870 m³ soit 1,536 tonnes
ou 2,18 mm d'arrachement

POST-FACE

Le présent rapport s'est attaché à résumer toutes les mesures effectuées
sur TAFANIA de 1966 à 1971;

Une interprétation définitive sera donnée ultérieurement et les analyses
proposées ici sont sujettes à d'éventuelles modifications.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BRESSON Y. - Etudes hydrologiques du bassin versant d'ANDROVAKELY
Rapport ORSTOM - 1958.
- (2) ALDEGHERI M.- et POURRUT P. -
Etudes hydrologiques sur le bassin versant représentatif de la
TAFAINA - Rapport ORSTOM - 1968.
- (3) ROCHE M. -Hydrologie de surface - Gauthier - Villars Ed.
- (4) DUBREUIL P. -Les caractères physiques et morphologiques des bassins versants;
leur détermination avec une précision acceptable.
Cah. ORSTOM, série hydrologie, N°5 - 1956.
- (5) LAPLAINE L. -Etude géologique des feuilles de TANANARIVE et MIARINARIVO
au 1/200.000- Service géologique 1952.
- (6) DE LUBAC G.- RAKOTCARISON W, RANTOAMINA M. - Etude géologique et prospection
des feuilles TANANARIVE - MANJAKANDRIANA au 1/100.000
Service géologique 1963.
- (7) DELBOS L. - Les granites des AMBATOMIRANTY des VAVAVATO et de BEHENJY -
Thèse Clermont 1957.
- (8) LACROIS A. - Minéralogie de MADAGASCAR.
- (9) PETIT M. et BOURGEAT F. -
Etude morphologique du bassin versant de la TAFANIA-
Comptes rendus de la semaine géologique de MADAGASCAR 1965.
- (10) POURRUT P. et ZEBROWSKI CL. -
Détermination de certaines caractéristiques intrinsèques et
hydrodynamiques des sols par utilisation de méthodes neutroniques
en République malgache - Cah. ORSTOM, série hydrologie,
vol VII, n°1, 1970.
- (11) ALDEGHERI M.-Monographie BETSIBOKA -IKOPA- ORSTOM 1964.
- (12) GOUYET R.C. -Pluviométrie à TSIMBAZAZA - Note interne ORSTOM 1970.
- (13) GOUYET R.C. -Pluviométrie de TSIMBAZAZA- Note interne ORSTOM 1970.

BIBLIOGRAPHIE (SUITE)

- (14) POURRUT P. - Utilisation pratique de l'humidimètre à neutrons pour les mesures hydrologiques - Premiers résultats obtenus sur le BVR de la TAFANIA (République malgache) -Cah. ORSTOM, série hydrologie Vol V, n°2, 1968
- (15) MOUTONNET P.-Une méthode neutronique de mesure de l'humidité des sols en surface . LJARI, vol 20, 1969.
- (16) RODIER J. - et POURRUT P. -
Etude de l'alimentation des nappes souterraines sur bassins représentatifs. Derniers enseignements méthodologiques des campagnes hydrologiques de l'ORSTOM - Cah. ORSTOM, série hydrologie vol IV, n°4, 1967.
- (17) POURRUT P. -Méthode pour l'établissement d'un bilan hydrique global. Approche des paramètres hydrologiques du sol - Note interne ORSTOM 1970.
- (18) POURRUT P. et MOUTONNET P. -
Contrôle neutronique de l'humidité des sols en surface. Applications hydrologiques sur sol ferrallitique tropical - Terre Malgache - Spécial numéro 12 - mai 1971 et Cah. ORSTOM - Série hydrologie. Vol VIII, n°2, 1971.
- (19) ALDEGHERI M. -
Note sur l'appareillage pour la mesure semi-automatique de l'évaporation sur bacs colorado et classe A. Cah. Orstom, série hydrologie n°5, 1966.
- (20) HERBAUD J.
Quelques orientations pratiques pour appliquer la méthode des déviations résiduelles à la recherche des relations entre le ruissellement et ses divers facteurs sur un petit bassin versant. Note technique n° 27 Série hydrologie Orstom. 1972.