



Photo Hueber.

Aménagement de Défense et Restauration des sols. Vallée témoins, Lac Alaotra.

CONSERVATION DES SOLS EN AFRIQUE ET A MADAGASCAR

**IV. — ESSAI DE MISE EN VALEUR AGRICOLE
PAR AMÉNAGEMENT RATIONNEL DES BASSINS VERSANTS
LE PÉRIMÈTRE DE MANANKAZO SUR LES HAUTS PLATEAUX MALGACHES**

par

MM. GOUJON, BAILLY, de VERGNETTE,
BENOIT de COIGNAC
Centre Technique Forestier Tropical

MM. VELLY, CELTON
*Institut de Recherches Agronomiques
de Madagascar*

SUMMARY

SOIL CONSERVATION IN AFRICA AND MADAGASCAR (CONTINUED)

IV. An attempt at regional development using experimental catchment basins at Manankazo in Madagascar

The region of Manankazo, located on the high Madagascan plateaux 75 miles from Tananarive, is admirably suited to the creation of experimental catchment basins.

This project, which was launched in 1962, involves the creation of an anti-erosive infrastructure associated with improved agricultural practices. The effect of the scheme on the run-off of water and on soil losses is observed by means of experimental catchment basins whose area, markedly greater than that of the basic parcels of land, allow agricultural or forestry work to be carried out.

The results after five years of experimentation show that in this region of Madagascar soils suitable for agricultural working may be cultivated, provided they are given a sufficient basic fertilization and that conventional anti-erosion methods are applied.

RESUMEN

CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS EN AFRICA Y EN MADAGASCAR (CONTINUACIÓN)

IV. --- Ensayo de revalorización regional por medio de una ordenación racional en cuencas vertientes. El perímetro de Manankazo, en Madagascar

La región de Manankazo, situada en las altas mesetas de Madagascar, a 125 km de Tananarive, se presta admirablemente para la realización de una ordenación-test de cuencas vertientes.

Esta ordenación, iniciada en 1962, comprende la instalación de una infraestructura antierosiva combinada con prácticas agrícolas mejoradas. El efecto de esta ordenación sobre la escorrentía y las pérdidas de tierra es estudiado por el método de las cuencas vertientes experimentales cuya superficie, resueltamente superior a aquella de las parcelas elementales, permite la ejecución de trabajos agrícolas y forestales.

Los resultados, después de transcurridos cinco años de experimentación, demuestran que las tierras, en esta región de Madagascar — tierras de vocación agrícola — pueden ser cultivadas con la reserva de una adición de un estercolado de fondo y aplicar los métodos clásicos de defensa contra la erosión.

La région de Manankazo, située sur les hauts plateaux malgaches à 125 km de Tananarive, se prête admirablement à la réalisation d'un aménagement-test de bassins versants, du fait qu'elle est à peu près inhabitée et pratiquement incultivée.

Cet aménagement, dont la mise en place remonte à 1962, comporte l'installation d'une infrastructure

antiérosive associée à des pratiques agricoles améliorées. L'effet de cet aménagement sur le ruissellement et les pertes en terre est étudié par la méthode des bassins versants expérimentaux dont la surface, nettement supérieure à celle des parcelles élémentaires, permet l'exécution de travaux agricoles ou forestiers.

BUT DE L'EXPÉRIMENTATION GÉNÉRALITÉS

Cette expérimentation a pour objet d'approcher la connaissance des phénomènes d'érosion dans la zone des Hauts-Plateaux en fonction des couvertures végétales et de voir comment il est possible de lutter contre ces phénomènes par des traitements appropriés.

Le but final est de déterminer pour cette région les systèmes de mise en valeur les mieux adaptés en fonction des phénomènes d'érosion et de ruissellement.

Pour cela on a étudié :

- les ruissellements en fonction des précipitations ;
- les pertes en terre c'est-à-dire le volume ou le poids de terre emportée par l'eau de ruissellement ;
- les modifications physiques et chimiques des horizons supérieurs du sol ;
- les variations de rendement des cultures selon les aménagements anti-érosifs et les méthodes culturales.

Cette expérimentation est réalisée à la Station Forestière de Manankazo à 125 km au Nord-Ouest de Tananarive sur les plateaux du Tampoketsa d'Ankazobe, sous-préfecture d'Ankazobe, à une altitude comprise entre 1.500 et 1.600 m. La couverture végétale est essentiellement constituée d'une steppe à graminée à base de *Loudetia stipoides*, avec quelques reliques forestières dans les thalwegs sur sols gneissiques.

Du point de vue climatologie, il faut signaler sans entrer dans le détail que la zone se caractérise par :

- une pluviosité annuelle de 1.700 mm concentrée sur 5 mois avec une saison sèche marquée et une grande variabilité d'une année sur l'autre ;
- une influence importante des alizés indiens, vents dominants de l'Est qui soufflent fréquemment ;
- une saison fraîche marquée, avec des minima assez bas en juillet-août.

Le climat peut être qualifié de tropical d'altitude avec forte influence des alizés de l'Est.

STATION DE MANANKAZO

Observations climatologiques

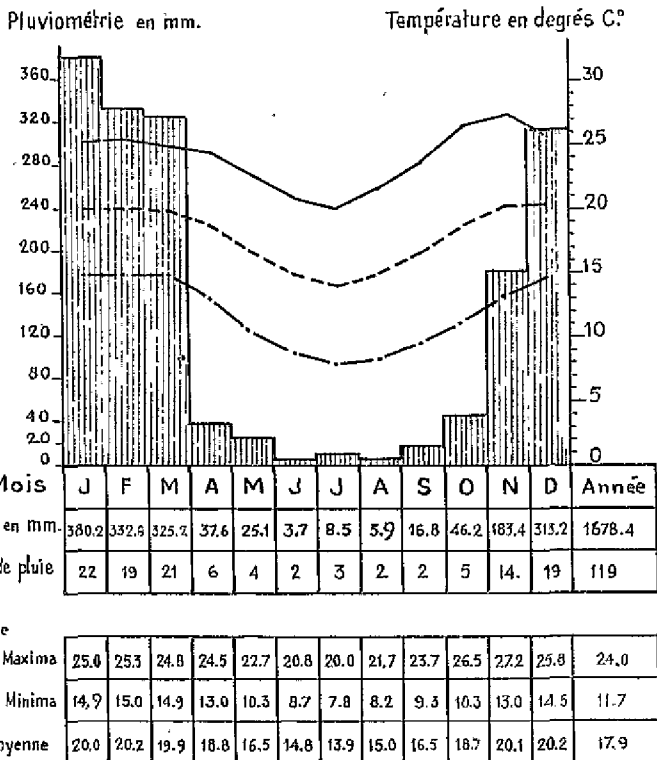
DESCRIPTION DES DISPOSITIFS

PRINCIPE

Le principe utilisé est celui des parcelles expérimentales mais appliqué à des superficies suffisantes pour la réalisation des travaux agricoles et forestiers. On cherche à comparer le ruissellement et les pertes en terre selon les divers couverts comme on pouvait le faire précédemment par la méthode des parcelles élémentaires ou selon les pratiques culturales réalisées. Mais en plus, il était intéressant de porter son attention sur les variations du ruissellement pendant la durée de celui-ci, c'est-à-dire d'obtenir une courbe d'intensité du ruissellement. Ainsi non seulement la mesure du volume d'eau ruisselée pour une précipitation donnée permet, comme pour les parcelles élémentaires, de connaître le résultat global mais en plus la courbe d'intensité permet de savoir comment ce facteur agit.

Le relief particulier de la région a permis de trouver 4 bassins élémentaires ayant une forme classique en entonnoir, ce qui a permis de limiter les coûts des travaux nécessaires à l'isolement des côtés des champs expérimentaux. A la partie inférieure une gouttière collectrice constituée par des tôles enfoncées dans le sol et se terminant par une murette en béton permet de concentrer les eaux dans un canal d'écoulement. Ce canal d'écoulement est précédé d'une cuve de sédiments de 5 m × 3 m × 0,40 m comportant une grille à grosses mailles. C'est là que seront recueillis les dépôts lourds, les prélèvements pour analyse des éléments en suspension se faisant à la sortie du déversoir calibré. Le débit liquide est mesuré à partir des variations d'un limnigraphe, dont le flotteur est installé dans un puits situé sur l'alle du déversoir (type H du Soil Conservation Service).

Le but poursuivi est d'établir des comparaisons :
1° comparaison entre la courbe des intensités des



Pluviométrie : 1948 à 1960

Température : 1954 à 1960

Moyennes des Maxima : ———

Moyennes des Minima : - - - - -

Température Moyenne : - · - · -

(D'après Documents du Service Météa)

précipitations d'une part, l'érosion et le ruissellement d'autre part ; 2° comparaison de l'érosion et du ruissellement sur des champs différemment traités.

Les précipitations sont enregistrées à l'aide d'un pluviographe à augets basculeurs.

Les quatre bassins mis en place en 1962 et équipés selon les principes énoncés ci-dessus ont été traités de différentes manières (voir croquis p. 23) :

— Bassin n° 1 : Témoin : Steppe à *Loudelia* en défens.

— Bassin n° 2 : Cultures rationnelles.

— Bassin n° 3 : Prairie brûlée.

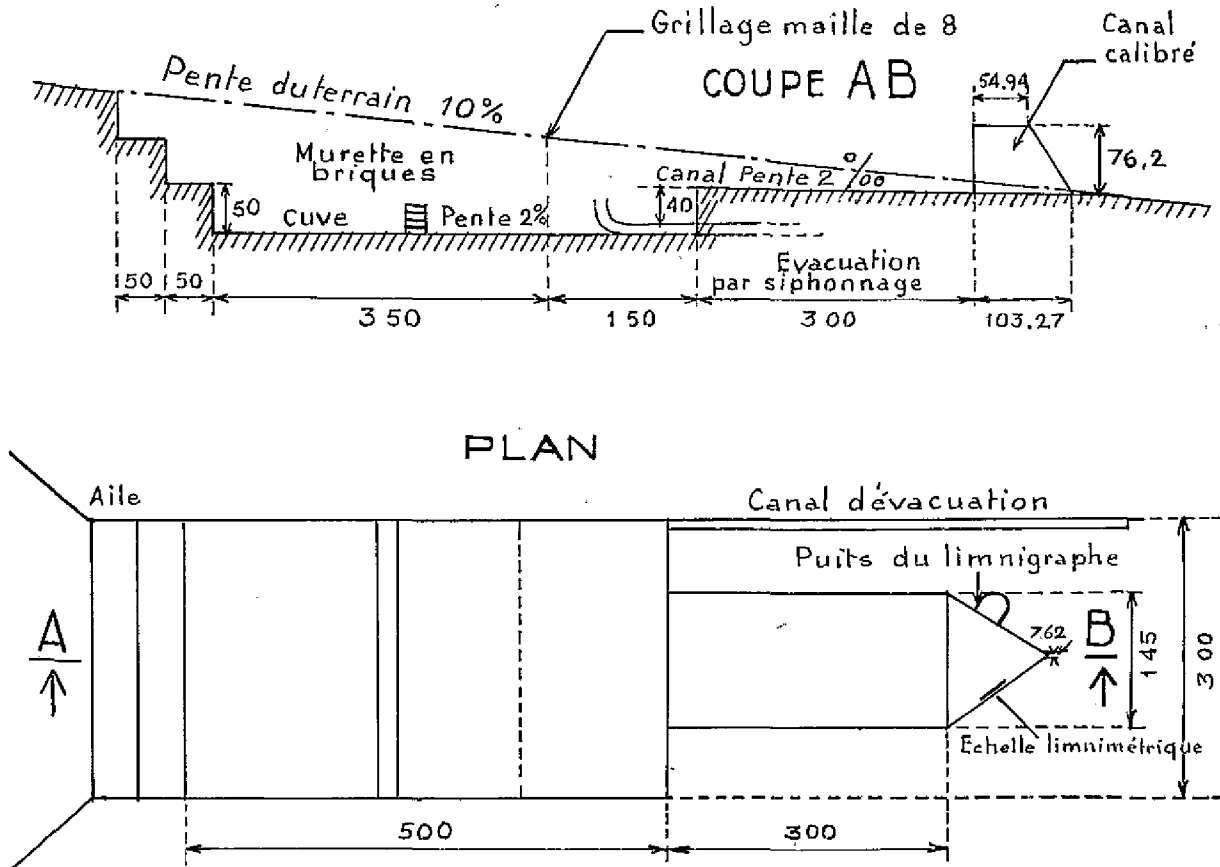
— Bassin n° 4 : Reboisement en *Pinus patula*.

PROBLÈMES DE LA MISE EN CULTURE RATIONNELLE

La mise en valeur rationnelle d'un bassin versant nécessite que les cultures soient réalisées :

1° sur les terres à vocation agricole exclusive-
ment ;

DÉVERSOIR DES BASSINS VERSANTS DE MANANKAZO



2° avec une fertilisation préalable du sol quand la fertilité est insuffisante, ce qui est le cas le plus fréquent ;

3° selon des méthodes permettant la conservation du sol.

CONNAISSANCE DE LA VOCATION DES SOLS

Les recherches en matière d'érosion et l'expérience acquise sur les Hauts-Plateaux malgaches ont montré qu'une agriculture rationnelle pouvait être installée sur des terrains de pente inférieure à 12 % en prenant certaines précautions, si l'on voulait rester dans les limites admissibles des pertes en terre, qui, dans cette région, ne doivent pas dépasser 12 tonnes par hectare et par an.

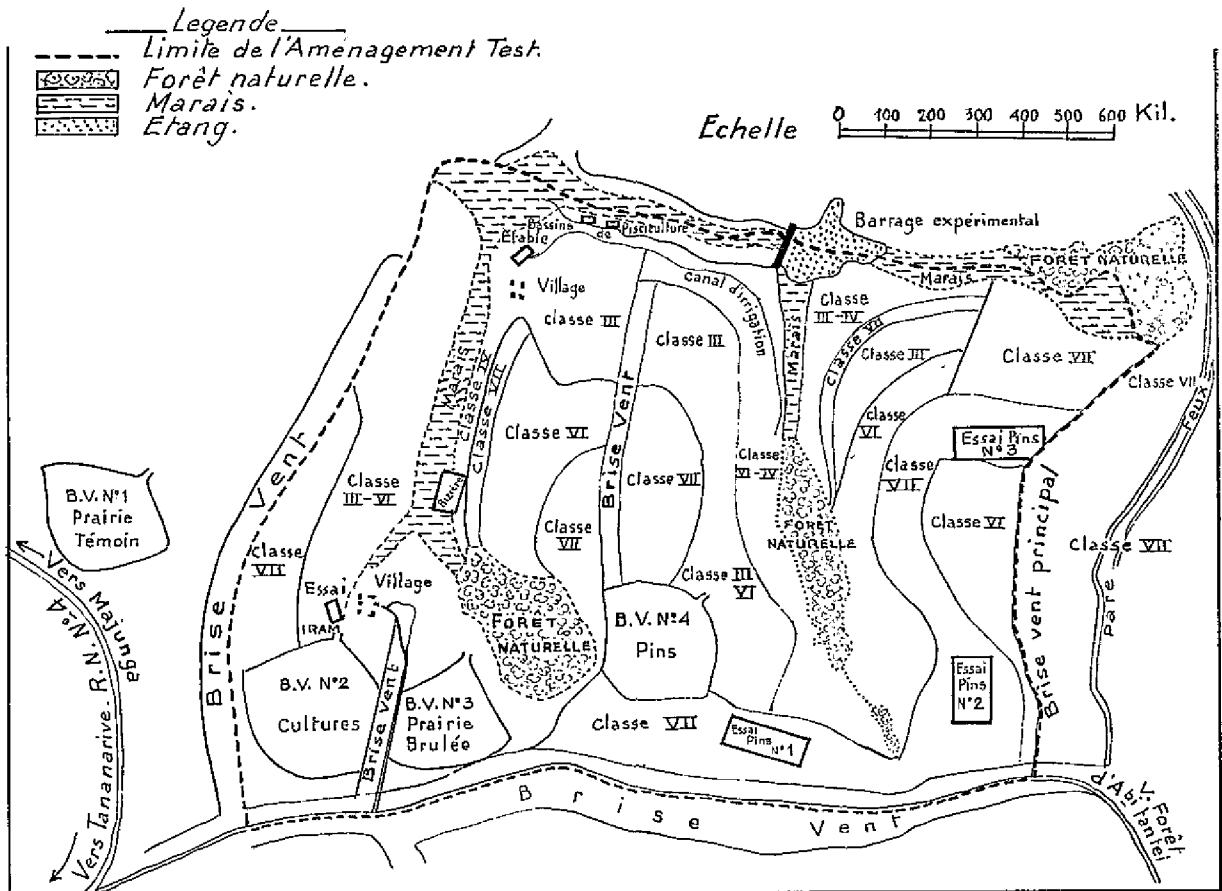
Dans le cas d'un aménagement rationnel, il est donc très intéressant d'établir au préalable la carte des pentes dont une des classes sera comprise entre 0 et 12 %. Cette carte donnera déjà une localisation des terrains susceptibles d'être consacrés aux

cultures sèches, la mise en culture de terrains à pente plus forte étant à éviter.

C'est sur ces terrains qu'une reconnaissance pédologique de détail permettra de localiser les sols à vocation agricole. Une fois la reconnaissance faite, il est possible de déterminer la localisation et l'importance de ces sols. Parallèlement, aidés par la carte des pentes, l'aménagiste et le pédologue détermineront les terrains à vocation pastorale, à vocation de reforestation et à vocation de protection.

Dès lors, il sera possible de dresser la carte des vocations et celle des aménagements.

PLAN DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT-TEST ET DES BASSINS VERSANTS COMPARATIFS



CARACTÉRISTIQUES DE BASE DES SOLS A VOCATION AGRICOLE : ANALYSES CHIMIQUES, RECHERCHE DE CARENCES, ETC...

L'intérêt de l'analyse chimique des sols à vocation agricole réside dans le fait qu'elle permet de déterminer les possibilités qu'offre le sol pour l'alimentation des végétaux.

Malheureusement, sur ces sols du Tampoketsa, l'analyse fait ressortir une pauvreté générale en éléments fertilisants sans qu'il soit possible de les différencier :

Le pH est acide et voisin de 5.

Le phosphore assimilable et les bases échangeables sont d'une pauvreté extrême.

Par contre la teneur en matière organique est assez élevée (de 7 à 10 %).

Du point de vue physique la texture de ces sols

est fine et il sera important de leur conserver une bonne structure en introduisant une prairie temporaire de 3 ans dans la rotation.

Quelques essais en vases de végétation ont permis d'avoir une idée de l'importance relative des différentes carences et d'orienter les fumures de redressement vers une fumure mixte à base de fumier + phosphore.

La teneur en matière organique est l'un des éléments de classification de ces sols en vue de leurs possibilités de mise en cultures. Des analyses faites par le laboratoire de pédologie du C. N. R. S., il apparaît que la stabilité de cette matière organique n'est pas trop déféctueuse et que la mise en culture peut être envisagée.

PRINCIPE ET MODALITÉS DE MISE EN CULTURE

Compte tenu des renseignements obtenus par les analyses et reconnaissances et aussi de l'expérience des agronomes en la matière, la mise en culture

de ces sols de Hauts-Plateaux réclame certaines précautions que nous étudierons successivement.

1. — Aménagement anti-érosif.

Le système adopté à Manankazo est celui de la culture en courbe de niveau avec des fossés de diversion compte tenu du fait que la pluviométrie dépasse annuellement 1.200 mm et que les sols sont peu perméables. L'intervalle entre les fossés de diversion est donné par la formule de RAMSER. Grâce à une pente longitudinale de 3 %, les fossés amènent les eaux de ruissellement vers un excutoire naturel, constitué par un thalweg.

Par cet aménagement, on arrive peu à peu à une réduction de la pente moyenne du terrain et à un profil en terrasse.

2. — Pratiques culturales.

Les labours ont été réalisés pendant chaque campagne à l'aide d'une charrue réservable en commençant par l'aval et en évitant ainsi toute dérayure au milieu de la courbe.

En plus de ce labour, d'autres pratiques sont indispensables pour réduire le ruissellement et l'érosion :

— la culture en bandes alternées avec maintien en jachère d'une bande sur deux la première année, pour attendre la stabilisation des aménagements effectués ;

— l'alternance dans les années ultérieures d'une bande cultivée en plante sarclée et d'une bande couverte de prairie si possible ;

— le billonnage en courbes de niveau de certaines cultures (maïs, pommes de terre), l'efficacité de ce procédé contre l'érosion étant très nette ;

— l'augmentation de la fumure organo-minérale sur le tiers supérieur de la courbe pour compenser la stérilité de cette bande de terrain en attendant que le profil en terrasse soit atteint ;

— le non-émiettement total de la terre sur les bandes couvertes de prairie pour éviter l'entraînement des graines.

3. — Fumure de redressement.

Les quelques analyses réalisées au début de l'installation ayant montré l'extrême pauvreté de ces sols, leur mise en culture ne pouvait s'envisager sans une fumure de redressement, qui a été par hectare de :

2 T de Dolomie,
300 Unités de P_2O_5 ,
300 Unités de K_2O .

Cette fumure est apportée en trois ans et doit

être considérée, au même titre que l'aménagement antiérosif en courbes de niveau, comme un investissement.

Dans le cadre d'un aménagement régional de la zone, il faudrait donc que l'Etat prenne à sa charge :

— d'une part, les travaux d'infrastructure anti-érosifs (matérialisation des courbes de niveau) ;

— d'autre part, la fumure de redressement (pendant 3 ans).

4. — Rotation culturale.

L'ensemble de la zone du Tampoketsa paraît être plus spécialement à vocation sylvo-pastorale, en raison de ses caractéristiques physiques et de sa situation.

C'est donc dans cet esprit qu'un aménagement régional doit être envisagé ; mais il existe néanmoins des terres à vocation agricole qui devaient être consacrées à la culture moyennant certaines précautions.

On s'est aperçu assez rapidement que, vu la température relativement basse de la saison sèche, le manioc, le pois mascatte et le stylosanthes qui constituaient la rotation envisagée au départ n'étaient guère à leur place dans cette région et on s'est tourné vers une rotation basée sur des cultures de climat tempéré chaud ; à l'heure actuelle, la succession préconisée est la suivante :

1 ^{re} année	Pommes de terre (ou Avoine).
2 ^e année	Maïs.
3 ^e année	Légumineuse (ou Engrais vert).
4 ^e année	Maïs.
5 ^e année	} Prairie artificielle de Mélinis + une légumineuse (<i>Desmodium intortum</i>) ;
6 ^e année	
7 ^e année	

avec apport par hectare :

— de 500 kg de Dolomie en tête d'assolement ;

— de 30 t de fumier en tête d'assolement et sur le maïs de 4^e année ;

— de la fumure d'entretien.

Cet assolement permettra aux cultivateurs de récolter chaque année des produits consommables ou commercialisables tels que pommes de terre, haricots, maïs. L'intérêt de la prairie de trois ans réside dans le fait que :

— le sol acquiert sous elle une structure favorable ;

— les pertes en terre sont nulles sous la prairie de 2^e et 3^e années ;

— les animaux y trouvent une nourriture très appréciée.

RÉSULTATS OBTENUS

De l'expérimentation mise en place depuis 1962, il est possible de dégager quelques renseignements ayant trait :

— d'une part, à l'influence des différents traitements des bassins sur les modalités du ruissellement et de l'érosion ;

TABLEAU N° 1

Récapitulation des ruissellements enregistrés sur les différents bassins jusqu'en 1966

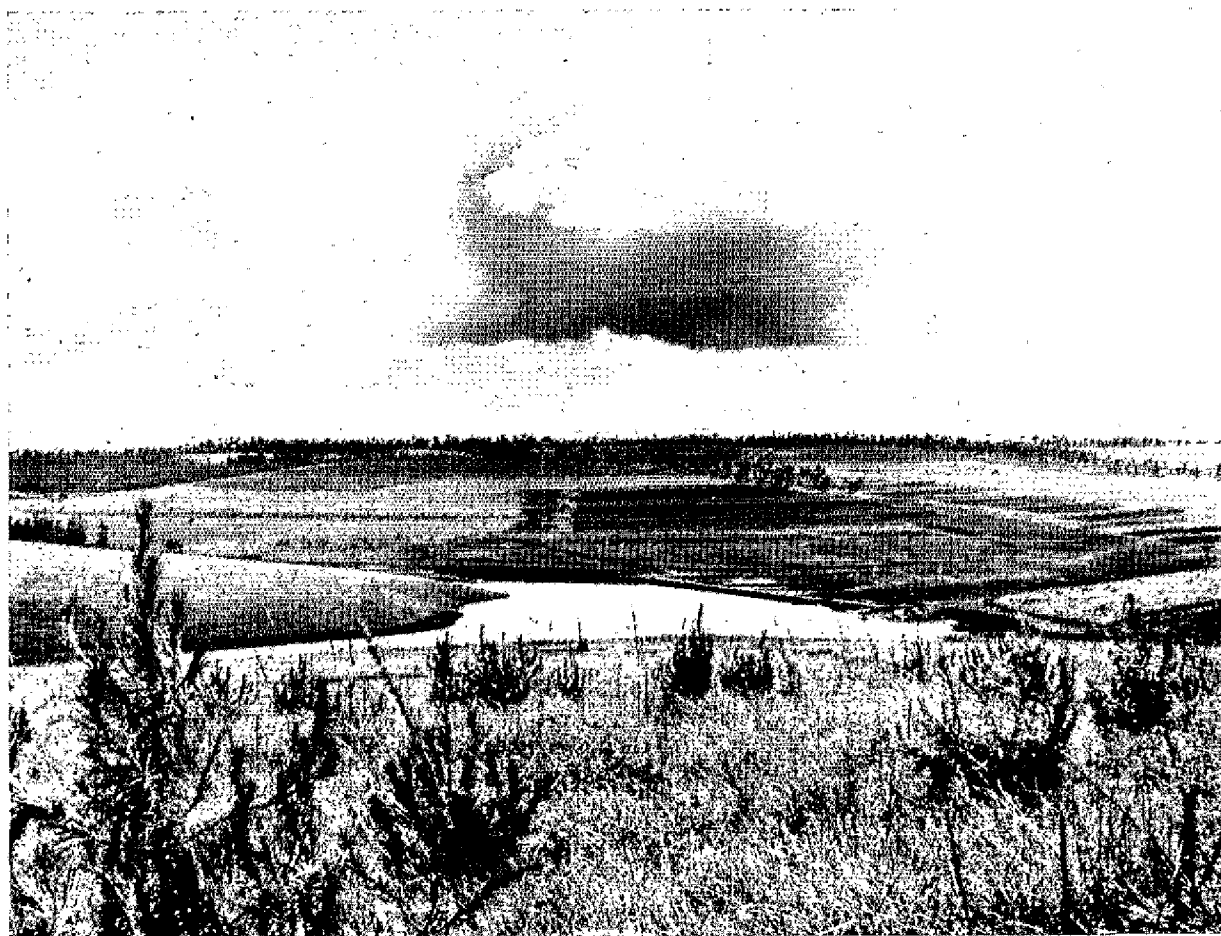
N = nombre de ruissellements	N < 5 %		10 % > N > 5 %		20 % > N > 10 %		N > 20 %	
	Année	Total cumulé	Année	Total cumulé	Année	Total cumulé	Année	Total cumulé
B. V. 1 62-63	16	16	1	1	2	2	2	2
Témoin 63-64	8	24	4	5	4	6	5	7
64-65	8	32	1	6	3	9	11	18
65-66	2	34	2	8	4	13	2	20
B. V. 2 62-63	20	20	1	1	0	0	3	3
Cultures 63-64	18	38	2	3	1	1	0	3
64-65	13	51	4	7	1	2	0	3
65-66	10	61	1	8	0	2	0	3
B. V. 3 62-63	7	7	1	1	9	9	6	6
Brûlé 63-64	6	13	2	3	5	14	7	13
64-65	3	16	11	14	5	19	15	28
65-66	4	20	0	14	3	22	7	35
B. V. 4 62-63	18	18	3	3	1	1	2	2
Reboisé 63-64	15	33	1	4	2	3	2	4
64-65	8	41	3	7	1	4	2	6
65-66	7	48	1	8	2	6	0	6

— d'autre part, aux possibilités de mise en culture des sols du bassin versant n° 2.

Nous allons résumer dans les paragraphes suivants les premiers résultats obtenus.

Aménagement test. Manankazo.

Photo Benoit de Coignac.



RUISELLEMENTS GLOBAUX RAMENÉS A l'ha sur les BASSINS VERSANTS de MANANKAZO

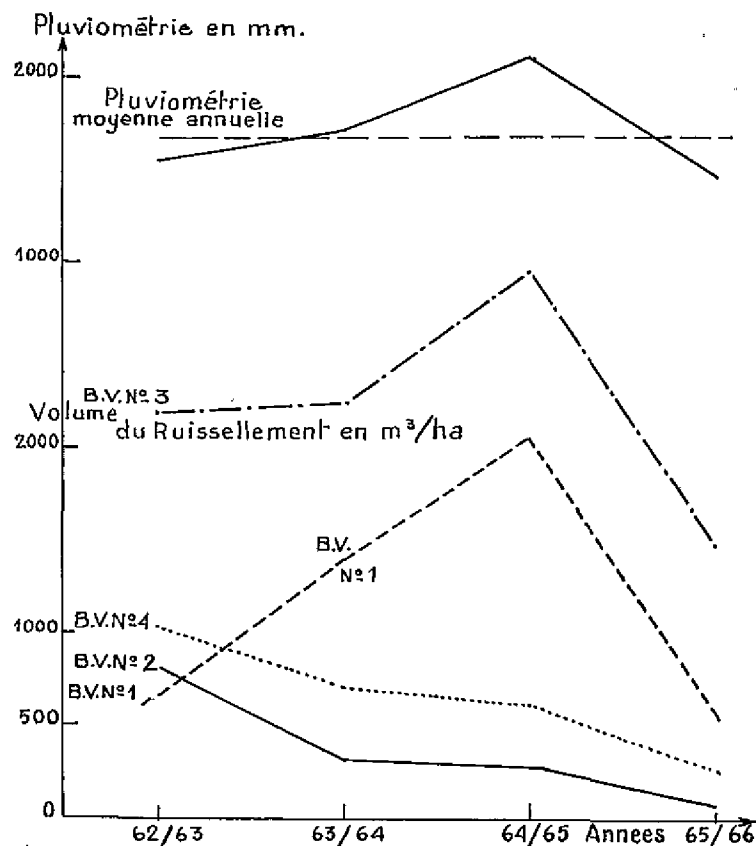


TABLEAU N° 2

	Nombre de ruissellements observés				Total
	inférieur à 5 %	compris entre 5 et 10 %	compris entre 10 et 20 %	supérieur à 20 %	
B. V. 1	34	8	10	20	75
B. V. 2	61	8	2	3	74
B. V. 3	20	14	22	35	91
B. V. 4	48	8	6	6	68

TABLEAU N° 3

Tableau des ruissellements globaux
(ruissellements supérieurs à 1 %)

Campagnes	Pluviométrie mm	B. V. 1		B. V. 2		B. V. 3		B. V. 4.	
		Volume m³	% de B. V. 3	Volume m³	% de B. V. 3	Volume m³	% de B. V. 3	Volume m³	% de B. V. 3
62-63 (Déc. à juin)	1.557	653	29,8	815	37,2	2.190	100	1.032	47,1
63-64	1.721	1.399	62,4	314	14,0	2.243	100	702	31,3
64-65	2.102	2.046	69,4	277	9,4	2.946	100	619	21,0
65-66	1.477	557	37,8	71	4,8	1.472	100	264	17,9

I. RÉSULTATS OBTENUS DU POINT DE VUE DU RUISELLEMENT ET DE L'ÉROSION

Nous disposons à l'heure actuelle des observations de 4 campagnes, de 1962 à 1966. Les enregistrements limnographiques et pluviographiques nous ont permis d'avoir des renseignements précis, d'une part, sur les quantités d'eau tombées avec leur intensité et, d'autre part, sur les quantités d'eau passées au déversoir. La proximité et la similitude de ces quatre bassins nous permettent d'établir des comparaisons valables malgré les variations pluviométriques observées lors des pluies d'orage.

Ruissellements pour une pluie et ruissellements totaux.

Si on classe, depuis le début des observations, les ruissellements observés pour une précipitation en % d'eau ruisselée par rapport à la pluie tombée, on obtient le tableau ci-contre.

Les pourcentages maxima observés au cours d'un orage sont :

- 47 % bassin 1.
- 33 % bassin 2.
- 58 % bassin 3.
- 39 % bassin 4.

Nous voyons que les bassins aménagés en cultures et le bassin reboisé présentent un nombre bien moindre de ruissellements à fort coefficient. De plus, si l'on se réfère au tableau n° 1, on peut remarquer également que les forts ruissellements ont été constatés lors des premières années seulement, alors que sur les bassins 1 et 3 ces ruissellements se produisent chaque année.

Le volume de ruissellement ramené à l'hectare est également intéressant à comparer pour chacun

des bassins. Le tableau ci-contre, qui donne ce volume par année ainsi que le pourcentage de ce volume pour chaque bassin par référence au bassin n° 3, fait apparaître une nette diminution d'année en année sur les bassins 2 et 4.

Le graphique de la page 28, représente l'évolution dans le temps du volume d'eau ruisselée ramené à l'hectare sur chacun des types de bassin, comparé à la pluviométrie moyenne des quatre bassins.

La courbe figurative des ruissellements du bassin témoin suit sensiblement celle du bassin brûlé mais décalée vers le bas ; toutes deux semblent suivre une évolution en relation étroite avec la pluviométrie. Par contre, les courbes des bassins 2 et 4 montrent bien l'action des aménagements, et la diminution du ruissellement par augmentation des « pertes » d'eau (infiltration, utilisation par les plantes, etc.).

Pointes de ruissellement.

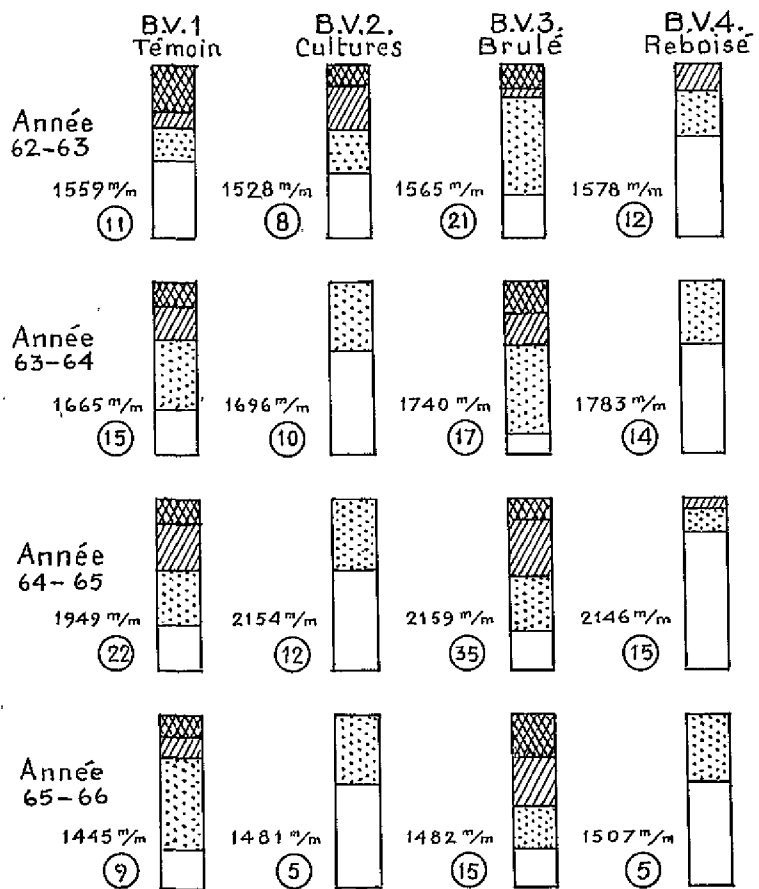
Cette notion de pointe de ruissellement est très intéressante pour ce qui concerne l'écrêtement des crues et l'influence des traitements sur les inondations dans le cadre de l'aménagement des bassins versants.

Le tableau ci-dessous indique les maxima observés chaque année en litre/seconde par hectare.

La première année n'a pas apporté de différences sensibles entre le témoin, les cultures et les plantations de pins par rapport au bassin brûlé, par contre, au bout de quatre campagnes, on s'aperçoit que sur le bassin témoin, les pointes représentent 55 % de celles du bassin brûlé alors que sur le bassin des cultures, elles ne sont que de 15 %, et que sur le bassin reboisé elles avoisinent 20 %.

Le classement en catégories des pointes de ruisselle-

B.V. DE MANANKAZO - FRÉQUENCE DES POINTES DE RUISSÈLEMENT



Pointe de ruissellement

Inférieure à 10 l/s/ha Entre 10 et 50 l/s/ha.
 Entre 50 et 100 l/s/ha. Supérieure à 100 l/s/ha.
 Nombre total des pointes de ruissellement (N)

lement observées depuis le début des expérimentations :

- inférieures à 10 l/s/ha ;
- comprises entre 10 et 50 l/s/ha ;
- comprises entre 50 et 100 l/s/ha ;
- supérieures à 100 l/s/ha ;

fait apparaître nettement deux familles : bassins traités et bassins non traités.

TABLEAU N° 4

Campagnes et dates	B. V. 1		B. V. 2		B. V. 3		B. V. 4	
	Pte l/s/ha	% de B. V. 3	Pte l/s/ha	% de B. V. 3	Pte l/s/ha	% de B. V. 3	Pte l/s/ha	% de B. V. 3
62-63 (21.2.63).....	110	78,6	100	71,4	140	100	90	64,3
63-64 (19.3.64).....	110	43,1	33	129	255	100	30	11,8
64-65 (25.12.64).....	140	59,3	41	174	236	100	84	35,6
65-66 (10.1.66).....	125	56,8	29	132	220	100	19	8,6



Correction de lavaka, PK 111.
Route du lac Alaotra.

Photo Hueber.

des ruissellements supérieurs à 50 l/s/ha par détérioration du couvert graminéen par le feu alors que sur le bassin témoin le phénomène inverse est en cours.

Relation coefficient de ruissellement/pluie.

En reportant sur un graphique, dont l'ordonnée est le coefficient de ruissellement et l'abscisse, la pluviométrie en millimètres, chaque ruissellement enregistré sur les différents bassins et ceci en différenciant arbitrairement deux familles de pluies :

- celles dont l'intensité en 15 minutes est inférieure à 60 mm/h ;
 - celles dont l'intensité en 15 minutes est supérieure à 60 mm/h ;
- on obtient un nuage de points dont l'allure est différente selon les traitements.

Faute d'avoir suffisamment de pluies dont l'intensité en 15 minutes dépasse 60 mm/h, nous ne parlerons que de la première famille de pluies.

Les graphiques montrent que dans ce cas, le coefficient de ruissellement maximum est :

- pour le bassin 2 de l'ordre de 10 % ;
- pour le bassin 4 de l'ordre de 20 % ;
- pour le bassin 3 de l'ordre de 50 % ;

Sur le bassin des cultures (n° 2), seule la première année accuse des pointes de ruissellement supérieures à 100 l/s/ha, mais dès la 2^e année, les maxima sont compris entre 10 et 50 l/s/ha.

Sur le bassin reboisé (n° 4), les fortes pointes sont éliminées dès la 1^{re} année (il n'y a pas eu de pointes supérieures à 100 l/s/ha) ce qui est dû au travail du sol (billonnage assez serré) ; en 1964-65, quelques pointes entre 10 et 50 l/s/ha apparaissent, en relation avec une pluviométrie excédentaire et de fortes intensités.

Sur le bassin témoin (n° 1) et sur le bassin brûlé (n° 3), on enregistre chaque année des pointes supérieures à 100 l/s/ha, avec (voir tableau des maxima) des valeurs absolues plus fortes pour le bassin n° 3. On peut également entrevoir qu'il se produit sur le bassin 3 une augmentation du nombre

Pertes en terre.

Au cours de chaque campagne les dépôts lourds, arrêtés dans la cuve à sédiments sont pesés et analysés.

Le tableau ci-dessous récapitule ces pertes (en kg).

TABEAU N° 5

Campagnes	B. V. 1	B. V. 2	B. V. 3	B. V. 4
62-63 (déc. à juin)	11	2 350	(brûlis) 680	310
63-64	5	6	88	12
64-65	0	0	(brûlis) 147	0
65-66	0	0	16	0

— pour le bassin 1 de l'ordre de 50 % ;
et ceci pour une pluviométrie de l'ordre de 60 à 70 mm.

Ce qui est très intéressant aussi à constater c'est l'influence très nette de la mise en culture sur la diminution du coefficient de ruissellement.

Les résultats obtenus montrent bien :

— que la mise en culture n'entraîne des pertes en terre, à l'échelle d'un aménagement, que lors des premières années ;

— que le travail du sol (billonnage) pour la plantation des pins n'entraîne que de très faibles pertes ;

— que la prairie en défens ne subit aucun départ de terre ;

— que la prairie brûlée seule accuse des pertes peu importantes mais cependant non négligeables, en relation avec la mise à feu (novembre 1962 et octobre 1964).

Les analyses réalisées sur ces dépôts montrent que la granulométrie est plus grossière que celle des terres en place (entraînement de l'argile en suspension) que l'entraînement de la matière organique n'est pas sélectif, l'acide phosphorique lié à la chaux est presque inexistant, mais une sélection semble notable pour la chaux, la magnésie et la potasse.

De même, il est apparu intéressant de réaliser des prélèvements à la bouteille à la sortie du déversoir en V lors des crues. Ces prélèvements sont, en général, effectués au début de la crue, au sommet et à la décrue.

On constate une variation allant de 0 à 2 ‰ de suspension.

Les remarques suivantes peuvent être faites :

— On observe une décroissance dans la valeur des suspensions du début à la fin de la saison. Cela n'est pas pour surprendre car on retrouve là le caractère érosif des orages du début de saison des pluies et d'autre part une relation avec les travaux dans le cas du bassin des cultures ou avec la mise à feu dans le cas du bassin brûlé ;

— On ne peut encore conclure à la relation entre débit solide et pointe de crue. Il est envisagé de réaliser à cet effet des analyses complètes de



quelques crues par prélèvements nombreux à intervalles réguliers ;

— Les traitements appliqués au bassin se répercutent sur les débits en suspension. Le bassin n° 3 brûlé en octobre 1964 a des taux de suspension plus forts que le bassin témoin dans les mois qui suivent la mise à feu. Cela est logique et semble assez net.

Mais le couvert se rétablit assez vite et joue son rôle car l'année suivante le taux est identique à celui du bassin témoin. Il semble également que, au 2^e brûlis, les taux soient supérieurs pour ce bassin brûlé ; cela devra être confirmé par les observations futures.

Le bassin en culture présente, ce qui était prévisible, des taux de suspension assez élevés au début de la saison ce qui est en relation avec les pluies et les travaux.

— Les entraînements en suspension ne sont pas négligeables pour le bassin brûlé après mise à feu vu les grandes quantités d'eau ruisselée (voir graphique p. 26).

On a réalisé quelques analyses des eaux transportées, elles sont en général très pauvres surtout en P_2O_5 , un peu moins en chaux, magnésie et potasse (cela est confirmé par le fait que les rivières sont caractérisées par des eaux à très forte résistivité, 150.000 ohms/cm).

Il n'est pas possible de faire apparaître de différence d'un traitement à l'autre, en raison de l'insuffisance des analyses.

Influence de la mise en culture rationnelle, des aménagements et des billons de reboisement.

Ce que nous venons de voir précédemment, permet d'apprécier l'intérêt d'une mise en culture rationnelle.

Celle-ci entraîne en effet une diminution très importante du ruissellement global, surtout des forts coefficients, et une diminution notoire des pointes de ruissellement. Ceci correspond à une augmentation importante de l'infiltration des eaux de pluie due à une meilleure structure des sols.

Certaines pratiques culturales complémentaires jouent aussi un rôle très important ; ce sont :

— le billonnage dans le sens de la courbe de niveau ;

— le labour en déversant vers le bas ce qui amène une diminution de la pente générale du terrain ;

— l'introduction d'une prairie de trois ans dans l'assolement.

Sur le bassin reboisé, on a testé jusqu'à présent essentiellement le travail du sol. Les billons ont joué, dès la première année, un rôle de rétention et de ralentissement dans l'écoulement, qui a entraîné une diminution également fort impor-

tante du ruissellement. Les résultats des années à venir seront très intéressants car ils feront intervenir l'action propre du peuplement (effet d'interception, etc...).

Déjà, on peut donc voir que l'aménagement agricole rationnel se présente comme l'un des moyens les plus efficaces pour diminuer, dans le cadre de l'aménagement des bassins versants, les effets d'un ruissellement excessif.

En ce qui concerne l'érosion, si la mise en culture et le travail du sol occasionnent, les premières années, des pertes non négligeables, ces pertes s'annulent très rapidement. On a donc intérêt d'un point de vue pratique à ne préparer pour la culture qu'une bande sur deux la première année.

On peut voir également que les pertes en terre sont souvent le fait des gros orages du début de la saison des pluies, qui tombent sur un sol travaillé ; il y a donc intérêt à se préoccuper de cette question surtout en ce qui concerne l'implantation des prairies dont les graines sont facilement entraînées (des protocoles sur l'influence de la date de semis sont en place sur le réseau de parcelles élémentaires des Hauts-Plateaux). Les pertes en éléments fertilisants, à l'échelle du bassin, sont minimes sur un terrain aménagé ce qui montre que l'investissement engrais n'est pas gaspillé. Il en résulte également que la mise en cultures des sols de Tanety (collines) devant souvent nécessiter la reconstitution du stock de fertilité par une fumure de redressement, l'aménagement anti-érosif de ces tanety est un corollaire indispensable pour éviter les pertes d'investissement.

Enfin, notons que la prairie en défens ne subit aucun départ de terre, que par contre les feux entraînent un départ relativement modéré mais que les pertes en suspension ne sont pas négligeables. Cependant, la reconstitution végétale se fait rapidement et les eaux de ruissellement se clarifient assez vite après mise à feu.

II. RÉSULTATS OBTENUS DU POINT DE VUE DES CULTURES

L'évolution du niveau de fertilité a été suivie d'année en année :

— par la mesure des rendements,

— par la réalisation d'analyses de contrôle comparatives.

Mesure des rendements.

C'est avec le maïs cultivé depuis le début de l'expérimentation qu'il est possible d'avoir une idée de l'évolution des rendements, le manioc en effet, a été abandonné parce que les conditions climatiques ne lui convenaient pas.

Le tableau ci-contre fait apparaître l'évolution des productions en quintaux de grains à l'hectare.

Les rendements nuls de la première année s'expliquent par l'effet de défriche et l'absence de fumure de redressement. Après la campagne 64-65

TABLEAU N° 6

Campagne	Antécédent	Fumure		Rendement
62-63	Défriche	Fumier	10 T	# 0
		P_2O_5	133 kg	
		K_2O	48 kg	
		Dolomie	1 T	
63-64	Pois Mascatte	Fumier	20 T	18 Qx
		Dolomie	1 T	
		P_2O_5	177 kg	
		K_2O	48 kg	
64-65	Pois Mascatte (2 ^e année)	Fumier	20 T	12 Qx
		Dolomie	2 T	
		P_2O_5	148 kg	
		K_2O	48 kg	
65-66	Manioc + Pois Mas- catte	Fumier	20 T	25 Qx
		Dolomie	2 T	
		P_2O_5	330 kg	
		K_2O	276 kg	

grâce aux précisions apportées par les expérimentations de l'IRAM et au vu des premiers résultats, il est apparu nécessaire d'envisager une fumure de redressement de 300 unités de P_2O_5 et 300 unités de K_2O .

En 64-65, on note une baisse de rendement due à une invasion de rats assez importante, qui a causé pas mal de dégâts aux récoltes.

Mise à part cette campagne, on note une nette augmentation des rendements qui, vraisemblablement, peuvent encore s'accroître si l'on en juge par les résultats obtenus sur des placeaux d'un are pris dans les mêmes parcelles et qui ont donné des maxima de 45 quintaux/ha.

Il est intéressant de noter les rendements sur les placeaux d'un are où l'IRAM a testé la fumure de fond à dose croissante. Le tableau suivant donne ces résultats.

TABLEAU N° 7

Campagne	1	2	3	4
64-65				
Kiésérite (kg)	100	200	300	400
P_2O_5 (Unités)	282	564	890	1.067
K_2O (Unités)	90	180	270	360
Rendements grains quintaux/ha.....	7	10	11	9
65-66				
Dolomie (Tonne)	1	2	3	4
Rendements grains quintaux/ha.....	16	23	36	45

Là aussi, on a obtenu avec la dose forte d'engrais un rendement de 45 quintaux et même 49 quintaux sur une autre parcelle qui avait reçu les mêmes doses d'engrais mais qui avait porté en première année une culture de stylosanthes (légumineuse).

On voit également que sur défriche le maïs donne des rendements faibles et que la fumure de fond à dose croissante n'a que peu d'influence en première année (la 1^{re} année, on n'avait pas apporté de Dolomie).

Il peut être intéressant de noter que sur l'aménagement-test, on a eu des rendements en pomme de terre de 10 t/ha et des rendements de 36 t en vert sur prairie de Mélinis fauchée 6 mois après le semis.

Analyses de contrôle.

A la fin de chaque campagne, on a réalisé des analyses de contrôle sur chaque sole du bassin

versant. Cependant, il n'est pas possible de dégager de l'analyse chimique classique (peut-être eût-il fallu pouvoir réaliser des analyses plus précises) des différences d'année en année.

Les éléments apportés par la fumure, vu l'extrême pauvreté initiale de ces sols, n'entraînent pas (à l'approximation de l'analyse) des modifications dans les résultats annuels des prélèvements de contrôle. Cependant, la fumure apportée permet la mise en culture qui, sans elle, serait impossible. (Nous avons, à titre de démonstration, mis en place dans l'aménagement-test des essais sur maïs et mélinis qui montrent que sans apport de fumure organo-minérale, il est impossible de faire pousser le maïs et que la prairie a bien des difficultés pour s'installer.)

D'autres analyses ont été réalisées sur le bassin en cultures en particulier des recherches de carence avant et après mise en culture.

En 1965, on avait pu réaliser l'analyse en vase de végétation V. V. 23 et, en fin de campagne 1966, un nouveau prélèvement a été réalisé sur la courbe 2'D qui a fait l'objet de l'essai en vase de végétation V. V. 112 de l'IRAM, alors qu'était réalisé l'essai V. V. 101 sur un sol de même type non encore cultivé.

Cette courbe 2'D a été mise en culture en 1962-63.

Les essais V. V. 101 et 112, ayant été réalisés en même temps, il peut être intéressant de comparer les poids de matière sèche obtenus sur les quatre coupes de Ray-grass.

TABLEAU N° 9

Traitement	V. V. 101 en g de m/s	V. V. 112 en g de m/s
Fumure complète	13,17	19,17
— moins P	3,25	3,55
— — K	6,50	7,63
— — Ca	6,45	15,09
— — Mg	9,05	13,97
— — S	7,35	15,79
— — OE	12,25	15,836
(1)		

(1) O E. = Oligo-éléments.

Il apparaît que le pourcentage obtenu par rapport à la fumure complète pour le traitement :

TABLEAU N° 8

Campagne	Culture	Fumure cumulée				Récolte
		Dolomie	Fumier	P_2O_5 (Unités)	K_2O (Unité)	
62-63	Pois Masc.	1 T		60	48	20 quintaux Pâturée Pâturée
63-64	Maïs	2 T	20 T	164	48	
64-65	Mélinis	2 T	20	208	48	
65-66	Mélinis	2 T	20	208	120	

- sans Ca est = 48,9 % pour le V. V. 101.
78,7 % pour le V. V. 112.
- sans Mg est = 68 % pour le V. V. 101.
73 % pour le V. V. 112.

Seules ces carences en Ca et Mg semblent être diminuées sur la courbe 2'D ; il est certain que compte tenu des exportations par les récoltes en P et K les apports faits en ces éléments ne pouvaient avoir d'effet, et il eut été préférable de mettre dès le départ les 300 unités de P_2O_5 et de K_2O nécessitées par la fumure de redressement.

Lors de sa prospection à Manankazo, Thibout a réalisé une étude comparative de l'instabilité structurale par la méthode de Henin et de Bang : de ces conclusions, il apparaît que sous culture le taux d'agrégats est moyen, la stabilité assez bonne, mais une dégradation de cette stabilité est à craindre. Les racines de graminées jouant un rôle très bénéfique sur la cohésion, la présence de la prairie de trois ans dans la rotation est indispensable pour maintenir en état les sols.

CONCLUSIONS

L'expérimentation mise en place sur le Tampoketsa d'Ankazobe depuis 1962, dans le but de tester l'influence des traitements et des aménagements sur le ruissellement et l'érosion à l'aide de bassins versants élémentaires est une expérimentation de longue durée.

Des renseignements fort intéressants ont déjà pu être dégagés montrant :

— que la mise en culture rationnelle des terres à vocation agricole se présente comme l'un des moyens les plus sûrs de réduire les méfaits du ruissellement dans le cadre de l'aménagement des bassins versants ;

— que sur ces sols la mise en culture exige une fumure de redressement et que dès lors l'installation de dispositifs d'aménagement anti-érosifs appropriés et de pratiques culturales conservatoires sont obligatoires pour éviter tout gaspillage de l'investissement de fertilisation ;

— que la pratique des feux trop souvent répétés avait une influence extrêmement importante sur les phénomènes de ruissellement ainsi que sur les pertes en terre et transports en suspension, alors que la seule mise en défens permet, tout en laissant sévir un ruissellement important, d'arrêter tout départ de terre. Le reboisement, dès la réalisation d'un travail du sol approprié, permet de réduire considérablement le ruissellement avant même que l'arbre exerce par lui-même son propre effet de rétention.

Les essais agronomiques réalisés depuis 1962 sur le bassin n° 2 ont été suivis d'un début d'application dans le cadre d'un aménagement-test réalisé par le

Enfin, il a pu être réalisé des analyses microbiologiques comparatives de sol de steppe à Loudetia et du sol de la courbe 2'D du bassin des cultures, grâce à l'obligeance du Centre de Pédologie de Nancy (M. DOMMERGUES).

Il ressort de cette étude que, comparé au sol de steppe à graminées, le sol cultivé présente un pouvoir fixateur d'azote élevé, une diminution de la densité de la microflore minéralisant les complexes organo-ferriques (ce qui, d'après l'auteur, montre que la mise en culture ralentit l'évolution vers la latéritisation) et l'apparition d'une nitrification déjà active.

En conclusion, il semble bien que si la pauvreté du sol nécessite le passage obligatoire par une fertilisation de redressement (300 U de P_2O_5 -300 U de K_2O -2 T de Dolomie) la mise en culture de tels sols est, en général, possible. Le maintien de la structure nécessite la présence de la prairie de trois ans dans la rotation (ce qui est économiquement valable en raison de la vocation pastorale de la région).

Service de la Conservation des Eaux et du Sol (C. E. S.) et portant sur une superficie de 150 ha.

Cet aménagement repose sur l'établissement d'une carte des vocations qui a permis de déterminer les zones à vocation agricole, pastorale et forestière.

Les résultats obtenus tant sur les essais du bassin consacré aux cultures que sur l'aménagement-test ont montré que la culture était possible dans cette région malgré des conditions climatiques marginales.

Les résultats menés parallèlement sur la plantation de Pins avec fertilisation et sur les pâturages laissent à penser que ces deux activités sont plus à leur place que la culture dans cette région des Tampoketsa.

Il est donc possible d'y envisager un aménagement sylvo-pastoral où la reforestation aurait une part prépondérante et où la partie élevage aurait un rôle important à jouer dans l'approvisionnement en bétail de l'abattoir de Tananarive.

Mais étant donné l'absence totale de population sur ce plateau, il est apparu d'emblée indispensable d'y installer un noyau humain qui serait chargé des travaux à effectuer :

- pour les reboisements d'une part ;
- pour l'embouche d'autre part.

Maïs qui dit installation de population dit installation de petites fermes avec rizières irriguées, cultures sèches et petit élevage ; les essais effectués ont montré que cela était possible.

Cependant, vu l'extrême pauvreté des sols, on en arrive à la conclusion que rien ne peut être fait sans

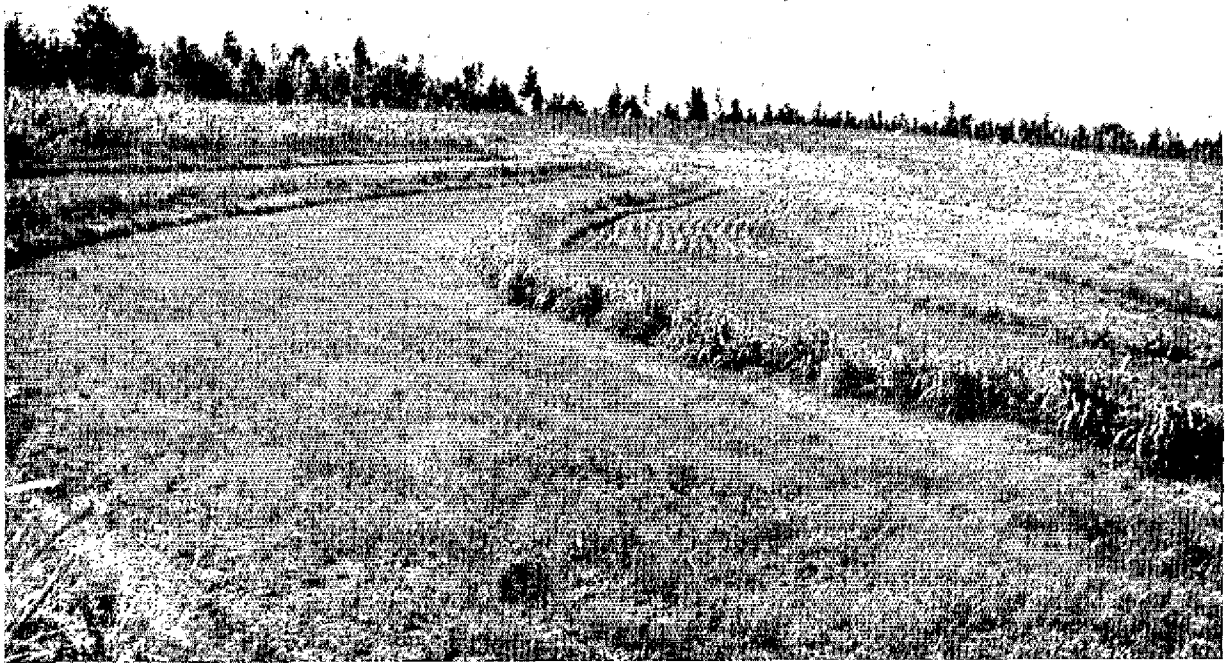


Photo C. T. F. T. Madagascar.

Bassin versant mis en culture à Manankazo. Méthode des bandes alternées. Au 1^{er} plan, prairie de Melinis après fauchage.

fertilisation et il faudra inclure dans le coût d'aménagement de ces petites fermes le prix de revient de la fumure de redressement sans laquelle les rendements resteront toujours très faibles.

Ceci est valable également pour les deux principales activités prévues dans cette zone à savoir les reboisements et les pâturages, si l'on veut passer du stade extensif au stade intensif.

Ainsi tout en permettant d'obtenir des renseignements de portée plus générale relatifs aux lois du ruissellement et de l'érosion, cette expérimentation, grâce à l'étroite liaison et à la participation des divers spécialistes de la recherche et du Service de la Conservation des Eaux et du Sol dans le cadre de l'aménagement-test, a permis de préciser comment on pouvait envisager la mise en valeur rationnelle de cette zone.

D'une manière générale, les expériences réalisées jusqu'à présent à Madagascar, dans le domaine de la Conservation du sol et dont nous venons de décrire les principales, ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- 1° la couverture végétale joue un rôle primordial dans la protection du sol,
- 2° des pratiques culturales simples permettent, dans la plupart des cas, de lutter efficacement contre l'érosion.

Les résultats obtenus demandent, bien entendu, à être confirmés, mais on peut déjà les utiliser pour établir un aménagement rationnel des bassins versants. Celui-ci comporte, en premier lieu, la

détermination de la vocation des sols, puis l'établissement d'une classification des terres en vue de leur utilisation.

La pente étant l'un des facteurs les plus importants de l'érosion, il est utile de dresser une carte des classes de pente qui permette de faire une première classification.

Les terres, dont la pente est supérieure à 12 % environ, devront être laissées sous végétation naturelle ou reboisées. Par contre, l'expérience montre que les terres, dont la pente est inférieure à 12 %, peuvent être mises en culture, moyennant l'utilisation de pratiques conservatoires relativement simples, qui ne nécessitent pas l'emploi de machines.

Mais les sols tropicaux sont, en général, très pauvres et il faut leur apporter, au moment de la mise en culture, une fumure de redressement qui constitue un investissement coûteux. Les travaux de conservation sont alors doublement utiles, d'une part, pour maintenir en place l'eau et le sol nécessaires au développement de la végétation, d'autre part, pour éviter que les engrais apportés par la fumure ne soient entraînés par le ruissellement et perdus pour les cultures.

Ces travaux apparaissent donc comme inséparables des autres pratiques de mise en valeur agricole et l'aménagement d'un bassin versant ne peut se concevoir sans la création d'infrastructures anti-érosives et l'instauration des méthodes désormais classiques de conservation du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILLY, DE VERGNETTE. -- Aménagement-test de Manankazo. Essais Agronomiques. Essais de fumure sur plantation de Pins ; 1^{ère} Campagne. Document CTFT, Tana, mars 1966. 2^e Campagne. Document CTFT, Tana, févr. 1967.
- BATTESTINI. -- Les Tampoketsa de la région Centrale de Madagascar, *Revue de Géographie de l'Université de Madagascar*, n° 2.
- CELTON, VELLY, ROCHE. -- Fertilisation de redressement après diagnostic des carences minérales sur sols de culture sèche à Madagascar. Document IRAM, juin 1966, n° 79.
- CHAMINADE. -- Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation. Mise au point technique. Résultats. *L'Agronomie Tropicale*, n° 11, novembre 1965.
- FOURNIER, MOULINIER, MOUREAU. -- Quelques aspects de la Science du Sol aux Etats-Unis. Rapport de Mission 1950-51, Bulletin Scientifique, n° 6, Ministère de la France d'Outre-Mer.
- FIELD MANUAL FOR RESEARCH IN AGRICULTURAL HYDROLOGY. AGRICULTURAL HAND BOOK, n° 224, juin 1962, U. S. D. A.
- KILLIAN et VELLY. -- Diagnostic des carences minérales en vase de végétation sur quelques sols de Madagascar. *L'Agronomie Tropicale*, n° 5, 1964.
- RIQUIER. -- Les sols du Tampoketsa d'Ankazobe. Mémoires de l'I. R. S. M., tome III, série D, 1951.
- SOUCHIER, BAILLY. -- Premières observations sur les bassins versants élémentaires de Manankazo. Document C. T. F. T., 1964.
- SOUCHIER. -- Parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion. Résultats de 3 campagnes. Document C. T. F. T., 1963.
- TRIBOUT. -- Etude pédologique de reconnaissance de la région de Manankazo. Document I. R. A. M., n° 87.
- DE VERGNETTE, BAILLY. -- Observations réalisées sur les bassins versants élémentaires de Manankazo, 2^e année. Document C. T. F. T., 1965.
- D. R. S. -- Aménagements anti-érosifs. Dispositifs à mettre en œuvre sur les terrains de cultures sèches d'une pente inférieure à 12 %, décembre 1960.
- DE VERGNETTE, BAILLY, BENOIT DE COIGNAC. -- Résultats obtenus par la fertilisation minérale en pépinière et plantations de Pins sur les Hauts-Plateaux Malgaches. Documents C. T. F. T. pour colloque de fertilisation, avril 1967.

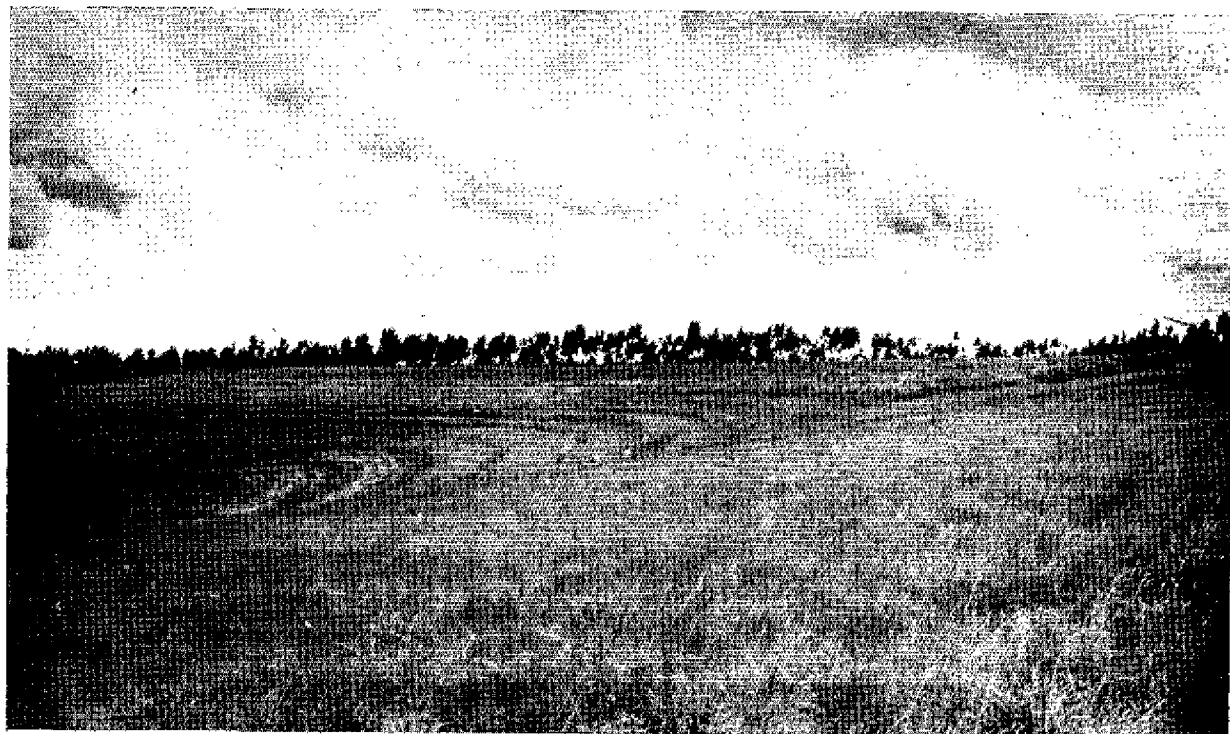


Photo C. T. F. T. Madagascar.

Vue générale d'un bassin versant mis en culture à Manankazo.