

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL
45bis, avenue de la Belle Gabrielle
94130 - NOGENT-sur-MARNE

BASSINS VERSANTS - MADAGASCAR

BILAN DE L'EAU SOUS PRAIRIES NATURELLES
ET ARTIFICIELLES

Compte rendu de fin d'Etude
d'une recherche financée
par la
Délégation Générale à la
Recherche Scientifique
et Technique

Action concertée : Gestion des Ressources
Naturelles Renouvelables

Février 1978

Décision d'Aide n° 76-7-0222
du 8 Octobre 1976

COMPTE RENDU DE FIN D'ETUDE

BASSINS VERSANTS - MADAGASCAR
BILAN DE L'EAU SOUS PRAIRIES NATURELLES
ET ARTIFICIELLES

Action concertée :

Gestion des Ressources
Naturelles Renouvelables.

N° de la décision :

76.7.0222

faisant suite aux décisions :

72.7.0366

74.7.0210

75.7.0753

Organisme contractant :

Centre Technique Forestier Tropical
45bis, avenue de la Belle Gabrielle
94130 - Nogent-sur-Marne
Tél. : 873.32-95

Date d'entrée en vigueur :

25 Octobre 1976

Responsable : M. BAILLY Claude

Date d'expiration :

24 Octobre 1977

Laboratoires contractants et responsables
Scientifiques :

Montant : 110.000 F

- Centre Technique Forestier Tropical (CTFT)
Mission de Madagascar. B.P. 745
Tananarive.

Responsables : M. MALVOS Claude
Chef de Mission
M. SARRAILH Jean-Michel

- Institut de Recherches Agronomiques
Tropicales (IRAT) - Madagascar.
B.P. 853 - Tananarive.

Responsable : M. ARRIVETS Jacques

- Institut d'Elevage et de Médecine
Vétérinaire des Pays Tropicaux (IEMVT)
Madagascar. B.P. 4 - Tananarive.

Responsable : M. BIGOT Alain

- Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer (ORSTOM)
Madagascar. B.P. 434 - Tananarive

Responsable : M. DANLOUX

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<u>RESUME</u>	
1 - <u>INTRODUCTION</u>	1
11 - <u>Historique</u>	1
12 - <u>Localisation des expérimentations</u>	1
13 - <u>Objectifs et nature du projet</u>	2
14 - <u>Conditions particulières d'exécution</u>	3
2 - <u>CONDUITE DE LA RECHERCHE</u>	4
21 - <u>Sur la Station de Manankazo</u>	4
211 - Expérimentation en bassins versants comparatifs (C.T.F.T.)	4
212 - Expérimentation en parcelles élémentaires (C.T.F.T.)	7
213 - Equipement météorologique, mesure de l'humidité dans le sol	8
214 - Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage (I.R.A.T.)	9
215 - Etude de la couverture naturelle graminéenne et son évolution (I.E.M.V.T.)	9
22 - <u>A Ambatomainty</u>	11
221 - Reconnaissance, cartographie et aménagement des bassins versants (C.T.F.T. - I.R.A.T.)	11
222 - Equipement des bassins versants	13
223 - Expérimentation en parcelles élémentaires (C.T.F.T.)	14
224 - Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage (I.R.A.T.)	14
225 - Etudes pédoagronomiques (I.R.A.T.)	15
226 - Etude de la couverture graminéenne et son évolution (I.E.M.V.T.)	15

	<u>Pages</u>
3 - <u>RESULTATS - ANALYSES - INTERPRETATION</u>	17
31 - <u>Etude du ruissellement et de l'érosion</u>	17
311 - Sur la Station de Manankazo	17
312 - Sur la Station d'Ambatomainty	28
32 - <u>Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage.</u> <u>Problèmes de mise en valeur agronomique</u>	35
321 - Observations sur les lysimètres	35
322 - Essais de fertilisation d'Ambatomainty	40
33 - <u>Etude de la couverture naturelle graminéenne et des</u> <u>productions fourragères dans l'aménagement</u>	41
331 - A Manankazo	41
332 - A Ambatomainty	45
4 - <u>CONCLUSIONS PROVISOIRES - POURSUITE DE L'EXPERIMENTATION</u>	49
5 - <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	52
6 - <u>BREVETS</u>	55

ANNEXES

Tableau n° 1 : Bilan de l'eau - Manankazo - Récapitulation annuelle.

Tableau n° 2 : Classement des valeurs maximales annuelles du débit
des pointes de crues en l/s/ha à Manankazo.

Tableau n° 3 : Pertes en terre - Manankazo - Récapitulation annuelle.

R E S U M E

Le projet, recommandé par le Comité National Malgache du M.A.B., a pour objectif général d'étudier le bilan de l'eau au niveau de bassins versants élémentaires et de voir quels sont les effets dus aux modifications apportées par l'homme à la couverture naturelle originelle qu'est une prairie naturelle.

Il intéresse deux stations des Hauts-Plateaux malgaches. Sur la première, Manankazo, il a permis de poursuivre les observations entreprises depuis 1963 par le C.T.F.T. sur des petits bassins versants comparatifs, et de mettre en place des expérimentations d'étude du ruissellement et de l'érosion en parcelles élémentaires et des expérimentations sur les pertes par drainage. Sur la seconde station, il a permis d'équiper deux bassins versants comparatifs de surface proche de 70 ha, l'un étant mis en valeur selon les normes définies par les services techniques après une période de jaugeage de deux ans, l'autre étant maintenu en l'état.

L'opération, démarrée en 1972, a porté sur cinq campagnes de mesures et le maître d'oeuvre a été le Service des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, assisté du Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural. Elle a associé quatre organismes français de recherches (I.E.M.V.T., I.R.A.T., O.R.S.T.O.M., C.T.F.T.), le C.T.F.T. étant chef de file.

Le présent rapport fait le point des principaux résultats obtenus, qui seront repris dans un document de synthèse plus complet en cours d'élaboration.

Parmi ces résultats, apparaissent clairement :

- l'effet régulateur, pour le ruissellement et l'érosion, de la mise en valeur rationnelle (mise en culture, reboisement) et, à moindre degré, de la mise en défens ;
- l'effet de la mise à feu du parcours comme facteur aggravant du ruissellement et de l'érosion ;
- la faible productivité du pâturage naturel qui nécessite des modalités d'exploitation avec de longs temps de repos ;
- la gravité des déficiences en éléments minéraux des sols ;
- les très faibles risques de perte par lixiviation dès lors que l'on prend les dispositions nécessaires pour réussir l'installation des prairies artificielles ;
- l'intérêt de l'aménagement intégré qui apparaît déjà, alors que certains effets ne se feront sentir que d'ici quelques années (reboisement).

Compte tenu de cette dernière remarque, les dispositifs en place doivent être entretenus et, dans 4 ou 5 ans, une ou deux campagnes de mesure seront réalisées.

1 - INTRODUCTION

11 - Historique

Ce projet d'action concertée est exécuté en application du Contrat n° 72.7.0366 en date du 22 Juin 1972, conclu entre la D.G.R.S.T. et le Centre Technique Forestier Tropical (C.T.F.T.), chef de file d'une association regroupant ORSTOM - IRAT - IEMVT et CTFP.

Prévue à l'origine pour 12 mois à compter du 1er Juillet 1972, la durée était portée à 24 mois par avenant n° 1 du 29 Juin 1973, puis par décision du 21 Février 1974, l'exécution du contrat était prorogée au 31 Décembre 1974.

Trois autres décisions ont permis de continuer l'opération sur une durée totale de cinq ans :

- la décision n° 74.7.0210 en date du 30 Août 1974 (3ème année)
- la décision n° 75.7.0753 en date du 27 Août 1975 (4ème année)
- la décision n° 76.7.0222 en date du 8 Octobre 1976 apportant une dernière aide au C.T.F.T. pour terminer l'étude de l'opération pendant une dernière année à compter du 25 Octobre 1976 (5ème année).

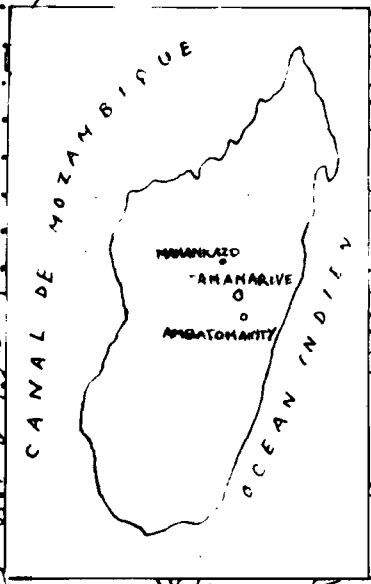
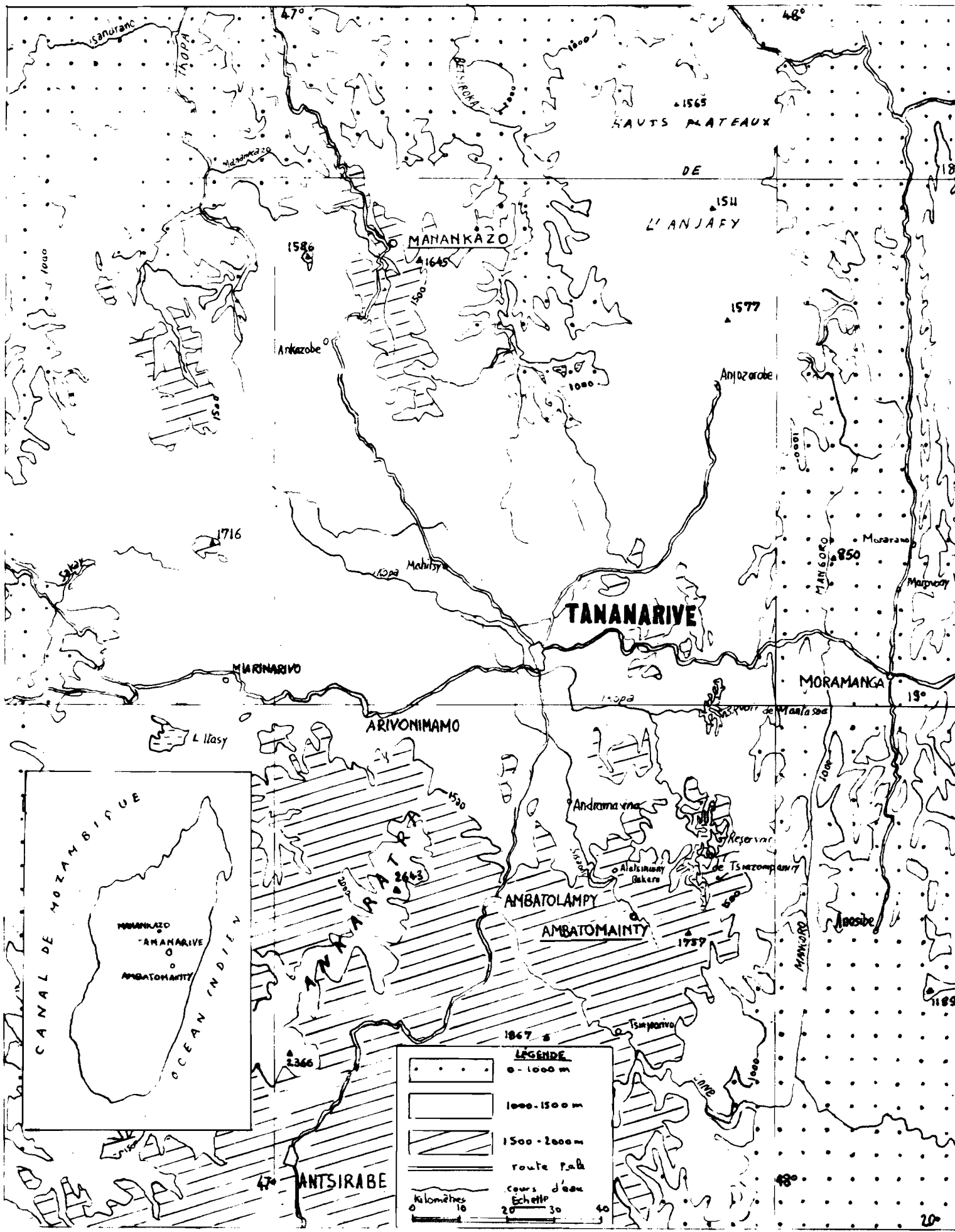
Le présent rapport, faisant suite aux différents rapports annuels, constitue le rapport final de l'ensemble des opérations et tiendra compte en même temps du déroulement des travaux au cours de l'année 1977. Par ailleurs, l'ensemble des résultats obtenus sur cette expérimentation fera l'objet, dans un avenir assez rapproché, d'une publication conjointe des différents participants.

12 - Localisation des expérimentations

La recherche a été localisée sur deux stations des Hauts Plateaux malgaches.

La première est la station de Manankazo, zone située au Nord de Tananarive sur l'axe routier Tananarive-Majunga, à environ 130 km de la capitale. A une altitude voisine de 1.500 mètres, cette station est située sur le socle ancien, sur sols ferrallitiques plus ou moins lessivés, à pH bas, pauvres en éléments minéraux et carencés en phosphore, potassium et calcium. Le climat est tropical d'altitude soumis à l'influence des alizés avec une pluviométrie de l'ordre de 1.500 à 1.700 mm avec une saison sèche tempérée par des précipitations sous forme de crachin.

.../...



LEGENDE

	0 - 1000 m
	1000 - 1500 m
	1500 - 2000 m
	route P.A.R.
	cours d'eau

Kilomètres
0 10 20 30 40

Echelle

Le second point d'essai est situé à l'Est d'Ambatolampy au Sud de Tananarive, dans la zone des sources de la Sisaony à une altitude d'environ 1.600 m constituant une surface rajeunie, dominée par des reliefs résiduels culminant à 1.750 m. Le climat de la zone est également un climat tropical d'altitude comportant une saison des pluies qui est aussi la saison chaude (de Novembre à Mars) et une saison sèche atténuée comme à Manankazo par des précipitations occultes non négligeables. La pluviométrie moyenne annuelle oscille aux alentours de 1.500 mm.

13 - Objectifs et nature du projet

Ce projet d'action concertée intitulé "Bassins versants Madagascar - Bilan de l'eau sous prairies naturelles et artificielles" a pour objectif d'étudier l'influence des modifications que l'homme fait subir à la couverture végétale naturelle, en particulier sur le bilan hydrique. En effet, la couverture végétale naturelle existante sur les Hauts Plateaux Malgaches, en dehors de quelques forêts relictives et de quelques galeries forestières, est une steppe à graminée plus ou moins fournie et dégradée par les feux. L'homme intervient sur l'évolution normale de cette couverture végétale, soit par la mise en place d'aménagements de mise en valeur, la mise en culture ou l'exploitation par des pratiques diverses, parmi lesquelles il faut notamment citer la mise à feu périodique.

Ce problème de l'influence des pratiques humaines, tout particulièrement sur le bilan de l'eau, a préoccupé depuis de nombreuses années les services techniques compétents. Et c'est en vue d'étudier ce problème et de mieux connaître les relations réciproques entre la végétation et les ressources en eau que la recherche forestière, à l'époque le Centre C.T.F.T. de Madagascar, avait mis en place dès 1963 sur la station de Manankazo des dispositifs expérimentaux en bassins versants comparatifs. L'action concertée a permis de poursuivre ces expérimentations, de prendre en compte certains aspects non abordés et de mettre en place une expérimentation nouvelle dans la région Sud de Tananarive.

Il faut noter également que le projet, soutenu par le Comité "Gestion des ressources naturelles renouvelables", a été recommandé par le Comité National Malgache du Programme MAB et constitue la participation malgache au projet 3 "Impact des activités humaines et des méthodes d'utilisation des terres à pâturage : savane, prairies".

A Manankazo, durant les cinq années du projet, les mesures sur les quatre bassins versants comparatifs, précédemment mis en place par le C.T.F.T. se sont poursuivies. Dès les premières années de l'action concertée, l'intervention du laboratoire des radio-isotopes de l'Université de Tananarive a permis de compléter le dispositif de mesure intéressant le bilan hydrique par la mise en place de tubes pour humidimètres à neutrons sous différentes couvertures végétales naturelles ou introduites, et la réalisation puis l'exploitation des mesures. Le C.T.F.T. pour sa part a mis en place en 1973 cinq parcelles élémentaires de mesures du ruissellement et de l'érosion, et équipé une station météo, alors que l'I.R.A.T. installait, à la même date, une batterie de lysimètres destinée à l'étude des pertes en éléments fertilisants. L'étude de la couverture graminéenne et son évolution était prise en charge par l'I.E.M.V.T.

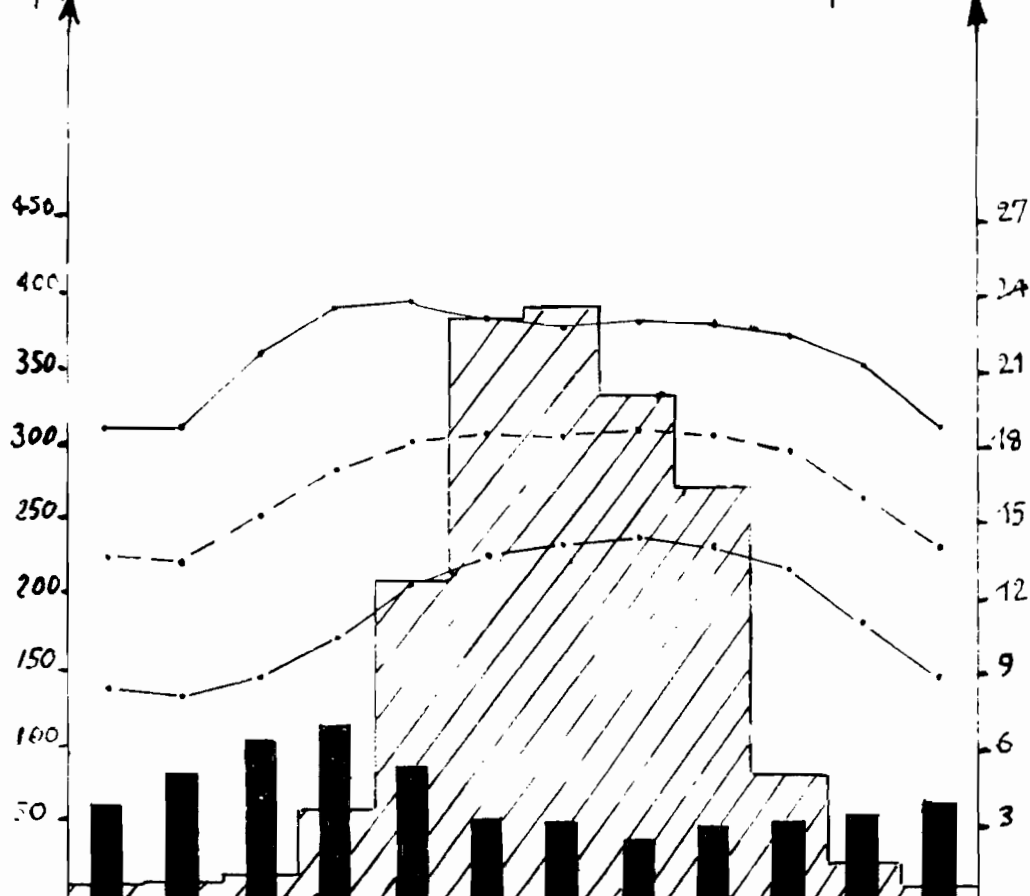
.../...

STATION DE MANANKAZO

Observations Climatologiques
Campagnes 1966 - 67 à 1976 - 77

Pluie et Evapo. en mm.

Température en degrés C.



Mois.



Pluie en mm.

Nbre. de Jours de Pluie



Evaporation en mm.
(Piche)

Mois.	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Année
Pluie en mm.	9,9	11,1	15,6	59,0	209,2	384,7	388,7	361,4	273,6	79,2	25,4	10,1	1827,9
Nbre. de Jours de Pluie	12	5	3	8	17	24	23	23	22	14	10	9	170
Evaporation en mm. (Piche)	61,5	83,1	104,1	115,7	83,0	53,8	53,4	41,0	48,3	52,3	56,1	65,2	817,5

— Moyenne T° Max.

18,5	18,8	21,5	23,3	23,7	22,9	22,6	22,7	22,7	22,3	21,2	18,8	21,6
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

— Moyenne T° Min.

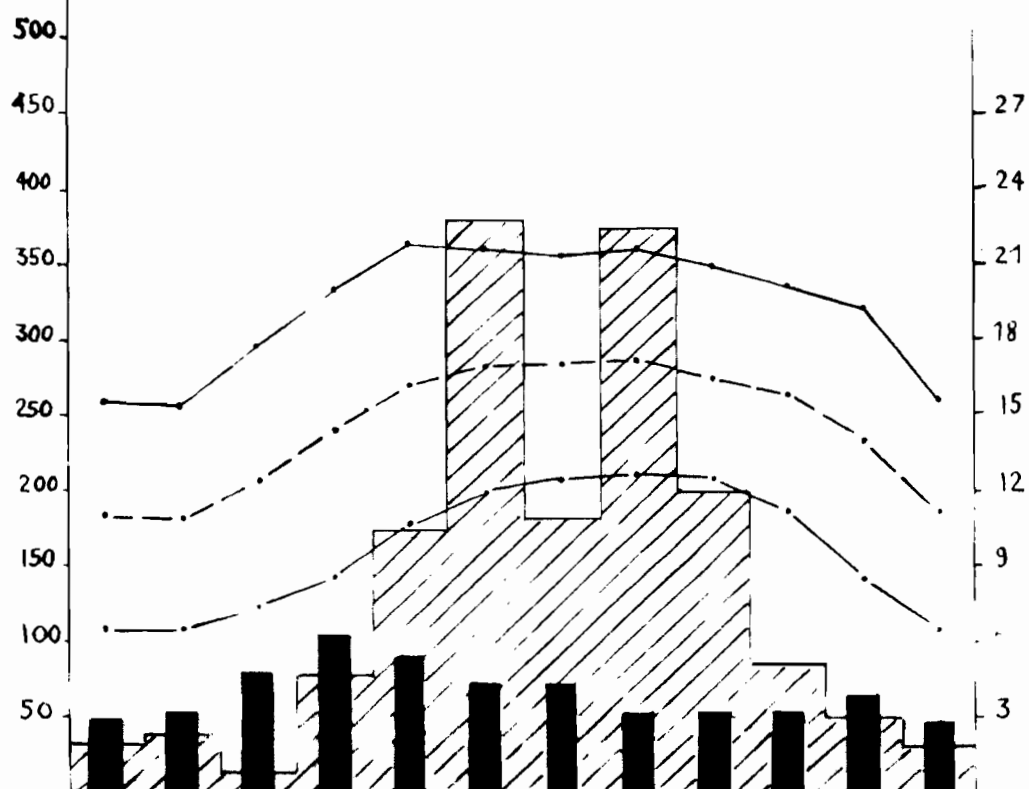
8,4	7,9	8,8	10,4	12,5	13,6	14,0	14,4	14,1	13,2	11,1	9,1	11,5
-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	------

- - - Moyenne entre
T° Max et T° Min

13,5	13,4	15,2	16,9	18,1	18,3	18,3	18,6	18,4	17,8	16,2	14,0	16,6
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

STATION D'AMBATOMAINTY
Observations Climatologiques.
Campagnes 1973 - 74 à 1976 - 77

Pluie et Evapo en mm. Température en degrés C.



Mois



Pluie en mm.

Nbre. de Jours de Pluie



Evaporation en mm.
(Piche)

Mois	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	ANNÉE
Pluie en mm.	35,0	41,1	16,1	78,5	174,5	381,4	181,7	374,8	201,3	86,7	50,9	33,3	1655,2
Nbre. de Jours de Pluie	22	23	15	14	18	24	25	26	24	20	18	21	250
Evaporation en mm. (Piche)	48,9	54,0	78,9	104,4	92,8	74,4	73,1	55,6	56,5	56,9	64,1	46,7	796,4

— Moyenne T° Max.

- - - Moyenne T° Min.

. . . Moyenne entre
T° Max. et T° Min.

Moyenne T° Max.	15,7	15,5	17,9	20,1	22,0	21,8	21,5	21,7	21,0	20,8	19,4	15,8	19,4
Moyenne T° Min.	6,6	6,5	7,3	8,8	10,9	12,0	12,4	12,7	12,4	11,2	8,6	6,6	9,7
Moyenne entre T° Max. et T° Min.	11,2	11,0	12,6	14,5	16,5	16,9	17,0	17,2	16,7	16,0	14,0	11,2	14,6

A Ambatomainty, le projet se proposait d'étudier le bilan au niveau d'un paysage agricole plus complexe dans le cadre d'une vallée aménagée, compte tenu des programmes et des méthodes de mise en valeur définis par le Service de la Conservation des Sols et les Organismes d'intervention de la République Malgache. Pour ce faire, le C.T.F.T. a pris en charge dès 1973 l'aménagement rationnel du bassin versant d'Ambatomainty en s'appuyant sur les travaux de cartographie et de reconnaissance réalisés dès la première année par l'I.R.A.T. L'équipement pluviométrique et hydrographique était réalisé par l'O.R.S.T.O.M. qui, dès 1973, assurait les observations et dégageait les composants quantitatifs et qualitatifs du bilan de l'eau avec la participation du laboratoire des radio-isotopes (humidimètres à neutrons).

Par ailleurs, comme sur la station de Manankazo, le C.T.F.T. mettait en place puis suivait le ruissellement et l'érosion sur parcelles élémentaires, tandis que l'I.R.A.T. était responsable d'un protocole expérimental d'étude de pertes en éléments fertilisants. L'étude de la couverture graminéenne et son évolution, de même que les problèmes de production fourragère dans le cadre de l'aménagement général étaient pris en compte par l'I.E.M.V.T.

14 - Conditions particulières d'exécution

Le programme se déroulant sur le territoire de la République Malgache, un protocole particulier a été conclu le 7 Février 1974 entre le Gouvernement de la République Malgache d'une part, et les représentants qualifiés du C.T.F.T. et de l'O.R.S.T.O.M. d'autre part.

En application de ce protocole, le Gouvernement Malgache autorise l'exécution du programme sur son territoire et apporte diverses facilités aux Organismes exécutants. Dans la pratique, ceux-ci ont trouvé, auprès des Autorités Malgaches, un appui permanent et ont bénéficié, de la part notamment du Service des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, ainsi que du Département des Recherches Forestières et Piscicoles du Centre National des Recherches Appliquées au Développement Rural, d'apports particulièrement précieux.

Les tâches respectives de chacun des Organismes intéressés (C.T.F.T., O.R.S.T.O.M., I.R.A.T., I.E.M.V.T.) ont été définies de façon précise début 1973, la coordination de l'ensemble étant assurée par le C.T.F.T. De fréquentes réunions de travail ont permis depuis cette date d'assurer le bon déroulement du programme.

Les quatre Instituts ont obtenu, en outre, la collaboration du laboratoire des radio-isotopes de l'Université de Tananarive pour la mise en place, l'étalonnage, le maintien et le fonctionnement des sondes à neutrons. De plus, les chercheurs malgaches du Centre National des Recherches Appliquées au Développement Rural (CENRADERU) ont été peu à peu intégrés au programme de recherche de chacun des Instituts dans le cadre de la formation des chercheurs malgaches et dans le but de la continuité des recherches à la fin des financements de l'opération par la D.G.R.S.T.

Cette opération de recherche est prise en charge depuis Juillet 1977 par le Département des Recherches Forestières et Piscicoles du CENRADERU qui assure le maintien en état des appareillages, poursuit les observations météorologiques et l'aménagement agricole. D'ici quelques années il est prévu, avec l'appui des Instituts français, la réalisation d'une ou deux campagnes de mesures qui permettront de préciser les effets des aménagements.

.../...

2 - CONDUITE DE LA RECHERCHE

Pendant la durée des différents contrats, les études et travaux réalisés, qui ont fait l'objet chaque année de rapports détaillés, ont été les suivants :

21 - Sur la station de Manankazo

Sur cette station, la responsabilité de l'ensemble des travaux était du ressort du C.T.F.T.

211 - Expérimentation en bassins versants comparatifs (C.T.F.T.)

L'ensemble des dispositifs expérimentaux a été mis en place dès 1963 par le C.T.F.T. avant l'action concertée.

. Dispositifs mis en place

Plusieurs portions de terrains aussi proches l'une de l'autre et aussi voisines que possible au point de vue topographie, orientation, forme, sol, ont été choisies. Le relief particulier de la région a permis de trouver 4 bassins élémentaires ayant une forme voisine classique en entonnoir. On a ainsi pu limiter les coûts des travaux nécessaires à l'isolement des côtés des champs expérimentaux. A la partie inférieure, grâce à une gouttière collectrice constituée par des tôles enfoncées dans le sol et se terminant par une murette en béton, il a été possible de concentrer les eaux dans un canal d'écoulement. Ce canal d'écoulement est précédé d'une cuve de sédiments de 5 m x 3 x 0,40 comportant une grille à grosses mailles.

Le flotteur est installé dans un puits situé sur l'aile d'un déversoir calibré terminant le canal d'écoulement d'une longueur de 3 m et d'une largeur de 1,45 m.

Les cotes du déversoir et ses spécifications sont données dans le croquis joint. Ce type de canal calibré avec déversoir en V est utilisé fréquemment aux U.S.A. par le Soil Conservation Service (cf. Field Manual for Research in Agricultural Hydrology - Agricultural Hand Book, n° 224, Juin 1962) et est connu sous le nom de déversoir type H. Ce canal a été étudié et conçu par le "laboratoire d'hydraulique du Bureau National des Standards" pour le Soil Conservation Service des U.S.A. qui en a réalisé l'étalonnage expérimental.

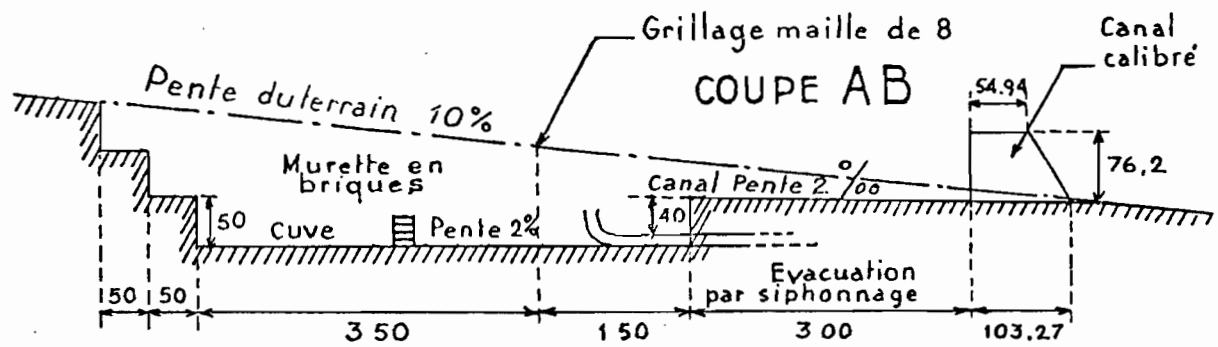
Le limnigraphe utilisé pour équiper ces déversoirs est un limnigraphe à tambour journalier à réduction 1/2 RICHARD, type NG/5.145. A partir de Décembre 1963, la réduction utilisée a été le 1/3.

Les aménagements des 4 bassins sont les suivants :

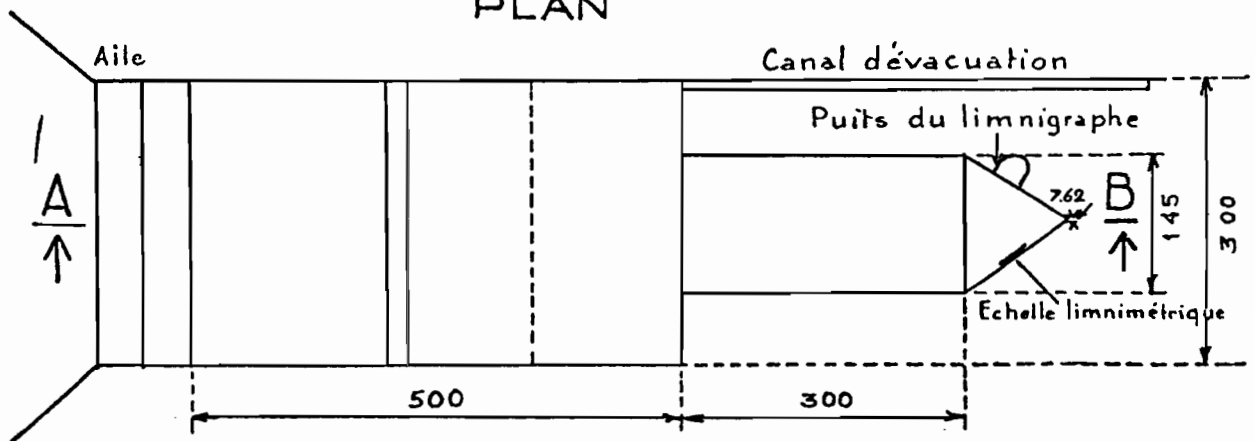
.../...

DISPOSITIF MIS EN PLACE A MANANKAZO

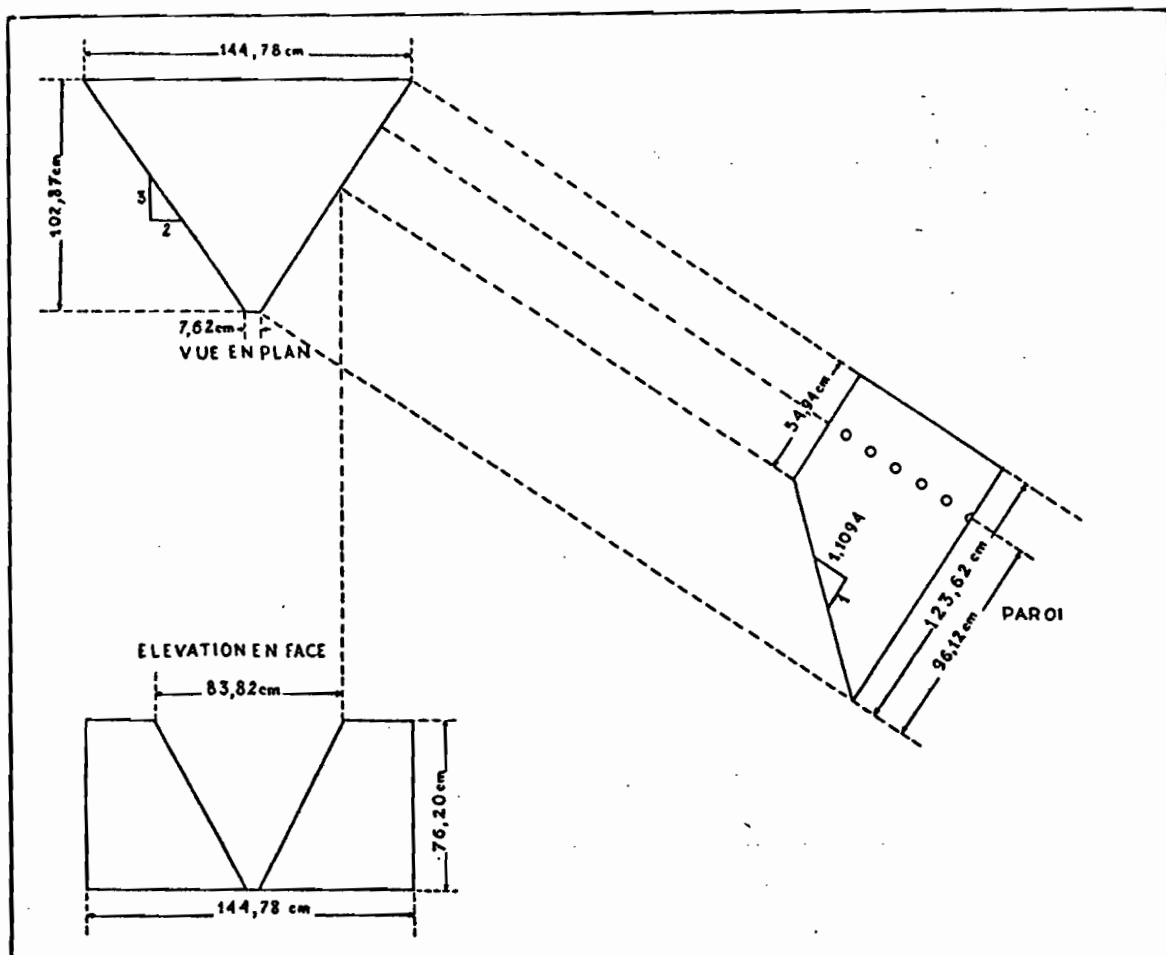
DÉVERSOIR DES BASSINS VERSANTS DE MANANKAZO



PLAN



N. B. — Toutes les cotes sont données en centimètres.



— Canal calibré type II. Bassin versant de Manankazo.

Bassin n° 1 : superficie 3,18 ha

C'est le bassin témoin laissé en l'état sous couverture naturelle graminéenne de *Loudetia stipoides*. Ce couvert a évolué vers la prairie dense avec envahissement sporadique des espèces buissonnantes.

Bassin n° 2 : superficie 4,77 ha

Il a été aménagé en culture en courbes isohypses avec dispositifs anti-érosifs appropriés. Un assolement sur 7 ans a été suivi depuis l'origine. Cet assolement comprend 4 années de cultures (pomme de terre, maïs, légumineuse, maïs) et 3 années de prairie artificielle (*Melinis minutiflora*, *Chloris*, *Gayana* ou *Brachiaria brizantha*).

A la suite des résultats obtenus en vase de végétation et des essais agronomiques, on a retenu la fumure de redressement suivante :

150 U.F. P_2O_5 hyperphosphate,

180 U.F. K_2O chlorure de potassium,

2 t/ha dolomie.

Citons pour exemple quelques résultats obtenus en 1970-1971 :

- Les pommes de terre. Variété blanche de France. Des rendements moyens de 102 q/ha (avec pointe de 160) ont été obtenus.
- Le maïs. Avec la variété SR 52 maïs rhodésien blanc, les rendements moyens ont été de 50 q/ha avec des maxima de 77 q/ha.
Avec la variété maïs jaune locale, les rendements sont de 31 q/ha avec des maxima de 61 q/ha.
- Le soja graine, a un rendement de 21 q/ha et en fourrage il est de 120 q/ha.
- Le *Melinis* produit en 2ème année en vert 21 t/ha et en 3ème année 9 t/ha.

Bassin n° 3 : superficie 3,25 ha

Ce bassin, resté sous prairie naturelle, a été brûlé suivant la méthode traditionnelle de "régénération" du pâturage, une fois tous les deux ans, c'est-à-dire en Octobre 1962, 1964 et 1966. En 1968, la dégradation du couvert était telle que les brûlis ont été interrompus.

En Octobre 1973, 1974 et 1975, la mise à feu a été pratiquée. Durant la dernière campagne 1976-1977, ce bassin a été laissé en défens.

AMENAGEMENT TEST DE MANANKAZO (TFT - DRS)

6-11-67

Photo B.E.T.T.

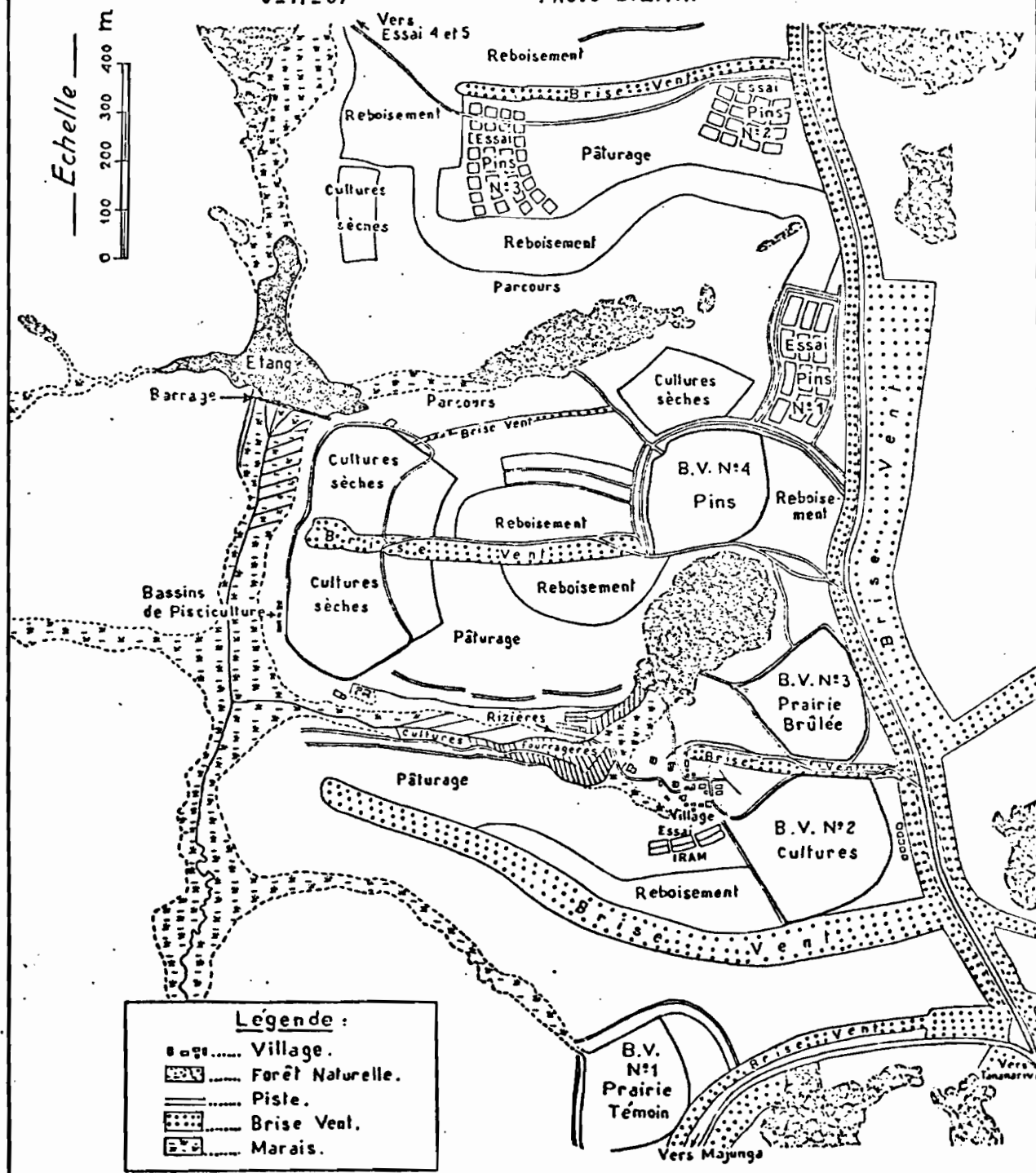


FIG. 4.

Bassin n° 4 : superficie 3,90 ha

A été reboisé en 1963 en *Pinus patula*. La plantation a été réalisée sur billons isohypses préalablement sous-solés à 40 cm de profondeur environ (sous-solage + billonnage) avec une densité de 2.000 arbres à l'hectare. Les plants ont reçu une petite fumure de départ (50 g d'hyperphosphate, 20 g de sulfate de K, 50 g de dolomie et 10 g de perlurée) dans le potet de plantation.

. Réalisation des mesures

Deux observateurs aidés de deux aides sont chargés de suivre les quatre bassins élémentaires.

En ce qui concerne les précipitations, les diagrammes des pluviographes enregistreurs sont changés quotidiennement dans le cas des appareils à déroulement journalier, ou bien l'heure est notée dans le cas des appareils à table de déroulement. Les pluviomètres sont relevés et les résultats sont consignés dans un cahier spécial.

Chaque jour également, les limnigraphes sont équipés d'une nouvelle feuille et le contrôle de la concordance des temps est réalisé par l'observateur qui dispose d'une montre de référence. Si une précipitation entraînant un ruissellement survient, les observateurs et les aides se rendent chacun sur un déversoir et au cours de la crue vérifient le bon fonctionnement du limnigraphe en reportant sur le diagramme les heures et les hauteurs d'eau lues sur l'échelle de crue.

Au cours de la crue, et autant que faire se peut, des prélèvements d'eau sont réalisés à la bouteille et des contrôles de débit sont réalisés à l'aide d'un jaugeage volumétrique. Ces contrôles sont reportés sur des cahiers spéciaux de mesure.

A la fin de la crue, si des transports solides importants ont eu lieu, les dépôts sont mesurés et la cuve à sédiments vidangée. Si les dépôts sont faibles, la vidange et la mesure englobent plusieurs crues.

Lors de la première campagne (1962-1963) quelques crues du début de la saison n'ont pu être saisies par suite d'incidents mécaniques divers ; par la suite, les observations ont donné toute satisfaction.

Le report de toutes ces données est réalisé sur des cahiers spéciaux.

.../...

212 - Expérimentation en parcelles élémentaires (C.T.F.T.)

Le projet prévoyait la mise en place de 5 parcelles élémentaires de 200 m² et une parcelle dite de Wischmeier d'étude de l'érosion maxima.

Les caractéristiques du dispositif de mesure de l'écoulement de surface et des pertes en terres sont les suivantes pour chaque parcelle :

- . 1ère cuve : $\phi = 1,13$ m H = 1,02 m V = 1 m³ = 5 mm
- . partiteur à 9 fentes (l = 1,5 et H = 15 cm)
- . 2ème cuve : parcelle n° 1
 $\phi = 1,26$ m H = 1,02 m V = 57,4 mm
autres parcelles
 $\phi = 1,13$ m H = 1,02 m V = 45,9 mm
- . partiteur à 3 fentes (l = 1,25 et H = 10 cm)
- . 3ème cuve : $\phi = 0,97$ m H = 1,20 m V = 120 mm

Les pentes observées sur ces parcelles sont les suivantes :

P02 = 17 %	P05 = 15,5 %
P03 = 16 %	P06 = 15 %
P04 = 16 %	

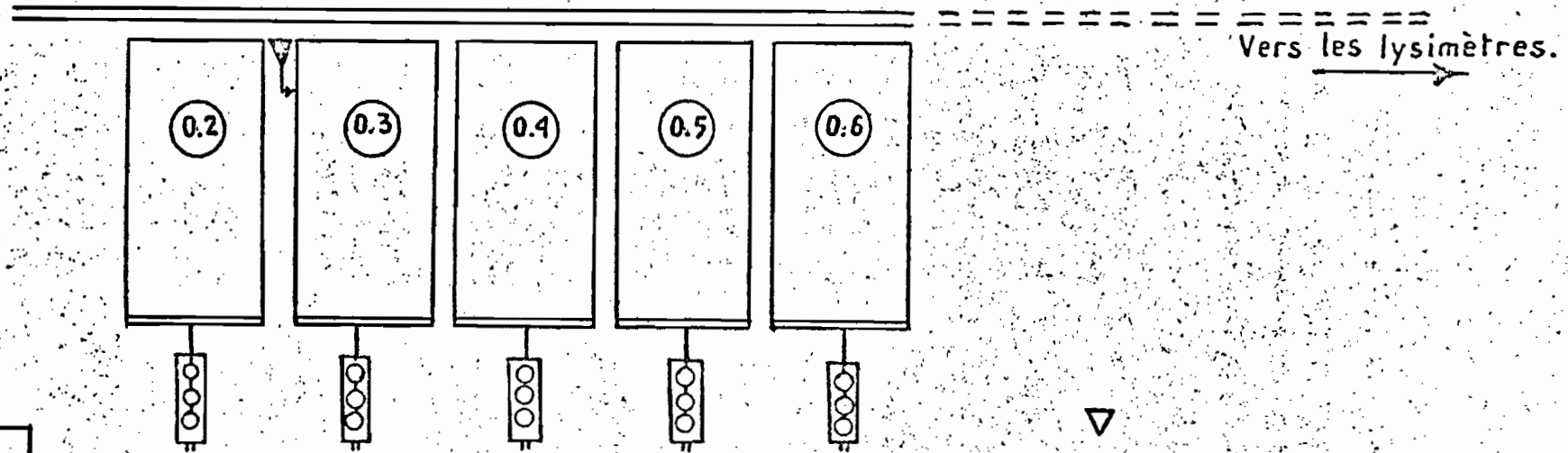
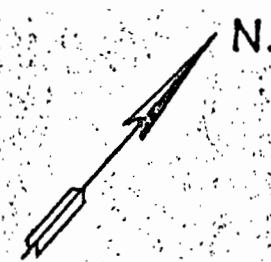
La parcelle d'étude de l'érosion maximum (parcelle Wischmeier) a une superficie de 100 m² (5 mètres sur la courbe, 20 mètres dans le sens de la plus grande pente) ; le canal de réception en maçonnerie n'est pas couvert et le système récepteur est une cuve en maçonnerie de 3 m de longueur, 2 m de largeur et 1 m de profondeur. Le soubassement et le chaînage sont en béton armé. La pente moyenne de la parcelle W est de 12,5 %.

Un hangar en matériaux du pays et socle en maçonnerie a été aménagé pour le stockage de la terre entraînée sur la parcelle W.

Un pluviographe journalier ainsi qu'un pluviomètre complètent le dispositif.

Les parcelles ont été testées durant la campagne 1972-1973 sous couvert naturel, test qui a montré un comportement homogène. Dès la seconde campagne, les parcelles ont subi les différents traitements prévus :

- P2 prairie naturelle brûlée et pâturée
- P3 prairie naturelle brûlée
- P4 prairie naturelle en défens
- P5 prairie naturelle fauchée
- P6 prairie artificielle (Brachiaria)



Légende:

- Station Météo.
- ▼..... Pluviographe.
- ▽..... Pluviomètre.
- ①..... Parcelle Wischmeier
- ②..... Pâturage naturel brûlé + bétail.
- ③..... Pâturage naturel brûlé.
- ④..... Pâturage naturel en défens.
- ⑤..... Pâturage naturel fauché.
- ⑥..... Pâturage artificiel à *Brachiaria brizantha*.



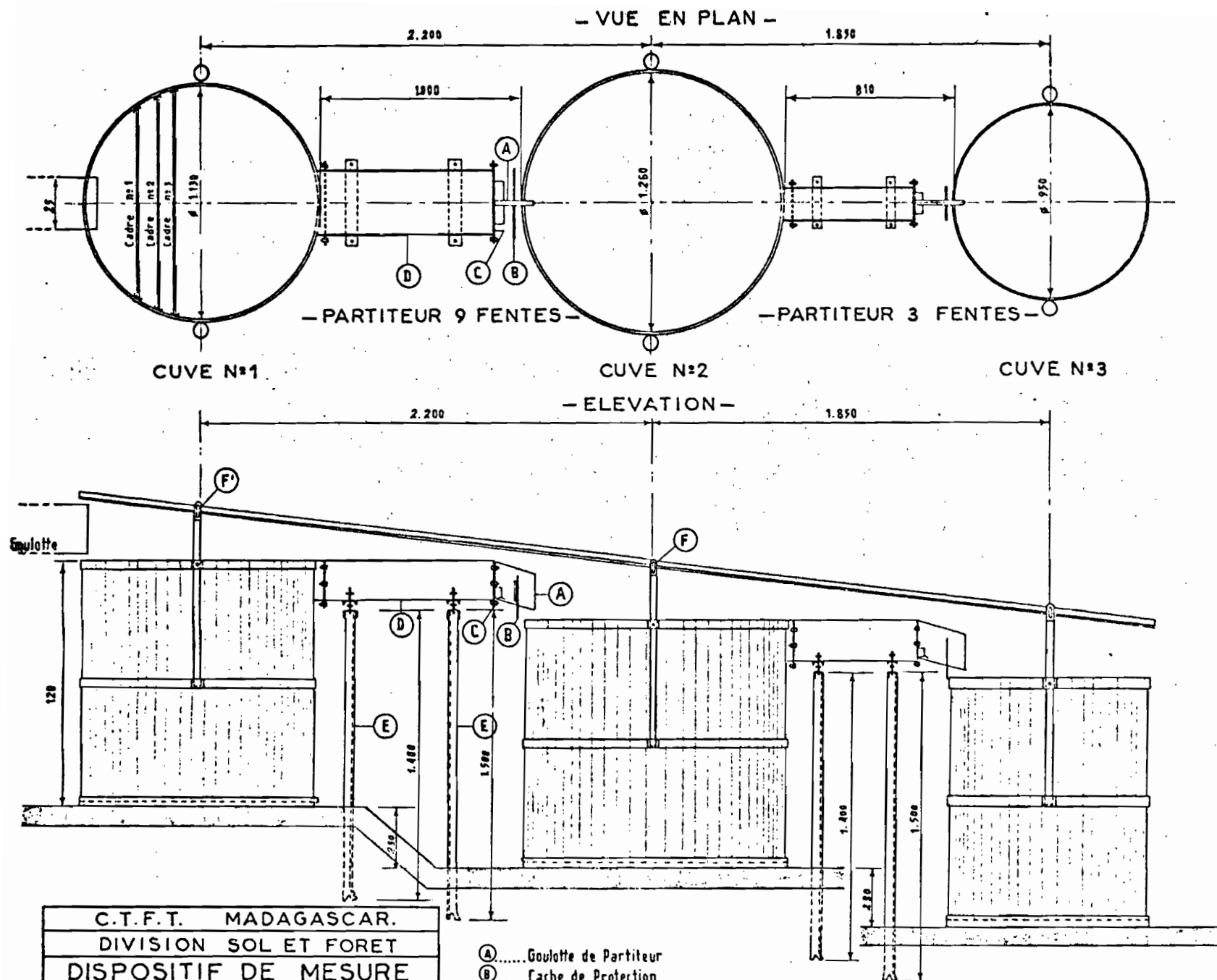
PROJET D.G.R.S.T.

C.T.F.T. MADAGASCAR.

DIVISION SOL ET FORET.

Parcelles élémentaires
MANANKAZO.

Par	Dessin de	Echelle	Date	N°
S. F.	Rakotonjary E	1/500 ^e	25-7-73	055



C.T.F.T. MADAGASCAR.				
DIVISION SOL ET FORET				
DISPOSITIF DE MESURE				
DE L'EROSION				
DISPOSITION DES CUVES				
Par	Dessiné de	Echelle	Date	N°
S. F	R. Jean Louis	1/200 ^e	28-11-78	756

- A.....Goulotte de Partiteur
- B.....Cache de Protection
- C.....Grille du Partiteur (9 fentes)
- D.....Canal du Partiteur
- E.....Support du Partiteur
- F.....Support de Couverture
- F'.....Support de Couverture

213 - Equipement météorologique, mesure de l'humidité dans le sol

Le projet a permis dès 1972 l'équipement d'une station météorologique comprenant un thermomètre à maxima et minima, un thermomètre sec et humide, un évaporomètre Piche, située près des parcelles élémentaires. Par ailleurs un évapotranspiromètre ORSTOM a pu être installé en 1973.

Un certain nombre de tubes d'acier de sondes à neutrons ont été mis en place. Leurs emplacements sont donnés dans le tableau ci-dessous.

B.V. ou Parcelle	Couverture végétale	Tube n°	Profondeur en mètre	Situation des tubes	Période de mesure
P01	Parcelle Wischmeier	01	2,60	mi-pente	Juin 1973 à Juin 1977
P02	Brûlis + bétail	02	2,60	mi-pente	id
P03	Brûlis	03	2,60	mi-pente	id
P04	défens	04	2,60	mi-pente	id
P05	Fauché	05	2,60	mi-pente	id
P06	Brachiaria	06	2,60	mi-pente	id
BV n° 1	Défens	11-12 14	2,60	Centre, bas et haut de bassin	id
		13	5,60	haut de bassin	id
BV n° 2	Cultures	21-22 23	2,60	Prairie artificielle	21-22 06-73/06-77 23 06-73/04-74
		24	2,60	Chemin d'accès	06-73/06-77
		25-26	5,60	Prairie artificielle	25 06-73/12-75 26 06-73/06-77
BV n° 3	Brûlis	31-33	5,60	Centre et haut de bassin	Juin 1973 à Juin 1974
		32-34	2,60	Bas et haut de bassin	
BV n° 4	Reboisement	41-42 43-44	5,60	Centre, bas, Centre et haut de bassin	id
Lys. 509	Brachiaria	91	1,75	Sur cuve lysim. 2 m	id
Lys. 510	Brachiaria	92	1,75	Sur cuve 2 m sans entonnoir	id
-	Brachiaria	93	2,45	Sur sol sans cuve	id

.../...

Les calculs ont été effectués avec une simple calculatrice jusqu'en Juin 1975, ensuite le traitement des données s'est effectué par ordinateur (Faculté des Sciences Tananarive) par l'intermédiaire du L.R.I.

214 - Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage (I.R.A.T.)

La réalisation d'une série de lysimètres, type monolithe (modèle ROOSE) de 63,6 cm de diamètre, a été entreprise dès le premier contrat par l'I.R.A.T.

Ainsi 10 lysimètres ont été installés à flanc de colline à proximité des parcelles d'érosion du C.T.F.T.

- 2 témoins de 1 mètre sous végétation naturelle,
- 2 de 1 mètre sous sol nu,
- 2 de 1 mètre sous prairie artificielle de Brachiaria,
- 1 de 1,50 m sous prairie artificielle de Brachiaria,
- 1 de 2 mètres sous prairie artificielle de Brachiaria,
- 2 de 2 mètres associés à 3 tubes pour sonde à neutrons afin d'étudier l'influence propre du lysimètre sur le drainage (un lysimètre avec tube, un lysimètre sans fond avec tube, un tube à l'extérieur du lysimètre).

Alors que depuis le début de l'installation de l'expérimentation, le sommet des lysimètres était légèrement enterré, de façon à ne pas gêner le ruissellement, à partir de la campagne 1975-1976, il a été décidé de munir chaque lysimètre d'une couronne dépassant le niveau du sol, de telle sorte que le ruissellement soit éliminé.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire du GERDAT à Montpellier.

215 - Etude de la couverture naturelle graminéenne et son évolution (I.E.M.V.T.)

Ces études ont porté à Manankazo sur les quatre points suivants :

• Productivité du pâturage naturel

Sur cette station ont été menées :

- l'étude de la productivité primaire par l'évolution annuelle de la biomasse et des possibilités de regain,
- l'étude de la productivité de la deuxième coupe après feu et fauchage,
- l'étude de la productivité maximum correspondant à une exploitation intensive, (coupes répétées),
- les études de bromatologie.

• Dynamique du pâturage naturel à Manankazo

Les études ont commencé en 1973 au moyen de relevé de végétation linéaire et de surface (relevé projection).

• Biologie du Loudetia simplex stipoïdes

Cette étude a débuté en Mars 1974 sur le terrain et au laboratoire.

• Etude des conséquences du surpâturage des regains après feu

Sur le ruissellement et sur l'état de la végétation et l'évolution du couvert végétal. Cette expérience concerne les parcelles élémentaires 2 et 3.

Le faciès dégradé a été observé au niveau des parcelles élémentaires ; 4 traitements ont été étudiés :

- parcelle 02 (pente 17 %) : feu + bétail (expérience de surpâturage des regains après feu),
- parcelle 03 (pente 16 %) : feu (témoin de l'expérience précédente),
- parcelle 04 (pente 16 %) : défens,
- parcelle 05 (pente 15,5 %) : fauche (à la cisaille).

Comme à Ambatomainy, les relevés points-quadrats ont été effectués sur une diagonale (soit 110-115 points), de 1973 à 1975 et sur deux diagonales (soit 220-230 points) en 1976.

D'autre part, un "carré permanent" (n° 13) a été suivi à proximité sous traitement défens.

Le faciès représentatif de cette station a été observé au niveau des bassins versants ; deux traitements ont été étudiés :

- bassin versant n° 1 : défens
- bassin versant n° 3 : feu + bétail (expérience du surpâturage des regains après feu).

Les relevés points-quadrats ont été effectués à raison de 5 lignes de 10 m (soit 5 x 50 points) réparties sur chaque bassin (250 points).

D'autre part, 2 "carrés permanents" pour relevés-projection ont été installés sur chaque bassin : n° 7 et 8 sur BV. 1, n° 9 et 10 sur BV. 3.

22 - A Ambatomainty

Le projet prévoyait que dans le cadre d'un paysage agricole, on étudierait le bilan de l'eau dans une vallée aménagée selon les principes du Service de la Conservation des Sols, en comparaison avec ce qui se passe dans une vallée exploitée selon les méthodes traditionnelles. Conformément au programme établi, les deux vallées ont été reconnues et choisies sur le Haut Bassin de la Sisaony et dès 1973 l'équipement des bassins pouvait être entrepris, leur étalonnage puis l'aménagement de l'un d'eux réalisés.

221 - Reconnaissance, cartographie et aménagement des bassins versants (C.T.F.T. - I.R.A.T.) (Bassin Nord : 29 ha, Bassin Sud : 26 ha)

Après reconnaissance et choix des bassins, une cartographie a été réalisée ainsi qu'une étude pédo-agronomique (1). Celle-ci, terminée début 1973 par l'I.R.A.T., permettait de démarrer les aménagements sur le bassin Nord. Ceux-ci, définis à partir de la cartographie d'utilisation des sols et selon les méthodes de mise en valeur préconisées par le Service de la Conservation des Sols de la République Malgache, ont porté essentiellement sur (voir croquis) :

- Bas-fonds : les travaux d'aménagement des rizières ont été terminés en Octobre 1974. La totalité des rizières a été plantée depuis cette date. Plusieurs variétés ont été testées, mais l'évolution insuffisante de la tourbe n'a pas encore permis d'obtenir des bons rendements. Superficie totale du bas-fond : 2,5 ha dont 2 ha de rizières.

- Colluvions : en 1973, 70 arbres fruitiers ont été plantés et sont depuis entretenus. Des fourrages à hauts rendements (*Pennisetum purpureum*) permettent d'obtenir une réserve suffisante pour l'entretien d'un troupeau (7 animaux). Superficie des colluvions : 40 ares dont 25 ares plantés en arbres fruitiers.

- Pente inférieure à 15 % : des cultures avec aménagements anti-érosifs ont été réalisées en 1973 (5 ha), une courbe sur deux. En 1974, l'ensemble a été labouré et mis en culture. La fumure de fond employée était à l'hectare de 2 t de Dolomie, 700 kg de P_2O_5 et 180 kg de K_2O .

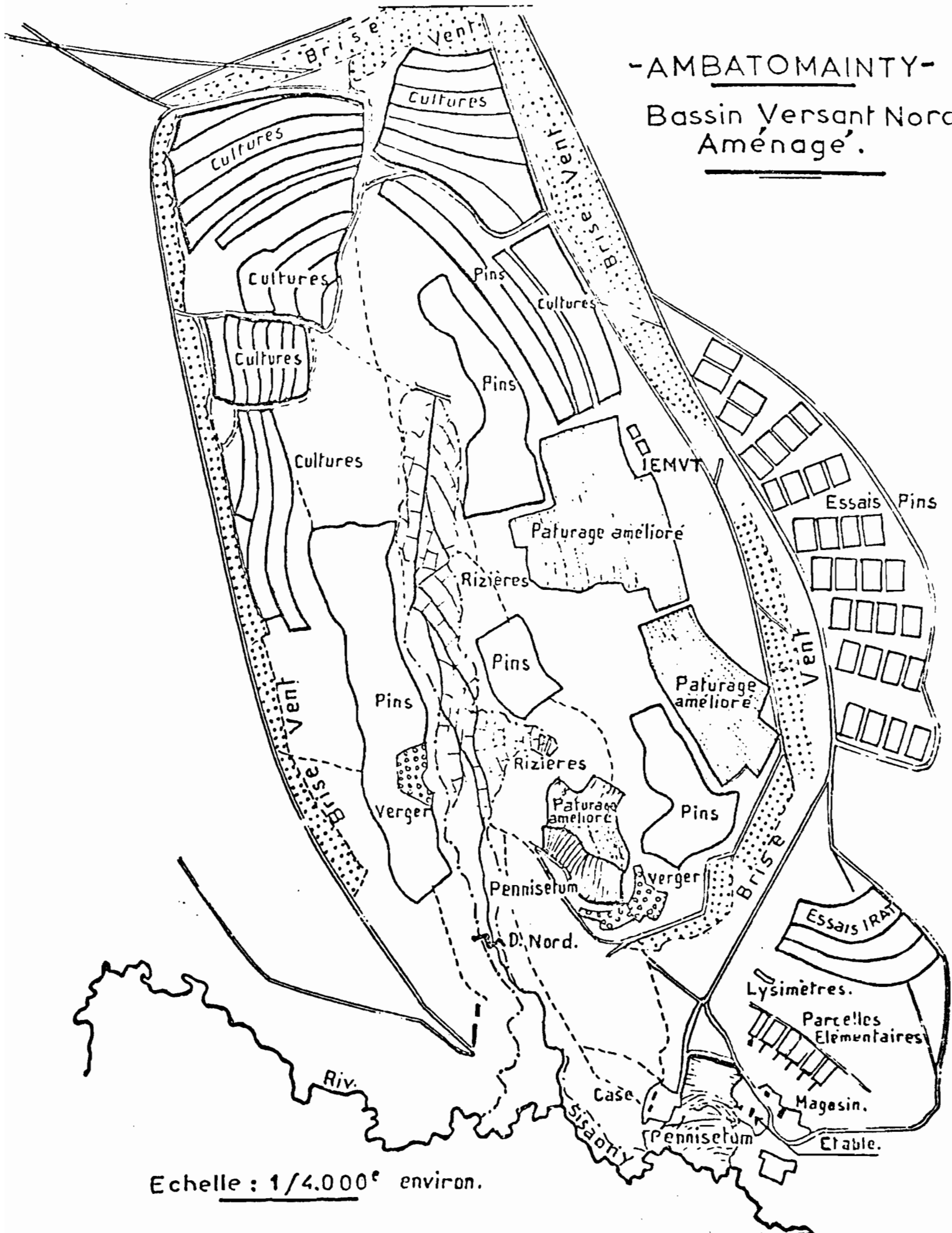
Les cultures mises en place l'ont été en fonction d'une rotation conservatoire faisant intervenir notamment le maïs, soja et pomme de terre dans laquelle les cultures fourragères tiennent une place importante.

Des résultats obtenus, on peut conclure qu'il faut retenir cette formule à condition de remplacer le soja par le haricot et rechercher des variétés plus adaptées au froid que celles utilisées notamment pour le maïs (SR 52).

(1) L'étude pédologique de la station d'Ambatomainty a été effectuée en Août 1972, réalisée à l'échelle au 1/5.000, elle a porté sur 70 hectares.

-AMBATOMAINTY-

Bassin Versant Nord
Aménagé.



Echelle : 1/4.000^e environ.

Les rendements obtenus sont les suivants :

Les pommes de terre variété Blanche de France produisent des rendements moyens de 100 quintaux avec des pointes de 200 quintaux à l'hectare.

Le maïs : la variété S.R. 52 permet d'obtenir jusqu'à 42 quintaux à l'hectare et la variété locale un peu plus de 30 quintaux à l'hectare.

Le soja-graine, variété Davis, donne des rendements de l'ordre de 5 quintaux à l'hectare et ne peut être retenu, du moins dans la variété utilisée.

Le blé, variété Tobary, donne des rendements supérieurs à 10 quintaux à l'hectare.

Le Chloris et le Mélinis produisent en moyenne de 150 à 200 quintaux par hectare et par an de fourrage en vert.

- Pente inférieure à 25 % : des bandes labour d'un mètre pour deux laissées en l'état ont été effectuées dans la partie Nord-Ouest du bassin. Semées en Brachiaria et en Mélinis après fertilisation de redressement, elles permettent l'amélioration de terrains de parcours (superficie 3 ha).

- Pente supérieure à 25 % : environ 8.000 pins (3 ha) (Pinus patula et kesiya) ont été plantés en Janvier 1974 sur trouaison avec une fertilisation de 150 g d'hyperphosphate et 50 g de sulfate de potasse par trou. En Novembre 1977, il a été apporté 150 g d'engrais complet NPK 13.13.20 en surface autour de chaque plan afin d'accélérer la croissance des reboisements.

De plus, un brise-vent périmétral continu a été planté en Janvier 1974. Il est constitué par une rangée de Cupressus lusitanica et trois rangées de Pinus patula. La plantation a été réalisée sur sous-solage-billonnage avec apport de 150 g de PK 21-16 et 10 g de Perlurée, au trou de plantation. Ne jouant aucun rôle dans le bilan hydrique, il n'a pas reçu d'apport complémentaire d'engrais.

Afin de connaître la production à attendre des reboisements dans l'optique de la mise en valeur de cette région, et dans le cadre de plantations en cours dans le Vakinkaratra, 2 essais sylvicoles portant sur les pins et les eucalyptus ont été implantés en bordure des bassins.

- Pare-feu, matérialisation des limites de bassins

Les deux bassins ont été délimités au bulldozer permettant à la fois de créer des voies d'accès et des pare-feu. Ceux-ci sont soigneusement entretenus, dégagés de toute végétation et, par mesure de précaution, on brûle à l'extérieur des bassins une bande de dix mètres de large. En dépit des feux de brousse presque annuels (en Octobre-Novembre), les bassins ont été épargnés depuis Novembre 1973, date du feu accidentel sur le bassin Sud et la partie Sud du bassin Nord.

222 - Equipement des bassins versants (ORSTOM)

. Les dispositifs de mesures en réseau

- Le contrôle des apports : un premier réseau pluviométrique composé de 12 pluviomètres installés à mi-pente des versants, a été complété dès Avril 1973 (3 pluviomètres de crête), après que certaines hétérogénéités aient été décélées.

Un système de pluviomètres au sol et inclinés parallèlement aux pentes a été également mis en place et suivi au cours de la saison des pluies 1975-1976.

Quatre pluviographes complétaient le dispositif en vue des essais de simulation analytique de ruissellement.

- Le contrôle de l'eau dans la zone non saturée : seize tubes de sondes répartis sur les deux bassins ont permis l'étude à l'humidimètre à neutrons des variations hebdomadaires des teneurs en eau dans la zone non saturée.
- Le contrôle de la nappe : les battements de l'aquifère (nappe d'arène dont le drainage s'effectue par les deux cours d'eau) ont été suivis à partir d'un réseau de 20 piézomètres, complété en 1975 après l'aménagement du bas-fond (échelles limnimétriques sur retenue et aval rizières).
- Le contrôle des débits de sortie : deux déversoirs avec limnigraphes pour le contrôle permanent des écoulements équipent les bassins. Bien que pré-étalonnés, ils ont fait l'objet d'étalonnages de contrôle direct sur le terrain tant pour les hautes eaux (1972-1973) que pour les basses eaux (1975).

Les transports solides par suspension sont mesurés par pesage du résidu sec réalisés à partir des prélèvements liquides dont la représentativité a été testée et effectués lors de chaque crue.

Les charriages de fond sont retenus dans les fosses à décantation directement en amont des déversoirs.

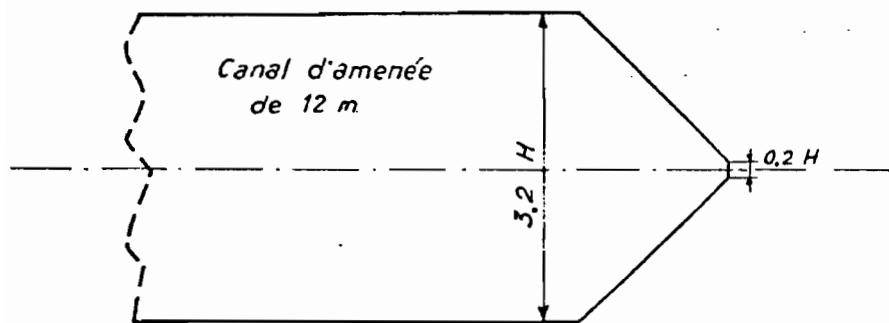
. Les mesures ponctuelles

- Mesures d'évaporation : une station évaporométrique est installée depuis Mars 1973, équipée en vue des mesures de température, d'humidité, d'évaporation et d'évapotranspiration sur bacs.
- Mesures d'humidité : un humidimètre neutronique de surface en vue de la détermination des conditions d'humectation des sols a été utilisé au cours de la période 1974-1976.
- Evaluation des transferts d'eau dans la zone non saturée : en collaboration avec l'I.R.A.T. et le L.R.I. et sur la parcelle 60† (lysimètres sous pâturage naturel), 3 tubes de sonde à neutrons, des pluviomètres au sol et une batterie de tensiomètres ont été placés et suivis au cours de la saison des pluies 1975-1976.

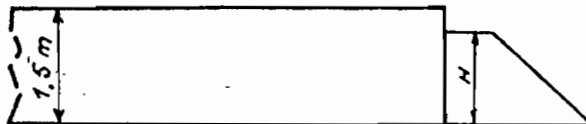
B.V.E. D'AMBATOMAINTY

SCHEMA DES DEVERSOIRS

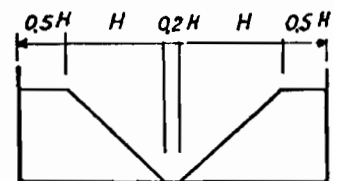
Vue de dessus



Elévation



Vue de face

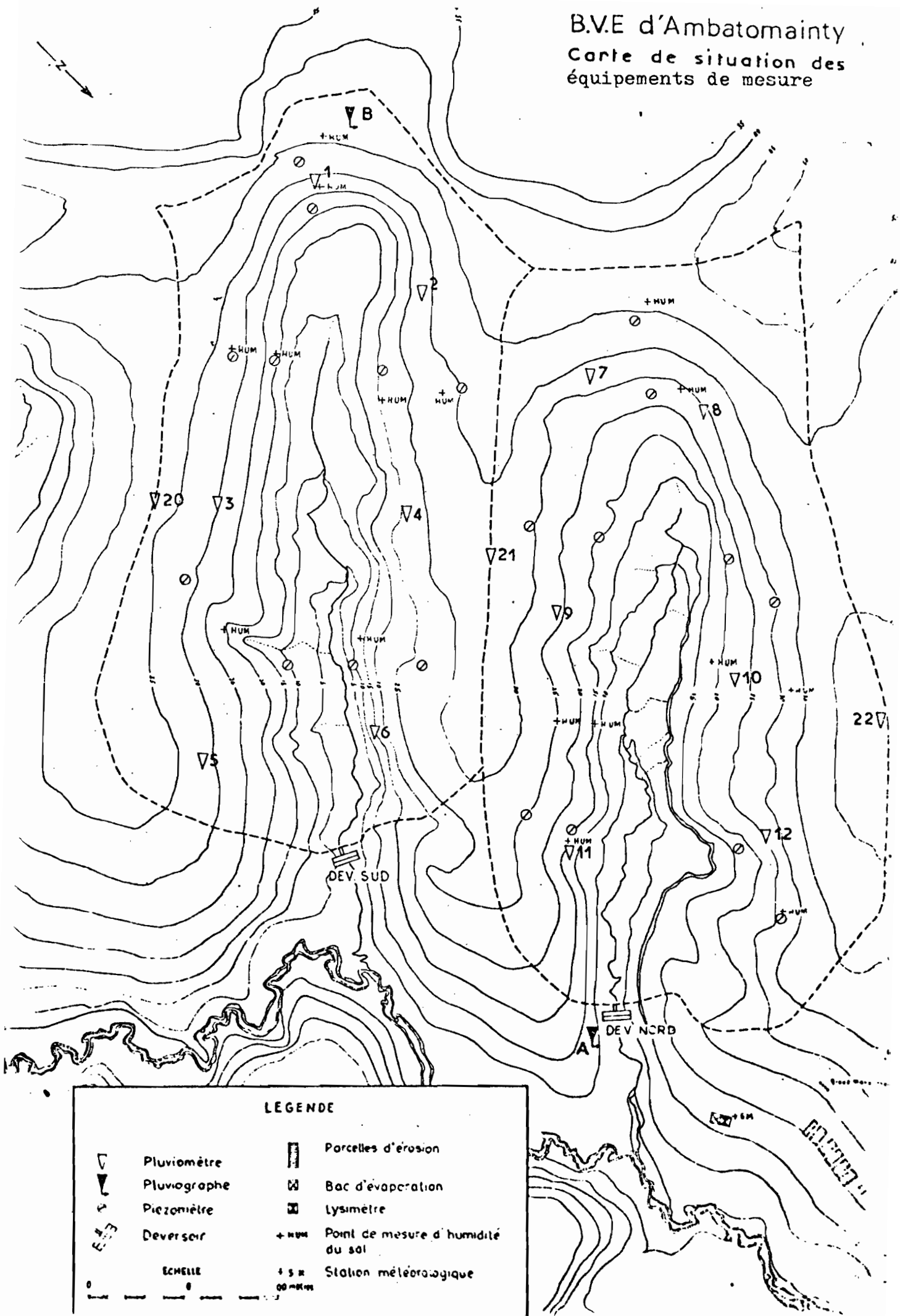


$$H = 4 \text{ pieds } \approx 1,22 \text{ m}$$

$$Q_{\max} = \text{environ } 3,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

B.V.E d'Ambatomainity

Carte de situation des équipements de mesure



- contrôle de la physico-chimie des eaux : la conductivité des eaux a été contrôlée très régulièrement et un certain nombre d'analyses chimiques (Ca, Mg, Na, K, Cl) effectué sur les eaux d'écoulement, ainsi que sur les eaux de nappe et certains sédiments des fosses.

. La détermination des caractéristiques physiques des bassins

Deux photo-restitutions (avant et après aménagement) ont été réalisées avec un bureau d'études privé après une campagne de nivellement qui a permis en particulier le rattachement des différents piézomètres.

. Extension des dispositifs de mesures

En vue d'une mise en valeur régionale de cette zone, une extension de certains dispositifs a été engagée en 1975 :

- contrôle du poste d'Alatsinainy-Bakaro dont les premières observations pluviométriques remontent à 1947 ;
- contrôles limnimétriques sur la Sisaony à Ambatomainy et à Andramasina.

223 - Expérimentation en parcelles élémentaires (C.T.F.T.)

Les caractéristiques des dispositifs expérimentaux mis en place sont les mêmes qu'à Manankazo (voir 212). Les parcelles mises en place en 1972 ont été testées durant la première campagne puis ont subi les différents traitements ci-dessous :

- P2 prairie naturelle en défens
- P3 prairie naturelle fauchée
- P4 prairie naturelle brûlée
- P5 prairie artificielle (brachiaria)
- P6 cultures en assolement

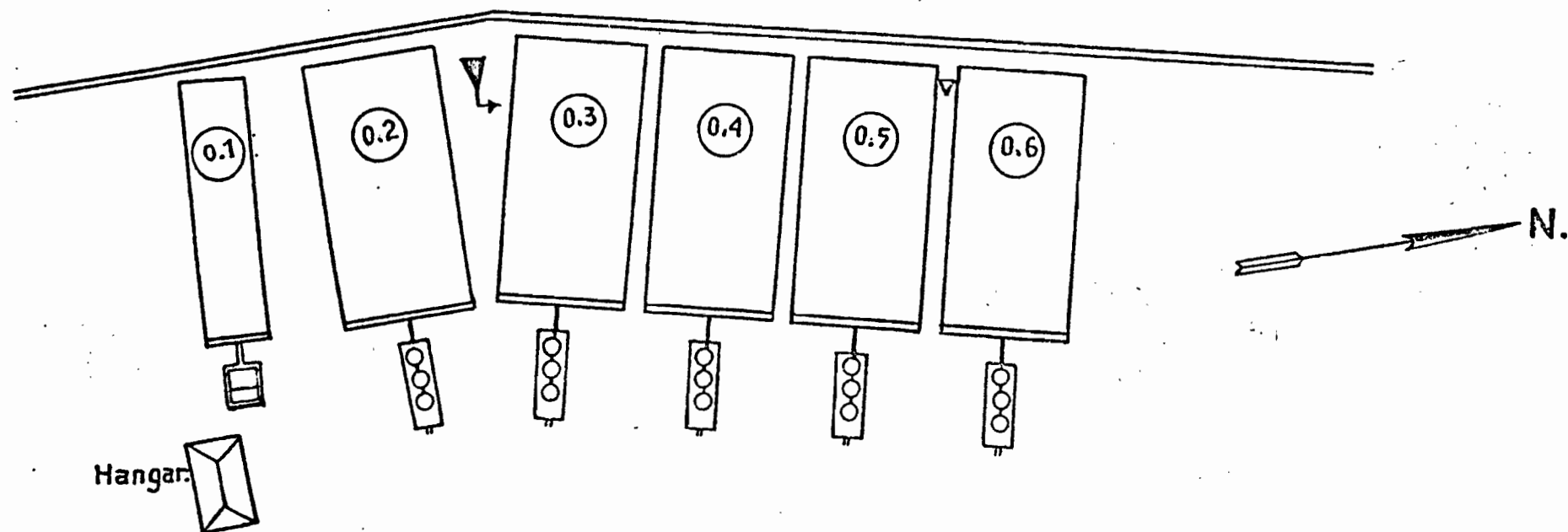
Par ailleurs, une parcelle d'étude de l'érosion maxima (dite parcelle Wischmeier) a été installée.

224 - Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage (I.R.A.T.)

Près des parcelles du C.T.F.T., 4 lysimètres de 1 m de profondeur ont été mis en place, dont 2 témoins maintenus sous végétation naturelle et 2 sous prairie artificielle de Brachiaria et Chloris mélangés semée en Janvier 1974 après fumure de redressement (2 t de Dolomie, 2 t d'hyperphosphate, 200 kg de chlorure de potasse à l'hectare).

Les lysimètres ont subi la même modification qu'à Manankazo à partir d'Octobre 1975 (mise en place d'une couronne dépassant la surface du sol de 20 cm supprimant ainsi le ruissellement).

Les analyses ont été effectuées au laboratoire du GERDAT à Montpellier.



Légende:

▼.....Pluviographe. ▽.....Pluviomètre.

①.....Parcelle Wischmeier.

②.....Pâturage naturel en défens.

③.....Pâturage naturel fauché.

④.....Pâturage naturel brûlé.

⑤.....Pâturage artificiel à *Brachiaria brizantha*.

⑥.....Culture en assollement.

PROJET D.G.R.S.T.

C.T.F.T. MADAGASCAR.

DIVISION SOL ET FORET.

Parcelles élémentaires
AMBATOMANTY.

Par	Dessin de	Echelle	Date	N°
S. F.	Rakoloniary E.	1/500 ^e	24-7-73	359

225 - Etudes pédoagronomiques (I.R.A.T.)

Au cours de l'année 1974-1975, l'I.R.A.T. a procédé à la mise en place de trois essais de fertilisation sur maïs à Ambatomainy :

- 1 essai azote à dose croissante (0 - 150 - 300 - 400 kg d'urée par hectare) avec divers fractionnements de la dose :
150 kg d'urée - (67,5 kg N),
- 1 essai phosphore à dose croissante (0 à 600 kg/ha) de phosphore sous forme soluble ou non soluble (hyperphosphate Reno et phosphate d'ammoniaque),
- 1 essai dolomie x potasse ou factoriel 3 doses de dolomie (0-500 et 2.000 kg/ha) x 3 doses de K_2O (0-30 - 90 kg/ha).

Ces essais ont été répétés lors de la campagne 1975-1976.

226 - Etude de la couverture naturelle graminéenne et son évolution (I.E.M.V.T.)

L'étude de la couverture végétale a porté sur les points suivants :

. Inventaire floristique du bassin Sud

Les déterminations ont été effectuées avec l'aide du service botanique DGRST-ORSTOM en fonction des cycles. Les échantillons ont été intégrés dans l'herbier du Service Agrostologie du DRZ du CENRADERU.

. Dynamique du pâturage naturel

Comme à Manankazo, la dynamique du couvert graminéen a été étudiée. Sur cette station, les observations n'ont concerné, à défaut des bassins versants dont les "carrés permanents" de mesures ont fait l'objet d'accidents divers, que les parcelles élémentaires d'érosion-ruissellement. Trois traitements ont été étudiés :

- parcelle 02 (pente 12,7 %) = défens (témoin)
- parcelle 03 (pente 12,8 %) = fauche (à la cisaille)
- parcelle 04 (pente 13,5 %) = feu

Les relevés points-quadrats alignés ont été effectués sur une diagonale (D1) de la parcelle de 20 x 10 m, soit 22 m ou 110-115 points, de 1973 à 1975, et sur deux diagonales (D1 + D2) soit 44 m ou 220-230 points en 1976.

. Participation à l'aménagement du bassin versant Nord

L'I.E.M.V.T. a par ailleurs mis en place et suivi :

- un essai comparatif de fourragères à haut rendement sur trois variétés de Pennisetum purpureum, installé sur billons fertilisés,
- un essai d'introduction de Desmodium intortum et de Lotononis bainesii,
- des introductions d'espèces nouvelles : en tout 10 espèces fourragères pérennes (4 graminées et 6 légumineuses) ont été introduites sur parcelles expérimentales de 30 m²,
- l'amélioration du pâturage naturel par le brachiaria brizantha et le melinis minutiflora après fertilisation.

3 - RESULTATS - ANALYSE - INTERPRETATION

31 - Etude du ruissellement et de l'érosion

311 - Sur la station de Manankazo

311.1 - Expérimentation en bassins versants

L'expérimentation démarrée en 1963 a donc été poursuivie jusqu'en 1977. Déjà en 1974, un premier bilan des résultats avait été fait et publié alors dans les Cahiers Scientifiques du C.T.F.T.

Rappelons tout d'abord la situation des bassins comparatifs :

- N° 1 : témoin laissé en l'état sous couvert naturel graminéen à base de *Loudetia madagascariensis*.
Surface = 3,18 ha.
- N° 2 : aménagé en cultures selon les techniques de conservation des eaux et du sol.
Surface = 4,77 ha
- N° 3 : couvert naturel graminéen soumis à l'exploitation traditionnelle par le feu.
Surface = 3,25 ha jusqu'en 1973, réduite à 3,17 ha depuis cette date.
(dates du brûlis : Octobre 1962 - Octobre 1964 - Octobre 1966 - Octobre 1973 - Octobre 1974 - Octobre 1975).
- N° 4 : reboisé en *Pinus patula* planté sur billons isohypses en 1963. Détruit par un incendie en Octobre 1975 (arbres toujours sur pied).
Surface = 3,9 ha.

• Etude de l'influence du couvert sur le ruissellement superficiel

La moyenne du ruissellement global annuel observé durant les 15 années est la suivante :

	Pluviométrie moyenne en mm	B.V. 1 P. en défens			B.V. 2 Cultures			B.V. 3 P. brûlées		B.V. 4 Reboisement		
		Vol. mm	Coef. %	% BV.3	Vol. mm	Coef. %	% BV.3	Vol. mm	Coef. %	Vol. mm	Coef. %	% BV.3
Moyenne 1962-77	1.807,3	122,9	6,8	51,7	47,3	2,6	19,9	237,6	13,1	33,5	1,9	14,1

.../...

On a aussi fait apparaître dans ce tableau le pourcentage du ruissellement par rapport à celui observé sur le bassin n° 3.

L'ensemble des observations annuelles est reporté dans le tableau annexe n° 1.

De l'observation de ce tableau et du graphique, on peut dégager quelques conclusions :

- Tout d'abord, la part ruisselée par rapport à la quantité de pluie précipitée est relativement faible (sur 15 campagnes, 6,8 % sur le témoin, 2,6 % sur le bassin mis en culture, 13,1 % sur le bassin brûlé, 1,9 % sur le bassin reboisé).
- Le bassin brûlé (bien que les feux aient été interrompus par suite de l'état de dégradation de la végétation) est soumis à un ruissellement global double de celui du bassin en défens (13,1 % contre 6,8 %).
- La mise en culture rationnelle et le reboisement diminuent très sensiblement le ruissellement.

Il est également intéressant d'étudier les ruissellements instantanés ; pour ce faire, le tableau ci-dessous traduit le classement des "crues" (ruissellement supérieur à 1 % de la pluviométrie de l'averse) observées sur les quatre bassins durant les 15 ans (voir aussi graphique) :

Nb. de ruissellements sup. (1962 - 1977)	50 %	20 %	10 %	5 %	1 %
B.V. 1 Prairie en défens	4	62	116	145	178
B.V. 2 Cultures	0	9	32	80	181
B.V. 3 Prairie brûlée	24	154	235	291	347
B.V. 4 Reboisement	0	9	15	30	98

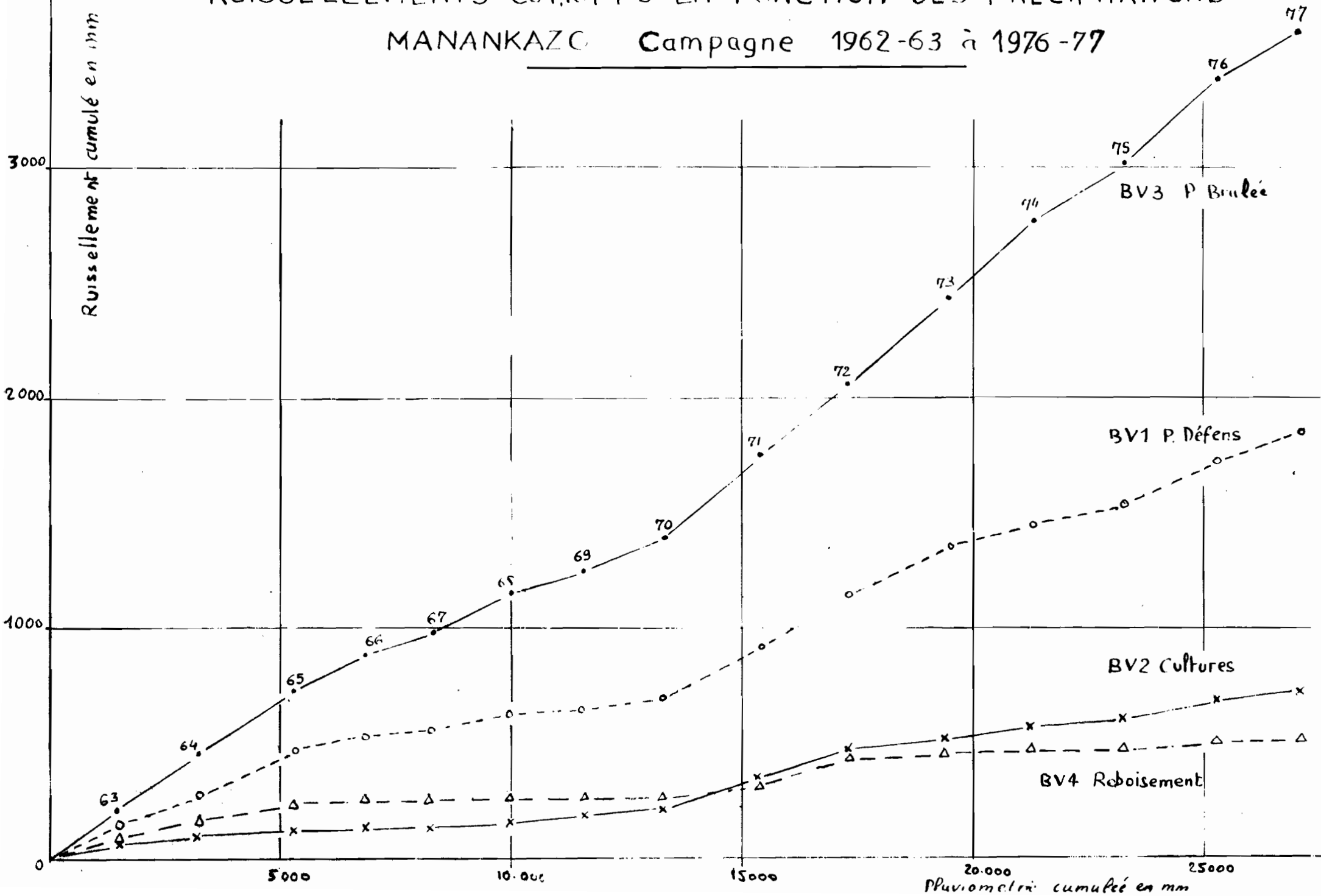
L'importance de la couverture végétale sur la nature du ruissellement apparaît nettement : on voit que si sur les bassins aménagés (culture et reboisement) on n'observe jamais de ruissellement supérieur à 50 %, par contre on en observe 24 sur la prairie brûlée et 4 sur le bassin mis en défens.

La même observation peut se faire si l'on étudie le classement en fonction de la hauteur de la lame d'eau ruisselée. Les résultats sont représentés en % du nombre total de ruissellements supérieurs à 1 mm enregistrés au B.V. 3.

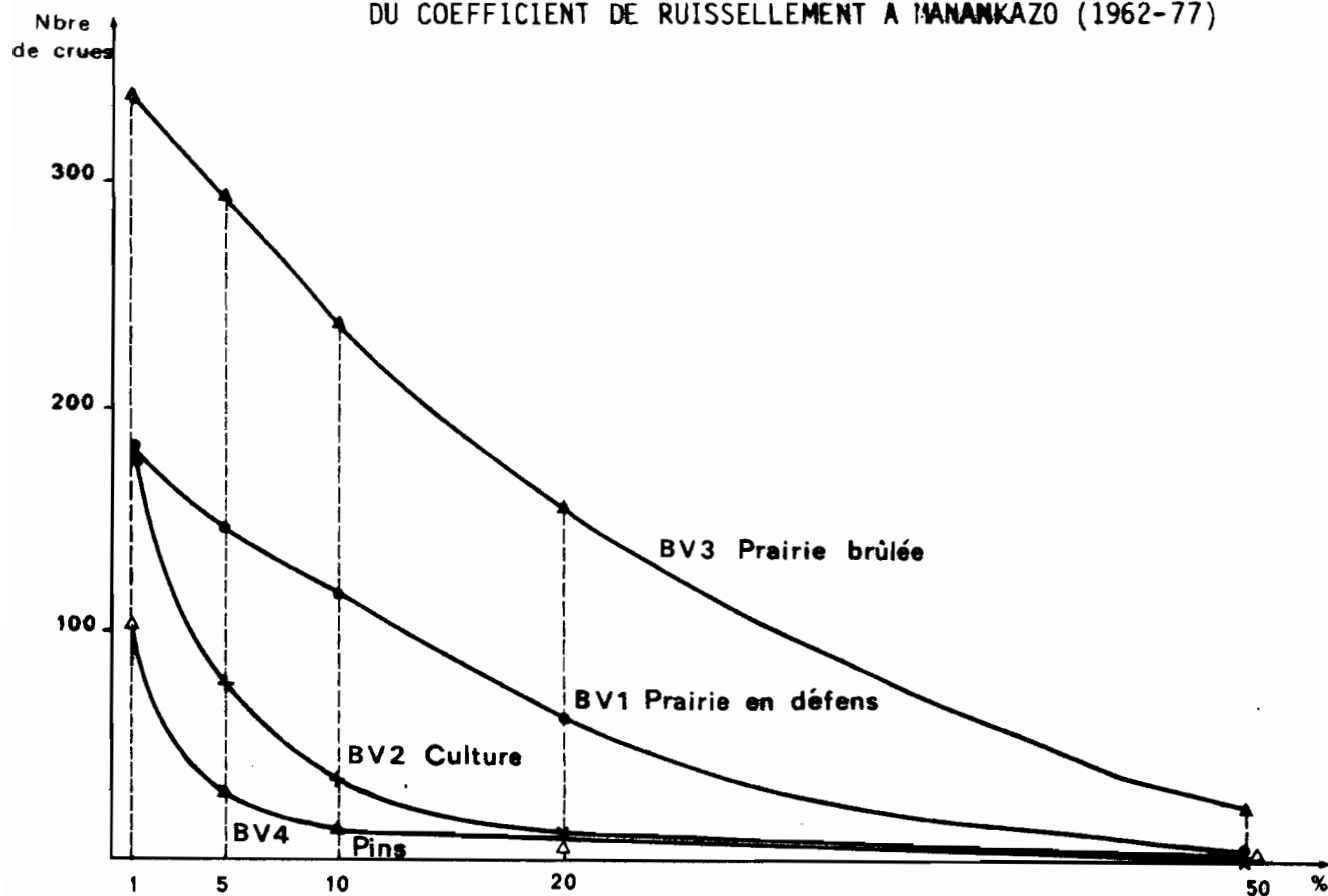
.../...

RUISSELLEMENTS CUMULÉS EN FONCTION DES PRÉCIPITATIONS

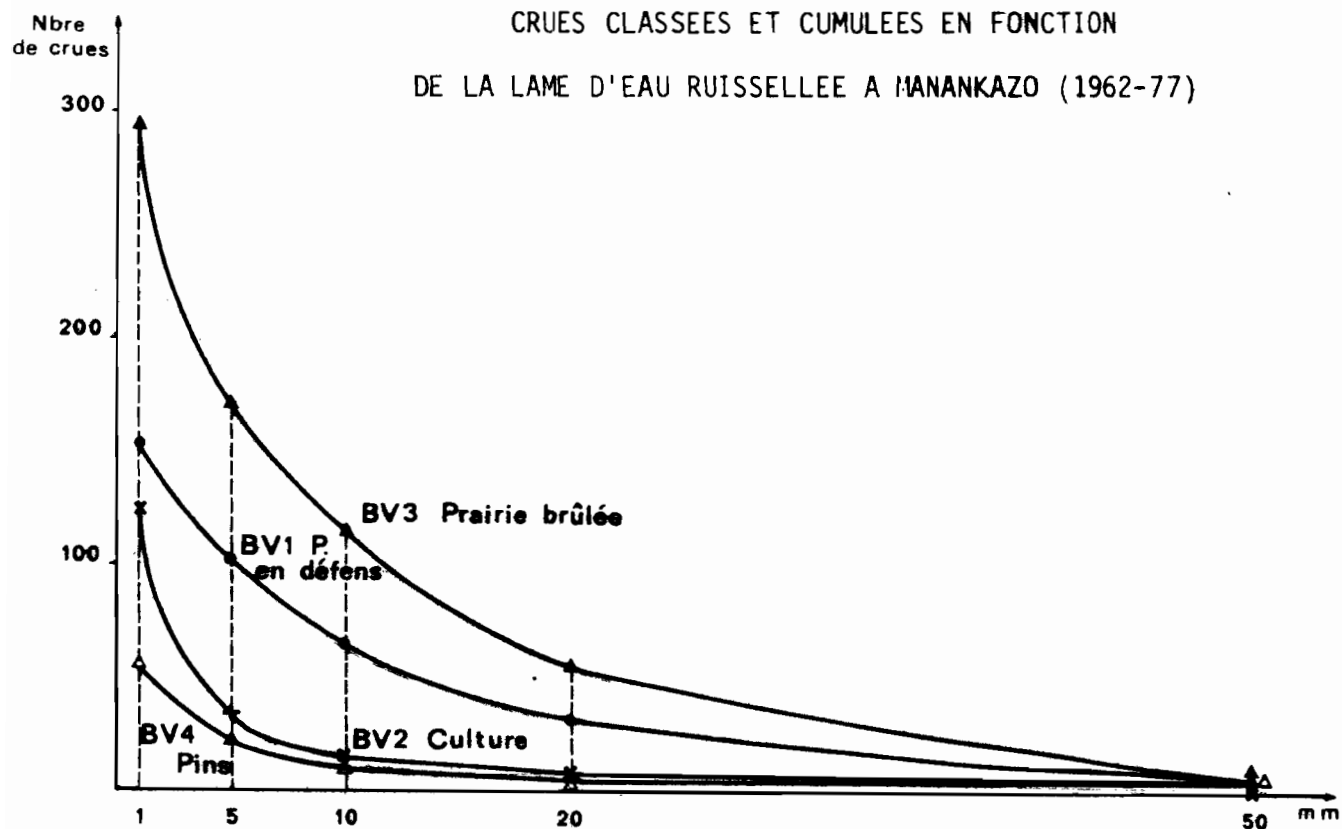
MANANKAZO Campagne 1962-63 à 1976-77



CRUES CLASSEES ET CUMULEES EN FONCTION
DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT A MANANKAZO (1962-77)



CRUES CLASSEES ET CUMULEES EN FONCTION
DE LA LAME D'EAU RUISSELLEE A MANANKAZO (1962-77)



% du nb. de ruissellements supérieurs (1962-1977)	à 50 mm	à 20 mm	à 10 mm	à 5 mm	à 1 mm
B.V. 1 Prairie en défens	1	10	21	34	52
B.V. 2 Cultures	1	2	4	10	42
B.V. 3 Prairie brûlée	3	17	39	57	100
B.V. 4 Reboisement	0	2	4	7	19

Mais ce qui est plus important encore que la lame d'eau ruisselée, c'est la valeur maximale du débit atteinte annuellement sur chacun des couverts. Au cours des 15 années, les valeurs maximales des pointes de crue observées sur les différents bassins ont été les suivantes :

- B.V. 1 Prairie en défens : 201 l/s/ha (1973-74)
- B.V. 2 Cultures : 119 l/s/ha (1970-71)
- B.V. 3 Prairie brûlée : 287 l/s/ha (1974-75)
- B.V. 4 Reboisement : 90 l/s/ha (1962-63)

Soit des valeurs deux fois plus fortes sur prairie naturelle que sur un aménagement, et trois fois plus fortes sur prairie brûlée.

Si l'on classe les valeurs maximales annuelles atteintes par les débits de pointe de crue et en prenant pour fréquence au dépassement la valeur $\frac{n-1}{N}$ où n est le rang et N le nombre d'années (cf. annexe n° 2), on obtient sur papier Gausso-logarithmique 4 droites de corrélation. On pourra en déduire la valeur décennale pour $\frac{n-1}{N} = 0,1$, centenaire $\frac{n-1}{N} = 0,01$. (Voir graphique).

Les valeurs obtenues deviennent, pour les crues centenaires :

- B.V. 1 Prairie en défens : 245 l/s/ha
- B.V. 2 Cultures : 195 l/s/ha
- B.V. 3 Prairie brûlée : 400 l/s/ha
- B.V. 4 Reboisement : 205 l/s/ha

• Etude de l'influence du couvert sur les pertes en terre

Pertes en éléments lourds

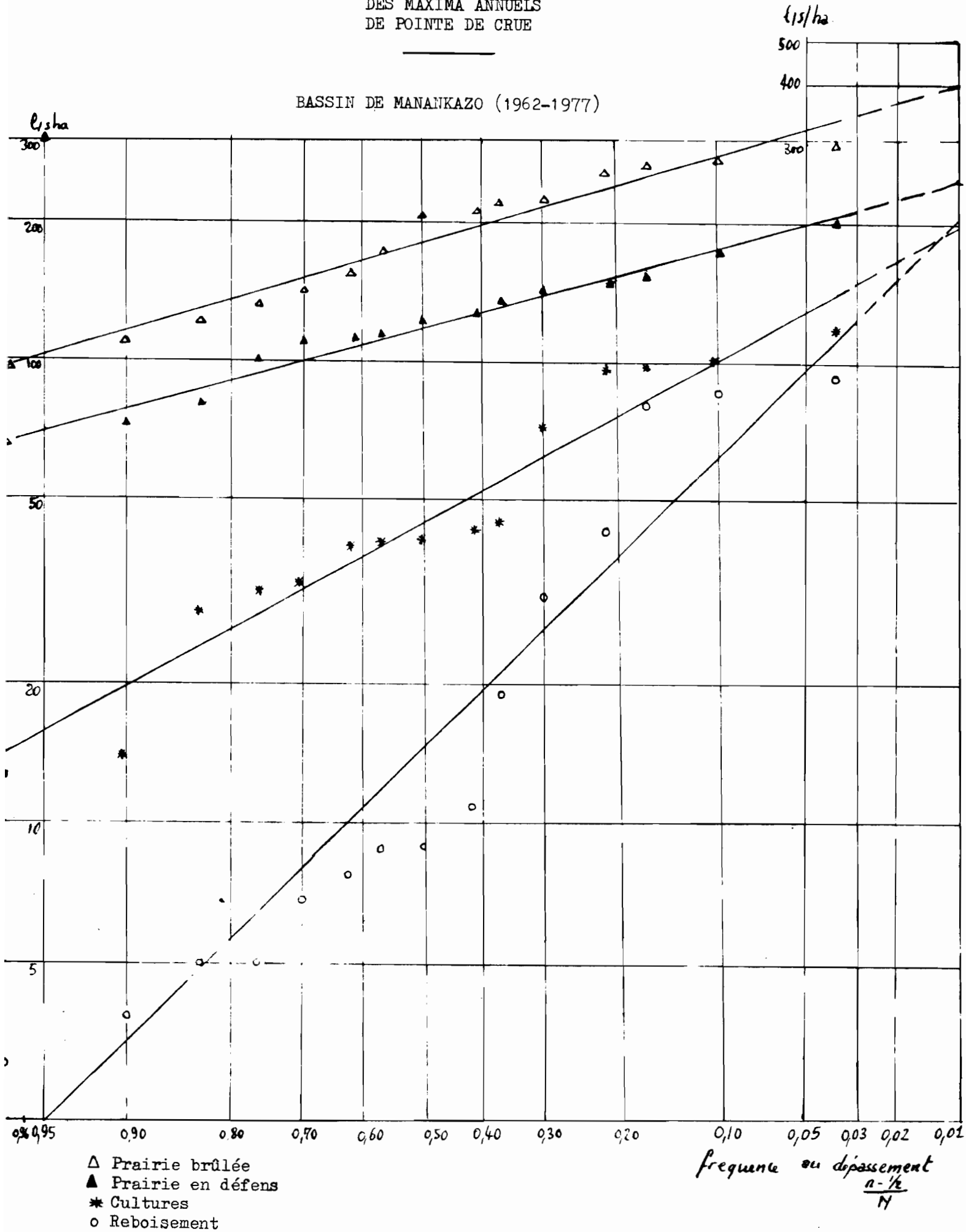
Au cours des 15 années, on a obtenu les résultats récapitulés dans le tableau annexe n° 3 et graphique.

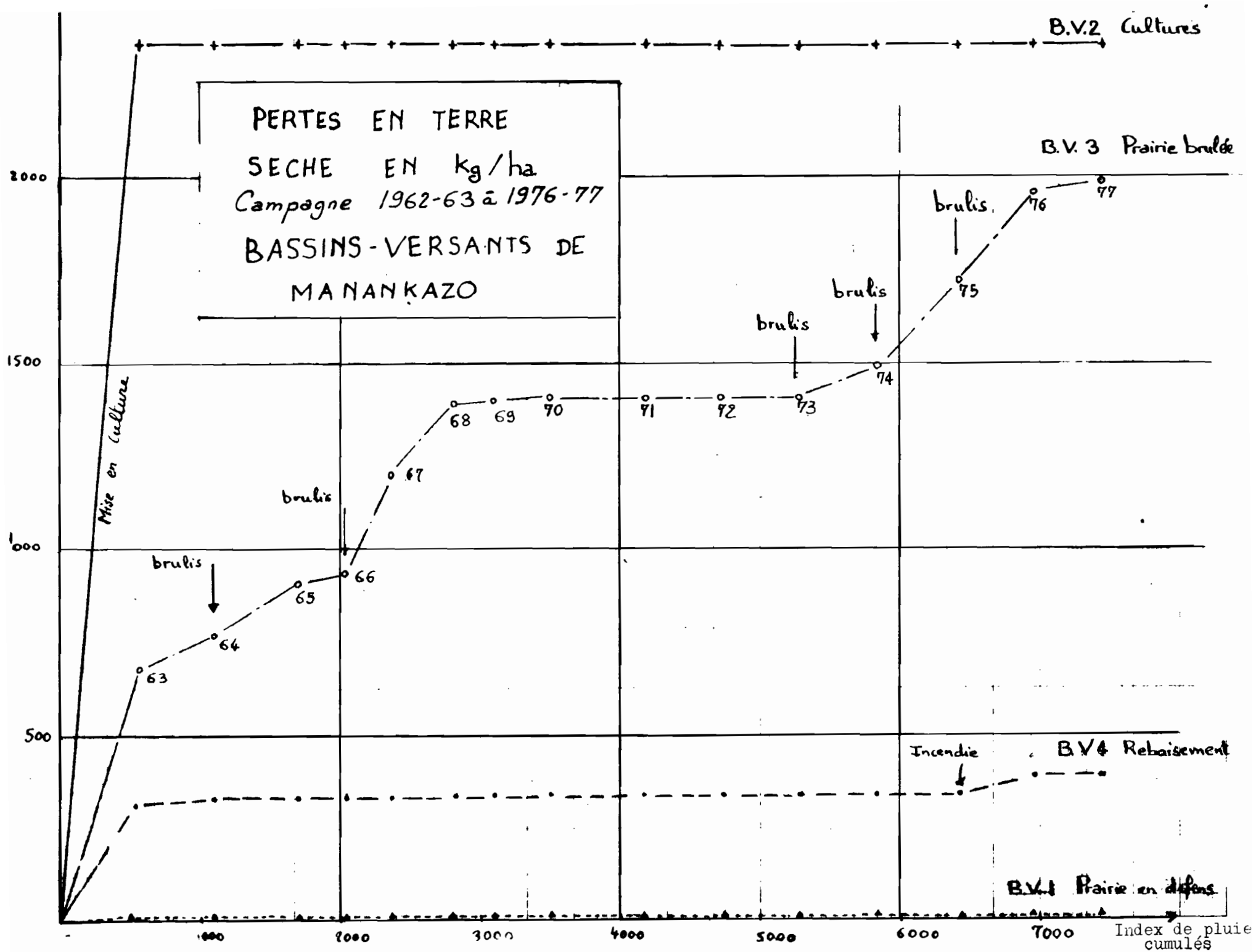
Pour la durée de l'observation, la moyenne s'établit à :

.../...

REPARTITION STATISTIQUE
DES MAXIMA ANNUELS
DE POINTE DE CRUE

BASSIN DE MANANKAZO (1962-1977)





- B.V. 1 Prairie en défens : 16 kg/ha (1 kg/ha/an)
 - B.V. 2 Cultures : 2.362 kg/ha dont 2.350 la 1ère année
 - B.V. 3 Prairie brûlée : 1.988 kg/ha (133 kg/ha/an)
 - B.V. 4 Reboisement : 380 kg/ha dont 310 la 1ère année, 12 kg la 2ème année et 58 kg l'année de l'incendie du bassin.
- L'effet du feu sur l'érosion apparaît nettement ainsi que l'arrêt de l'érosion dès que le brûlis est interrompu.
- Les pertes en terre sur les cultures aménagées, après une érosion faible la première année, deviennent nulles par la suite, ce qui prouve l'efficacité des mesures de protection.
- L'incendie des Pins n'a provoqué qu'une érosion faible grâce en grande partie aux billons en courbe de niveau.

En ce qui concerne les pertes en suspension, on peut les estimer approximativement à :

- B.V. 1 Prairie en défens : 38 kg/ha/an - maximum : 113 kg/ha/an
- B.V. 2 Cultures : 91 kg/ha/an - maximum : 449 kg/ha/an
- B.V. 3 Prairie brûlée : 169 kg/ha/an
 - . années de mise à feu : 300 kg/ha/an
 - . années défens : 71 kg/ha/an
 - . max. absolu (1973-74) : 633 kg/ha/an
- B.V. 4 Reboisement : 33 kg/ha/an
 - . les 2 premières années d'installation : 202 kg/ha/an
maximum : 284 kg/ha/an
 - . les autres années : 4 kg/ha/an.

311.2 - Expérimentation en parcelles élémentaires

Le dispositif mis en place depuis 1973 comportait les parcelles ci-après :

- Po 2 Brûlis + pâture (dates de mise à feu : Octobre 1973, Octobre 1974, Octobre 1975).
- Po 3 Brûlis seul (dates de mise à feu : Octobre 1973, Octobre 1974, Octobre 1975).
- Po 4 Mise en défens.
- Po 5 Fauchée.
- Po 6 Prairie artificielle de *Brachiaria brizantha*.

.../...

. Etude comparative du ruissellement superficiel

Une année de test 1972-73 a permis de contrôler l'homogénéité des résultats obtenus.

	Po 2 Brûlis + bétail	Po 3 Brûlis	Po 4 Défens	Po 5 Fauchée	Po 6 Brachiaria
Ruissellement en mm	268,1	288,7	289,5	303,9	314,5
Différence avec Po 4 en mm	- 21,4	- 0,8	-	+ 14,4	+ 25,0
Différence avec Po 4 en %	- 7,39	- 0,18	-	+ 4,97	+ 8,63

Afin de tenir compte de la différence (+ 15 %) constatée entre la parcelle Po6 et Po2, il a été décidé d'installer le traitement comportant la mise à feu sur la parcelle ayant les meilleures conditions de départ, afin de ne pas imputer les écarts observés aux différences initiales.

Les résultats obtenus, une fois les différentes couvertures installées, sont les suivants (en mm) :

	Po 2 Brûlis + bétail	Po 3 Brûlis	Po 4 Défens	Po 5 Fauchée	Po 6 Brachiaria
* 1973-74	237,7	214,5	229,9	240,5	115,6
* 1974-75	228,9	212,0	215,1	195,3	82,2
* 1975-76	330,9	321,1	336,7	277,6	118,3
1976-77	142,4	141,4	198,9	134,0	48,3
Moyenne	235,0	222,3	245,2	211,9	91,1
Différence % Po 4	- 4,2	- 9,3	0	- 13,5	- 62,8

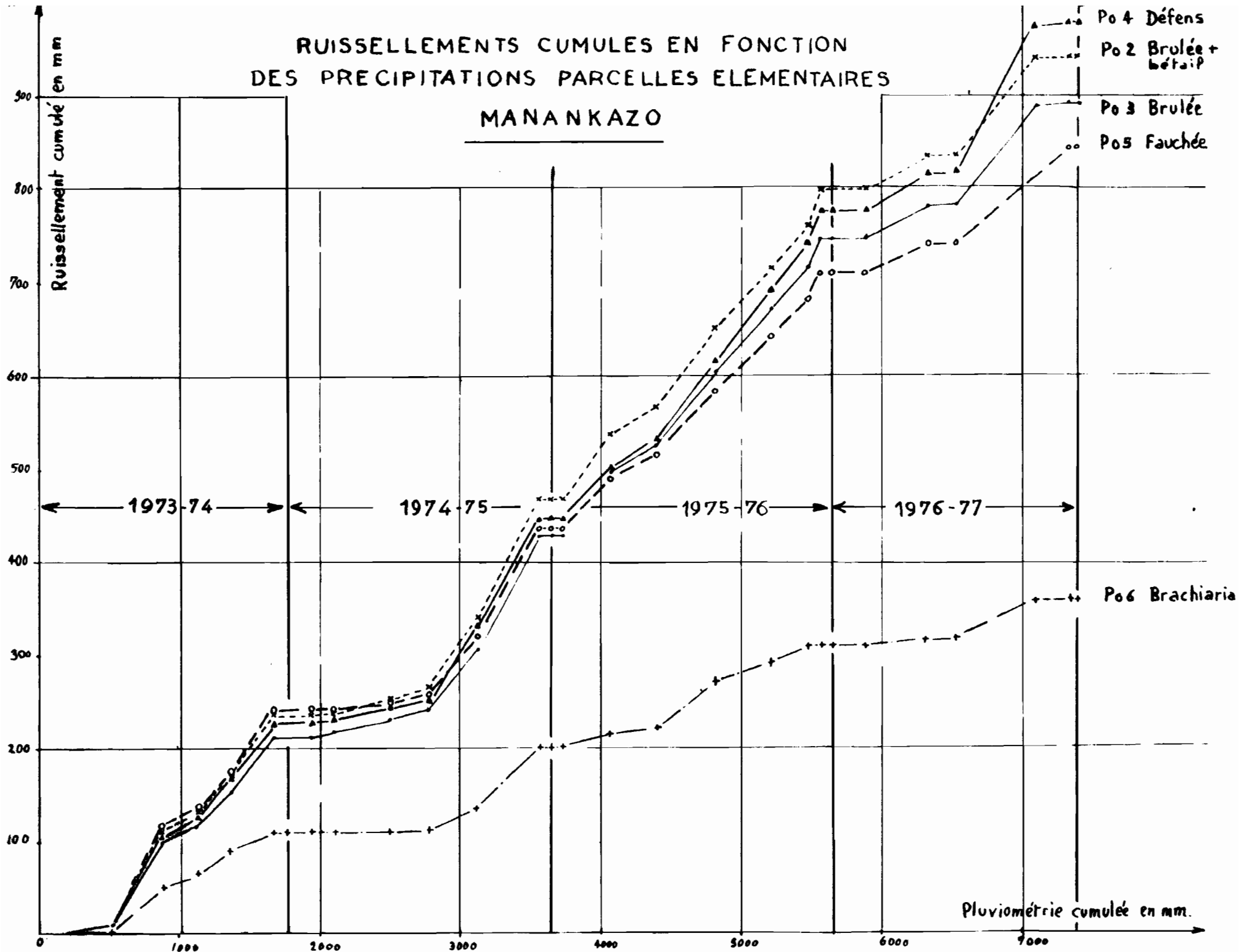
(*) Années de mise à feu

Si l'on retranche les différences initiales observées lors du test pour des ruissellements du même ordre, on obtient :

- pour Po 2 = + 3,2 %
- pour Po 3 = - 9,0 %
- pour Po 5 = - 18,5 %
- pour Po 6 = - 71,4 %

.../...

RUISSELLEMENTS CUMULES EN FONCTION DES PRECIPITATIONS PARCELLES ELEMENTAIRES MANANKAZO



Ces résultats font apparaître que la prairie naturelle fauchée, mais surtout la prairie artificielle, sont le siège de ruissellement global nettement diminué par rapport à la prairie témoin en défens. Par contre, les parcelles où il y a mise à feu, sans que l'on puisse dégager un effet du pacage, semblent se comporter d'une manière à peu près identique à la parcelle en défens.

• Etude des pertes en terre

Le tableau ci-après (en tonne/hectare de terre sèche) récapitule les résultats obtenus :

	Po 2 Brûlis + bétail	Po 3 Brûlis	Po 4 Défens	Po 5 Fauchée	Po 6 Brachiaria
* 1973-74	0,35	0,39	0,02	0,01	3,49
* 1974-75	0,05	0,05	0	0	0,09
* 1975-76	0,22	0,50	0	0,01	0,39
1976-77	0	0	0	0	0,06
Total	0,62	0,94	0,02	0,02	4,03
Moyenne	0,16	0,24	0,005	0,005	1,01

(*) Années de mise à feu

Les deux parcelles brûlées réagissent de façon peu différente, en moyenne 200 kg/hectare et par an.

Les prairies non brûlées (défens et fauchée) ne subissent pas d'érosion.

L'installation de la prairie artificielle fait apparaître, suite au labour, une érosion de 3,5 tonnes/hectare qui diminue progressivement.

Une parcelle de mesure de l'érosion maximum (parcelle Wischmeier) permet de connaître la sensibilité du sol à l'érosion. La formule établie par Wischmeier est la suivante :

$$E = 2,24 \ R \ K \ LS \ CP$$

où E = pertes en terre en t/ha
R = index de pluie en unité américaine
K = indice-sol
LS = indice de pente

(à Manankazo LS = 1,7 et à Ambatomainty LS = 1,7).

C = indice de cultures (pour une parcelle W : C = 1)
P = indice de traitement (pour une parcelle W : C = 1).

Sur cette parcelle, l'érodibilité du sol a été suivie depuis 1968.

.../...

Campagne	Pertes en terre t/ha	Index de pluie	Valeur de K
1968-69	1,1	307	neg
1969-70	7,6	385	neg
1970-71	17	676	0,01
1971-72	52	557	0,03
1972-73	57	544	0,03
1973-74	422	562	0,19
1974-75	492	523	0,24
1975-76	427	550	0,20
1976-77	175	489	0,09

Après plusieurs années avant que l'on atteigne une évolution suffisante de la parcelle, la valeur de K voisine 0,20 puis diminue du fait de l'accumulation en bas de pente de matériaux érodés.

Ces sols ferrallitiques remaniés sur granite sont donc moyennement à fortement érodibles. Ces résultats confirment les valeurs obtenues par ailleurs sur sol ferrallitique typique rouge (Nanisana K = 0,15) et sur sol ferrallitique remanié (Ambatomainty K = 0,22).

311.3 - Etude de la consommation de l'eau sous différents couverts

Cette étude a été abordée de 1967 à 1973 avec l'aide du laboratoire des radio-isotopes sur les bassins versants, puis reprise à partir de cette date sur les parcelles élémentaires.

• Etude sur les bassins versants

Pour préciser les termes du bilan de l'eau, les essais précédemment réalisés et qui ont fait l'objet d'une publication en 1971 (1) ont été poursuivis.

La fréquence des mesures a été fixée à une mesure tous les 15 jours en saison sèche et humide et une mesure toutes les semaines en toutes saisons.

En fait, si plusieurs incidents techniques, ainsi que des problèmes d'observateurs n'ont pas permis d'effectuer autant de mesures sauf la dernière année, dans l'ensemble l'estimation des consommations a pu être effectuée pour chaque saison sur quatre années.

Rappelons que sont en place 4 tubes par bassin (le bassin 2 a comporté 6 tubes les deux premières années, puis 4 à partir de 1975).

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

.../...

(1) Elle fait suite à une étude de l'influence du couvert sur l'eau dans le sol dans cette même station, mais avec un nombre de tubes de sondes et une fréquence de mesure nettement plus réduite. (cf. Contrôle neutronique de l'humidité des sols sur bassins versants expérimentaux dans la région des Tampoketsa de Madagascar - P. MOUTONNET et G. BENOIT de COIGNAC - Terre Malgache n° spécial 12).

Consommation en mm/jour de 0 à 260 cm de profondeur

	B.V. n° 1 P. en défens	B.V. n° 3 P. brûlée	B.V. n° 2 P. artificielle	B.V. n° 4 Reboisement	
				avant feu	après feu
Printemps	2,98	3,09	3,39	4,03	2,38
Eté	9,59	10,19	8,96	10,23	11,04
Automne	3,84	3,68	4,10	4,47	3,10
Hiver	1,06	0,92	0,93	1,03	1,13

Ces valeurs ont été obtenues en faisant la moyenne des mesures par bassin et reposent sur 4 années de mesure. En ce qui concerne le bassin reboisé en Pins, on a fait la distinction entre les 2 premières années (reboisement de 10 à 12 ans) et les 2 suivantes après l'incendie de la forêt.

La période printemps correspond au début de la saison de végétation, l'été à la saison des pluies (cette consommation n'est pas dissociable de la percolation d'où les fortes valeurs), l'automne à la fin de la saison de végétation et l'hiver à la saison froide et sèche (arrêt de la végétation).

Les résultats montrent que la consommation est nettement supérieure pour la prairie artificielle et surtout le reboisement, que pour la prairie naturelle protégée ou brûlée.

En ce qui concerne la comparaison des prairies naturelles, on peut voir que :

- la dégradation de la prairie brûlée ne laisse subsister qu'un couvert clairsemé de graminées,
- par contre, l'effet du feu provoque une levée des inhibitions et donc une végétation beaucoup plus dynamique provoquant une consommation hydrique plus forte.

Ces deux effets qui s'opposent font que, si du point de vue ruissellement les valeurs obtenues sont très différentes, pour la consommation les résultats sont comparables.

A partir de ces éléments, on peut essayer d'établir pour une campagne moyenne un bilan hydrique comparé, en supposant que la consommation "été" est la moyenne entre le printemps et l'automne, ce qui est probablement sous-estimé. De plus, on a pris comme valeurs de consommation pour le bassin versant n° 4, celles relevées avant l'incendie du reboisement.

Ce bilan hydrique annuel moyen est reporté dans le tableau ci-après :

.../...

		Nombre de jours	Prairie en défens mm	Prairie artificielle mm	Prairie brûlée mm	Pins mm
Pluviométrie moyenne	P.	56	174,2	176,7	173,1	179,1
	E.	126	1.390,7	1.408,4	1.419,8	1.442,9
	A.	68	156,4	161,3	163,6	160,3
	H.	105	78,3	78,0	81,5	84,8
	Total	335	1.729,6	1.824,4	1.838,0	1.867,1
Ruissellement moyen			128,3	47,0	282,9	8,9
Consommation globale ETR Saison chaude (P + E + A) Saison froide H	P.		166,9	1.898	173,0	225,7
	E.		429,7	472,5	427,1	535,5
	A.		261,1	298,8	250,2	304,0
	S.C.		857,7	941,1	850,3	1.065,2
	S.F.		111,3	97,7	96,6	108,2
	Total		969,0	1.038,8	946,9	1.173,4
Percolation supposée			702,3	738,7	608,2	684,9

De ce tableau, on voit que la prairie dégradée par le feu consomme presque autant que la prairie en défens dont la végétation est bloquée, que la prairie artificielle consomme 70 mm par an de plus que la prairie naturelle en défens et que le reboisement en Pins consomme 200 mm de plus que la prairie naturelle.

• Etude en parcelles élémentaires

Sur chaque parcelle, un tube de 2,60 m a été mis en place et les observations ont débuté en Juin 1973.

Rappelons le traitement des 6 parcelles :

- Po 1 Parcelle de Wischmeier sous jachère cultivée
- Po 2 Prairie naturelle brûlée et pâturée
- Po 3 Prairie naturelle brûlée
- Po 4 Prairie naturelle en défens
- Po 5 Prairie naturelle fauchée
- Po 6 Prairie artificielle de *Brachiaria brizantha*.

Les consommations relevées durant les quatre années d'observations sont les suivantes :

.../...

Saisons	Po 1 Wisc. mm	Po 2 brûlis + bétail mm	Po 3 brûlis mm	Po 4 défens mm	Po 5 fauch. mm	Po 6 Brach. mm
Printemps						
1973-74	2,71	3,41	3,62	3,16	2,69	3,73
1974-75	3,05	3,69	3,67	3,46	3,55	3,75
1975-76	2,14	2,13	1,71	1,65	1,95	2,77
1976-77	2,99	2,97	3,15	3,74	3,95	4,14
Moyenne	2,72	3,05	3,04	3,00	3,04	3,60
Eté						
1973-74	7,82	8,19	7,96	8,09	8,21	8,66
1974-75	9,51	9,72	9,94	9,79	9,80	10,59
1975-76	7,83	8,35	8,48	9,12	8,94	9,44
1976-77	9,28	11,18	11,11	10,15	10,57	10,90
Moyenne	8,61	9,36	9,37	9,29	9,38	9,90
Automne						
1973-74	4,24	4,54	4,61	4,41	4,23	5,08
1974-75	1,87	2,03	2,11	2,09	2,54	2,81
1975-76	3,32	3,73	3,76	3,65	3,67	5,51
1976-77	2,86	2,10	1,97	2,42	2,72	2,92
Moyenne	2,87	3,10	3,11	3,14	3,29	4,08
<u>Print. + Aut.</u> 2 Moyenne	2,80	3,08	3,08	3,07	3,17	3,84
Hiver						
1973-74	0,77	0,48	0,57	0,50	0,68	0,79
1974-75	0,58	0,71	1,14	0,84	1,22	1,03
1975-76	0,65	0,50	0,64	0,46	0,72	1,03
1976-77	0,74	0,62	0,89	0,71	1,02	0,84
Moyenne	0,69	0,58	0,81	0,63	0,91	0,92

Les différents termes d'un bilan hydrique moyen dégagés de ces observations peuvent être les suivants :

$$P = ETR + R + Pe \quad (1)$$

.../...

- (1) P = Pluviométrie moyenne en mm
 ETR = Evapotranspiration réelle moyenne en mm
 R = Ruissellement moyen en mm
 Pe = Quantité d'eau percolée en mm

- Pluviométrie moyenne par période :

. Hiver	40 mm
. Printemps	216 mm
. Eté	1.366 mm
. Automne	159 mm

Total année 1.781 mm

- ETR en mm

Période	Po1	Po2	Po3	Po4	Po5	Po6
Hiver : 110 jours	76	64	89	69	100	101
Printemps : 50 jours	136	153	152	150	152	180
Eté : 123 jours						
$\frac{P + A}{2}$	344	379	379	378	390	472
ETP	488	488	488	488	488	488
Moyenne	416	434	434	433	439	480
Automne : 70 jours	201	217	218	220	230	286
Année : 353 jours	829	868	893	872	921	1.047

Dans ce tableau, on a jugé préférable, pour estimer l'E.T.R. durant l'été, de faire la moyenne entre, d'une part la moyenne automne et printemps, d'autre part, l'E.T.P. relevé sur l'évapotranspiromètre.

- Ruissellement moyen en mm

Po1	Po2	Po3	Po4	Po5	Po6
342	235	222	245	212	91

- Percolation supposée en mm (déduite) :

Po1	Po2	Po3	Po4	Po5	Po6
610	678	666	664	648	643

Ce qui nous donne un essai de bilan hydrique annuel moyen suivant (en mm) :

.../...

	Po1 Wisch.	Po2 P. brûlée + bétail	Po3 P. brûlée	Po4 défens	Po5 fauchée	Po6 P. artif.
Pluviométrie	1.781	1.781	1.781	1.781	1.781	1.781
Evapotranspiration réelle	829	868	893	872	921	1.047
Ruissellement	342	235	222	245	212	91
Percolation	610	678	666	664	648	643

Des observations faites aussi bien sur bassins versants que sur parcelles, on peut dégager, pour l'instant, les quelques grandes lignes suivantes :

- Pour des pluies voisines de 1.800 mm, l'E.T.R. sur prairie naturelle, qu'elle soit en défens ou brûlée, est de l'ordre de 900 mm.
- Pour la prairie artificielle, l'E.T.R. dépasse 1.000 mm.
- Pour le reboisement en Pins, l'E.T.R. s'approche de 1.200 mm.

Les pertes par percolation et ruissellement s'établissent à 600-700 mm.

312 - Sur la station d'Ambatomainty

312.1 - Expérimentation en bassins versants

312.11 - Résultats et bilan provisoire

- Données pluviométriques

. L'hétérogénéité spatiale des précipitations est très importante dans cette région accidentée et très ventilée, mais si elle est systématique lors des périodes cycloniques, l'effet n'en est pas régulier :

	BASSIN SUD Versant à exposition		BASSIN NORD Versant à exposition	
	Est	Ouest	Est	Ouest
Cyclone INES 12/3/1975	96 mm	153 mm	99 mm	154 mm
Cyclone EMILIE 2/2/1977	174 mm	113 mm	170 mm	113 mm

.../...

A l'échelle du mois ou de l'année, les hauteurs des précipitations demeurent essentiellement liées à l'altitude, ce que les mesures de pluviométrie au sol confirment, l'exposition des versants jouant un rôle secondaire : pluviométrie légèrement plus élevée sur les versants à exposition ouest.

. Les écarts observés lors de certaines averses sont surtout importants pour l'analyse des crues, d'où l'obligation d'un réseau assez dense de pluviomètres.

Pour l'établissement des bilans hydriques, les valeurs obtenues à partir des résultats de 5 pluviomètres répartis à mi-versant (dont 3 sur le versant à exposition ouest) et sur chaque bassin, semblent homogènes et bien représenter la pluviométrie moyenne de chaque bassin.

. Les précipitations ont été supérieures à la normale au cours des 1ère, 3ème et surtout 5ème années, toutes trois affectées par des cyclones (pluviométrie moyenne 1.775 à forte 2.100 mm), les 2ème et 4ème années étant faibles (1.525 et 1.550 mm) avec un déficit très marqué au cours de la saison des pluies (Janvier 1974, Février-Mars 1976).

- Comportement hydrique des sols

Leur réhumidification est d'autant plus rapide que la variation des stocks est faible. Ainsi en 1974-75, la variation moyenne sur l'ensemble des 16 profils observés n'est que de 50 mm par mètre, les flux de transfert mesurés par ailleurs étant le plus souvent dans le sens de l'infiltration.

Bien qu'elles restent très faibles, les variations moyennes d'humidité des sols relevées entre bassins et sur la tranche superficielle (0-55 cm) au cours des années 1973 et 1974, pourraient être l'indice d'une légère augmentation de l'évapotranspiration réelle sur le bassin nord en 1974 avec la mise en culture.

- Variations du niveau de la nappe phréatique

La nappe phréatique se présente comme une nappe topographique à battement annuel. La corrélation entre les volumes de terrain aquifère délimité par les niveaux piézométriques établis à deux époques de l'année d'une part, et les volumes drainés par la rivière pendant ce même laps de temps d'autre part, effectuée pendant une période d'assèchement au cours de laquelle les apports dus aux précipitations pouvaient être considérés comme négligeables, est très satisfaisante et permet d'établir une relation linéaire entre ces deux variables.

La comparaison des variations de volumes sur les deux bassins, et pour une même période, permet par ailleurs de déceler une évolution de la nappe du bassin nord en 1974, qui pourrait correspondre à un drainage plus important dû à l'aménagement du bas-fond en rizières. Cette tendance ayant été, semble-t-il, en partie stoppée après l'édification fin 1974 d'une retenue amont.

.../...

- L'écoulement

L'écoulement global varie avec la pluviométrie moyenne.

BASSIN SUD	Lame d'eau tombée H _{mm}	Lame d'eau écoulée H _{mm}
11/72 - 10/73	1.871	1.106
11/73 - 10/74	1.524	625
11/74 - 10/75	1.763	998

Avec l'aménagement, les coefficients d'écoulement sur les deux bassins, tout en demeurant très voisins, ne sont plus égaux comme en 1972-73.

Année hydrologique	Coefficient d'écoulement - %		Ecart - %
	BASSIN SUD	BASSIN NORD	
1972 - 73	59,1	58,8	- 0,3
1973 - 74	41,0	39,6	- 1,4
1974 - 75	56,6	55,1	- 1,5

312.12 - Interprétation des résultats

La période 1972-77 n'a permis de tester que les effets à répercussion rapide de l'aménagement avec :

- le contrôle des transports solides,
- la réalisation d'un programme de simulation analytique de ruissellement sur une petite surface homogène.

L'interprétation des bilans hydriques et des analyses chimiques demeure délicate dans la mesure où :

- une nouvelle augmentation de l'évapotranspiration réelle due à la reforestation d'une partie importante du bassin n'est pas encore perceptible,
- les pertes possibles en éléments fertilisants demeurent peu décelables.

.../...

- Transports solides

Année hydrologique	Poids (en kg par hectare et par an)	
	BASSIN SUD	BASSIN NORD
1972 - 73	7	9
1973 - 74	26	91
1974 - 75	12	100

La simple comparaison du poids total annuel de terre sèche évacuée sur chaque bassin permet de préciser :

- L'effet du brûlis de Novembre 1973 sur le bassin témoin

Les quantités de transports solides ont triplé, très nette augmentation des suspensions en particulier (le charriage ne représente plus que 3 % de matières évacuées contre 9 % auparavant), alors que l'année 1973-74 a été beaucoup moins érosive. Le retour du bassin vers son état antérieur semble très nettement s'amorcer dès 1974-75.

- L'effet de la mise en valeur du bassin nord (1973-74)

Liés essentiellement à l'aménagement du bas-fond, les sédiments charriés ne représentent en 1973-74 que 2 % du poids total et contiennent plus de 80 % de matières organiques, d'argiles et de limons fins, le débit solide a décuplé au cours de cette première année.

Bien que relativement encore très important, il tend à diminuer (1974-75, ...) avec l'arrêt du défrichement.

- Simulation analytique du ruissellement

. Le ruissellement a été étudié sous ses deux aspects, qualitatif de la forme de la crue d'une part et quantitatif du volume ruisselé d'autre part, à l'échelle de chaque averse, sous forme d'abaques et de corrélations hydropluviométriques à influences multiples de la forme $C - L = aT + S (1 - l K)$ avec :

$C - L$ = différence entre le corps d'averse (C) et la lame ruisselée (L), soit la quantité d'eau infiltrée pendant le corps d'averse.

aT = avec T durée du corps d'averse, représente la quantité d'eau qui s'infiltré dans des conditions de saturation maximales du sol. à capacité d'absorption moyenne du bassin.

$S (1 - l K)$ = étant la fraction d'une quantité d'eau S à fournir pour permettre à la première tranche superficielle du sol de passer d'un état humide à l'état de saturation.

K coefficient dépendant de la forme de l'averse.

.../...

De la comparaison des lames ruisselées, on constate une évolution très nette du bassin aménagé pour les fortes lames, l'effet de la mise en culture ayant tendance à réduire considérablement les fortes crues.

Par contre, l'action du reboisement sur les pentes n'ayant aucun effet sensible au cours des premières années, et les petites crues provenant essentiellement de ces fortes pentes, aucun changement ne semble perceptible.

- Bilans hydriques

. Si les éléments des différents termes du bilan hydrique, en vue de la détermination de l'évapotranspiration réelle, semblent pouvoir être calculés de façon acceptable, même au niveau des bilans hydriques saisonniers, les différences trop faibles entre les déficits observés sur les deux bassins ne permettent pas de conclure.

Année hydrologique	Pluviométrie H mm	Ecoulement H mm	Déficits (*) H mm	Ecart	
				Hmm	%
1972-73 {	BASSIN NORD	1.836	1.079	+ 8	
	BASSIN SUD	1.871	1.106		
1973-74 {	BASSIN NORD	1.526	604	- 23	- 2,5
	BASSIN SUD	1.524	625		
1974-75 {	BASSIN NORD	1.780	980	- 35	- 4,0
	BASSIN SUD	1.763	998		

(*) Ces valeurs sont légèrement supérieures à celles obtenues par le Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. de 1966 à 1971 sur le bassin de la Tafaina (5 km²), entre 558 et 814 mm (moyenne voisine de 700 mm), bassin nettement plus dégradé que ceux d'Ambatomainy.

L'augmentation de l'évapotranspiration réelle sur le bassin aménagé paraît faible mais correspond pratiquement aux seules cultures de plateau qui couvrent à peine 14 % de la superficie. L'E.T.R. au niveau du bas-fond devrait peu varier, que celui-ci soit aménagé ou en marais ; une différence notable (50 à 100 mm) entre bassins ne peut apparaître qu'avec le développement du reboisement qui couvre près de 25 % du terrain.

- Physico-chimie des eaux

Si le brûlis du bassin témoin en Novembre 1973 a été à l'origine d'une certaine exportation par les eaux d'écoulement d'éléments minéraux lors des premières crues de la saison 1973-74, les apports de fertilisants fournis aux cultures du bassin nord ne semblent pas avoir donné lieu à des pertes mesurables (supérieures au g/l).

.../...

Aussi, des recherches complémentaires ont été entreprises, afin de vérifier si certains départs, incontrôlables au niveau des écoulements, pouvaient se produire (absorption par les sédiments,...).

Aucune variation n'apparaît au niveau des sédiments charriés, par contre, les eaux de la nappe montrent une légère augmentation de leur chimisme sur le bassin nord en 1975 et 1976 (10 à 15 g/l). Cet enrichissement, qui semble avoir pour origine les pertes par lixiviation des terres mises en cultures, ne se retrouvant plus en basses eaux à l'exutoire, il est probable que de nouveaux départs se produisent au niveau du bas-fond.

312.2 - Expérimentation en parcelles élémentaires

Rappelons les différents traitements :

- Po2 : Prairie naturelle en défens
- Po3 : Prairie naturelle fauchée
- Po4 : Prairie naturelle brûlée
- Po5 : Prairie artificielle (*Brachiaria brizantha*)
- Po6 : cultures en rotation :
 - 1973-74 : patates douces (plantation Décembre)
 - 1974-75 : patates douces + avoine (semis en Mars)
 - 1975-76 : maïs (semis en Novembre)
 - 1976-77 : soja (semis en Février)

• Etude comparative du ruissellement superficiel

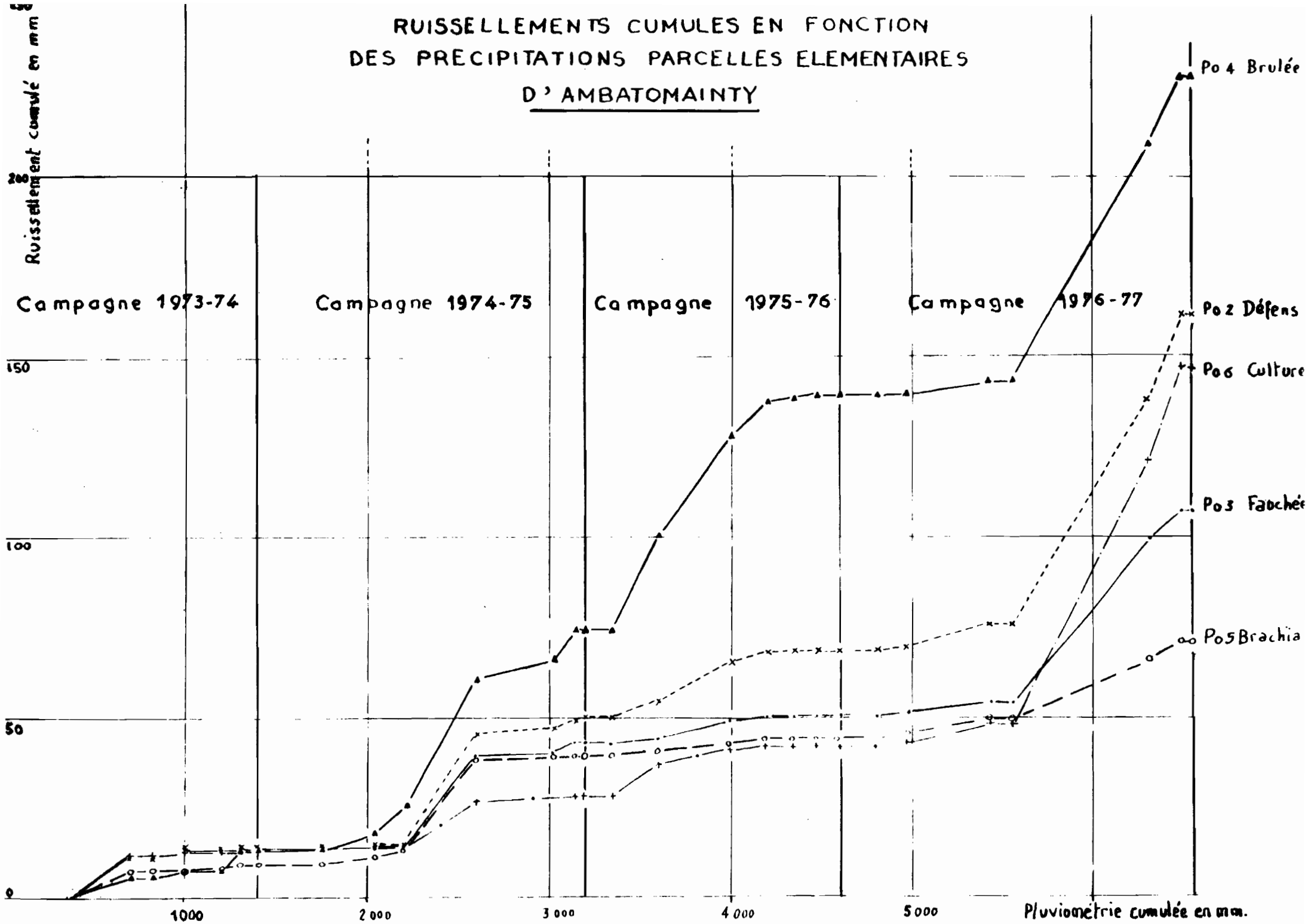
L'année du test a montré la parfaite homogénéité des parcelles.

	Ruissellement en mm	Différence avec Po2 en mm	Différence avec Po2 en %
Po2	43,53	-	-
Po3	43,69	0,16	0,35
Po4	45,15	1,62	3,72
Po5	43,36	- 0,17	- 0,39
Po6	45,78	2,25	5,17

Soit 5,5 % de différence entre la parcelle ruisselant le plus Po6, et celle ruisselant le moins Po5.

Les résultats obtenus sur les différentes couvertures sont les suivants (en mm) :

RUISSELLEMENTS CUMULES EN FONCTION DES PRÉCIPITATIONS PARCELLES ELEMENTAIRES D'AMBATOMAINTY



	Po 2 défens	Po 3 fauchée	Po 4 brûlis	Po 5 Brachia.	Po 6 Cultures
1973-74	14,7	13,9	13,4	10,3	13,5
1974-75	36,1	29,5	61,4	30,2	15,4
1975-76	18,7	7,7	64,9	5,4	14,8
1976-77	92,3	56,0	87,8	26,3	105,0
Moyenne	40,5	26,8	56,9	18,1	37,2
Différence % Po2	0	- 33,8	+ 40,5	- 55,2	- 8,1

Ceci nous montre que :

- la prairie artificielle ne laisse écouler pratiquement pas de ruissellement,
- le brûlis, qui double et triple le ruissellement, voit son effet diminuer très vite,
- le fauchage a un effet important sur la diminution du ruissellement,
- enfin, que les cultures arrêtent bien le ruissellement, sauf la dernière année où les fortes pluies se sont produites avant que la couverture du sol soit réalisée par le soja.

. Etude des pertes en terre

Le tableau ci-dessous récapitule en tonne/hectare les résultats obtenus :

	Po 2 défens	Po 3 fauchée	Po 4 brûlis	Po 5 Brachia.	Po 6 Cultures
1973-74	0	0	* 0	0,26	0,26
1974-75	0	0	* 0	* 0,46	0,97
1975-76	0	0	* 2,31	0,10	4,57
1976-77	0	0	0	0	20,07
Total	0	0	2,31	0,82	25,87
Moyenne	0	0	0,58	0,21	6,47

(*) Années de mise à feu.

Sur la parcelle Wischmeier, l'érodibilité du sol est suivie depuis 1972-73.

.../...

Campagne	Pertes en terre t/hectare	Index de pluie	Valeur de K Index Sol
1972-73	30	408	0,02
1973-74	206	302	0,19
1974-75	262	445	0,17
1975-76	239	296	0,22
1976-77	199	387	0,14

32 - Etude des pertes en éléments fertilisants par lessivage
Problèmes de mise en valeur agronomique

321 - Observations sur les lysimètres

Avec une saison supplémentaire d'observations sur les lysimètres, on dispose d'une 3ème année complète de résultats sous prairie de Brachiaria, soit d'un cycle entier de cette culture dans la rotation type.

Au cours de cette dernière saison du programme, la végétation des lysimètres et de trois placeaux de leurs parcelles de garde a été coupée, pesée et analysée (laboratoire du GERDAT à Montpellier), pour estimer les mobilisations minérales par les parties aériennes de la prairie naturelle (friche témoin) et de la prairie artificielle. Dans le dernier cas, il s'agissait également de l'évaluation des exportations par fauche.

Enfin, des échantillons de sols ont été systématiquement prélevés sur les lysimètres et les parcelles de garde, pour caractériser l'évolution des sols en fin d'étude. Les analyses sont en cours au laboratoire du CENRADERU à Tananarive.

L'ensemble des données 1976-77 fera l'objet d'un compte rendu détaillé. Les principaux enseignements de l'étude sont cependant déjà assez clairs pour être présentés, en résumé, dès maintenant.

• Sous végétation naturelle

L'étude lysimétrique concernait les sols de "tanety" (1) sur pentes inférieures à 15 % destinées à la mise en culture. Ce sont des sols ferrallitiques profonds très désaturés, à drainage rapide. Sur la station d'Ambatomainty, on peut trouver localement une cuirasse proche de la surface, ce n'est pas le cas de l'emplacement des lysimètres.

L'excès des précipitations pendant la saison des pluies, Novembre à Avril, entraîne, vu la grande perméabilité des sols, une percolation très importante, d'où une lixiviation poussée des éléments minéraux.

.../...

(1) "tanety" : colline malgache.

Drainage sous friche

Station		Saison			
		1973-74	1974-75	1975-76	1976-77
Ambatomainty	H	1.050	1.430	1.150	1.760
	D	435	705	630	1.120
Manankazo	H	1.580	1.660	1.910	1.650
	D	600	810	890	1.030

H = pluviométrie en mm durant la saison des pluies.

D = drainage observé en mm durant la saison des pluies.

Il faut noter que les lysimètres ont été munis de couronnes externes à partir de 1975, ce qui supprime le ruissellement et augmente donc le drainage d'une quantité que l'on estimera égale au ruissellement mesuré sur les parcelles d'érosion.

Le pH des eaux recueillies sous la friche témoin est voisin de 7, les conditions actuelles de pédogénèse, hydrolyse neutre et bon drainage, sont caractéristiques de la ferrallitisation ou allitisation (Pedro 1973). Les bases ont été fortement lixiviées, ainsi qu'une bonne partie de la silice. On notera qu'il reste un peu de calcium "total" à Ambatomainty.

Analyses chimiques des sols, horizon 0-15 cm (laboratoire du CENRADERU)

Station	Bases en me/100 g						Analyse triacide (%)		
	"totales" (1)			échangeables			SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂ Al ₂ O ₃ (2)
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg			
Ambatomainty	0,2	5,6	0,8	0,1	0,4	0,3	5,2	36	0,2
Manankazo	0,2	0,5	0,5	0,1	0,3	0,2	2,4	36	1,2

L'analyse thermique différentielle, confirmée par celle aux rayons X, indique une prédominance de gibbsite dans la fraction argileuse de la granulométrie, le reste étant constitué de kaolinite.

La matière organique est assez abondante et répartie sur une grande profondeur. Elle est peu évoluée : C/N voisin de 20, du moins en surface (voir tableau ci-après) :

.../....

(1) bases "totales" : extraction NO₃H.

(2) rapport moléculaire.

Teneur en matière organique (%)

Station	Profondeur en cm			
	0-15	30-45	80-100	150
Ambatomainty	6,3	3,3	0,9	0,6
Manankazo	6,3	1,9	0,2	0,15

La bonne structure et la perméabilité de ces sols s'expliquent en partie par cette richesse en humus.

Les réserves en phosphore sont faibles : 0,5 ‰ de P_2O_5 total et peu assimilables : 20 ppm de P_2O_5 Olsen (données pour l'horizon de surface).

Finalement, ces sols sont d'une grande pauvreté chimique qui se retrouve dans celle de la végétation, comme l'indique le tableau ci-après :

Composition minérale de la prairie naturelle

Station	Eléments en % de la matière sèche					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Ambatomainty	0,35	0,02	0,35	0,15	0,05	0,03
Manankazo	0,45	0,04	0,40	0,25	0,08	0,03

Pour une masse végétale à peu près constante toute l'année : 10-12 t de matière verte/ha à faible taux d'humidité 35-40 % H_2O (BIGOT 1974 - ARRIVETS 1977), les mobilisations minérales sont de l'ordre de : 33 kg de N, 3 kg de P, 20 kg de K, 10 kg de Ca et 5 kg de Mg à l'hectare.

Les eaux recueillies sous ce couvert, dans les lysimètres, sont pratiquement pures, avec une conductibilité électrique (à 25°) de 20 μ mhos à Manankazo et de 40 μ mhos à Ambatomainty où les teneurs en Ca sont un peu moins basses : 2-3 mg/l contre 0,5 à Manankazo. Par ailleurs, les teneurs en K sont de l'ordre de 0,5 mg/l et celles de Mg de 0,1-0,2 mg/l sur les deux stations. Ces éléments se trouvent sous forme de bicarbonate, seul anion identifié. On ne trouve en particulier pas de nitrates, ni d'autre forme d'azote d'ailleurs.

Malgré la gravité du drainage, les pertes minérales par lixiviation sont négligeables, pour 700 à 800 mm d'eau percolée en moyenne par saison : 3 à 5 kg de K, 1 à 2 de Mg et 5 (Manankazo) ou 20 (Ambatomainty) de calcium.

Entre le sol, chimiquement épuisé, et la végétation figée se renouvelant au minimum, s'est finalement établi un équilibre-plancher qui permet même une certaine accumulation de matière organique.

.../...

• Sous prairie artificielle

La prairie artificielle de *Brachiaria brizantha* a été installée sur défriche avec la forte fumure exclusivement minérale standard : 2 t de dolomie + 2 t d'Hyper Reno (30 % P₂O₅) + 300 kg KCl/ha. Le semis a eu lieu un peu tard dans la saison : début Janvier 1974, et l'on peut considérer que le sol est resté nu pendant toute la première campagne. Sur les deux stations, la culture a mis 3 ans pour s'implanter et même, en 4ème année, la couverture du sol restait insuffisante.

A partir de la 2ème année, on a effectué deux fauches par saison : au début (Décembre) et à la fin, en épandant chaque fois ensuite 100 kg d'urée + 100 kg KCl (50 K).

La production en 3ème et 4ème années a été la même sur les deux bassins : 11 puis 14 tonnes de matière verte/ha. Les deux dernières coupes (saison 1976-77) ont été analysées. Les résultats sont repris dans le tableau ci-dessous :

Moyenne sur 3 placeaux de 1 m²

Station	Coupe Date	MV t/ha	H ₂ O %	Composition (en % de la MS)					
				N	P	K	Ca	Mg	S
Ambatomainity	1ère (12/76)	4	-	0,85	0,15	1,2	0,7	0,3	0,10
	2ème (5/77)	10	60	0,50	0,08	0,9	0,65	0,25	-
Manankazo	1ère (12/76)	4	-	1,10	0,25	1,8	0,7	0,3	0,06
	2ème (5/77)	10	60	0,65	0,15	1,3	0,5	0,35	-

On note que la prairie de Manankazo est plus riche chimiquement que celle d'Ambatomainity, ce qui était déjà le cas pour la végétation naturelle. Les mobilisations minérales par les parties aériennes, correspondant ici aux exportations par fauche, sur l'ensemble des deux coupes, sont données dans le tableau ci-après :

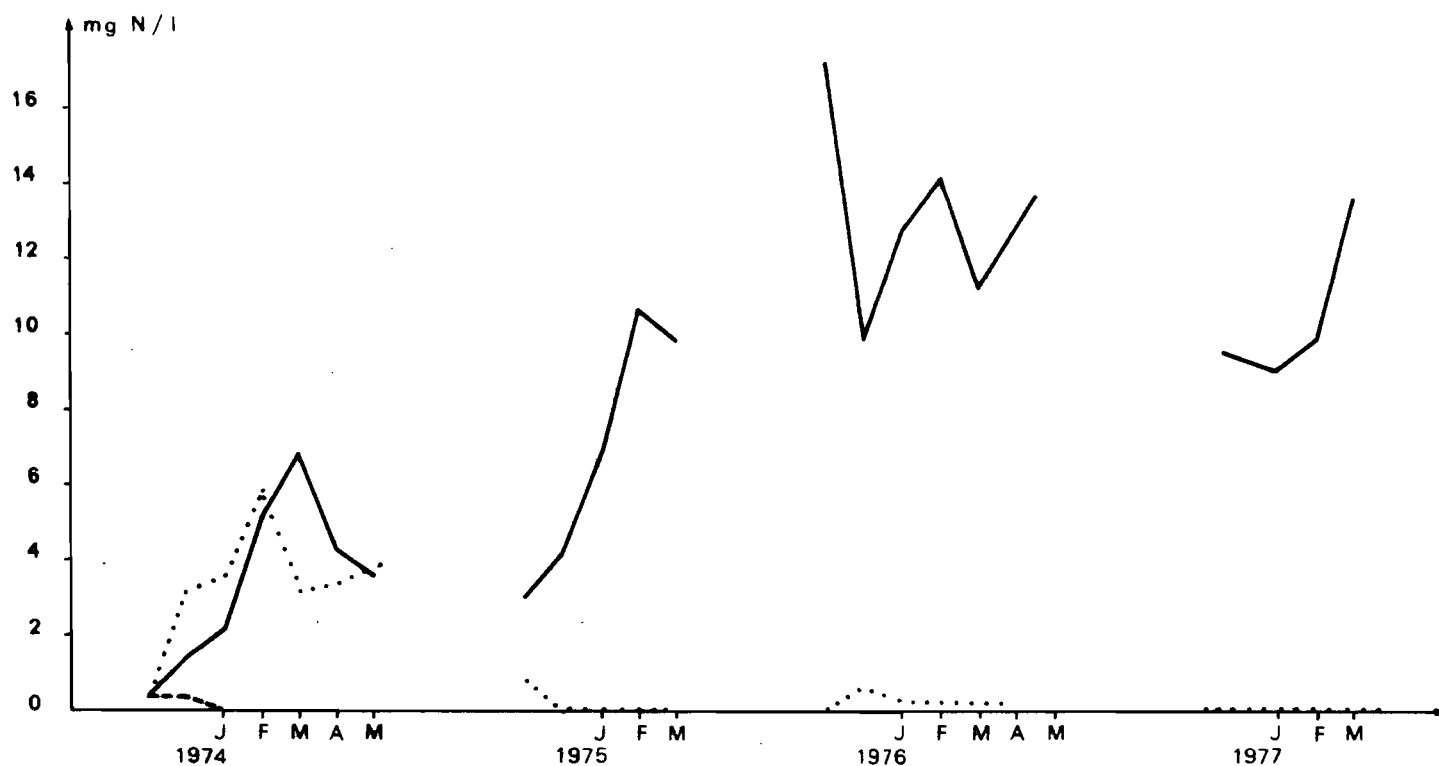
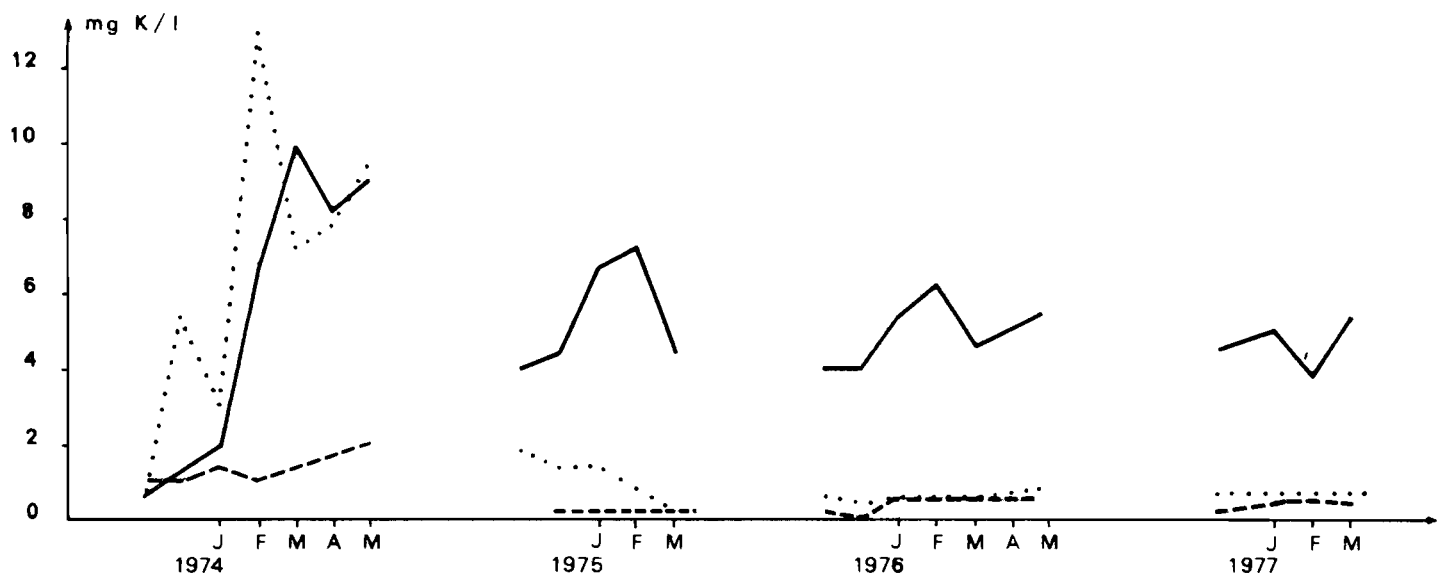
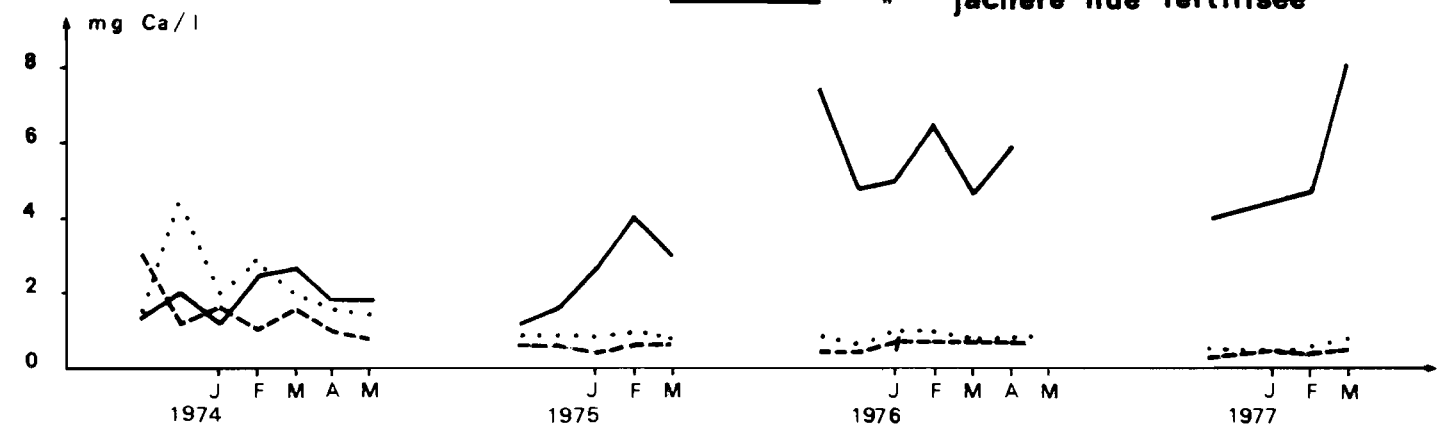
Exportations minérales par le *Brachiaria* en kg/ha/an

Station	Elément (kg/ha/an)				
	N	P	K	Ca	Mg
Ambatomainity	33	5,5	54	37	15
Manankazo	43	10	79	31	19

.../...

Evolution de la concentration des eaux de drainage à Manankazo

----- sous friche
 " Brachiaria
 ————— " jachère nue fertilisée



A Manankazo, ces exportations représentent environ 50 % des apports d'azote et 80 % de ceux de potasse. Ce sont de bons coefficients d'utilisation, surtout pour K. On peut penser alors que c'est l'insuffisance de la fumure potassique qui limite la production fourragère à un niveau aussi faible. On approche du cas limite où le sol n'est qu'un support physique, sans réserves minérales, et où la plante est un simple convertisseur d'engrais minéraux en fourrage ... qui sera à son tour transformé en viande. L'intérêt économique de l'affaire ne peut être jugé que sur l'ensemble des deux opérations. Logiquement, cette prairie devrait être exploitée en pâturage direct et non par fauche ; les restitutions de K (et de N ...) par des déjections animales amélioreraient le bilan.

Pertes par lixiviation sous prairie artificielle

Le drainage mesuré sous la prairie artificielle est resté supérieur à celui mesuré sous friche pendant les 3 premières années. Cela corrobore les observations sur la lenteur du développement de la végétation. Le phénomène est particulièrement marqué à Manankazo (voir graphique).

En dépit d'une fertilisation apparemment importante, la composition minérale des percolats recueillis sous *Brachiaria* n'est pas très différente de celle des percolats sous les témoins en friche. Les pH sont voisins, les conductivités électriques restent faibles : de l'ordre de 30 μ mhos à Manankazo, 60 μ mhos à Ambatomainty. Pour le comprendre, il suffit de rappeler que :

- d'une part, la fumure initiale répartie sur 1 m de sol (profondeur des lysimètres) ne représente pas grand chose :
 - . 0,03 me/100 g de K (inférieur à la précision de l'analyse de routine),
 - . 0,4 me/100 g de Ca et 0,15 me/100 g de Mg, à condition que toute la dolomie et le phosphate soient solubilisés,
 or les sols étaient initialement très désaturés.
- d'autre part, on a vu que la fumure d'entretien NK était en grande partie exportée par fauche de la prairie.

Pour illustrer l'évolution des concentrations sous les différents couverts, on a choisi le cas de Manankazo où il existe également un traitement jachère nue fertilisée (voir graphique). On voit que, sauf la première année où la prairie artificielle n'était pratiquement qu'une autre jachère nue, les concentrations sous prairie ne sont guère plus élevées que sous la friche. Ce qui explique qu'au total, sur 4 années, les pertes par lixiviation ne soient pas importantes.

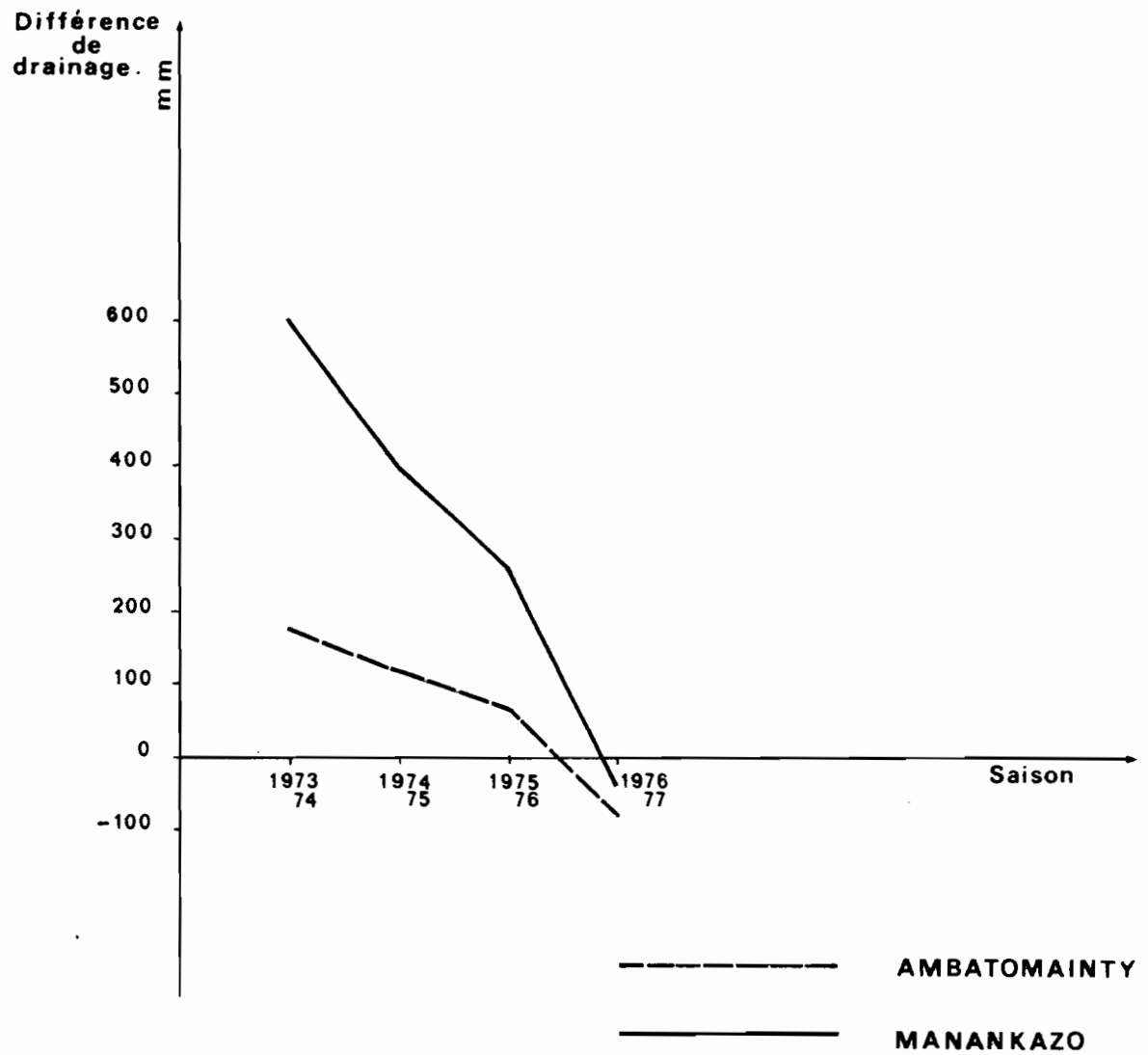
Pluviométrie et drainage cumulés sur les 4 saisons de l'étude Pertes minérales par lixiviation cumulées

Station	Couvert	Pluvio. mm	Drainage mm	Pertes en éléments minéraux (en kg/ha)			
				N	K	Ca	Mg
Ambatomainty	Fauché	5.390	2.890	4,5	22,5	80	8
	<i>Brachiaria</i>	"	3.055	6,5	34	83	19
Manankazo	Fauché	6.800	3.330	1	12	22	4
	<i>Brachiaria</i>	"	4.570	51	109	62	21
	Jachère nue	"	4.490	368	223	167	121

Evolution de la différence de drainage

sous *Brachiaria* et sous friche

(en mm / saison)



Dès que la culture est implantée (2ème année), ses prélèvements dans la solution de sol sont suffisants pour en abaisser les teneurs minérales, du niveau moyen indiqué par le traitement jachère nue à celui du témoin en friche. L'exemple de la jachère nue met en garde contre le danger potentiel de lixiviation qui peut se manifester dans deux cas concrets :

- Mise en place très tardive des cultures et à la limite échec de cette culture. C'est une simple question d'organisation ; en règle générale, on a intérêt à semer le plus tôt possible.
- Fertilisation disproportionnée aux prélèvements immédiats de la plante. C'est une question de fractionnement de la fumure et aussi de niveau d'intensification souhaité. En effet, on a vu dans un précédent paragraphe, que la production de fourrage était très faible à cause de l'insuffisance de la fumure d'entretien NK, fumure qui peut déjà paraître bien coûteuse à un paysan malgache pour produire l'herbe. Pour une production fourragère importante, il faudrait des doses d'engrais minéraux beaucoup plus élevées, donc de fortes concentrations momentanées de la solution du sol.

322 - Essais de fertilisation d'Ambatomainty

En complément de l'étude pédologique d'Ambatomainty (LANGELLIER, BOUCHARD - 1973), on a effectué quelques essais de fertilisation sur les "tanety". Les tests initiaux en vases de végétation (ARRIVETS, BOUCHARD - 1974), (selon la technique CHAMINADE), indiquent la hiérarchie habituelle des déficiences minérales dans ce type de sol sur les Hautes Terres. Les traitements sans P ou Ca ne produisent que le tiers de la récolte obtenue avec la fumure complète, les traitements sans K ou sans Mg que la moitié à deux tiers de la fumure complète.

Les essais au champ concernant P, K et la dolomie (Ca et Mg), installés sur des sols à cuirasse, déjà les moins favorables, ont souffert de l'inadaptation au climat des variétés de maïs utilisées comme plante test. Sélectionnées pour les altitudes moyennes des Hautes Terres (1.400 m), elles "passent" encore à Manankazo, mais allongent exagérément leur cycle à Ambatomainty (1.700 m).

D'autre part, ils ont subi un "effet défriché" qui se manifeste sur ce type de sol lors de toute mise en culture avec fumure strictement minérale, paraissant plus marqué qu'à l'ordinaire. Le premier maïs de défriche dans les essais n'a pratiquement pas produit de grain, les plants entiers ont été enfouis sur place en fin de saison. Les rendements maxima de la 2ème culture sont de 20-25 qx de grains/ha, alors que sur les blocs de culture, où l'on apporte du fumier, ils atteignent 30 qx.

Un essai phosphore, avec forte fumure NK-dolomie uniforme confirme la gravité de la déficience en P assimilable, la réponse jusqu'à des doses très élevées de phosphate, bien connue dans la région (ROCHE - 1965), mais aussi la faible productivité en effet direct des doses les plus fortes. Cependant l'effet résiduel de ces doses (VELLY, ROCHE - 1974) se poursuit longtemps et tend à compenser la faible productivité initiale.

Un essai dolomie et potasse, avec forte fumure NP uniforme montre que si une fumure K modérée est indispensable et très efficace (voir tableau),

.../...

l'effet des apports de dolomie était moins certain. Il faut noter que l'on apporte déjà 500 kg de chaux dans la tonne de phosphate Hyper Reno de la fumure uniforme standard.

Rendement en quintaux de maïs grain/ha

K ₂ O (en kg/ha)	Dolomie (t/ha)		
	0	0,5	2 t
0	0	2	2
180	-	14,5	17,5

L'essai azote avec forte fumure PK-dolomie uniforme a été mis en place dans les blocs de culture, moitié sur défriche avec fumure strictement minérale, moitié derrière soja en assolement ayant reçu du fumier.

Il en est ressorti que :

- la productivité de la fumure N est nettement moindre en fumure strictement minérale qu'en fumure organo-minérale,
- les apports de N au semis sont sans effets et qu'il est utile de les retarder jusqu'à la floraison mâle, comme le conseillait l'I.R.A.M.,
- il n'y a pas d'effet résiduel de l'azote,
- par une dose modérée : 150 kg urée/ha apportée quand il convient, l'augmentation de production est de 15 à 20 kg de maïs grains/kg d'azote.

33 - Etude de la couverture naturelle graminéenne et des productions fourragères dans l'aménagement

331 - A Manankazo

331.1 - Productivité du pâturage naturel

Ce type de pâturage adapté à un milieu pauvre est caractérisé par :

- une bonne appétibilité de son espèce dominante : le *Loudetia simplex stipoïdes* ;
- une productivité primaire relativement élevée (la biomasse varie en fonction de la pluviométrie de 10 à 20 t/ha en vert) ;
- une possibilité de regain très faible (2 t/ha vert environ) ;
- une valeur fourragère moyenne (0,5 UF/kg M.S.).

Son exploitation devrait donc être basée sur des charges instantanées assez fortes et des temps de repos très longs en rapport avec la lenteur des repousses.

.../...

331.2 - Dynamique du pâturage naturel

Parcelles élémentaires

Dans la station de Manankazo, les parcelles ont été installées sur une ancienne pâture, mise en défens depuis peu ; de ce fait, elles présentent un faciès dégradé à *Elionurus tristis* dominant, alors que dans la région environnante, le couvert est normalement à *Loudetia simplex* ssp. stipoides dominant. L'état initial des parcelles était dans l'ensemble très comparable avec un couvert bas mais déjà refermé. Sur la parcelle 02, l'effet bétail a été obtenu au moyen de 4 à 6 passages étalés sur 1 à 2 mois, dans le but de surpâturer les regains après feu.

- Traitement défens : Après une longue période d'exploitation, celui-ci a permis au couvert de commencer une reconstitution : celle-ci ne fait que débiter et le couvert ne dépasse pratiquement pas 45 cm avec un recouvrement de 80 % dans la strate 2.

Sur le plan spécifique, c'est celui qui a entraîné la plus grande diversité floristique et le plus de changement dans les contributions spécifiques : comparé à Ambatomainty, cela traduit les conditions édaphiques et climatiques moins défavorables de Manankazo ; c'est le traitement qui a favorisé la plus forte progression de *Loudetia simplex* et qui, seul, a permis au type C/Rb (représenté par *Aristida rufescens*) de se maintenir ; la fermeture du couvert a pratiquement éliminé le type H/Gb (représenté par *Panicum luridum*).

L'espèce devenue dominante est le *Schizachyrium sanguineum* (35 %).

En ce qui concerne le ruissellement, celui-ci est normalement toujours plus élevé à Manankazo (10 à 12 % des pluies reçues) qu'à Ambatomainty (1 à 2 %), en raison d'une érosivité plus grande. Le couvert en défens, contre toute attente, ne semble pas diminuer le ruissellement plus que le fauchage et même le feu.

Les pertes en terre sont nulles sous ce couvert.

- Traitement feu : Le feu entretient un recouvrement de près de 100 % en strate 1 et de 50 % en strate 2 : son action stimulante, en particulier sur *Schizachyrium sanguineum*, permet à cette espèce d'occuper à 20 % la strate 3.

Sur le plan spécifique, le traitement feu est celui qui provoque le moins de diversité floristique par rapport à l'état initial ; les modifications qu'il apporte sur le plan de la contribution spécifique sont du même ordre que celles dues au fauchage. Le feu a provoqué une forte régression d'*Elionurus tristis* qui le supporte occasionnellement sans y être bien adapté, et a favorisé nettement *Schizachyrium sanguineum*, espèce bien adaptée.

La composition en type bio-morphologique n'est pratiquement pas modifiée.

En ce qui concerne le ruissellement, paradoxalement le feu ne semble pas avoir d'influence aggravante particulière, le % ruisselé ne variant qu'en fonction de l'importance de la pluviosité annuelle ; par contre, le traitement feu provoque des pertes en terre non négligeables.

.../...

- Traitement feu + bétail : Le surpâturage des regains après feu n'a pratiquement pas modifié, sur le plan de l'occupation spatiale, l'état initial de la parcelle ; l'effet bétail, comparé à la parcelle feu, a simplement entretenu un couvert moins fourni dans la strate 2 (20 %). Au sol, le recouvrement d'espèces gazonnantes, comme *Panicum luridum* (type H/Gb) a été nettement favorisé par l'ouverture du couvert indirectement.

Sur le plan spécifique, ce traitement est celui qui, après le feu seul, a entraîné le moins de diversité floristique par rapport à l'état initial ; les modifications qu'il a provoquées sur le plan des contributions spécifiques sont les plus faibles des quatre traitements, ce qui est conforme puisque c'est le traitement qui se rapproche le plus du mode d'exploitation passé.

En ce qui concerne le ruissellement et les pertes en terre, l'effet bétail n'a rien ajouté, au niveau du bilan annuel, à l'effet feu, et cela malgré une accentuation volontairement croissante de 1973 à 1976 de la pression de la dent et du pied de l'animal.

- Traitement fauche : Ce traitement maintient le couvert à un niveau très bas, strictement limité à la strate 1, plus ras et moins fourni que sur la parcelle feu + bétail ; comme à Ambatomainity, le rythme des coupes a rapidement et naturellement été réduit par la réaction du couvert à la fauche, dont les repousses ont été très lentes et basses.

L'influence exercée en trois ans par la fauche, sur la composition floristique, est comparable à celle des traitements feu et feu + bétail ; en contribution spécifique, l'effet fauche est pratiquement identique à celui du feu. Ce traitement a entraîné à la fois la plus nette régression d'*Elionurus tristis* et la plus forte progression de *Schizachyrium sanguineum* devenu dominant.

La composition en type bio-morphologique n'a pas varié, ce qui est conforme, pour ce faciès dégradé résultant déjà d'une longue période d'exploitation excessive.

Le ruissellement observé sur le couvert fauché est du même ordre, mais toujours légèrement plus faible que sur les autres couverts.

Les pertes en terre sont pratiquement nulles comme sur le couvert en défens.

- Traitement défens : Ce couvert, en défens depuis 1960, constitue un témoin précieux dans une région où même les reboisements ne sont pas épargnés par le feu ; après quatorze ans, le retour des ligneux semble extrêmement lent, marqué seulement par quelques arbustes isolés (*Weinmannia*, *Helychrisum*, *Philippia* ...) et une plage de fougères (*Pteridium*) ; le couvert graminéen, fermé, encombré de parties sèches et de litière, est resté remarquablement comparable à lui-même sur tous les plans entre 1973 et 1976 et les faibles variations enregistrées sont vraisemblablement imputables plus aux moyens d'étude qu'à l'objet étudié.

En ce qui concerne le ruissellement, celui-ci, bien que mesuré sur 3 ha et avec des pentes plus fortes, est sensiblement plus faible que sur les parcelles élémentaires ; ceci met en évidence l'efficacité du rôle tampon que joue la masse importante du couvert en défens ; la protection du sol contre l'érosion est, de ce fait, excellente.

- Traitement feu : Celui-ci, après trois ans, entretient un couvert toujours haut mais déjà moins fourni, avec une strate 2 occupée seulement à 50 % et un recouvrement total en légère baisse.

Sur le plan spécifique, trois feux successifs ont nettement modifié la composition floristique dans le sens de la diversité ainsi que les contributions spécifiques ; pratiquement monospécifique avec *Loudetia simplex* dominant à 80 %, le couvert est maintenant composé pour 28 % de *Schizachyrium sanguineum* ; cette espèce présente partout potentiellement en 1973, s'est étendue largement, en 1976, dans les couverts ouverts par les traitements feu et fauche, ou peu dense comme sur la parcelle élémentaire 04 ; par contre, le milieu fermé du B.V. défens lui est resté défavorable.

La composition en type B.M. est restée inchangée puisque ce traitement est le même que précédemment, mais plus accentué.

Paradoxalement, le % ruisselé, sur ce couvert, semble s'atténuer progressivement après l'effet-choc de la première remise à feu (1973) et cela malgré la forte pluviosité de 1975-76 ; ceci ne peut s'expliquer que par la reconstitution progressive du couvert avec le développement au sol et en strate 1 d'espèces secondaires couvrant bien, comme *Panicum luridum*, *Digitaria atrofusca*, cypéracées ...

Par contre, avec un différé d'un an, les pertes en terre sont à nouveau sensibles, sous ce couvert.

331.3 - Biologie du Loudetia

Les premiers résultats semblent indiquer :

- une régénération difficile par graines dans les conditions de la station ;
- une régénération et une extension lente des peuplements par voie végétative par évolution centrifuge des vieilles touffes avec éclatement (rejets périphériques) ;
- une excellente adaptation au feu ;
- un effet dépressif du feu comparé au fauchage, au niveau du développement végétatif -repousse- comme au niveau du cycle dans le cas d'un premier feu intense intervenu après mise en défens prolongée.

331.4 - Surpâturage des regains après feu

Cette expérience concerne les parcelles élémentaires de ruissellement et d'érosion n° 2 (pâturage naturel brûlé et pâturé) et n° 3 (pâturage naturel brûlé).

Cette expérience de surpâturage des regains après feu s'est déroulée dans des conditions satisfaisantes : les deux parcelles ont bien brûlé et le bétail a pâturé efficacement.

Les effets modérés obtenus lors des expériences précédentes ont permis d'accentuer progressivement l'effet bétail au cours des trois années. Malgré cela, il semble que l'effet bétail, surajouté au feu, n'ait pas eu d'effet déterminant prolongé sur le plan de l'érosion.

Sur le plan floristique, l'effet bétail entraîne assez rapidement une modification du couvert graminéen en provoquant l'ouverture du milieu, celle-ci impliquant alors l'instauration d'un nouvel équilibre.

331.5 - Introduction d'espèces nouvelles

Dans le but d'étudier leur comportement dans la station de Manankazo, 8 espèces fourragères pérennes ont été introduites.

Parmi les graminées, *Setaria* surtout, mais aussi *Eragrostis* et peut-être *Phalaris*, pourront donner de bons résultats. Parmi les légumineuses, deux *Desmodium*, et particulièrement *Desmodium uncinatum*, semblent prometteurs.

D'autre part, le comportement de *Lotononis* est satisfaisant. Par contre, le *Stylosanthes* présente un démarrage plus difficile dans un autre essai d'introduction.

332 - A Ambatomainty

332.1 - Inventaire floristique

29 graminées, 4 papilionacées, 6 composées, 11 cypéracées et 18 autres plantes ont été pour le moment reconnues, déterminées, et les échantillons nouveaux viennent compléter l'herbier du Service Agrostologique.

332.2 - Dynamique du pâturage naturel

Le couvert graminéen bas, de zone d'altitude, couvre uniformément les plateaux et les pentes ; il est remarquable par son extrême pauvreté floristique, son aspect homogène lié à une grande convergence de forme des différentes espèces qui le constituent, l'aspect fermé et figé d'une végétation cassante et peu colorée dans laquelle les traces d'une voiture restent marquées plusieurs années après son passage.

Le feu passe régulièrement, avec une périodicité de deux à trois ans, rarement annuelle en raison du temps nécessaire à la reconstitution du combustible suffisant. L'état initial du couvert avant traitement était très homogène mais peu dense en raison du feu récent, le couvert sur 02 (qui restera en défens) étant plus dégradé que sur 03 et 04.

Des traitements étudiés, deux peuvent être considérés comme "naturels":

- Défens sur 02 :

L'état de cette parcelle correspond, en 1976, à celui d'un couvert arrivant à la fin d'une période inter-feu de quatre ans ; il est donc entièrement reconstitué.

- Feu sur 04 :

Ce couvert est soumis au traitement feu classique, mais avec un rythme annuel donc très intensif et anormal dans la région.

Le troisième traitement est certainement "artificiel" :

- Fauche sur 03 :

Ce traitement est celui d'une prairie de fauche sans restitution, pour la production de foin ou de litière.

- Traitement défens : Celui-ci a permis à la formation de "s'épaissir" avec un recouvrement de près de 100 % dans la deuxième strate, mais sans dépasser 40 cm, hauteur limite de ce type de couvert.

Sur le plan floristique et sans modification notable de la composition, le facteur temps a permis aux espèces secondaires d'accroître sensiblement leur contribution aux dépens de l'espèce dominante.

Pour ce type de couvert, adapté à un milieu extrêmement pauvre et donc peu sensible, un délai de quatre ans sans feu est manifestement trop court pour permettre une modification de la composition en types bio-morphologiques.

En ce qui concerne le ruissellement, le maintien en défens du couvert entraîne un niveau de protection stabilisé dès la première année (entre 1 et 2 % des pluies tombées : donc faible) ; les pertes en terre sont nulles même en première année.

- Traitement feu : Ce traitement, comme la fauche, maintient le couvert à un niveau bas qui ne dépasse pratiquement pas celui de la première strate ; l'état de la formation est resté remarquablement stable malgré le rythme intensif du feu, avec un recouvrement dans la strate 1 toujours maximum (100 %) et une composition en T.B.M.(1) identique, ce qui montre bien l'excellente adaptation du couvert au feu.

Par contre, au niveau des contributions spécifiques et peut-être en raison du rythme intensif des feux, il apparaît que là aussi l'espèce dominante a légèrement régressé au profit des espèces secondaires. Le feu répété n'a apporté aucun changement au niveau des T.B.M. En ce qui concerne le ruissellement et sans qu'une modification notable dans le recouvrement du sol apparaisse, il semble que celui-ci aille croissant, même en saison des pluies normales ; le % ruisselé reste cependant faible, mais en troisième année, le sol semble devenir brusquement très sensible à l'érosion ; c'est peut-être là l'explication de l'augmentation du ruissellement, le décapage du sol ayant diminué ses possibilités d'absorption ; ultérieurement, ce serait alors la dégradation du sol qui entraînerait celle du couvert et de son recouvrement au sol : ce type de couvert étant beaucoup moins sensible aux excès divers que le sol qu'il recouvre.

.../...

(1) T.B.M. = Type bio-morphologique.

- Traitement fauche : Ce traitement maintient le couvert à un niveau bas qui ne dépasse pas 20 cm ; avec un recouvrement excellent et une densité légèrement supérieure à celle de la parcelle feu.

Sur le plan floristique, la composition reste pratiquement la même, par contre et comme la mise en défens, le fauchage a entraîné une régression sensible de l'espèce dominante au profit des espèces secondaires, notamment des cypéracées.

Ce traitement "artificiel", et sans doute en raison de ce caractère, a entraîné une diversification dans la composition en T.B.M. avec l'apparition des thérophytes et des géophytes bulbeux.

Sur le plan du ruissellement, le couvert fauché assure une protection comparable et même meilleure que le couvert en défens et cela malgré un manteau végétal moins épais ; le sol est très bien protégé, d'où des pertes en terre nulles.

332.3 - Productivité

Les résultats, consignés dans le rapport de 1974, ont montré que :

- quel que soit le rythme des coupes, la productivité cumulée reste la même en saison des pluies et en saison sèche ;
- les possibilités de regains sont réduites et varient peu suivant la saison, l'importance des précipitations aurait donc peu d'influence sur la repousse ;
- la croissance de l'herbe en matières vertes et le pourcentage en matière sèche sont identiques après feu et après fauchage ;
- les analyses des fourrages obtenus ont fait apparaître des teneurs élevées en cellulose. De même, les teneurs en silice sont élevées ; par contre, les teneurs en phosphore et surtout en calcium sont très faibles.

332.4 - Aménagement du bassin versant Nord

Trois variétés de Pennisetum purpureum ont été comparées. Il est apparu une productivité en vert comparable pour les Pennisetum purpureum var kisozi et kenya (de l'ordre de 20 t/ha) et une productivité légèrement supérieure pour le Pennisetum purpureum var à collets rouges.

Deux légumineuses ont été introduites. Après les récoltes de graines en Mai 1976, le résultat de la récolte en vert est le suivant :

	Hyperphosphate Chlorure de potasse	Phosphate d'ammoniaque Chlorure de potasse
Desmodium intortum	18,8 t/ha	16,8 t/ha
Lotononis bainesii	9,7 t/ha	7,1 t/ha

.../...

Dans le but d'étudier leur comportement dans la station d'Ambatomainty en climat d'altitude tropicale, humide à hiver froid, 10 espèces fourragères pérennes ont été introduites. Parmi les graminées, *Eragrostis* et *Digitaria* ont un comportement satisfaisant, parmi les légumineuses, les *Desmodium* (*intortum* et *incinatum*) semblent prometteurs.

L'amélioration du pâturage naturel se fera par l'introduction du *Melinis minutiflora* qui se développe mieux et colonise peu à peu le *Brachiaria brizantha*.

4 - CONCLUSIONS PROVISOIRES - POURSUITE DE L'EXPERIMENTATION

Durant cinq années, un dispositif d'étude du bilan de l'eau sous prairies naturelles et artificielles a pu être suivi sur deux stations des Hauts Plateaux Malgaches.

Sur la première station, Manankazo, les observations réalisées depuis 1963 sur des petits bassins versants comparatifs et destinées à juger de l'effet des couverts naturels et de leur modification, ont été poursuivies. Le projet, soutenu par l'action concertée, a permis, en outre, la réalisation d'expérimentations en parcelles élémentaires de mesure du ruissellement et de l'érosion destinées à mieux apprécier l'effet du couvert graminéen et son exploitation, ainsi que la mise en place de dispositifs lysimétriques destinés à l'étude des pertes en éléments fertilisants par lessivage.

Sur la seconde station, Ambatomainty, les mêmes dispositifs de lysimètres et d'étude du ruissellement et de l'érosion ont pu être installés et suivis pendant cinq ans, tandis que l'effet de l'aménagement intégré d'une surface géographique élémentaire couverte de steppe à graminée était observé grâce à l'installation de deux bassins versants comparatifs d'une superficie de l'ordre de 30 ha. Après une période de jaugeage, l'un des bassins a été mis en valeur rationnellement selon les normes définies par les Services Techniques de l'Agriculture, le second continuant à être exploité selon le mode traditionnel.

Les études entreprises ont permis de dégager un certain nombre de points, certains venant préciser et conforter des résultats déjà obtenus sur les bassins comparatifs de Manankazo et ayant fait l'objet de publications antérieures, d'autres intéressant surtout le dispositif expérimental de la seconde station d'Ambatomainty, demandant une exploitation plus poussée des observations avant d'être précisés. Un document de synthèse plus complet est en cours d'élaboration par l'équipe de chercheurs ayant participé à ces travaux. Sa publication est prévue début 1979.

Concernant le ruissellement, l'érosion et le bilan de l'eau, l'effet régulateur de la mise en culture rationnelle et du reboisement et à un degré moindre de la mise en défens, est, de nouveau, mis en évidence à Manankazo. La mise à feu répétée du couvert graminéen occasionne de fortes pointes de ruissellement lors des orages et cyclones et entraîne une érosion importante qui diminue dès que la pratique du feu cesse. La mise en culture ne provoque de l'érosion que lors de la mise en place de l'aménagement ; le problème des modalités d'installation de la prairie ne doit pas être négligé, car cette installation est souvent l'occasion de départ de terre important.

Les sols de la région sont moyennement érodibles comme le montre l'expérimentation en parcelle de Wischmeier avec un K (index sol) de 0,2 pour un index de pluie annuel variant de 300 à 600 (moyenne 500 unités US). Le reboisement et la prairie artificielle ont des besoins en eau plus élevés que la prairie en défens, la mise à feu de cette dernière ne semblant pas modifier l'évapotranspiration.

A Ambatomainty, les résultats obtenus sur bassins versants ne sont pas encore totalement exploités. On observe cependant déjà une évolution très nette du bassin aménagé, la mise en valeur ayant tendance à réduire considérablement les fortes crues. De même, on peut noter une faible augmentation de l'évapotranspiration réelle liée à la surface des plateaux mise en culture (14 % seulement), le reboisement (25 % de la surface) n'ayant pas encore d'effet sensible. Les transports solides, liés essentiellement à l'aménagement des bas-fonds, tendent à diminuer ; au point de vue chimique, les apports de fertilisants n'entraînent pas de pertes mesurables. Le brûlis du bassin provoque, par contre, un supplément des transports solides et une très nette augmentation des suspensions, le retour vers la normale semblant s'amorcer très rapidement.

Les études en parcelles élémentaires confirment la réduction du ruissellement par la mise en culture et la prairie artificielle, montrent l'intérêt du fauchage et l'effet du brûlis qui entraîne une augmentation des volumes ruisselés, alors qu'elles font apparaître la nécessité d'envisager la mise en culture avant les gros orages si l'on veut éviter de trop fortes pertes en terre. L'index de pluie de l'équation universelle de Wischmeier est de l'ordre de 400 et le coefficient K (facteur sol) voisin de 0,2, caractéristique d'un sol moyennement érodible.

Concernant les problèmes de mise en valeur agricole, de pertes des éléments par lixiviation et l'évolution du couvert graminéen, l'expérience a montré, à Manankazo, que la culture en courbes isohypses avec aménagement anti-érosif associé à une succession culturale définie comprenant maïs, pomme de terre, soja, prairie artificielle, était possible avec des rendements intéressants. Les essais de fertilisation ont, par ailleurs, confirmé sur les sols d'Ambatomainty, la gravité de la déficience en phosphore, la nécessité d'une fumure potassique modérée complémentaire et l'intérêt d'un apport organique. Les observations faites sur les lysimètres ont révélé que les percolats sous couvert de prairie naturelle étaient pratiquement purs, la pauvreté chimique des sols se reflétant dans celle de la végétation naturelle. Le pâturage naturel, adapté à ce milieu très pauvre, se caractérise par une productivité moyenne, une possibilité de regain très faible variant peu avec la saison et son exploitation devrait être basée sur des charges instantanées assez fortes avec des temps de repos assez longs en rapport avec la lenteur des repousses. L'évolution de ce parcours selon différents traitements (défens - feu - feu + bétail - fauche) a été étudiée. Il a été confirmé que la pratique du feu entretenait un couvert inutilisable par le bétail.

Les contraintes majeures limitant la mise en valeur ont été dégagées et les possibilités de modèle d'aménagement rationnel de ces deux zones des Hauts Plateaux esquissées. Parallèlement, les effets des modes d'exploitation du sol sur les différents paramètres (eau - sol - couvert graminéen) étudiés depuis quelques années déjà, ont été précisés, tandis qu'était abordée à Ambatomainty, au niveau d'une unité représentative, l'étude de l'influence de l'aménagement global sur le maintien des facteurs naturels de production. Les premières observations ont montré que certains aménagements ou certains modes d'exploitation n'ont qu'une influence que dans quelques années (reboisement, etc.). Il apparaît donc intéressant que le bassin aménagé d'Ambatomainty

soit protégé et entretenu et que dans quelques années une ou deux campagnes de mesures comparatives soient entreprises sur les deux bassins comparatifs qui permettront de dégager les effets des traitements non encore perceptibles.

Le Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural va se charger du suivi des expérimentations en place et du contrôle des aménagements avant de réaliser, dans quatre ou cinq ans, la ou les campagnes de mesure.

5 - BIBLIOGRAPHIE

RAPPORTS GENERAUX

- D.G.R.S.T. : ACTION CONCERTEE "EQUILIBRES ET LUTTE BIOLOGIQUES" - "GESTION DES RESSOURCES NATURELLES RENOUVELABLES".

BASSINS VERSANTS MADAGASCAR - BILAN DE L'EAU SOUS PRAIRIES NATURELLES ET ARTIFICIELLES.

- . Rapport annuel 1972
- . Rapport annuel 1973
- . Rapport annuel 1974
- . Rapport annuel 1975
- . Rapport annuel 1976

C.T.F.T.

- Compte rendu d'installation des parcelles élémentaires à Manankazo et à Ambatomainty (C.T.F.T.).
J.M. SARRAILH et G. BENOIT de COIGNAC - 1973
- Etude de l'influence du couvert et de ses modifications à Madagascar.
C. BAILLY - G. BENOIT de COIGNAC - C. MALVOS
J.M. NINGRE - J.M. SARRAILH
Bois et Forêts des Tropiques
(Cahiers Scientifiques n° 4 - Octobre 1974.)
- Premiers résultats obtenus sur les parcelles élémentaires d'Ambatomainty et de Manankazo.
J.M. SARRAILH - D.R.F.P. - Décembre 1974.
- Parcelles élémentaires d'Ambatomainty et de Manankazo.
Mise au point après la campagne 1974-1975.
J.M. SARRAILH - D.R.F.P. - Septembre 1975.
- Parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion à Madagascar.
J.L. RAKOTOMANANA - L. RAMPANANA - J.M. SARRAILH -
D.R.F.P. 1975.

- Etude de la sensibilité des sols de Madagascar à l'érosion -
Expérimentation en parcelles élémentaires.
C. BAILLY - C. MALVOS - J.M. SARRAILH - J.L. RAKOTOMANANA -
L. RAMPANANA - RAMANAHADRAY Fils.
Bois et Forêts des Tropiques n° 169 - Sept-Oct. 1976.
- Parcelles élémentaires d'Ambatomainy et de Manankazo -
Mise au point après la campagne 1975-1976.
J.M. SARRAILH - D.R.F.P. Janvier 1977.

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

- Bassins versants expérimentaux d'Ambatomainy - Campagne 1972-1973
D. IBIZA - ORSTOM (Section Hydrologie). Décembre 1973.
- Bassins versants expérimentaux d'Ambatomainy - Campagne 1973-1974
D. IBIZA - ORSTOM (Section Hydrologie). 1975.
- Modification du milieu naturel des Hauts-Plateaux Malgaches par la mise en culture. Bassins versants expérimentaux d'Ambatomainy.
D. IBIZA - Symposium sur les caractéristiques hydrologiques des bassins fluviaux. Tokyo, décembre 1975.
Public. AIHS n° 117 - p. 507-515.
- Bassins versants expérimentaux d'Ambatomainy. Campagne 1974-1975
D. IBIZA - ORSTOM (Section Hydrologie). 1976.
- Essai de simulation analytique du ruissellement sur une petite surface homogène.
D. IBIZA - ORSTOM (Section Hydrologie). 1976.

I.R.A.T.

- Etude pédoagronomique de la station d'Ambatomainy.
P. LANGELLIER-BELLEVUE - L. BOUCHARD - IRAT. Octobre 1973.
- Rapport IRAT, bassins versants Madagascar.
ARRIVETS J - BOUCHARD L. 1974.
- Rapport IRAT, bassins versants Madagascar.
ARRIVETS J, BOUCHARD L. 1975.
- Compte rendu de campagne 1975-1976, bassins versants Madagascar.
ARRIVETS J - CENRADERU 1976.
- Compte rendu de campagne 1976-1977, bassins versants Madagascar
ARRIVETS J. (en préparation)

I.E.M.V.T.

- Projet bassins versants Madagascar - Rapport annuel 1973.
A. BIGOT - IEMVT 1973.
- Bassins versants Madagascar - Rapport annuel 1974.
A. BIGOT - IEMVT 1974.
- Compte rendu de la campagne 1974-1975.
A. BIGOT - IEMVT 1975.
- Programme D.G.R.S.T. - Bassins versants Madagascar -
Bilan de l'eau sous prairies naturelles et artificielles. Campagne 1976.
A. BIGOT - Août 1976.
- Etude du dynamisme de couverts graminéens denses en zone tropicale d'altitude.
A. BIGOT - D.E.A. Académie de Montpellier - Octobre 1977.

6 - BREVETS

BREVETS DEPOSES OU EN COURS DE VISA

N E A N T

A N N E X E S

TABLEAU N° 1 - BILAN DE L'EAU - MANANKAZO - RECAPITULATION ANNUELLE

Campagne	Pluv moy. mm	B.V. 1 - Défens			B.V.2 - Cultures			B.V.3 Brûlé		B.V.4 - Reboisem.		
		Vol.	Coef.	%	Vol.	Coef.	%	Vol.	Coef.	Vol.	Coef.	%
		mm	%	BV 3	mm	%	BV 3	mm	%	mm	%	BV 3
1962-63	1558	150,8	9,7	68,3	71,2	4,6	32,3	220,7	14,1	103,0	6,6	46,7
1963-64	1721	128,4	7,5	57,0	31,3	1,8	13,9	225,3	13,1	70,1	4,1	31,1
1964-65	2127	204,6	9,6	69,3	27,9	1,3	9,5	295,2	13,9	62,2	2,9	21,1
1965-66	1478	54,9	3,7	37,5	8,2	0,6	5,6	146,3	9,9	26,9	1,8	18,4
1966-67	1434	31,9	2,2	30,1	6,7	0,5	6,3	105,9	7,4	2,7	0,2	2,5
1967-68	1743	65,9	3,8	40,4	27,1	1,6	16,6	163,0	9,4	5,1	0,3	3,1
1968-69	1546	21,9	1,4	22,2	13,2	0,9	13,4	98,4	6,4	3,7	0,2	3,8
1969-70	1731	54,1	3,1	40,3	33,3	1,9	24,8	134,2	7,8	3,6	0,2	2,7
1970-71	2019	210,7	10,4	58,4	130,7	6,5	36,2	360,9	17,9	49,6	2,5	13,7
1971-72	1934	190,4	9,8	61,5	126,7	6,6	40,9	309,5	16,0	116,1	6,0	37,5
1972-73	2155	216,5	10,0	57,9	45,8	2,1	12,2	374,2	17,4	23,9	1,1	6,5
1973-74	1860	96,7	5,2	30,6	54,0	2,9	17,1	315,6	17,0	13,4	0,7	4,2
1974-75	1891	89,5	4,7	34,1	35,4	1,9	13,5	262,4	13,9	2,0	0,1	0,8
1975-76	2122	206,7	9,7	56,9	68,1	3,2	18,8	363,0	17,1	14,9	0,7	4,1
1976-77	1783	120,4	6,8	63,1	30,6	1,7	16,0	190,7	20,4	5,2	0,3	2,7
Moyenne	1807	122,9	6,8	51,7	47,3	2,6	19,9	237,6	13,1	33,5	1,9	14,1

TABEAU N° 2 - CLASSEMENT DES VALEURS MAXIMALES ANNUELLES DU DEBIT DES
POINTES DE CRUES EN l/s/ha A MANANKAZO

BV.1 Prairie en défens	BV.2 Cultures	BV.3 Prairie brûlée	BV.4 Reboisement pins	Rang	$\frac{n - \frac{1}{2}}{N}$
201	119	287	90	1	0,033
173	100	270	84	2	0,100
149	95	266	80	3	0,166
146	95	255	40	4	0,233
140	72	221	30	5	0,300
135	46	220	19	6	0,366
125	44	210	11	7	0,433
120	41	204	9	8	0,500
110	40	172	9	9	0,566
108	40	157	8	10	0,633
106	33	140	7	11	0,700
99	32	131	5	12	0,766
79	29	120	5	13	0,833
72	14	109	4	14	0,900
65	13	94	3	15	0,966

TABIEAU N° 3 - PERTES EN TERRE - MANANKAZO - RECAPITULATION ANNUELLE

Campagne	B.V.1	B.V.2	B.V.3	B.V.4	Index de pluie
1962-63	11	2350	680*	310	567
1963-64	5	6	88	12	539
1964-65	0	0	147*	0	579
1965-66	0	0	16	0	352
1966-67	0	0	270*	0	336
1967-68	0	0	191	0	441
1968-69	0	0	17	0	307
1969-70	0	0	9	0	385
1970-71	0	6**	0	0	676
1971-72	0	0	6	0	557
1972-73	0	0	0	0	544
1973-74	0	0	73*	0	562
1974-75	0	0	221*	0	554
1975-76	0	0	237*	58***	550
1976-77	0	0	33	0	489
Total	16	2362	1988	380	7438
Moyenne	1	157	133	25	496

* Années de mise à feu sur le B.V.3.

** Plantation de peupliers sur le B.V.2.

*** Incendie du reboisement sur le B.V.4.