REPUBLIQUE DE MADAGASCAR



OFFICE NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT



PROJET CONSERVATION DES SOLS

BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES PAR THEMES

volume: III

SOLUTIONS TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'EROSION

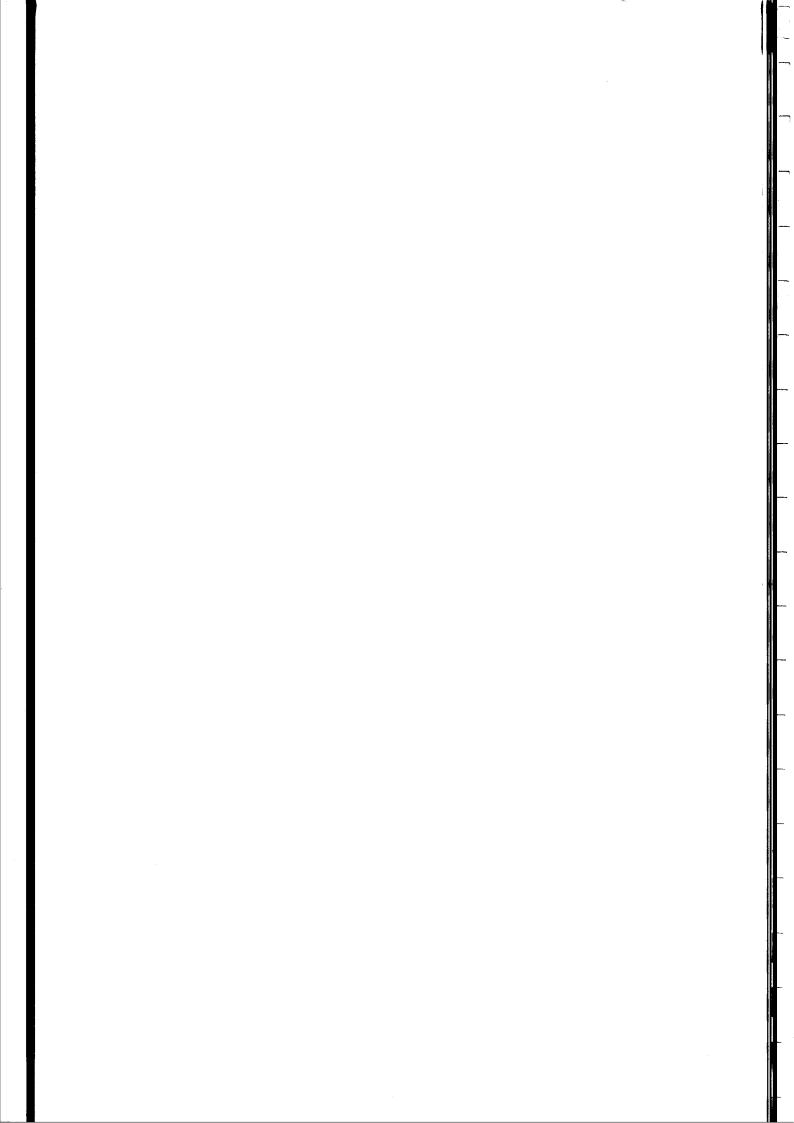
Mars 1997



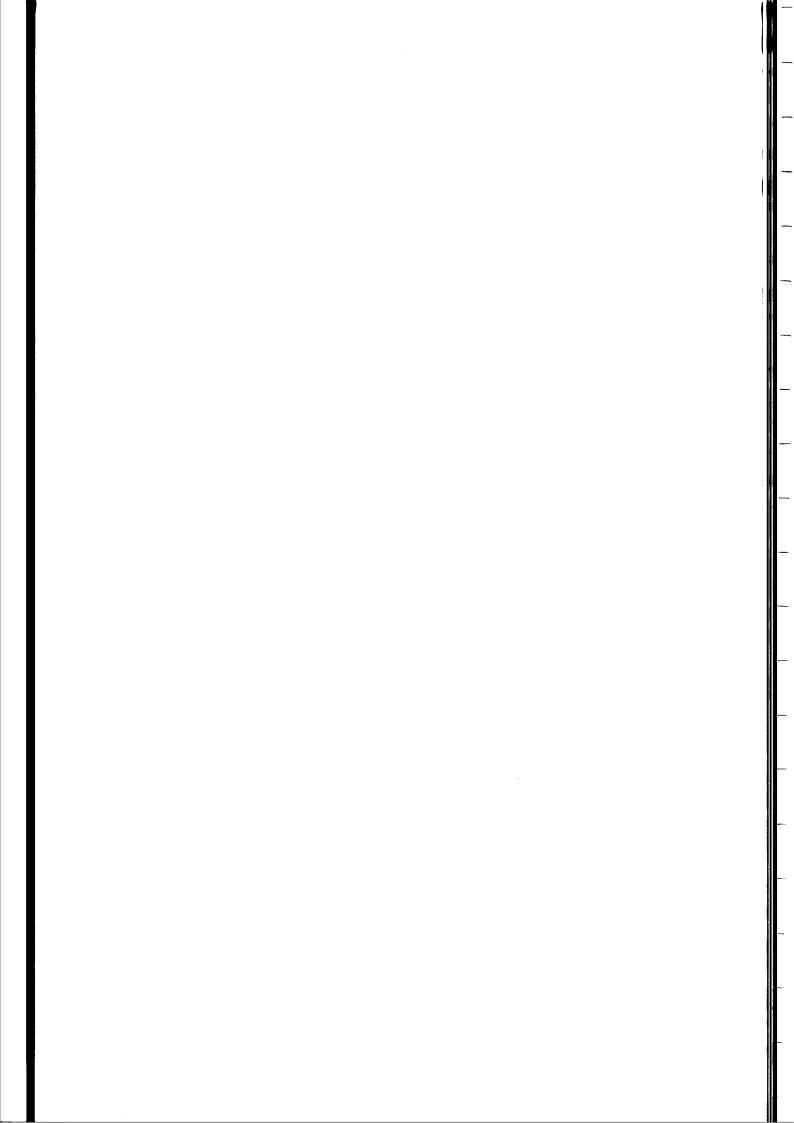




Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement



SOLUTIONS TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'EROSION



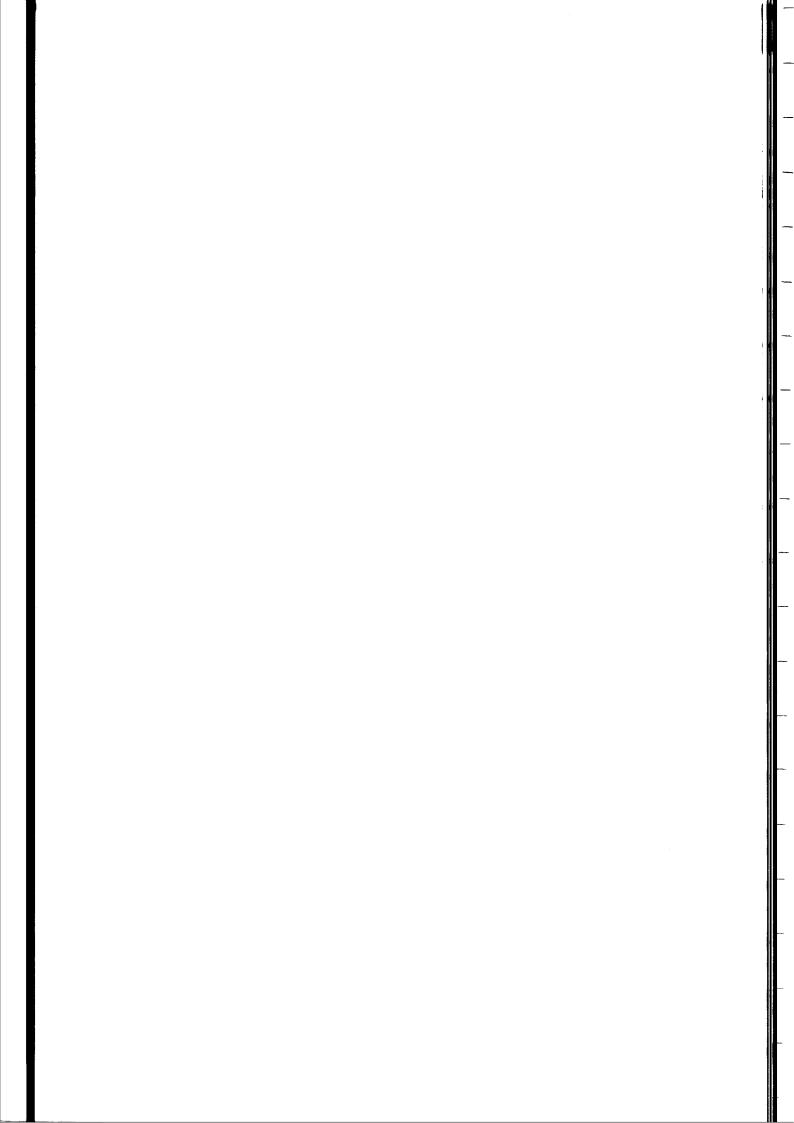
BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



LUTTE CONTRE L ' EROSION EOLIENNE

par Jean Louis RAKOTOMANANA FOFIFA / CRR

Mars 1997



3. SOLUTIONS TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'EROSION

3.1. LUTTE CONTRE L'EROSION EOLIENNE

3.1.1. GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉROSION ÉOLIENNE

3.1.1.1. Le vent moteur de l'érosion éolienne.

L'érosion éolienne est un processus subtile. Les indicateurs physiques, tels les croissants de sable derrière des obstructions sont moins visibles. Des baisses de rendement ou des délais de maturation des cultures sont attribuables aux vents.

L'UNESCO (1979) considère le rapport pluviométrie : Evapotranspiration potentielle pour distinguer différentes zones d'aridité.

Zone hyper aride	P/ETP < 0.03
Zone aride	0.03 < P/ETP < 0.20
Zone semi aride	0,20 < P/ETP < 0,50
Zone sub humide	0,50 < P/ETP < 0,75

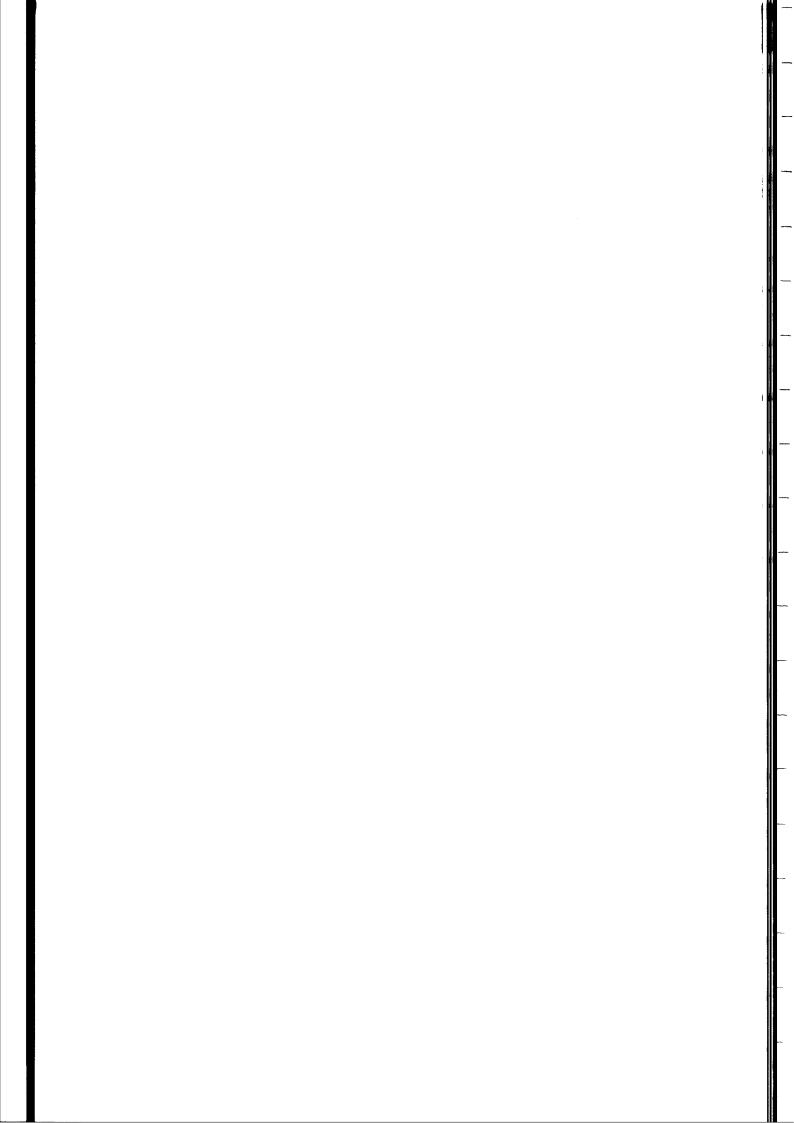
Echelle de sévérité de l'érosivité du vent

nécessaire

<u>Echelle</u>	<u>Description des conditions</u>
0	Nulle Pas de dégâts par le vent, pas de mouvement du sol ou dans l'atmosphère Pas de sol visible dans l'an - pas de dommage aux cultures
1	Faible Petit mouvement du sol, les objets laissés dans les champs sont partiellement couverts
2	Moyen Mouvement perceptibles du sol. Petite quantités de sol dans l'air -Dégâts très faibles
3	Fort Mouvements du sol accentués, allant au delà des limites des champs. Le sol contenu dans l'air devient un problème. Petits dégâts à cause des sables ou de l'enfouissement des plants
4	Sévère

195

Mouvements très accentués du sol. Les cultures sontxxxpar les sables, les graines sont déterrés ou enterrés. La culture peutxxx mais la replantation n'est pas



5 Très sévère

Beaucoup de sol déplacé. Apparition de dunes - Sols dans l'air rend les condition de travail impossible. Dommages aux cultures très marqués -ressemis nécessaire

Dans les zones où sévit l'érosion éolienne, on trouve souvent des vents d'unités 4 et 5

3.1.1.2. Les facteurs influençant l'érosion éolienne

• Le type de sol

Ce sont des sols à texture légère (Sable, limon sableux)

Sols sédimentaires d'âge quaternaire

Le pourcentage d'agrégats >0,84mm sert d'indicateur aux sols plus ou moins érodibles par le vent.

	% Agrégat >0,84 mm	Erodibilité T/ha
Sable	1	695
Sable	5	404
Sable limoneux fin	10	300
Limon sableux fin	25	193
Limon	50	85
Sols non érodibles par le vent	>80	0
-		

• Les aspects saisonniers

On peut diviser l'année en périodes, par exemple :

Période 1 Surface du sol dénudé lors de la/préparation du terrain de culture

Période 2 Saison des pluies

Période 3 Après la récolte des cultures

• Les pratiques culturales

Paillage-mais les quantités produites sont faibles (1,5 à 2,5T/ha)

Les aménagements (Brise vents)

Enlèvement des rideaux d'arbres/brise-vents (défrichement, coupe du bois,)

Les larges espaces parcourus par les vents

X = 491,3' I = (RK) 0,835

X = érosion éolienne

I = 'e rodibilit'e (fraction > 0,84m)

R = résidu de récolte

K = rugosité du sol

(Chepil et Woodruff)

3.1.1.3. Les vents et les plantes

• Le vent et la transpiration

La transpiration dépend de la capacité évaporation de l'air (Température, vent, le déficit de saturation de l'air, l'eau contenu dans les tissus).

Des effets de sécheresse biologique peuvent être produits par l'augmentation de la capacité de transpiration de l'air comme par réduction brusque de l'humidité disponible.

Les brises favorisent l'évapotranspiration plus que les vents forts. L'activité respiratoire des feuilles augmente jusqu'à 13 km/heure puis diminue ensuite.

L'évaporation directe de l'eau du sol dans l'atmosphère est probablement un phénomène plus nuisible que l'augmentation que la transpiration des plantes.

Graphique

3.1.1.4.Aspects techniques de la lutte contre l'érosion éolienne

L'érosion par le vent passe par différentes étapes :

- nivellement de la surface
- abrasion du matériau sol
- Enlèvement du sol
- Types de mouvement du sol
 - suspension (agrégats inférieurs à 0,1 mm)
 - saltation (saut et bond)
 - "creep"
- Les principes de contrôle

Ils sont basés sur les actions suivantes

- abaisser la vitesse du vent
- modifier la résistance du sol
- limiter le mouvement des particules

Différentes techniques sont appliquées dans les zones d'érosion éolienne. Voici une liste restreinte.

Certains spécialistes appliquent le principe des 3 R :

- Résidus
- Rugosité
- Résistance du sol

• Méthodes bio-mécaniques

Selon BAUMER (1987), on peut considérer trois types de barrière :

-Les *mini brise vent* : barrage linéaire de plantes de petite taille ou de branchages situé à l'intérieur d'une parcelle.

-Les *rideaux-abri* : bande boisée pouvant attendre des dizaines ou des centaines de mètres de largeur.

-Les *brise vent* : alignement d'arbres, d'arbustes ou d'arbrisseaux, sur un ou quelques rangs, d'une seule espèce ou de plusieurs, construit perpendiculairement au vent dominant, de façon à réduire la vitesse.

On peut ainsi, en théorie, avoir un réseau de protection contre le vent avec trois maillages différents : un large maillage de rideaux-abri, un second maillage de brise-vent, un troisième maillage de mini-brise-vent.

Méthodes agronomiques

- -Jachères
- -Techniques agropédologiques (Rugosités)

3.1.1.5. Exemple d'application de la lutte contre l'érosion éolienne

Les actions faites dans la région de Majjia, au Niger font figure de modèle :

- -Haies de Azadirachta indica en double rangée ou de Azadirachta indica et Acacia nilotica face au vent à la distance de 4m x 4m
- -Hauteur adulte = 10 m
- -Espacement = 100 m (10 fois la hauteur des brise vent)
- -Perte de terrain productif (17 %), occupé par les brise vent
- -Vitesse du vent réduite de 42 %.

Les effets agronomiques des brise-vent sont imprécis. Les améliorations de production citées par différents auteurs varie de 6 % à 500 %. Il semble plus prudent de considérer une augmentation de 5 à 15 %. Pour augmenter davantage la production d'autres mesures agronomiques sont nécessaires. A titre d'exemple, le phosphore constitue le principal facteur limitant de la culture du maïs sur sable roux et sur sols ferrugineux tropicaux. Le guano se révélait avoir une action supérieure aux phosphates importés. Le fumier de ferme s'est montré également efficace (10T/ha) (Bilan de la recherche Agricole à Madagascar - 1989).

- Récolte du bois

90 % de personnes favorables aux brise vent mais 2 % seulement se sentent propriétaires des brise Vent. On peut les confier à des coopératives plutôt qu'à des individus en vue de leur pérennisation.

3.1.2. L'EROSION EOLIENNE DANS LE SUD DE MADAGASCAR

3.1.2.1. Position du problème

La zone aride de Madagascar forme un arc dans le Sud Ouest allant d'Antanimora jusqu'à Toliara. Malgré des conditions écologiques rudes, cette zone semble présenter davantage de potentiel que l'Androy cristallin, des plateaux calcaires et des sables roux au climat semi-aride. En plus de l'élevage, la population fait de l'agriculture, de la pêche en mer. Mais le milieu est si instable que des fautes de gestion ou d'utilisation provoquent des dégâts qui remettent en cause la substance même de l'économie (comblement des puits, pertes des cultures, etc)

3.1.2.2. Les conditions climatiques de la zone semi-aride

3.1.2.2.1. Pluviométrie

Le montant des précipitations moyennes est inférieure à 600 mm/an mais les variations sont énormes. Les extrêmes varient de 200 à 1100 mm. Trois mois subhumides, Décembre, Janvier, Février sont la base des activités agricoles.

L'annexe I donne des valeurs de la pluviométrie locale ainsi que des analyses de la répartition des pluies.

3.1.2.2.2. Températures

L'annexe II donne des valeurs de température.

3.1.2.2.3. Les vents

Selon certaines estimations, les vents se répartissent ainsi : 33 % de vents calmes, 33 % de vents moyens et 33 % de vents forts à caractère érosif.

Le vent est très important dans toute cette zone littorale, et vient en général du Sud-Est (alizés) ; violent en bordure de mer, il s'atténue plus ou moins à l'intérieur selon les obstacles qu'il rencontre.

3.1.2.3. Les conditions socio-économiques

La population Antandroy qui occupe la zone s'occupe d'agriculture et d'élevage. Les terrains sédimentaires sont fertiles (sols ferralitiques), l'eau étant la contrainte principale à l'obtention de bons rendements.

- Cultures de subsistance :

patate douce, manioc, maïs, niébé, antaka, sorgho

- Cultures de rente

antaka, arachide

- Elevage

zébus, chèvres, moutons

- Produits d'appoint

Fruits de raketa

- Migration

importante, surtout à la suite des sécheresses récentes

de 1987 et 1991

La zone d'Ambovombe et d'Amboasary est très peuplée, la densité étant bien au dessus la capacité de charge des ressources. Les densités indiquées sont de 16 habitant/km² en 1960, entre 20 et 50 en 1966 et de 50 à 100 en 1990. L'approvisionnement en eau pose un problème permanent. Les habitants passent souvent une journée par semaine pour se ravitailler auprès des cours d'eau permanents. Les eaux de pluie accumulées dans des dépressions sont utilisées sans distinction par les troupeaux de boeufs et par les hommes qui les puisent avec avidité. L'état, essayant d'améliorer la situation a créé d'abord des impluviums, puis a mis en place un système de distribution par camion citerne. Certains centres urbains ont l'adduction d'eau. Les éoliennes ont été installées plutôt dans l'Androy cristallin.

Les champs sont souvent entourés d'une haie d'agaves ou de raketa contre les boeufs et limites de propriétés).

3.1.2.4. Les effets des vents

3.1.2.4.1. Effets sur les plantes

Les vents qui sévissent dans l'Androy sont de direction NE-S0 et ce vent est souvent violent. Une conséquence remarquable est l'aspect dissymétrique des arbres déjetés, vers le N.O. (peu de branches côté SE et branches allongées vers le N-O).

Les feuilles de maïs sont déchiquetées

Les effets sur l'état physiologique des cultures, surtout les phénomènes de flétrissement sont peu connus. Certains auteurs avancent que les grands vents n'ont aucun effet sur la transpiration des plantes, les stomates ne pouvant transpirer aussi vite que le vent enlève les vapeurs.

3.1.2.4.2. Effets sur le sol

Deux aspects érosifs sont à noter :

- les semences déterrés;
- les jeunes plants enterrés.

Le mouvement de dunes est plus spectaculaire. Un exemple du Lac Anony peut être cité où en 6 mois, on a pu édifier une dune artificielle de 5 - 10 m de hauteur.

3.1.3. LA LUTTE CONTRE L'EROSION EOLIENNE DANS LES TERRAINS DE CULTURE

3.1.3.1. Historique

L'installation des brise vent ont commencé en 1956 à Sampona, puis les travaux se sont étendus à d'autres secteurs : Ambondro (1958), Erakoka (1958), Elanja (1960). En 1962, on estime les réalisations à 60 km protégeant 300 ha de terrains de culture.

Les travaux ont progressé en fonction des financements octroyés. Vers la fin des années 60, l'Opération Androy a permis d'accélérer les actions. A la demande de la population, l'Eucalyptus est entré dans les champs; Plusieurs millions de plants ont été produits à Amboasary par les Eaux et Forêts.

L'aménagement de brise vent semble s'être arrêté vers le milieu des années 70.

3.1.3.2. Les techniques d'installation des brise vent

Les espèces

Plusieurs ont été testés :

Acacia arabica : utilisé massivement

Acacia cyanophylla : abandonné, faute de graines

Parkinsonia aculeata : abandonné, ne résiste pas au vent

Jatropha : reprise faible Commiphora : reprise faible

Cajanus cajan : utilisé face au vent par semis direct

Casuarina equisitifolia: utilisé pour élever la hauteur du Brise vent

Cassia siamea : sensible au vent

Melia azedarach : abandonné, reprise faible

Solanum sp. (Tsingivy)

Opuntia inermis : dépérit dans les brise vents

Les plants sont éduqués en pépinière en pots de polyéthylène.

Plantation

Le terrain est préparé par simple nettoyage, sur une largeur de 6m : la mise en place des plants s'effectue par simple trouaison de la dimension du pot. La plantation se fait en novembre décembre, au constat d'une période pluvieuse de plusieurs jours. Un sarclage est nécessaire.

Cajanus est semé en poquets espaces de 50 cm.

3.1.3.3. Structure des brise vent

Plusieurs dispositifs ont été testés avant d'arriver à une structure convenable.

•Brise vent principal à 5 lignes

Face au vent 1ère ligne = Cajanus

2ème ligne = Casuarina ou

3ème ligne = Acacia arabica tous les 2 mètres

4ème ligne = Acacia arabica 5ème ligne = Acacia arabica

•Brise vent secondaire à 3 lignes

1ère ligne = Acacia arabica 2ème ligne = Acacia arabica 3ème ligne = Acacia arabica

L'écartement a fait l'objet de mise au point.

- Premiers essais à 25 m d'intervalle ; espace occupé trop important

- Intervalle de 40 m

- Intervalle de 65 m = distance définitive pour brise vent multispécifiques

Plus tard, l'Eucalyptus a été utilisé en ligne simple ou double. La distance retenue est de 50 m ou 100 m.

3.1.3.4. Devenir des brise-vent

Les brise vent ont été implantés par des services publics, sur fonds publics. La participation de la population a été faible, intervenant surtout comme ouvriers.

Les populations ont été jusqu'ici, il faut le reconnaître, assez indifférentes mais non hostiles ; en 1961 à Erakoky par exemple, après s'être opposé aux brise-vent sur leurs champs, elles en ont demandées l'installation juste avant la plantation. Mais elles n'ont pas encore compris l'utilité réelle des haies brise-vent : à Sampona, où les haies sont relativement élevées, les terrains protégés sont de faible surface et appartient au secteur de Paysannat. A Elanja et Erakoky, les surfaces protégées atteignent au total près de 270 ha et appartiennent aux populations ; il est permis d'espérer que d'ici 3 à 5 ans les paysans s'apercevront réellement de l'utilité de ces brise-vent et demanderont à en installer.

Tant que des agents forestiers ont été présents sur les lieux, les brise vent sont été respecté. Mais dans les années 80, plusieurs coupes de bois ont été observées, faisant des trous dans les dispositifs. Les eucalyptus ont été les victimes préférées des paysans.

3.1.4. LA LUTTE CONTRE LES MOUVEMENTS DES DUNES

3.1.4.1. Principes

1	Mise en défens	Réduction du nombre de bétail
		Limitation de la circulation
2	Construire une dune artificielle ou cordon littorale	Elever le long eu rivage un clayonnage de 0,75m à 1m de hauteur Piquets enfoncés dans le sable et reliés par des branchages serrés Remonter au fur et à mesure que le sable atteint 50 ou 75 cm
3a	Fixation proprement dite	Revégétalisation par boutures, semis de plantes couvrantes Ipomea pescaprae (se bouture) Paillage composé de branchages, feuilles de palmiers Clayonnage secondaire, pour abriter les plants (carré de 7m x 7m)
3b	Reboisement	Casuarina Sisal/Agave Atriplex Tsingivy (Solanum) Utiliser des plants assez grands, à écartement de 1m x 1m ou 2m x 2m

3.1.4.2. Les actions

Des travaux de fixation de dunes ont été entrepris dans le Sud, à Faux Cap et surtout aux bords du lac Anony. A Madagascar, les travaux de fixation des dunes de l'estuaire du Mandrare ont commencé en 1950, dans le double but d'éviter l'ensablement de l'embourchure du fleuve et de protéger les terres de cultures, situées à l'Ouest des dunes. La région est soumise à des vents violents du Sud-Est, qui constituent la branche la plus méridionale de l'alizé austral et qui soufflent avec violence pendant toute l'année, mais surtout au début et à la fin de la saison sèche. Les sables du Mandrare étaient couverts jadis d'une végétation rabougrie, que le défrichement et le surpâturage ont en partie détruite, de telle sorte que les dunes se sont remises ne mouvement. Là aussi on a créé une dune littorale artificielle et des épis perpendiculaires à la direction des vents dominants.

Ces ouvrages ont été réalisés au moyen d'un clayonnage, constitué essentiellement par des hampes de sisal, que l'on trouve facilement dans la vallée du Mandrare, où 10 000 ha sont actuellement en exploitation.

Puis on a cherché à installer la végétation, ce qui est toujours le point le plus délicat de l'opération. Après des échecs répétés il a fallu, pour pouvoir assurer une protection suffisante des boutures contre le vent, construire sur la dune un quadrillage constitué par

des clayonnages de 0,50 m de haut et dont les éléments ne dépassent pas 10 m². A l'abri de ces branchages, on a réussi à installer des boutures d'Ipomea pescaprae, puis l'espèces arbustives et arborescentes dont les principales sont l'Agave, le Tsingivy, l'Acacia cyanophylla et le Filao.

Annexe 1

	Tsihombe 1926 - 1950		Ampasimpolaka 1933 - 1950			Ambovombe 1930 - 1950			
	Moy	Maxa	Min	Moy	Maxi	Min	Moy	Max	Min
Janvier	66	178	12,1	63,7	187	7,4	82,6	160,9	11
Février	105	264	0,9	81,4	270,4	-	88	280,9	4,1
Mars	52	299	2,6	51,9	166,5	3,1	55,6	200,9	5
Avril	23	111	0,1	19,8	89,5	-	26,6	99,5	-
Mai	28	185	1,4	40,2	157,8	0,3	38,1	118,8	0,6
Juin	33	230	1,6	57,3	238,7	2	71,6	308,9	3,6
Juillet	19	83	1	33,2	101,4	-	27,1	94,7	0,7
Août	13	70	-	23,3	72,1	-	26,7	99,3	0,3
Septembre	12	50	-	16,2	58,2	_	17	57,1	traces
Octobre	20	75	-	26,2	94,9	0,2	24	89	0,3
Novembre	29	104	3,1	43,4	94,2	0,3	39,2	87,6	6,8
Décembre	93	288	22,5	79,9	324,3	3,3	89,1	256,8	19,2
	493	860	205,4	536,5	857,9	181,3	585,6	924,8	295

DETAIL DES PERIODES DE PLUIES A Ambovombe

Année 1955 : Total annuel = 429 mm en 72 jours

Périodes	Nombre	Total	% du total
de		(mm)	annuel
2 j	6	83	19 %
3 j	8	148	34 %
4 j	1	62	14 %
	15 périodes de 2 à 4 jours	293	68 %

Année 1956 : Total annuel = 410 mm en 74 jours

Périodes	Nombre	Total	% du total
de		(mm)	annuel
2 j	7	44	10 %
3 j	6	142	34 %
4 j	4	114	27 %
5 j	1	14	3 %
	18 périodes de 2 à 5 jours	314	76 %

Année 1957 : Total annuel = 427 mm en 57 jours

Périodes	Nombre	Total	% du total
de		(mm)	annuel
2 j	9	51	12 %
3 j	4	130	30 %
4 j	1	126	29 %
6 j	1	51	12 %
	15 périodes de 2 à 6 jours	358	83 %

Annexe II

TEMPERATURE ET HUMIDITE A TSIHOMBE

Mois	Température	Température	Moyenne des
	moyenne maxima	moyenne minima	humidité relative
	absolue	absolue	
Janvier	38,0	18,3	65 %
Février	38,1	18,3	66 %
Mars	37,8	17,8	67 %
Avril	36,7	14,0	66 %
Mai	34,5	9,6	67 %
Juin	30,8	8,4	63 %
Juillet	31,7	7,6	61 %
Août	33,1	8,4	58 %
Septembre	36,3	10,0	59 %
Octobre	37,9	12,2	61 %
Novembre	39,4	15,4	61 %
Décembre	39,4	17,8	62 %

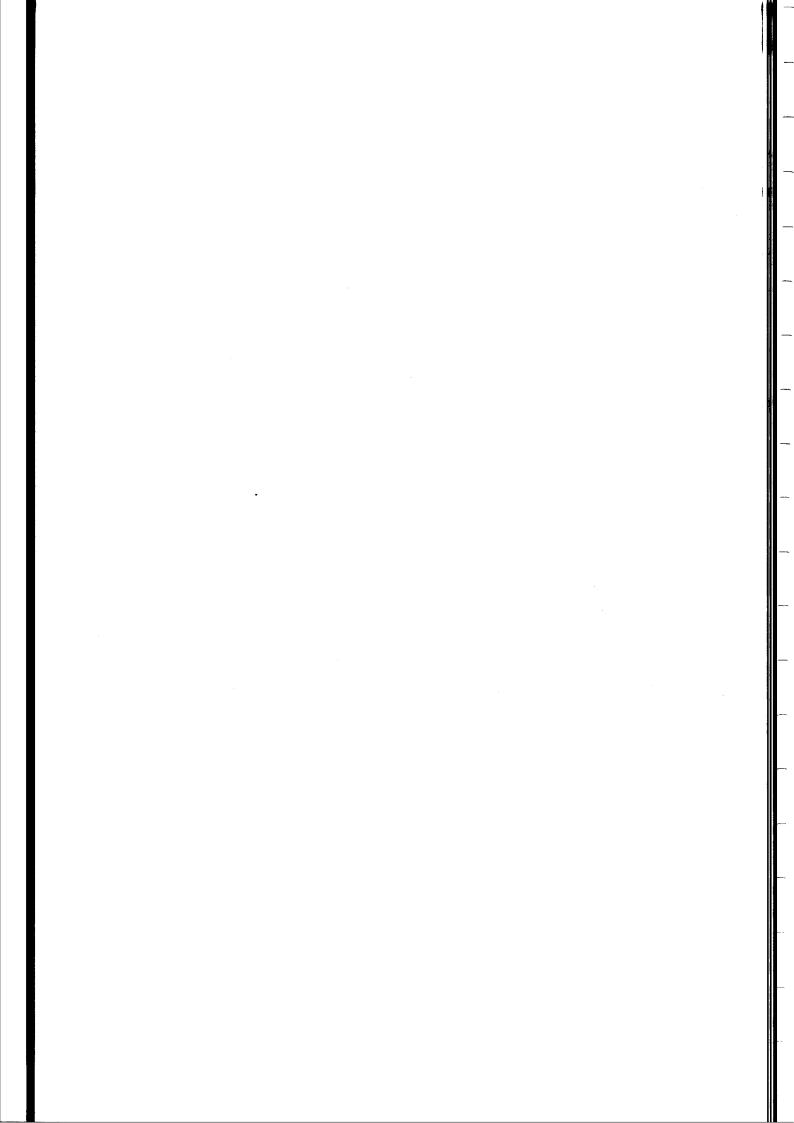
BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



LUTTE CONTRE L ' EROSION HYDRIQUE

par Jean Louis RAKOTOMANANA FOFIFA / CRR

Mars 1997



3.2. LUTTE CONTRE L'EROSION HYDRIQUE

INTRODUCTION :

On peut dire que la lutte contre l'érosion a été menée à Madagascar depuis 50 ans (1948) avec l'apparition du Bureau des Sols. En 1990, les différentes études préparatoires au Plan d'Actions Environnementales (PAE) concluait au renforcement de la spirale de dégradation. Dans un pays aussi vaste, il est en effet dépressionnant de constater la dénudation des terres, la masse de terre transportée par les rivières et l'état improductif des cultures. Il existe cependant des expériences valables qui ont été menées afin de maîtriser, au moins localement, les processus érosifs.

3.2.1. L'EROSION A MADAGASCAR

3.2.1.1. Quelques éléments orientatifs

D'après les études de Fournier (1960), Madagascar est inclus dans la zone où l'érosion sévit fortement, avec des pertes moyennes estimées entre 1000 et 2000T/ha/an. Une autre estimation réalisée par la FAO (1984) donne certains indicateurs de risque de désertification. D'après la FAO:

- 0,1 % de Madagascar est menacée par l'érosion hydrique, par la pression animale.

Le risque de désertification est très élevé;

- 2,4 % sont menacés par les mouvements de sable. Risque élevé ;

- 6,1 % sont menacés par l'érosion hydrique et le décapage des roches, le risque de désertification est modéré;

- 91,4 % sont à risque de désertification léger ou nul.

Les constatations entre les deux études pourraient sembler contradictoires ; elles montrent cependant deux façons de voir les problèmes = le désert peut ne concerner qu'une petite partie de Madagascar mais l'érosion sévit partout. C'est ce qui devient explicite dans la suite de l'étude de la FAO considérant la réduction possible de la capacité de charge humaine (CCH) par l'érosion. D'ici l'an 2000, la FAO estime qu'un certain nombre de pays - dont Madagascar ne seront plus en mesure de subvenir aux besoins de leur population, à partir de leurs propres ressources à moins d'une politique très stricte de limitation des naissances et à moins d'adopter une technologie agricole très poussée, un mélange approprié de cultures et d'entreprendre de vastes travaux de conservation des sols (in Baumer 1987)

Toujours selon cette étude, on peut voir à Madagascar 4 zones :

zone 1 = Diminution de CCH inférieure à 15 %

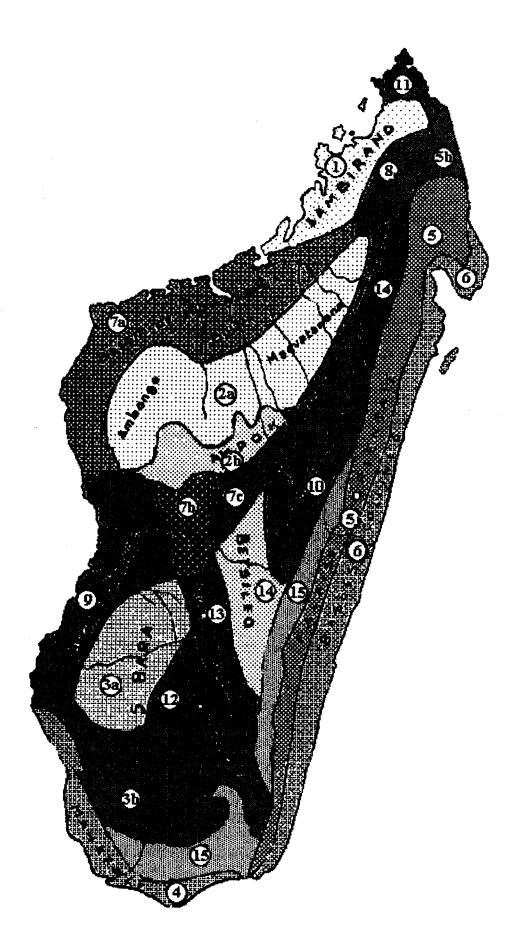
zone 2 = Diminution de CCH comprise entre 15 et 30 % = Ambatondrazaka, Boeny et Sofia

zone 3 = Diminution de CCH comprise entre 30 et 50 % = Région Est, pays Bara,

Pays Sakalava, Sambirano et Nord

zone 4 = Diminution de CCH supérieure à 50 % = Hautes Terres Centrales, Sud Ouest. Pour cette dernière, la capacité de charge est déjà dépassée.

CARTE DES ZONES D'EROSION A MAGADASCAR



Il est donc important d'analyser l'importance des phénomènes naturels et de la pression humaine sur les ressources afin de baser les techniques sur ces ensembles de facteurs.

3.2.1.2. Les facteurs de l'érosion

Il est bien connu que l'érosion des sols est la conjugaison de 3 facteurs principaux :

- un élément qui apporte l'énergie la pluie avec le ruissellement qu'elle provoque ;
- un élément qui subit cette énergie = le sol
- des paramètres qui freinent ou accélèrent le processus = pente du terrain, couverture végétale et modes de gestion du sol.

3.2.1.2.1. La pluie, moteur de l'érosion

Les pluies d'orage provoquent de gros ruissellements, surtout ceux qui se produisent en début de saison. Différentes études ont montré par exemple que sur les Hautes Terres, il y a en moyenne 7 évènements orageux provoquant 70 % du ruissellement total. L'application de la formule de Wischmeier pour calculer l'énergie érosive des pluies a montré que le Nord Ouest et l'Est sont les zones où les risques sont maxima. Une correlation a pu être établie entre la pluviométrie annuelle et le pouvoir érosif ; les deux versants du pays se distinguent par les coefficients :

R = 0.50 P + b pour le versant occidental R = 0.35 P + c pour le versant oriental.

L'évaluation globale du potentiel de l'érosion à Madagascar a permis de dresser la carte des zones iso-érosives du pays. (Voir annexe).

Le ruissellement, vecteur des sédiments détachés peut être estimé à 25 % de la pluviométrie.

3.2.1.2.2. Le sol, élément érodable

Les diverses études concernant l'érodabilité du sol sont résumées dans le tableau :

- 1
Ì
ļ
ı
ļ
\neg
ı
i
ı
\dashv
ı
1
- 1
_

Source : Etude de la susceptibilité à l'érosion des sols de Madagascar.

Il faut cependant noter que le même type de sol réagit différemment selon la manipulation qu'on en fait. On peut donner les indications suivantes.

	Perte en Perte en terre			terre en % de sol nu		
	Sol T/ha/an	nu	Sous couvert dense Forêt -Savane	sous couvert dégradé	Sous cultures	
Sol ferrallitique	400		0 % sol nu	1 à 5 %	20 à 50 %	
Sol ferrugineux	350	*	0 %	10 %	40 à 60 %	

3.2.1.2.3. Les facteurs du milieu

La pente du terrain joue un grand rôle dans l'augmentation de l'érosion.

3.2.2. LES TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'EROSION

3.2.2.1. Systèmes traditionnels de conservation des sols

Sans prétendre présenter un inventaire exhaustif des techniques traditionnelles de conservation des sols, ce paragraphe veut surtout montrer les principes derrières ces actions.

a - Evacuation des eaux de ruissellements.

Beaucoup d'actions visent à "drainer" le ruissellement en dehors de la parcelle, avant qu'il ne ravine la parcelle. C'est une des raisons pourquoi les "canaux" de protection et de dérivation ont une pente forte et/ou une forme semi-circulaire.

b - Correction de la pente.

La correction de la pente est aussi une préoccupation majeure. Les paysans établissent alors des parcelles allongées en travers de la pente, mais sans suivre les courbes de niveau. La terrasse radicale est utilisée pour les zones irrigables : (rizières Betsileo, terrains de cultures maraîchères, etc). La mise en terrasse progressive est aussi une technique fort utilisée. La base de la terrasse peut être constituée de murs en pierres ou de mottes accumulées qu'on laisse enherbée. Mais le paysan peut arrêter le travail vers l'aval après un certain temps, laissant ainsi la parcelle sous une certaine pente. Il semble que l'agriculteur évite ainsi l'accumulation de sol acide en bas de parcelle.

c - La mise en jachère.

C'est une technique couramment utilisée là où la surface n'est pas un facteur limitant. La réinstallation d'un couvert végétal permet de regénérer le sol et de lui donner une certaine résistance à l'érosion. Mais on a vu aussi des parcelles qui restent nues deux années après la dernière culture et qui sont les sites d'érosion intense.

d - Les bandes enherbées.

Dans les régions à topographie peu accidentée comme le Moyen Ouest, le paysan divise son champ en parcelles grâce à des bandes de végétation naturelles laissées intactes. Ces bandes filtrent la terre entraînée et ralentissement le ruissellement.

3.2.2.2. Historique de la lutte anti-érosive

La chronologie des actions de protection a fait l'objet d'un bilan par Tassin (1995) et nous reprendrons les points qu'il a développés.

- Sous l'administratio	nLancement d'une politique des reboisements sur les Hautes Terres
coloniale avant 1949 :	Promulgation de bois interdisant les feux de brousse.
- Le Bureau des sols 1949 - 1958 :	Collaboration entre agronomes et forestiers pour lancer des actions de protections. Des brigades de conservation des sols sont constitués et équipés de tracteurs et de bulldozers pour exécuter les travaux antiérosifs, ou préparer les terrains de reboisement (sous-solage, labour en ados). Le projet pilote "Vallée Témoin" du Lac Alaotra est mis en route. Barrages d'irrigation, correction du lavaka, reboisement, réalisation d'ados d'infiltration, pistes rurales, etc figurent au registre des actions. Opération de reboisement en régie (Haute Matsiatra, Sahamaloto, etc) et création d'arboretum dans chaque zone agro-écologique.
- La première	La Direction des Eaux et Forêts crée le Bureau d'Etudes du service de
République 1958 1972 :	la Conservation des sols et le Centre Technique Forestier Tropical s'implante à Madagascar. C'est la continuation, varie le renforcement
	des actions entreprises dans la phase précédente. En 1968, on lance
	l'idée des grandes opérations (chantiers de reboisement, pépinières villageoises). L'Aménagement des vallées forestières connaît son plein essor.
- Les années 70 et 80 :	C'est la rupture. Les travaux réalisés antérieurement connaissent des problèmes de gestion, car ils ont été entrepris sans le consentement des riverains. Puis d'autres priorités sont apparues.
	Au début des années 80, l'idée de l'arbre est relancée. Mais la
	conservation des sols n'a pas l'oreille des décideurs. En 1987, on renoue avec la protection des sols et l'apparition du PAE
	ravive les flammes dans le coeurs des conservateurs.
- La dernière décennie	Malgré les tâtonnements techniques et administratifs, la protection des
1987 - 1997 :	sols est à l'honneur, grâce en partie à la naissance de dizaines d'ONG, de projets de conservation et de développement. Les réalisations se
	font avec les communautés villageoises et avec leurs moyens.

3.2.2.3. Actions de lutte anti-érosive de 1950 à 1987

Les promoteurs sont inspirés par les exemples américains et nord-africains. 1 - (Fournier, Moulinier H et Moureaux C - Quelques aspects de la science du sol aux Etats-Unis). Comme les travaux sont effectués en régie, on utilise de gros moyens : tracteurs et bulldozers pour les terrassements, les grandes pépinière centrales pour préparer les plants de reboisement. Dans la liste des réalisations, on peut citer :

- les travaux d'aménagement de bassins versants du Lac Alaotra (Vallée témoins, Sahabe, Sahamaloto, Menaloha, Anony, Sasomanga);
- l'aménagement de la Sakay (installation de migrants réunionnais) et l'Opération pour le Développement du Moyen Ouest ;
 - les fermes d'état OMBY;
 - les périmètres de reboisement économique de la Haute Matsiatra ;
 - la protection du Bassin Versant de la Taheza;
 - l'Opération "Forêt Noire" des Tampoketsa d'Ankazobe;
 - les aménagements de vallées forestières (ANF);
 - le reboisement industriel du Haut Mangoro (actuellement FANALAMANGA).

Plus modestes sont les actions au riz du sol menées par les collectivités et le GOPR. Deux documents (Goujon et al : Conservation des sols en Afrique et à Madagascar) et CTFT (Conservation des sols en Afrique au Sud du Sahara illustrent bien comment ces différents travaux sont entrepris.

3.2.2.4. Les techniques appliquées dans les projets CES

Trois types de procédés sont disponibles : Procédés mécaniques

Procédés biologiques

Procédés pédo-agronomiques

Dans les projets de conservation des sols, on utilise souvent une combinaison de ces procédés afin d'établir un système efficace de conservation des sols.

A ces trois s'ajoutent des techniques spéciales relatives à la correction des ravins et Lavaka, la fixation des talus de route, la protection des berges de cours d'eau.

3.2.2.4.1. Inventaires des techniques

a) - Procédés mécaniques

Fossé de protection
Fossé d'infiltration/diversion
Murettes en pierres
Terrasses radicales
Bande de sédimentation
Drains anti-sédiments
Ados
Exutoires

b) - Procédés biologiques

Reboisements
Embroussaillement
Jachère
Engrais vert
Prairie temporaires
Mise en défens
Bandes de sédimentation
Bandes enherbées
Plantes de couverture (live mulch)
Paillage (dead mulch)
Haies arbustives
Haies herbacées
Banquettes végétales

c) - Mesures pédo-agronomiques

Fertilisation organique et minérale Techniques de cultures suivant les courbes de niveau Rotation de culture Calendrier de culture

3.2.2.4.2. Principes généraux de conservation des eaux et des sols appliqués par les projets

Les différents projets de Conservation des Eaux et des Sols (CES) commencent par une reconnaissance du milieu d'intervention et opèrent une évaluation souvent qualitative de la dégradation, selon une approche participative. Cette étude préliminaire vise surtout à mettre en exergue des pratiques liées avec l'érosion, plutôt qu'à reconnaître des zones plus ou moins touchées.

La phase de sensibilisation qui suit prend une tournure académique, souvent sans relation avec les phénomènes observé localement. Grâce à l'artifice des mots et établissant la similitude avec d'autres régions, les techniciens arrivent plus ou moins à convaincre l'auditoire de réaliser des travaux de protection.

La phase de conception des techniques à mettre en oeuvre des techniciens. C'est après que les paysans sont informés et formés pour les exécuter. Lors de cette phase, le travail vise la standardisation des techniques. Plus aucun projet (alors qu'il y en a des centaines) n'applique des formules du type RAMSER ou SACCARDY.

Durant l'exécution, techniciens et paysans se répartissent le travail ou s'entraident pour réaliser les différentes activités.

3.2.3. TECHNIQUES DE CONSERVATION DES SOLS SUR LES TERRES CULTIVEES

3.2.3.1. Situation générale.

C'est dans ce domaine qu'il y a le plus de réalisation. L'intervention se fait au niveau des parcelles (ou blocs de parcelles) des paysans, sans trop tenir compte ni de la pente du terrain, ni de sa situation juridique. Aussi, trouve-t-on parfois des aménagements sur des pentes de plus de 50 %.

C'est aussi l'espace qui intéresse le plus le paysan en raison de son influence directe sur la situation alimentaire de sa famille.

3.2.3.2.Procédés mécaniques

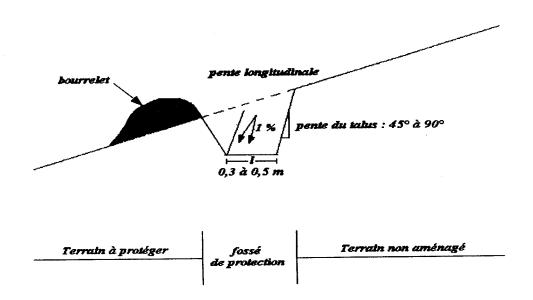
- Les fossés de protection

a) - Rôle

Le fossé de protection est un fossé destiné à :

- 1) recueillir les eaux de ruissellement provenant d'une surface dominant la parcelle à aménager,
 - 2) acheminer cette eau vers un exutoire. Il se place donc en amont de la parcelle.
 - b) Description technique

Le fossé de protection doit courir sur toute la longueur du champ.



Il comporte un canal, de section trapézoïdal ou parfois rectangulaire de 40 cm de largeur au fond, de 60 cm de largeur au sommet. Lors du creusement, la terre est rejetée en aval pour constituer un bourrelet ou une diguette. La profondeur est de 40 cm minimum.Le

fossé a une pente longitudinale de 1 %, permettant ainsi d'évacuer calmement le ruissellement vers un exutoire naturel ou aménagé.

c) - Réalisation

Les paysans confectionnent traditionnellement un fossé de protection, mais qui est mal dimensionné (trop étroit, trop peu profond) et qui se laisse déborder provoquant une érosion en rigole ou même en ravine importante.

Les nouvelles dimensions proposées sont correctes et ont permis de contrôler le ruissellement sauvage. Les fossés de protection sont conseillés par tous les projets de Conservation des Eaux et des Sols.

- d) Techniques complémentaires
- 1) Le bourrelet aval est renforcé par la plantation d'arbres (Grevillea) et ou de plantes herbacées, parfois de fruitiers.
 - 2) Il est prévu un curage périodique pour éviter le comblement du canal.
 - e) Remarque sur la technique
- 1) Le fossé réalisé fonctionne correctement, indépendamment de la surface dominante.
 - 2) Le bourrelet a tendance à se rétrécir au cours des années
- 3) -Le creusement demande beaucoup de temps de travail (3 à 5 m par homme jour), ce qui est parfois un motif de rejet de la technique

- Le fossé d'infiltration/de diversion

a) - Rôle

Les <u>fossés d'infiltration</u> se place à l'intérieur de l'espace à aménager et constitue un réseau, séparant des parcelles de culture. Ils sont destinés à recevoir les eaux provenant de la parcelle située en amont, à les stocker jusqu'à infiltration totale.

Dans ce but, on leur donne un profil à pente longitudinale nulle une façon de dire qu'ils suivent strictement la courbe de niveau. On les exécute souvent avec des cloisons sur toute la profondeur du canal.

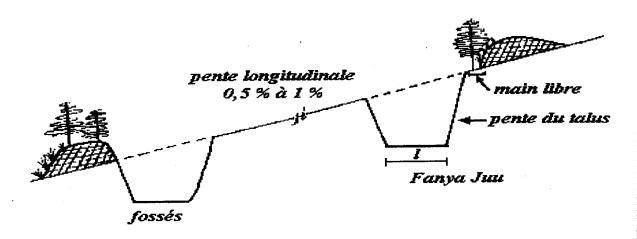
Les <u>fossés de diversion</u> sont semblables aux fossés d'infiltration, mais sont dotés d'une pente latérale faible, souvent de 0,5 %. Ils amènent l'eau vers un exutoire.

<u>Les fossés d'infiltration / diversion</u> ressemblent aux fossés de diversion mais comportent des cloisons jusqu'à une certaine hauteur du canal, le reste étant ouvert pour l'évacuation des excès d'eau.

b) - Description technique

Il s'agit d'un petit canal de 20 à 30 cm de large et autant de profondeur. Comme les fossés sont disposés en réseau, leur écartement est déterminées en fonction du dénivelé (distance verticale) entre leurs bases aval. La dénivelé standardisé est de 1,20m ou 1m. Les cloisons sont établies à 5 ou 6 m de distance.

On peut avoir deux types de fossés. Si on rejette la terre vers l'amont, on obtient un talus qui va servir à établir la terrasse progressive. Si on rejette la terre vers l'aval, on obtient un ados. Tout le canal pourra alors servir à retenir l'eau à infiltrer, on l'appelle aussi fossé aveugle.



c) - Réalisation

<u>Le piquetage</u> sert à marquer la limite aval du fossé - qui est creusé en amont de la courge.

Le creusement est effectué en prenant soin de laisser une garde libre de 20 cm entre le bord du canal et le remblai, ceci pour éviter la retombée du sol dans le canal.

En terre structurée, on délimite des mottes qui sont alignés à l'emplacement des déblais. On continue le creusement en rejetant la terre meuble au delà. En terre peu structurée, comme sur les parcelles récemment labourées, on ne peut faire de motte et il faut prendre soin de bien établir le talus.

S'il s'agit de fossé d'infiltration totale, on prend soin de laisser à chaque 5 ou 6m une largeur de terre intacte. Pour le cas du fossé d'infiltration/diversion, on doit le réaliser en deux temps : creuser d'abord un canal continu de 15 à 20cm de profondeur ; continuer le creusement en prenant soin de laisser les cloisons aux emplacements spécifiés.

d) - Techniques complémentaires

Les fossés d'infiltration de diversion viennent compléter le <u>fossé de protection</u>. Les talus sont fixés en plantant des espèces fourragères (Pennisetum, Setaria, Tripsacum, Eragrostis, Brachiaria, etc...), arbustives (Crotalaria, Tephrosia, Cajanus, Calliandra, Leucaena, Gliricidia, etc...), fruitiers (ananas, papayers).

Il convient de signaler que dans les dispositifs traditionnels, cette fixation est réalisé aussi avec différentes espèces :

- Acacia dealbata produisant du bois de chauffe ou les tuteurs
- Psidium guajava fruits
- Psidia altissima espèce fertilitaire

Lorsque la parcelle située entre deux fossés est assez large, on peut renforcer le talus en plantant des arbres forestiers ou fruitiers, en prenant soin de les placer plus à l'intérieur de la parcelle.

En labourant la parcelle vers l'aval, on atteint en 3 à 5ans un profil en terrasse.

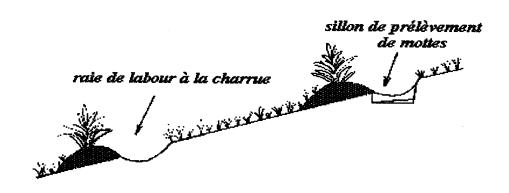
- e) Remarque sur la technique
- 1 Les fossés d'infiltration sont entretenues lors de la préparation de la parcelle de culture. 2 Les cloisons ont tendance à disparaître par affaissement, surtout dans le cas où la terrasse commence à se former. Dans ce cas, l'effet est compensé par la réduction de la pente de la parcelle. 3 -Les paysans ont constaté la résurgence des sources dans les zones situées en contre bas des parcelles aménagées avec des fossés d'infiltration. Les effets sur la parcelle attenante ne sont pas signalés.
 - Les Ados
 - a) Rôle

Ce sont les levées de terre réalisées en courbes de niveau, destinées à retenir les eaux de ruissellement et à capter les sédiments transportés.

b) - Description technique

Les ados sont établis en réseau et formés par deux passages d'un matériel de labour (tracteur, charrue à boeufs) ou à la main, en adossant les mottes.

L'écartement entre les ados n'est pas établi mais l'expérience de la Taheza a montré qu'il était important d'avoir une densité élevée (à chaque 10m d'intervalle).



c) - Réalisation

La technique des ados n'est pas encore très familière. Elle convient aux climats subhumides et semi-arides, pour les terrains à pentes faibles (< 8%).

d) - Technique complémentaire

Les ados peuvent porter des cultures vivrières, ou mieux des cultures pérennes.

e) - Remarque sur la technique

1 - La réalisation d'ados est facilitée par la mécanisation, à condition que la conducteur s'habitue à se déplacer suivant la courbe de niveau, en suivant des repères placées à grand écartement, ou avec l'expérience, en se basant sur des courbes maîtresses.

2- la rupture d'ados peut être à l'origine de ravins. 3 - En zone semi-aride, les ados peuvent maîtriser totalement le ruissellement et l'érosion.

- Les Terrasses radicales

a) - Rôle

La terrasse radicale est une structure de Conservation des Eaux et des Sols (CES) où la topographie est transformée en une série de marches d'escalier alternant une surface plane et un talus. La terrasse est normalement réalisée en vue de l'irrigation mais peut aussi bien concerner les cultures pluviales.

b) - Description technique

Il y a peu de spécification "scientifique" pour réaliser les terrasses radicales. On peut reconstituer la technique à partir de l'expérience des paysans qui ont réalisé ce genre d'aménagement depuis des années. (cf pays Betsileo)

Le bord inférieur de la terrasse est piquetée suivant les courbes de niveau. On prélève des mottes en aval des piquets pour matérialiser la base du talus.

On continue en dégageant la terre humifère de part et d'autre des piquets et en l'entassant à l'emplacement du talus. L'étape suivante consiste à déblayer le sous sol aval pour remblayer la partie amont. Lorsque la terrasse prend forme, le paysan termine le travail en repartissant la terre humifère accumulée sur toute la surface. De cette manière, il a recréé un profil "normal" qui lui permet une récolte dès la première année. Autrement, l'horizon humifère et fertile est enseveli sous une couche stérile de terre rouge et il faudra plusieurs années pour ramener le terrain en état de production.

c) - Réalisation

Les terrasses radicales sont courantes dans la région de Fianarantsoa (riziculture) et dans les régions de production maraîchères d'Antananarivo (Terre Tany).

d) - Techniques complémentaires

Avec la fertilisation organo-minérale, les terrasses, malgré leur superficie restreinte constitue l'espace la plus rentable et la plus économique de certains terroirs.

- Les Drains anti-sédiments

a) - Rôle

C'est une technique traditionnelle qui consiste un fossé de diversion ceinturant un bas fond. Il est destiné à intercepter des eaux de ruissellements chargés de sédiments avant que ceux-ci n'atteignent les rizières.

b) - Description technique

Il n'y a pas de spécifications "scientifiques" établis pour ce genre de dispositif et on va s'inspirer des pratiques paysannes pour le décrire.

Le drains anti-sédiments est un fossé de protection, élargi pour pouvoir stocker jusqu'au prochain curage, les sables et autres débris apportés par les eaux de ruissellement. Ils ont une pente assez forte (2 à 5 %), ce qui permet d'évacuer l'eau rapidement avant le débordement de la structure.

Le bourrelet placé entre les rizières et les tanety est bien consolidé par des herbes vivaces, comme le Cynodon dactylon et le Pennisetum sp (horompotsy).

d) - Réalisation

Les drains anti-sédiments existent traditionnellement dans de nombreux bas fonds où les risques d'ensablement des rizières sont connus par la population.

e) - Remarque sur la technique

1 - Les drains anti-sédiments jouent en fait un double rôle : prévenir l'ensablement des rizières et prévenir l'inondation. 2 - Ce sont des réalisations communautaires et tous les propriétaires de la vallée participent à la construction et à l'entretien des drains.

- Les Bandes de sédimentation

a) - Rôle

Ce dispositif traditionnel vise à faire passer les eaux de ruissellement provenant des hauteurs à travers une bande de terrain aménagée en terrasse et fortement occupée par une végétation pour que les sédiments qu'elles transportent s'y déposent. L'eau ainsi débarrassée de sa charge est récupérée par un fossé de diversion et utilisée pour l'irrigation.

b) - Description technique

La bande de sédimentation est une terrasse radicale de 3 à 5 mètres de large. La longueur de la bande varie pour permettre d'intercepter le ruissellement provenant de surface fortement érodée. Elle est occupée par une végétation dense qui a la capacité de se développer au fur et à mesure que la sédimentation se poursuit. On a pu ainsi voir à Manandona, une bande où les sédiments atteignaient une épaisseur de plus de 50 cm.

Lorsque les risques sont plus faibles (érosion réduite, surface restreinte) la bande peut être cultivée (cas d'Avaradrano).

c) - Réalisation

Les bandes de sédimentation sont utilisées alternativement aux drains antisédiments et les deux structure peuvent être observées dans une même vallée.

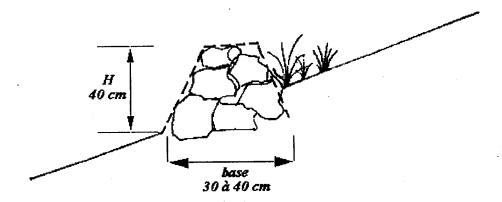
d) - Remarques sur la technique

- 1) Avec l'aggravation de la dégradation, les bandes de sédimentation n'arrivent pas à contenir tous les sédiments apportés qui se déversent alors dans les canaux et les rizières.
- 2)- La tentation est grande de mettre la bande en culture, il y aurait alors remise en mouvement de tous les matériaux accumulés depuis des années.

- Les Murettes en pierres

a) - Rôle

Les murettes en pierre sont des constructions réalisées en zones caillouteuses où l'agriculteur aménage son terrain en disposant ces pierres le long de courbes de niveau pour freiner le ruissellement et favoriser la déposition des sédiments, ou pour baser la constitution d'une terrasse.



b) - Description technique

Les murettes en pierre sont des structures construites, de section trapézoïdale. La hauteur ne dépasse pas 50 cm. Cette construction vient soutenir le déblai permettant d'adoucir la pente du terrain et d'atteindre le profil en terrasse.

c) - Réalisation

Ce type d'ouvrage est fréquent dans les zones où la terre caillouteuse doit être débarrassée de cette charge pour faciliter le travail.

d) - Remarque sur la technique

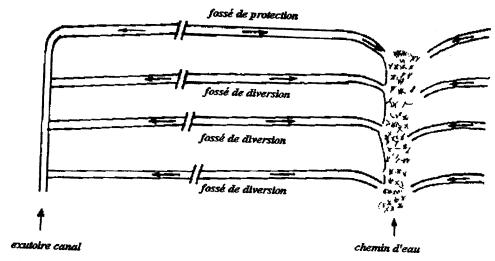
- 1) C'est un véritable travail à haute intensité de main d'oeuvre prix à payer pour mettre la terre en valeur.
- 2) La stabilité de la murette doit être calculée et c'est la raison pour laquelle la hauteur est restreinte.
 - 3) Les animaux sont souvent exclus de tels aménagements.

- Les Exutoires

a) - Rôle

Un exutoire est une voie d'eau aménagée naturellement ou artificiellement pour conduire l'eau vers un cours d'eau sans causer de dégâts. L'aménagement d'exutoire est concomitant à tout dispositif de diversion.

b) - Description technique



On doit placer des exutoires après 250m de fossés de diversion ou de protection pour éviter la trop grande concentration d'eau. Puisque les exutoires suivent la ligne de plus grande pente, une attention particulière doit être portée à leur exécution.

On peut mentionner 3 types d'exutoires :

- Les exutoires naturels comme les cours des torrents
- Les exutoires enherbés = bande de terre de plus de 5m de large, sous couverture naturelle mise en défens
- Les exutoires canaux ; ceux-ci doivent être renforcés pour éviter de se transformer en ravins.

c) - Réalisation

Ces dispositifs sont souvent négligés dans les aménagements. On a alors transposé l'érosion d'un point du versant à un autre.

3.2.3.3. Procédés biologiques de Conservation des sols

- La jachère améliorée

a) - Rôle

La jachère correspond à un temps de repos du sol. Pendant cette période, la structure et la fertilité se reconstruisent sous l'effet d'une végétation adéquate. La jachère améliorée ou jachère cultivée utilise des espèces a fort pouvoir de régénération du sol (forte production de biomasse, enracinement profond, couverture rapide du sol).

Les bienfaits attendus de la Jachère sont :

- un renouvellement et une amélioration de la matière organique ;
- la mobilisation des réserves chimiques ;
- l'étouffement des mauvaises herbes ;
- la restructuration du sol.
- b) Description technique

On verra dans un autre paragraphe la description de la jachère "fourragère". Ici, on parlera davantage de la jachère arbustive.

Après la récolte de la culture précédente la jachère, (ou au milieu de cette culture s'il s'agit d'une plante à graine), on sème la jachère sur un sol meuble et propre. Les espèces couramment utilisées sont :

- Crotalaria grahamiana
 - Crotalaria micans
 - Tephrosia vogelii
 - Sesbania bispinosa

Il est avantageux d'y adjoindre des herbacées :

- Phaseolus lunatus
- Mucuna pruriens
- Dolichos lablab
- Desmodium sp
- Pueraria javanica
- Mimosa invisa

Ces plantes se développent rapidement pour autant que le sol garde encore une certaine fertilité, produisent beaucoup de biomasse et dominent les espèces pouvant constituer une mauvaise herbe.

Un minimum d'entretien est requis pour la meilleure croissance de la jachère.

Après un temps suffisant (deux ans sont recommandés mais on peut exploiter après un an), on coupe les plantes qu'on peut recycler soit directement en tant que engrais vert soit après compostage.

Il n'y a pas de mesures précises concernant les effets "pédologiques" de la jachère.

c) - Réalisation

Il y a de nombreuses réalisations en la matière, faites par des ONG. La variabilité est de règle.

d) - Remarque sur la technique

1) - La jachère permet de contrôler l'érosion sur la parcelle grâce à une bonne couverture du sol (DRFP non publiée, Terre Tany).

2) - Le terrain mis en jachère peut être remis en culture avec la technique du zéro

labour, en plus des techniques déjà mentionnées.

3) - Chez LOVASOA, le terrain mis en jachère est recultivé en manioc sans autres intrants, les parties aériennes ayant été exportée vers une compostière.

4) - Les productions signalées sont satisfaisantes = 40 T de manioc tubercules (LOVASOA) 3 T de mais (DRFP).

5) - Il y a une réticence des paysans à semer la jachère - une culture improductive.

6) - Il existe des situations ou le sol est si pauvre que les espèces semées ne se développent pas (Terre Tany).

7) - La durée de la jachère doit être mieux précisée.

8) - La disponibilité des semences des espèces pose une contrainte pour l'extension des jachères améliorées.

9) - Des paysans signalent que le sol mis en jachère est plus facile à travailler.

- Les prairies temporaires

a) - Rôle

Les prairies temporaires font partie d'une rotation. Son objectif est de produire des fourrages tout en améliorant la structure et la fertilité du sol. Les essais entrepris ont montré l'intérêt d'une prairie de trois ans dans le cadre d'une rotation septennale (CTFT, BDPA, FIFAMANOR).

b) - Description technique

Après une périodes de cultures vivrières, le sol est semé avec des espèces fourragères et reste en prairie pendant 3 ans. Vu les exigences des espèces, on apporte une fertilisation appropriée (Urée = Potasse). Une fois que la prairie est installée (6 à 12 mois après semis), on peut l'exploiter par la pâture directe ou par la coupe et affouragement en vert ou fenaison. Au bout de 3 ans, on remet le terrain en culture.

- c) Réalisation
- Il y a peu de réalisations pour diverses raisons :
- la culture fourragère n'est pas encore acceptée ("le boeuf est nourri par sa bouche de la végétation naturelle ou spontanée") sauf dans certaines zones de production laitière ;
 - les semences sont difficilement disponibles ;
 - il faut apporter un minimum de fertilisant pour avoir une production satisfaisante.

Malgré ces observations, la prairie temporaire se développe bien dans la région à Antsirabe.

- d) Remarque sur la technique
- 1) L'érosion sous prairie temporaire est nulle (parcelles d'érosion de Manankazo, Nanisana, Kianjasoa, Alaotra, Marolaona-Périnet, Ambatomainty). Le ruissellement est minima.
 - 2) Les espèces préconisées sont : (pour les Hautes Terres) :
 - Melinis minutiflora
 - Chloris gayana
 - Brachiaria ruziziensis
 - Setaria sphacelata
 - Pennisetum purpureum, surtout var kizozi
 - Desmodium intortum
 - Desmodium uncinatum
 - Mimosa invisa
- 3) La prairie temporaire bénéficie de la gestion de son propriétaire, contrairement aux pâturages améliorés qui restent communautaire.
- 4 La prairie temporaire ne souffre pas de la dégénérescence constatée dans les pâturages permanents.
- 5 Le coût d'installation et d'entretien (fertilisant) est bien rentabilisée par un élevage intensif.
- 6 Les éléments exportés par le pâturage qui sont importants sont recyclés par le fumier.
- 7 Les semences doivent être facilement disponibles si on veut étendre la surface des pâturages temporaires.

- Les haies vives

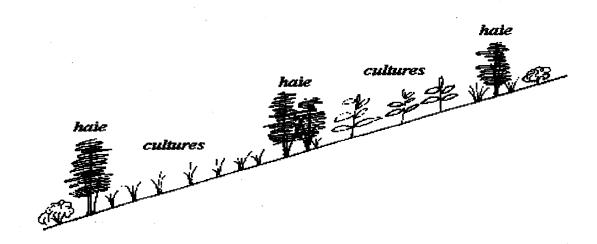
a) - Rôle

Les haies vives sont des dispositifs biologiques pérennes en ligne destinés àfreiner la vitesse de ruissellement, et à filtrer les sédiments. Elles constituent des zones d'infiltration préférentiel de l'eau, des zones d'activités biologiques intenses. Elles donnent également divers produits : biomasse, fourrage, fruits, etc...

b) - Description

Une haie vive est établie suivant les courbes de niveau, en semant/Plantant des espèces capables de se serrer pour former une barrière anti-érosive filtrante. On peut considérer diverses variantes des haies en fonction des espèces utilisées, de l'étagement des espèces et du nombre de lignes constituant une haie.

Pour les espèces, elles peuvent être herbacées, ligneuses fruitiers ou mixtes.



- Aménagement de la haie

On trouve des haies à un seul étage - le cas le plus fréquent et monospécifiques. Mais il existe aussi des haies à deux étages, multispécifiques. C'est par exemple la combinaison d'espèce herbacée avec une espèces fruitière ou forestière.

Nombre de lignes

On trouve une seule ligne, quelquefois deux lignes formant une haie.

Les haies sont périodiquement rabattues, pour éviter de trop ombrager les cultures ou pour permettre la récolte de biomasse. La taille des racines ne semble pas être préconisée malgré qu'on rapporte souvent la concurrence avec les cultures avoisinantes.

Espèces herbacées	Espèces ligneuses	Espèces fruitiers
Eragrostis curvula	Crotalaria spp	Pêchers
Setaria sphacelata	Tephrosia spp	Caféiers
Vetiver zizanoides	Calliandra	
Brachiaria	Leucaena	
Pennisetum purpureum	Gliricidia sepium	
Tripsacum lacum	Toona ciliata	
Citronelle	Grevillea robusta	
Lantana camara	Acrocarpus fraxinifolius	
Thithonia		
	Cassia siamea	
	Flemengia macrophylla	
	Acacia mangium	
	Albizia stipulata	
	Jatropha curcas	
	Parkinsonia aculeata	
	Acacia dealbata	
	Psidum guajava	
	Morus Alba	

c - Réalisation

Les haies sont populaires parmi les organismes actifs en conservation des sols.

- d) Remarque concernant la technique
- 1) La concurrence entre haies et cultures est observée partout sans qu'une solution soit apportée.
- 2) Certains espèces ne semblent pas tout a fait appropriées pour les haies à cause de leur courte longévité.
- 3) Certains espèces ne résistent pas à la taille, pratique indispensable pour la gestion de la haie.
 - 4) Les haies maîtrisent bien l'érosion (Terre Tany).
- 5) Il semble préférable d'installer des herbacées auxquelles ont peut adjoindre des arbres. Le cas d'Eragrostis est à mentionner particulièrement.
 - 6) Il n'existe pas de pépinière de multiplication des espèces.
- 7) Les clôtures (autour des habitations) sont traditionnelles dans plusieurs régions ; elles sont souvent établies avec des espèces bouturables.
- 8) Les haies traditionnelles de Jatropha servent de support à des légumineuses rampantes.
 - 9) Des paysans refusent de tailler les haies.
 - 10) L'intégration de grands arbres dans la haie doit être raffinée.
- 11) Selon les estimations, les haies peuvent occuper entre 10 et 40 % de la surface totale du terrain.

- Les banquettes végétales

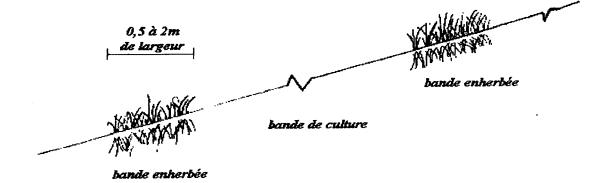
a) - Rôle

Les dispositifs en banquettes végétales sont des zones recouvertes d'une végétation permanente dense, disposées suivant les courbes de niveau. D'une largeur d'environ 1m, ils peuvent remplacer les dispositifs mécaniques sur les sols plus filtrants et sur les pentes faibles (< 15 %). Les banquettes végétales ralentissent le ruissellement, filtrent les sédiments transportés et favorisent l'infiltration. Elles servent à la constitution de terrasses progressives.

b) - Description technique

Les bandes enherbées peuvent être constituées par de la végétation naturelle ou par des plantes cultivées. Avec un dénivelé de 1m, on arrive à obtenir un effet anti-érosif efficace.

On peut établir aussi des bandes productives fruitières, caféières ou autre en plantant deux rangées de Flemengia et les arbres producteurs au milieu.



c) - Réalisation

Les bandes enherbées constituent des dispositifs d'aménagement traditionnel au Lac Alaotra, dans le Moyen Ouest et dans d'autres zones. Des milliers d'hectares sont aménagées, ainsi, sans dépense de main d'oeuvre, car il s'agit de laisser cette bande inculte.

Le grand problème qui réduit l'efficacité des bandes enherbées est le feu de brousse. Une mise en défens stricte doit être appliquée dans sa gestion. On peut toutefois y récolter de la biomasse pour autre utilisation (paillage, compost, fourrage).

d) - Remarque sur la technique

1) - La largeur de 1m constitue un minimum qui n'est pas respectée car le paysan à l'impression que c'est du terrain perdu;

2) - La banquette végétale peut se transformer facilement, passant d'une bande enherbée (Hyparhenia ou Aristida) à une bande fourragère et/ou à une bande fruitière. La flexibilité est totale.

3) - La bande s'établit suivant la courbe de niveau, mais celle-ci ne doit pas être stricte. Des défauts d'implantation sont tolérée.

4) - On doit faire attention de ne pas rétrécir la bande pendant le labour.

- Les plantes de couverture

a) - Rôle

La technique des plantes de couverture est une adaptation du système de cultures associées. La culture vivrière est implantée au milieu d'une plante couvrante installée préalablement, en ouvrant seulement une ligne de semis. La couverture peut se refermer ensuite, protégeant le sol contre les intempéries et l'érosion fournissant de la matière organique et recyclant les éléments minéraux.

b) - Description technique

Une parcelle traitée en plante de couverture aura deux composantes : une plante de protection et une plante de production. La couverture est installée préalablement. A la mise en culture, on y dégage des lignes de semis, soit mécaniquement soit chimiquement (herbicide). Cette ligne peut être travailler sommairement. On effectue le semis. D'autres entretiens peuvent s'avérer nécessaires pour éviter que la plante de couverture n'étouffe la plante cultivée.

Les espèces utilisables en couverture sont des plantes rampantes, à enracinement pivotant et qui ne s'enracinent pas aux noeuds des stolons. Les plantes grimpantes sont à éviter. Actuellement, FAFIALA propose Cassia rotundifolia, FIFAMANOR a plutôt travaillé sur le paillage du sol avec des résidus de récolte pour arriver aux mêmes résultats. Blé, maïs et soja se développent correctement dans ce système de paillage.

c) - Réalisation

Le stade de recherche passé, la technique des plantes de couverture est confirmée dans plusieurs endroits : Antananarivo, Antsirabe, Sakaraha et le Moyen Ouest.

d) - Remarques

- 1) Les études faites à Ampangabe (Ambohidratrimo, DRFP DRA) et par FAFIALA et FIFAMANOR ont montré l'efficacité de la technique du paillage contre l'érosion.
- 2) La fertilité du sol paillé s'améliore du fait de l'apport de plus de matière organique : meilleure structure, éléments nutritifs plus abondants.
- 3) La production agricole est au moins égale sinon supérieure à celle d'une culture réalisée de façon classique, mais les coûts sont moindres.
- 4) La disponibilité des semences peut constituer un frein à la diffusion des plantes de couverture.

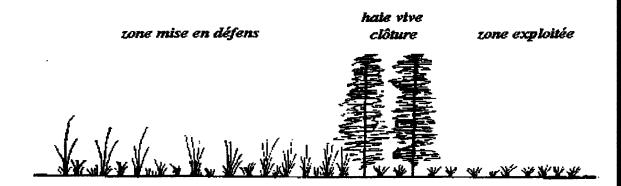
- La mise en défens

a) - Rôle

La mise ne défens est un système de protection destiné à améliorer un terrain portant une couverture végétale dégradée ou à favoriser la régénération des espèces présentes. La durée de mise en défens peut durer de 3 à 5 ans pour obtenir des effets positifs

b) - Description technique

La mise en défens est une démarche limitée dans le temps pour permettre la régénération de la couverture végétale. Pendant cette période, pas de feu, pas de pâturage. Autrement, aucune autre action n'est entreprise.



c) - Réalisation

Ce procédé de conservation, le plus simple qui soit, est peu appliqué. Ceci pourrait venir d'une certain nombre de raisons.

- La mise en défens demande le consentement et l'adhésion de toute la communauté.
 - Le risque de feu de brousse est trop important
 - d) Remarques sur les techniques :
- 1) Sur les parcelles élémentaires (Manankazo, Ambatomainty, Kianjasoa, Lac Alaotra, Miadana et Mahajanga), on arrive à annuler l'érosion après 2 ans si le couvert n'est pas trop dégradée et après 4 ans si le couvert initial est très dégradée.
- 2) L'application de la technique à Antanimora (en association avec des murettes de pierre) a permis d'annuler l'érosion et de faire renaître des sources qui ont servi ensuite à l'adduction d'eau du village.
- 3) A Ejeda, la même technique a permis de constituer un stock fourrager sur pied très important.
- 4) Le PARV a constaté que c'est l'effet de la mise en défens qui portait ses fruits avant la protection du sol par les reboisements effectués sur périmètre.
- 5) Cette technique peu coûteuse est proposée pour les parties de bassins versants où l'érosion menace les infrastructures d'irrigation (PPI).

3.2.3.4. Mesures pédo-agronomiques

- Fertilisation organique et minérale

La fertilisation contribue au contrôle de l'érosion en augmentant la masse foliaire des cultures. De l'autre côté, le bon développement du système racinaire favorise l'infiltration et l'amélioration du stock organique dans de la structuration du sol.

La fertilisation contribue au contrôle de l'érosion en augmentant la masse foliaire des cultures. De l'autre côté, le bon développement du système racinair<e favorise l'infiltration.

Techniques de culture suivant les courbes de niveau.

Ces techniques servent à constituer autant de frein au passage du ruissellement, qu'il s'agisse de labour ou du semis. On peut mentionner spécialement le rôle du buttage dans la conservation de l'eau.

Rotation de cultures

Cette technique contribue à garder les bonnes caractéristiques du sol = favorisent l'infiltration et renforçant la résistance à l'érosion.

Calendrier des cultures

Les semis précoces ravinent à un stade de développement favorable au moment des grosses pluies.

3.2.4. TECHNIQUES DE CONSERVATION DES SOLS SUR LES TERRES NON CULTIVEES.

3.2.4.1. Techniques forestières

- Le reboisement

a) - Rôle

Tout le monde connaît le rôle de la forêt dans la conservation des eaux et des sols, au point que protection de l'environnement et reboisement ne font qu'un dans certains esprits. La forêt joue par le couvert qu'elle offre au sol, atténuant ainsi l'énergie des gouttes de pluies. Les racines ouvrent dans le sol des kilomètres de galléries que l'infiltration emprunte facilement. Avec une production de litière, la protection est augmentée.

b) - Description technique

L'on n'entrera pas ici, dans tous les détails. (Voir pour cela les organismes spécialisés). Ce qu'on doit mentionner pour obtenir rapidement un couvert forestier efficace, il faut :

- des plants vigoureux, capables de reprendre rapidement ;
- un terrain bien préparé (des trous fait correctement ou mieux un sol labouré, surtout pour les Eucalyptus);
 - des entretiens périodiques de désherbage;
 - une surveillance continue des feux de brousse.

c) - Réalisation

Les chantiers en régie ont fait leur temps ; actuellement, c'est plutôt la foresterie sociale ou foresterie villageoise qui est promue par les différents intervenants. Des millions de plants sont mis en terre chaque année, mais personne ne sait vraiment quel est le taux de suivie de ces plantations.

- d) Remarques concernant le reboisement
- 1) Le feu est l'ennemi n°1 des reboisements. Même avec des pare-feux, il semble qu'on n'arrive pas à protéger les zones de reboisement.
- 2) Calendrier de reboisement et calendrier cultural semblent s'exclure mutuellement.
- 3) Planter un arbre par habitant par mois serait un programme minimum à réaliser.

- L'embroussaillement

a) - Rôle

L'embroussaillement diffère du reboisement par le fait qu'on plante des arbustes plutôt que des arbres, que la densité de plantation est plus élevée et que les produits ne couvrent pas les bois d'oeuvre. Autrement les effets sont les mêmes.

b) - Description technique

Le projet FAO-BV a mis au point deux méthodes d'embroussaillement. La première est une plantation en foule, en creusant des minitrous (20cm x 20cm x 20cm).

b) - Description technique

Il faut d'abord signaler qu'on veut parler ici de prairies sur de petites surfaces allaitantes, veaux. Pour des surfaces plus importantes, voir les agrostologues spécialistes. Il s'agit de préparer un terrain de bonne fertilité (car les espèces fourragères le demandent) et ensemencer avec les espèces adaptées (graines ou éclats de souches)

c) - Réalisations

On trouve des prairies artificielles dans la région d'Antsirabe grâce aux actions de FIFAMANOR. On en installe au Lac Alaotra, au Moyen Ouest (surtout du temps du BDPA) et en petites parcelles dans différentes régions de Madagascar.

Graminées	Chloris gayanna	M.O - HT	Sol fertile
Grammicos	Brachiaria ruziziensis	Région chaude	
	Melinis minutiflora	et arrosée	Sols pauvres à fertiles
	Setaria sphacelata	HT	_ " _
	Sciaria spiiacciata	HT	
Arbustes	Leucaena leucocephala	Chaud et	Sols fertiles, non acides
, Houston	Atriplex	humide	
	Authox	semi-aride	
Légumi-	Centrosema pubescens	Régions	
neuses	Desmodium intortum	chaudes	
	Desmodium uncinatum	HT	
	Macroptilium atropurpureum	HT	Sol fertile
	Pueraria phaseloides	Régions	Sols riches bien arrosés
	Stylosanthes guyanensis	chaudes	Tous sols
	Stylosanthes humilis	Régions	_ " ~
	Trifolium repens	humides	Sols frais et fertiles
	1	Régions	
		chaudes	
		Régions	
		chaudes	
		HT	
Graminés	Pennisetum purpureum	Partout	Sols fertiles
	Tripsacum laxum	Régions	- " -
		humides	

3.2.5. TECHNIQUES SPECIALES

3.2.5.1. Correction des ravines et des Lavaka

a) - Principes d'intervention

Si l'on s'efforce d'évaluer les interventions conduites jusqu'à aujourd'hui, il apparaît que le traitement des lavaka doit obéir aux principes qui suivent :

* les interventions doivent être conduites et achevées avant la mise en place des infrastructures à protéger;

* il est vain d'engager un programme d'intervention qui ne soit prévu et assuré pour une durée minimum de 5 ou 6 ans.

b) - Les ouvrages de sédimentation

La mise en place d'ouvrages de sédimentation, qui demeure littéralement la clé de voûte de l'intervention, fait appel aux dispositifs en escalier qui suivent:

* les barrages de sédimentation sur fonds de petites vallées

Ce sont des ouvrages importants qui ont été recommandés au milieu des années 60 (DINARD, 1965) car ils devaient permettre de minimiser les frais d'intervention en stoppant les sédiments sur de petites vallées où débouchent plusieurs lavaka. Deux types de barrages ont été installés à cette fin sur Sahamaloto et Antanifotsy-Bevava : le type indien (en terre, avec déversoir en maçonnerie) et le type rhodésien (en maçonnerie de briques, avec ailes en redans descendant vers le milieu). Ces ouvrages ont montré leur efficacité.

* les seuils de sédimentation sur gouttières d'alluvionnement

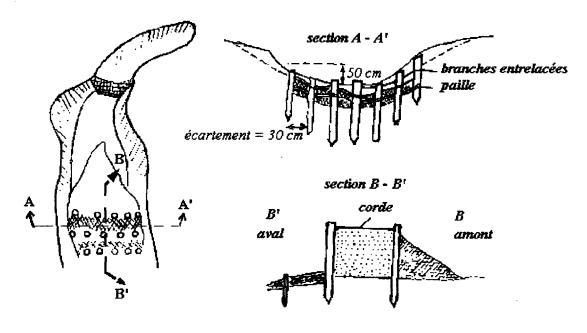
Les seuils en gabions installés sur les gouttières d'alluvionnement situées en fonds de vallée permettent d'envisager une importante rétention de sédiments mais restent soumis à des pressions extrêmement fortes (dans la seule nuit du 21 au 22.11.92, un ouvrage de ce type tout récemment mis en place sur la Lohafasika 2 a été entièrement comblé et a retenu ainsi plus de 600 m³ de sédiments). Mais ces ouvrages au demeurant coûteux sont trop rigides et demeurent ancrés sur des berges sableuses : des affouillements latéraux et basaux apparaissent presque systématiquement et rendent ces dispositifs peu pérennes.

* les barrages installés sur les gorges principales des lavaka

Ces ouvrages peuvent être confectionnés en gabions à condition d'être munis d'un déversoir, d'être renforcés sur les ailes et de présenter une forme incurvée vers l'avant. Ils peuvent également faire appel à des matériaux plus souples (grillages), tels ceux installés dans la vallée-témoin. Ils se montrent en général très efficaces.

* les petits barrages installés sur les ravines internes

Sur les petites ravines situées en amont de la tête du lavaka, et àcondition que l'on ne soit pas en présence de mouvements de masse, des petits aménagements peuvent se révéler également très utiles. Les petits ouvrages en grillages tendus sont parmi les plus efficients et peuvent se maintenir très longtemps (de tels ouvrages entièrement intacts peuvent s'observer sur le lavaka d'Andrangy, plus de 30 ans après leur mise en place).



Les barrages en poteaux disposés côte à côte est soutenus par des traverses et des jambes de force sont également efficaces mais beaucoup moins pérennes ; il en est de même pour les fascines et clayons utilisant des branchages entrelacés ou pour les petits barrages en bararata (Pharagmites communis). Enfin, les constructions en pierres sèches et de petite dimension ne sont pas à conseiller.

- Les petits barrages en matériaux vivants

Les dispositifs faisant appel à des matériaux bouturables sont de toute évidence parmi les plus durables. Le PRD a mis au point des petits barrages en tiges de bambous conditionnées pour émettre des racines sur les points d'ancrage et sur les sédiments retenus (TASSIN, 1992). Ces bambous avaient été eux-mêmes utilisés avec succès à la vallée-Témoin.

c) - La revégétalisation

Les lignes qui précèdent ont voulu montrer combien l'utilisation de la végétation dans le traitement des lavaka ne pouvait s'envisager isolément. Les limites du recours aux méthodes biologiques ont également été évoquées et peuvent être maintenant reformulées dans leurs grandes lignes :

les altérites sont généralement assez peu pénétrées par les racines des végétaux naturellement présents dans les lavaka : l'utilisation d'espèces ligneuses déjà en place doit donc être envisagée avec circonspection ;

l'utilisation d'espèces herbacées doit rester modeste et se limiter aux unités de terrain les moins défavorables. Il est en effet manifeste que la plupart de ces plantes finissent souvent pas disparaître sans pour autant être remplacées par d'autres végétaux ;

les alluvionnements en amont d'ouvrages de sédimentation sont difficilement recolonisables lorsque le ruissellement en nappe demeure. Les observations réalisées sur la vallée-témoin du Lac Alaotra montrent que la plupart des espèces herbacées mises en place il y a environ 30 ans ont disparu : seules les essences ligneuses se sont maintenues mais elles conservent toutefois leur disposition géométrique d'origine et ne se sont donc multipliées ;

l'idée a souvent été émise de "relancer" la végétation sur le cône d'ensablement dans la perspective de créer un filtre végétal. Les remarques ci-dessus formulées et les échecs du PRD à cet endroit montrent qu'un tel scénario est difficile à mettre en oeuvre. En effet, la végétation ne s'étendra pas d'elle-même tant que persisteront des écoulements superficiels qui déblaient simultanément semences et matière organique. La canalisation de ces ruissellements pourrait être envisagée afin d'éviter ces inconvénients, mais les risques d'érosion régressive sont ici très élevées;

l'utilisation d'arbres semenciers en surplomb des lavaka constitue une technique efficace mais il faut garder à l'esprit que de tels dispositifs peuvent favoriser l'effondrement des parois (élargissement des fentes de retrait par les racines, déstabilisation par le points des éléments ligneux, apparition de gargouilles le long des racines qui ont été dégagées par le recul de la paroi). Ceci demeure non seulement vrai pour les pins et eucalyptus, mais également pour les grévillea blancs, comme on peut l'observer sur le lavaka d'Analavola;

. le bouturage ne constitue pas un mode de multiplication approprié lorsqu'on le réalise directement sur les altérites. Il est préférable de n'y recourir que sur les éboulis ferrallitiques et les alluvions.

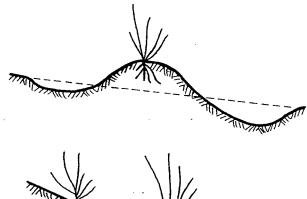
En somme, même en s'appuyant sur des techniques biologiques, le traitement des lavaka reste un art difficile!

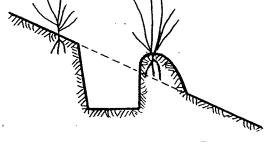
3.2.5.2. Fixation des talus de route

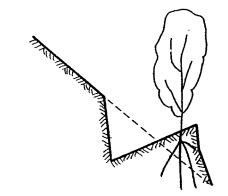
Pour la fixation des talus de route, le paquet technique comprend :

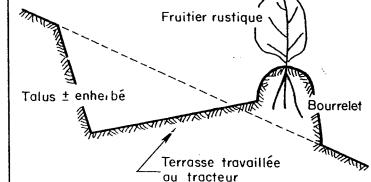
- le profilage adéquat des talus et des remblais
- l'engazonnement de la surface à traiter.

FIGURE : Diverses structures de diversion du ruissellement









Bourrelet de diversion en terre

- efficace sur pentes modestes de 1 à 8 %;
- nécessite un entretien et fixation par les herbes et les arbustes;
- nécessite la lutte contre rongeurs et fouisseurs qui y trouvent une terre souple pour creuser leurs galeries;
- pas adapté aux vertisols et autres sols se fissurant en saison sèche.

Fossé de diversion

- efficace pour drainer les fortes pentes;
- permet parfois l'irrigation des prairies par débordement et cloisonnement;
- augmente les risques de glissement s'il augmente l'infiltration.

Banquette forestière

- adapté à la reforestation des zones de montagne dégradées;
- permet un bon démarrage des plants ;
- demande en même temps l'implantation d'un sous-étage de plantes améliorantes (légumineuses, trèfle, Sylla).

Banquette algérienne

- apport d'arbres fruitiers qui diversifient la production sur les terres agricoles;
- perte de 5 à 15 % de surface ;
- pas d'augmentation des rendements ;
- 80 % d'échec sur les pentes > 40 % (Mathieu, 1975);
- peu acceptée par les paysans car gêne l'exploitation mécanisée des terres ;
- cas d'abandon des terres car aménagées par les services de DRS de l'Etat (crainte d'appropriation par

par. E. Roose

extrait du Bulletin Pédologique 700 70- p. 124. 197

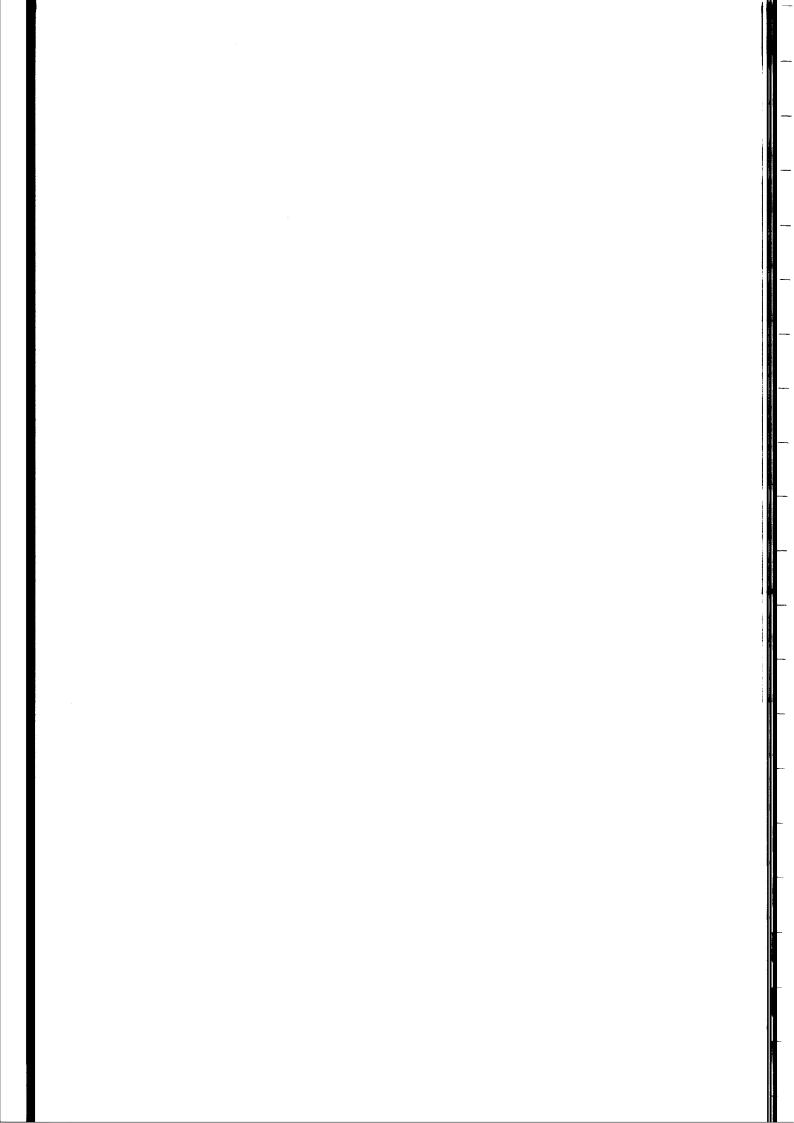


FIGURE /

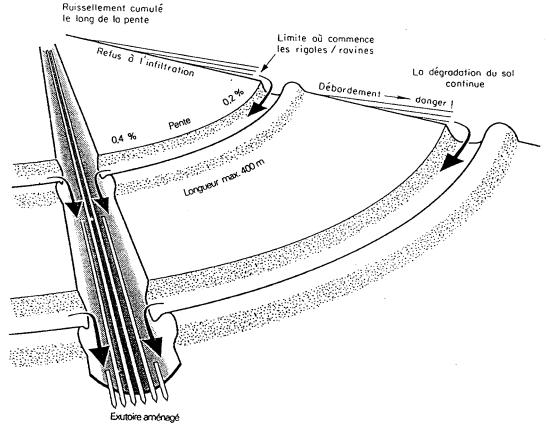
La diversion des eaux de ruissellement : principes, pratique et inconvénients

L'érosion est fonction de :

- l'énergie des pluies (constante tout le long de la pente)
- l'énergie du ruissellement (qui croît avec la pente (MV²)/2. E = f (longueurⁿ x pente)^m

Les banquettes :

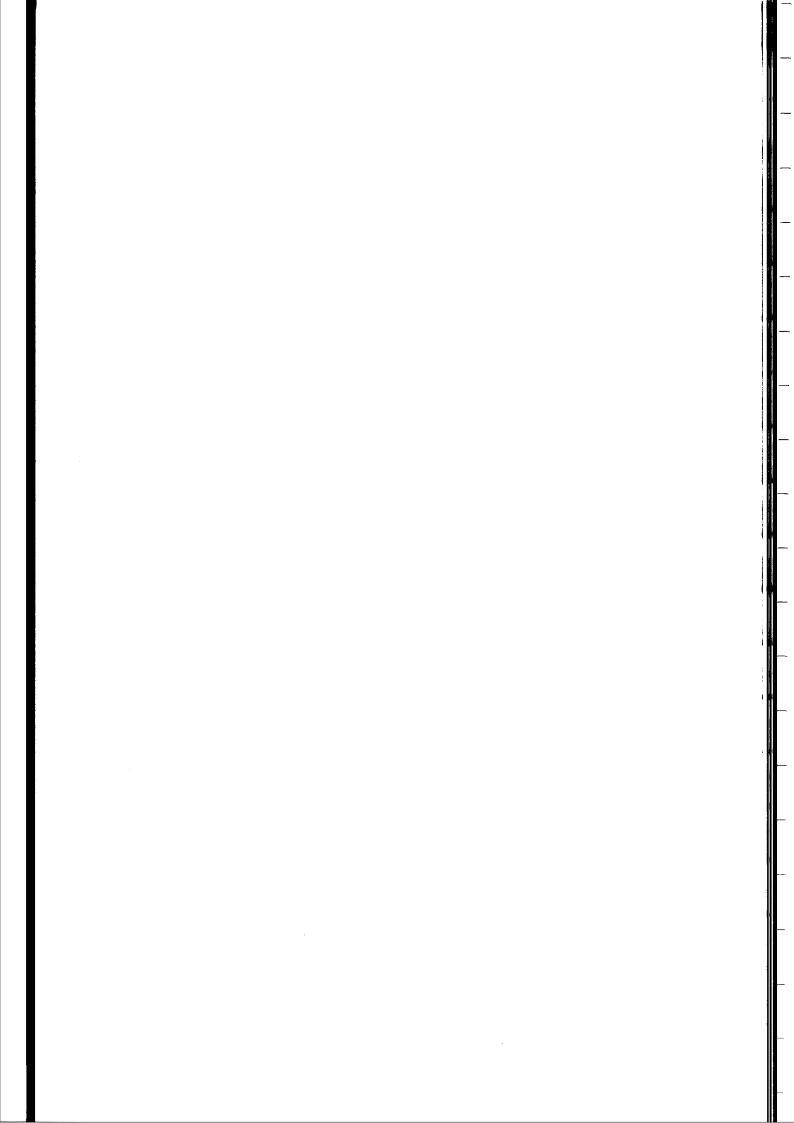
- peuvent évacuer l'énergie du ruissellement accumulée
- ne peuvent pas réduire l'énergie des pluies ni la dégradation du sol



INCONVENIENTS

- Nécessité d'équipes de topographes experts (coût élevé)
- Important travail d'installation et d'entretien d'où généralement :
 - digues non protégées
 - canaux encombrés de sédiments
 - exutoires non enherbés ni protégés (surcreusés ou ensablés)
- Perte de 5 à 15 % de la surface cultivée sans augmentation de rendement.
- Perte d'eau et nutriments pour les champs cultivés en aval.
- L'aménagement doit rompre s'il advient une pluie de fréquence inférieure à 1/10.

- Variation de largeur des champs cultivés (mécanisation difficile).
- N'arrête pas l'érosion en nappe ni la dégradation.
- Finalement, risques graves de ravinement s'il y a rupture des digues (1 fois en 4 à 10 ans).
- Accélération du temps de concentration des eaux :
 - gros débits de pointe
 - érosion marigots
 - ravinement régressif



BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



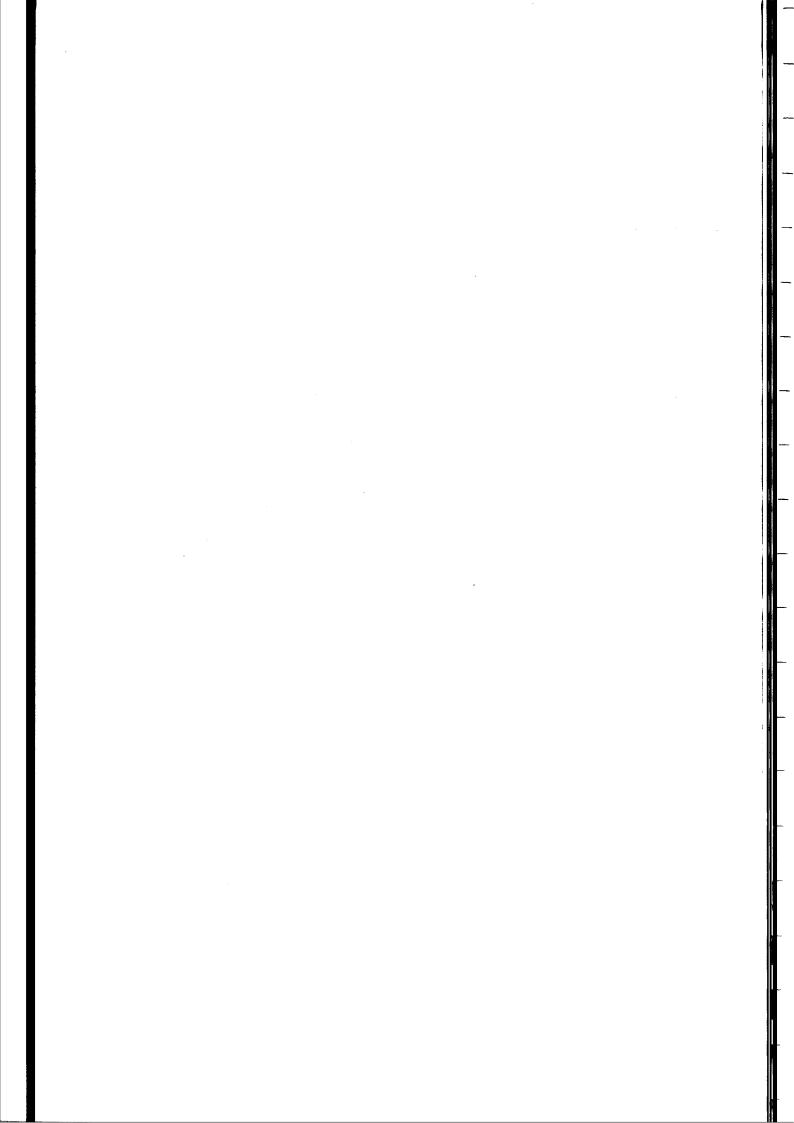
3.3

FORESTERIE ET REBOISEMENT DE PROTECTION

par:

- Honoré RANDRIANJAFY FOFIFA / DRFP
- Alain RASAMINDISA FOFIFA / DRFP

Mars 1997



3.3. FORESTERIE ET REBOISEMENT DE PROTECTION

INTRODUCTION:

Presque entièrement couvert de forêts naturelles avant, Madagascar ne l'est plus qu'à 20 % de ses 58 millions d'hectares. Les principales causes seraient les changements climatiques liés à l'évolution des conditions naturelles (température, pluviosité, humidité, sols...) et l'arrivée de l'homme (1.500 à 2.000 ans).

En 1950, les forêts et les bois couvraient 14 à 16 millions d'hectares représentant 24 à 28 % du territoire national (GUICHON, 1960 ; FAO/UNEP, 1981 ; IUCN/UNEP/WWF, 1987).

Les études effectuées à partir des photographies aériennes et satellites récentes montrent une tendance à la baisse de cette couverture forestière estimée actuellement à 12 millions d'hectares (taux de boisement : 21 %):

Actuellement 9 à 10 millions d'hectares, soit 16 à 17 % de l'île seraient occupées par la forêt naturelle primitive. Le reste est constitué d'une formation secondaire (savoka, savanes, steppes).

Les reboisements à des fins industrielles et non industrielles sont estimés à 200.000 ha et sont constitués en grande partie par des plantations d'Eucalyptus et de Pins réparties dans les régions du Haut Mangoro, de la Haute Matsiatra, du Vakinankaratra et de Manankazo - Ankazobe.

Les plantations d'Anacardiers sont localisés dans les Faritany de Mahajanga et d'Antsiranana.

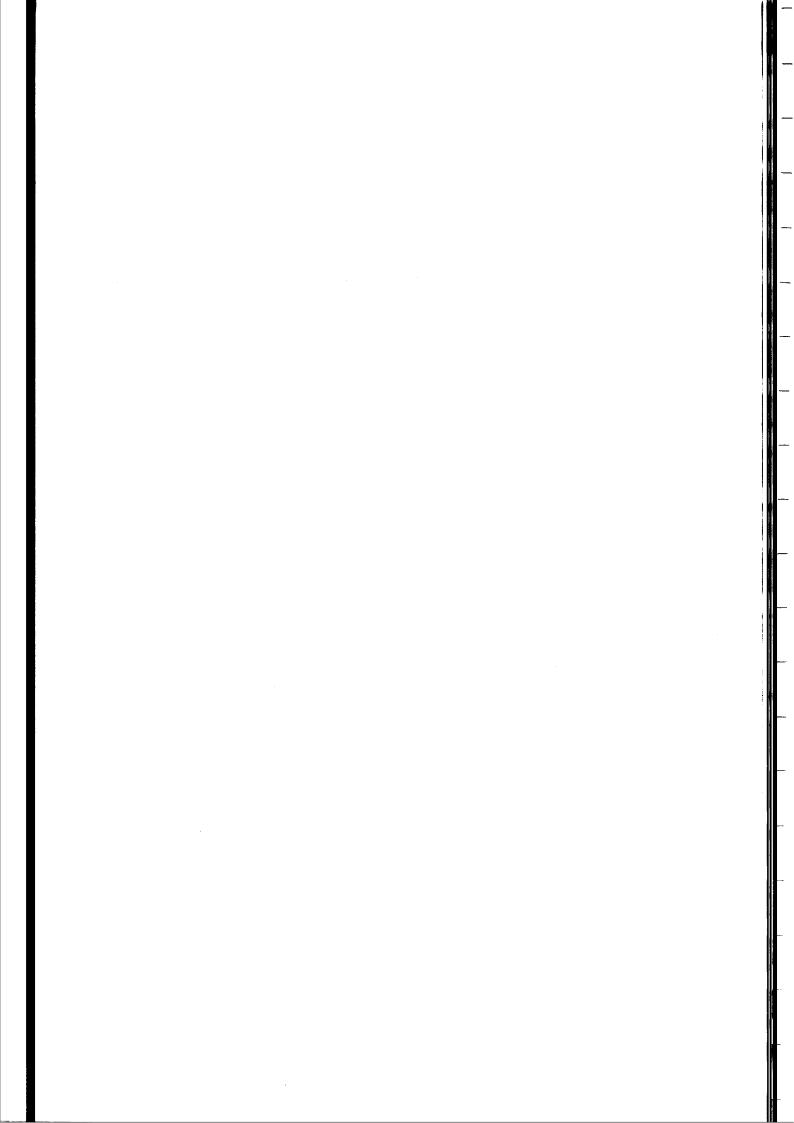
Les plantations des particuliers et des collectivités ne constituent qu'une infime partie de l'ensemble des reboisements.

Eu égard à l'agressivité du climat, aux sensibilités des sols et des milieux, à la fragilité des ressources naturelles et surtout à la stratégie suicidaire pour l'exploitation de ces ressources, tout reboisement existant, ou créé, peut être nécessairement considéré comme de production et de protection.

3.3.1. LES REBOISEMENTS

3.3.1.1. Les principales causes de la dégradation des forêts et de la déforestation

L'accélération de la réduction du couvert forestier est la conséquence de la nécessité d'accroître les ressources vivrières et de l'augmentation des besoins en bois d'énergie domestique, en bois d'oeuvre et de construction qui sont les effets d'une croissance démographique rapide et de la paupérisation des populations.



Les défrichements

La pratique ancestrale de la culture itinérante sur brûlis ou Tavy pour la riziculture pluviale, le maïs, le manioc et autres cultures vivrières n'est rentable que pendant un ou deux ans. Sur les parcelles délaissées, une régénération de forêt secondaire du type savoka s'installe et qui peut être de nouveau défrichée après une dizaine d'années.

Annuellement, on estime entre 200.000 à 300.000 ha de forêts naturelles défrichées pour le Tavy. On le rencontre presque dans toute l'île, mais plus particulièrement sur les hautes terres orientales au relief accidenté et à forte pluviosité.

Les espaces forestiers sont aussi défrichés pour les cultures de rente et les cultures vivrières commerciales de rente et les cultures vivrières commerciales, destinées à l'exportation telles que les cultures de caféiers, girofliers, vanilliers, poivriers, agrumes, bananiers, canne à sucre, arachide.

L'exploitation forestière illicite

Vu la demande croissante en bois combustibles et en bois d'oeuvre et de construction, des coupes illicites se pratiquent un peu partout dans les forêts naturelles.

3.3.1.2. Les mesures prises pour limiter dégradation des ressources

La participation et la réponsabilisation des paysans ont été requises dans différents projets d'aménagement, de conservation, de restauration des sols, de gestion et de protection des forêts.

Gestion et protection des forêts

L'Etat détient 53 % des formations forestières (26.5 millions d'hectares) délimités en Domaines Forestiers de l'Etat qui englobent :

- les aires protégées (réserves naturelles, parcs nationaux et réserves spéciales qui représentent en tout 17 % du Domaine Forestier National : DFN)
- les forêts classées
- les stations et réserves forestières
- les périmètres de reboisement et de restauration

Les différentes actions de conservation et de développement intégré associant les populations ont été exécutées par :

- l'opération « SAVOKA »
- l'Aménagement Intégré des Vallées Forestières (AIVF)
- la réserve de la biosphère de Mananara-Nord (1988)
- le projet Gestion et Protection des Forêts (GPF) (1989)

• les projets de Conservation et de Développement Intégré (PCDI) dans les aires protégées (1991).

Selon la DEF (1988) et DEF/ANGAP (1992), la situation du Domaine Forestier National se présente comme suit :

	Nombre	Superficie en ha
- Réserves naturelles	11	569 542
- Parcs nationaux	5	175 341
- Réserves spéciales	23	380 311
- Forêts classées	162	2 93 7619
- Stations forestières	24	87 420
- Réserves forestières	99	1 619 544
- Périmètres de restauration et de reboisement	55	778 3552
TOTAUX	379	6 545 129

Reboisement et reforestation

En vue de maintenir la valeur des formations écologiques et de limiter l'érosion (protection des Bassins versants), des périmètres de restauration des sols ayant une grande superficie ont été instaurés.

Les reboisements effectués sont destinés à la production de bois d'énergie (40 %), de bois d'oeuvre (37 %) et de bois d'industrie (23 %).

Sur les 260.000 hectares de reboisement, 75 % appartiendraient à l'Etat, 10 % seraient privés et 15 % constitués par le reboisement communautaire.

Pendant la Première République, le reboisement fut décrété comme devoir national. A partir de la période transitoire, l'historique de la relance des mesures peut être retracé comme suit :

- ⇒ 1972 : Lancement du reboisement communautaire par le Fokonolona
- ⇒ 1983 : Encouragement de la participation délibérée à toute initiative individuelle
- ⇒ 1985 : Proclamation de « l'Action nationale en faveur de l'arbre » avec le démarrage du reboisement privé dans les Zones délimitées pour l'Action en Faveur de l'Arbre (ZODAFARB).
- ⇒ 1983 : Commencement du Projet « Poursuite Reboisement National » sur financement FNDE et USAID entre 1983 et 1993 : 3.5 à 5 millions de plants produits par année pour 3.000 à 5.000 ha de reboisements par an. (Exception pour 1985/1986 et 1988/1989 : 12 à 15 millions par an).

Les réalisations durant ces 10 dernières années se repartissent comme suit :

28.9 % à Toamasina
 28.4 % à Antananarivo
 19.5 % à Fianarantsoa
 8.9 % à Mahajanga
 8.7 % à Antsiranana
 5.6 % à Toliara

Soit au total: 85.7 millions de plants (DEF, 1984).

ZODAFARB (Zones délimitées pour l'Action en faveur de l'Arbre)

Les ZODAFARB ont pour principaux objectifs de :

- responsabiliser les privés et les villageois;
- impliquer dans les activités de reboisement en leur attribuant à terme un titre de propriété.

D'une superficie totale de 26 095 ha, elles ont été implantées dans 5 aires principales :

- à Antananarivo
- à Mahajanga
- à Antsiranana

SNGF (Silo National de Graines Forestières)

En 1988, pour relayer l'ancien Service des graines de l'Administration forestière (existante depuis 1969), la Coopération Suisse a financé le Projet d'Appui (PASN) au Silo National des Graines Forestières (SNGF) qui a pour principales missions :

- la collecte, la conservation et la distribution des semences forestiers (essences autochtones et exotiques) à travers tout le pays pour la satisfaction des besoins des programmes de reboisement;
- la gestion, la préservation et l'augmentation de la diversité génétique des espèces ligneuses (125 à 200 espèces concernées).

3.3.1.3. Des actions de recherche pour la conservation des sols à base de reboisement

3.3.1.3.1.- Résultats dans différents sites sensibles (CTFT, 1967)

Avec des dispositifs appropriés, il a été comparé l'influence des couverts naturels sur l'évolution de l'érosion (thème : Dégradation et reconstitution du couvert).

Sous le terme couvert naturel, on trouve essentiellement la steppe à graminées, le réembroussaillement, le reboisement et la forêt naturelle.

Les observations ont été faites au Lac Alaotra à Ambatobe, à Manankazo, à Ampamaherana, à la Taheza, à Ivoloina et à Périnet. Elles ont porté sur des parcelles de 50-200 à 500 m².

On est arrivé à une des premières grandes conclusions sur l'influence de la mise en défens et du reboisement :

Le ruissellement et les pertes en terre sont nettement influencés par le brûlis.

La mise en défens seule permet des résultats de conservation différents selon la densité du couvert graminéen. Plus la densité est forte moins on a un ruissellement dangereux. Mais dans des zones fortement érodables comme la Taheza, les ruissellements maxima sont importants malgré la mise en défens.

Sous savoka, les ruissellements maxima restent encore très forts (70%) alors que sous forêt primaire, ils sont très faibles (1%). L'eau glisse sur la couche végétale non décomposée.

La reconstitution du couvert du couvert est activée par des travaux simples associés (traits de labour, sillons antiérosifs et plantations en courbe de niveau.

Le tapis de feuilles mortes d'eucalyptus qui se décomposent lentement sur les hautes terres forme une surface de glissement et occasionne de forts ruissellements instantanés (20 à 25%).

En première conclusion, on s'est rendu compte que seule la mise en défens permet de réduire le ruissellement maximum et les pertes en terre.

L'aménagement antiérosif associé aux pratiques complémentaires est indispensable. Il ne faudrait pas se décourager en première année d'aménagement qui montre toujours un semblant d'accentuation de l'érosion. Dès la deuxième campagne, les résultats de conservation sont manifestes. Il est judicieux de bien déterminer la vocation des sols car le reboisement ou l'embroussaillement ne seront bénéfiques qu'après de nombreuses campagnes. Un aménagement rationnel tient compte des trois vocations : agricole, pastorale, de reboisement (protection). Le reboisement de protection est toujours onéreux. Donc pour l'aménagement à l'échelle du bassin versant, souvent de mesures simples adaptées peuvent suffire.

3.3.1.3.2.Résultats à Toliara (CTFT, 1961, 1967)

Dans la région de Toliara aux conditions climatiques généralement très hostiles, on a plus que jamais, besoin de couvrir les zones sensibles par des reboisements de protection.

Plusieurs régions naturelles fort bien distinguées existent dans cette province avec deux zones bien marquées.

Climat

La côte Est pluvieuse

La côte Sud et Ouest et le Centre : sèches ou très sèches.

Tropical chaud et humide:

Pluviométrie faible, mal répartie et irrégulière sauf sur la

partie orientale.

Pédologie

Les sols sont à pouvoir de rétention vis à vis de l'eau faible

ou nul, étant totalement imperméables (cristallin, grès) ou

trop filtrants (sables)

Végétation

Dominance de formations de steppes ou de savanes pauvres,

avec subsistance de quelques reliques de la végétation

climatique (forêt dense sèche).

Dispositif

Dispositif de défense et restauration du sols :

- fixation de dunes

- réseaux de brise-vent

- Pâturages arbustifs.

• Les essences de reboisements

* Les Résineux :

L'évaluation des actions de recherche ont montré qu'en général, pour les résineux, les résultats ne sont guère encourageants. Seul *Pinus kesiya* est à retenir dans le contrefort du Bongolava (Ankaboka).

* Les Eucalyptus:

- Eucalyptus camaldulensis tient la première place. Les résultats sont excellents en toutes régions, à l'exception des zones de collines cristallines à sol squelettique.
- Eucalyptus citriodora s'adapte bien à la région Est.
- Eucalyptus saligna donne de bons résultats Betroka.
- Eucalyptus microtheca accepte les sols de plus mauvaise qualité mais son port est très défectueux.

* Les Acacias:

Ils ne donnent rien en zone cristalline, hors des cuvettes sableuses ou alluviales. Les résultats sont bons sur les sables dunaires.

- Acacia arabica présente le meilleur comportement et sert à la constitution de brise vent.
 - * Les autres Feuillus

- Casuarina equisetifolia réussit fort bien tout le long de la côte.
- Cassia siamea a une croissance rapide et après recépage, rejette avec vigueur. On peut le retenir comme essence de brise-vents.
- Le Taly (*Terminalia*), le flamboyant, le badamier, *Ura crepitans*, *Pithecelobium dulce* (Kily vazaha), *Prosopis*, ainsi que le Neem (*Azadirachta indica*) sont utilisés en alignement.

• Les techniques de reboisements

- Respect d'un calendrier très strict imposé par le climat sec et de surcroît irrégulier : il faut tirer profit au maximum de la saison des pluies : toute plantation tardive est vouée à l'échec.
- L'élevage des plants en pépinière est de règle : semis en planches puis repiquages en pots ou en boulettes.
- La mise au point minutieuse, et l'exécution scrupuleuse des techniques de reboisements (élevage en pépinière, travail du sol et respect du calendrier) sont les conditions indispensables du succès.

La conservation du sol

L'origine des phénomènes d'érosion se situe sur les hauts bassins versants : en amont.

Toute action tendait à contrôler ces phénomènes et à assurer une protection vraiment efficace et durable des zones aval. Elle doit également comporter en premier lieu la correction des zones amont.

• La fixation des dunes

Le profil d'équilibre est plus rapide à atteindre si on intervient dans les zones stables c'est-à-dire si on freine l'action du vent en amont des dunes (côté vent).

Quand le profil d'équilibre est atteint les meilleurs résultats pour la fixation biologique de la dune littorale et des zones qu'elle protège sont obtenus avec *Ipomea pescaprae*, Casuarina equisetifolia, les bulbilles d'agaves, Acacia cyanophylla et le Tsingivy (Solanum autochtone).

3.3.1.3.3. Résultats sur les Hautes terres Sud (DINARD, 1961 ; BDPA, 1966)

L'utilisation de bois préoccupait alors le Gouvernement malgache à l'époque, et une étude technique a été ainsi confiée en 1962, à la Société d'Etudes pour le Développement Economique et Social (SEDES), en vue de mettre en place à proximité des 14.600 ha de peuplements existant, sur les quatre périmètres de reboisement (Haute Ranomainty, Mandaratsy, Sangasanga et Lakera), une usine de pâte à papier pour le marché local et pour l'exportation. Cette étude avançait que ces peuplements pouvaient alimenter une usine de capacité de production annuelle de 30.000 tonnes.

Compte tenu des résultats de cette première étude, une étude socio-économique approfondie a été entreprise par le Bureau pour Développement de la Production Agricole (BDPA) en 1966 sur la faisabilité d'une extension de la superficie de reboisement jusqu'à 40.000 ha pour une usine de capacité de 100.000 T/an, tout en tenant compte des problèmes humains.

Le milieu d'étude intéressé est en effet une zone à vocation essentiellement agricole et où le taux de croissance naturel était élevé (2,4 %), avec en outre, une densité de population dépassant déjà les 100 habitants au km² non boisé.

La méthodologie de l'étude s'appuyait sur une photo-interprétation, des données statistiques et des enquêtes sur le terrain et les projections ont été faites sur 10 et 25 ans.

Malheureusement, aucune des hypothèses émises n'aboutissait de façon concluante pour proposer une alternative permettant d'envisager un programme de reboisement en dehors des périmètres déjà existants. Cette étude du BDPA, dans sa conclusion proscrivait de façon formelle toute extension du reboisement sur les tanety au risque de perturber l'équilibre économique de la zone, voire même de la nécessité d'organiser une opération de migration.

La région est pourtant prometteuse si l'on tient compte des conditions écologiques favorables ainsi que de l'adptation de *Pinus patula*.

Haute Matsiatra

Situation : Haut bassin versant du fleuve Matsiatra,

Est de Fianarantsoa en lisière de la forêt ombrophile

altitude moyenne de 1.200 m

Climat : Tropical semi-humide Montagne

Température moyenne annuelle : 15°5 20°5

Pluviométrie: 1.100 à 1.500mm

Pédologie : Sols ferralitiques horizon supérieur plus ou moins humifères de

15 à 30 cm de profondeur.

Végétation : tapis herbacé à base d'Aristida et de formation de Philippia et de

fougère à aigle

Le but de travaux de reboisement en pins était double :

- produire d'abord en abondance du matériau bois pour l'obtention d'un produit ligneux léger pour le Développement industriel et commercial du pays.

- mettre en valeur des terres abandonnées essentiellement à vocation forestière du par leur situation (bassin de réception de la Haute Matsiatra et de par leur nature médiocre.

Pinus patula a été utilisé en reboisement depuis 1953 sur la Haute-Matsiatra (Fianarantsoa), où il s'est montré bien adapté au climat de la région et les conditions techniques de la plantation sont assez vite bien maîtrisées.

La méthode dite des « boulette d'argile » dont la composition est au moins 50 % de sable et 1/5 de fumier bien décomposé a été utilisée tout au début mais la réussite au repiquage a beaucoup diminué et le coût de transport est élevé.

A partir de 1959 la méthode de plantation à racines nues de jeunes plants de Septembre (à quinze mois 10 à 15 cm de hauteur) a été généralisée.

La pratique du sous-solage est de rigueur et suivant les courbes de niveaux complété par un désherbage sur 40 cm de part et d'autre de la raie du sous-solage.

L'espace est de 2 m x 2.50 m (2.000 plants à l'hectare). Les plantations doivent commencer au mois de Décembre et s'arrêter mi-mars. Les pertes à la plantation sont de 20 % environ lorsque les conditions et atmosphériques sont favorables à la plantation.

En général, deux remplacements principaux doivent être effectués pour obtenir un peuplement valable de 1.500 plants minimum à l'hectare.

Quand les plants commencent à démarrer, la suppression de la concurrence herbacée sur une surface de 1 m² est très bénéfique aux plants.

L'accroissement moyen annuel varie de 7 à 20 m³/ha. Les plantations dans les Périmètres de Lakera et Sangasanga sont de belle venue et produiront des bois aptes à l'approvisionnement d'une industrie de bois avec une révolution acceptable.

Celles de la Haute Ranomainty et de Mandaratsy composées de « malvenants » à « moyennement venants » jouent beaucoup plus le rôle de protection et de conservation de sol.

3.3.1.3.4. Résultats obtenus dans le Nord Ouest (GACHET, 1964)

Plaine d'Antsirasira

Situation

: à 10 km de Mampikony et 200 km l'est de Mahajanga

Altitude Moyenne: 45 m

Climat

: Tropical chaud et sec : forte saison de pluies de Novembre à avril

suivie d'une longue saison sèche

Pluviométrie: 1.728 mm

Température moyenne : 25°5 C

Pédologie

: Sols alluvionnaires « baiboho » ayant pour origine l'érosion des

sols ferralitiques des Hauts plateaux.

Végétation

: Haies de protection : Acacia

Strate herbacée constituée d'Hyparrhenia rufa, d'Urena et de

Dispositif

: Reboisement en

Eucalyptus

Teck

sur une superficie de 70 ha

Cassia siamea!

Deux espèces de reboisement sont considérées comme prometteuses

* Groupe eucalyptus (Eucalyptus rostrata, Eucalyptus 12 ABL, Eucalyptus camaldulensis)

Plantés avec un espacement de 3m x 2.5 m en stumps sur un sol labouré en plein, les eucalyptus ont une croissance très satisfaisante si les dégagements sont effectués correctement durant les deux premières années.

Les rendements sont améliorés en relevant la densité des plantations d'Eucalyptus 1.650 tiges en adoptant l'espacement de 2m x 3m.

Le débroussaillage est effectué 2 fois par an pendant 2 ans puis par un nettoyage annuel par la suite. Les cultures intercalaires peuvent remplacer ces travaux d'entretien.

Les zones dégradées à pente assez forte peuvent être plantées selon la méthode de banquettes individuelles.

* Teck (Tectona grandis):

La croissance très satisfaisante et excellent état végétatif pour la densité du 1.200 plants/ha

Un essai de déroulage a été entamé en 1995 l'usine NOSCIM (Mahajanga). Il semble que le Teck de Tsaramandroso, en dépit des conditions de croissance très dures (feux) et de la mauvaise provenance des graines, donne un très beau produit.

> 3.3.1.3.5.Résultats obtenus dans le Sambirano (GACHET, 1965)

Nosy Komba

Situation

: Nord Ouest de Madagascar

Latitude

: 13° 24'

Longitude : 48° 17'

Entre le Sambirano et l'Ile de NOSY BE

Climat

: Tropical chaud et humide :

Pluviométrie : 2.550 mm

Température moyenne : 26° 7 C

Pédologie

: Sols constitués d'un noyau schisteux avec de nombreuses intrusions de roches éruptives qui après décomposition donnent des sols noirs très riches naturellement

Végétation

- : * Savoka à bambou et lianes où se développent de nombreux arbres fruitiers subspontanés d'origine anthropique assez lointaine.
 - * Forêt secondaire de la plus haute importance du point de vue climatologique

Dispositif

: Reboisement : monoculture ou en mélange sur sols riches en association sur terrains dégradés.

Plusieurs exotiques peuvent être utilisés pour la protection dans cette zone assez riche et au climat oriental.

Espèces de reboisement

Terminalia superba et Acrocarpus fraxinifolius, espèces croissance rapide couvrent assez mal le sol : la première est une espèce de grande lumière ; la deuxième demande à être plantée en association

Chlorophata excelsa, Auconmea kleineana demandent un bon sol, plutôt en monoculture

Cedrela odorata et Cedrela sinensis doivent être plantés avec un espacement de 4x4 en monoculture si l'on veut obtenir une bonne couverture

Eucalyptus torreliana, E. cloeziana et Dalbergia cochinechinensis peuvent être plantés en mélange. Ils couvrent bien les sols.

* Essences d'ombrage

Albizzia procera, Enterilobium cyclocarpum, Cassia multifuga et Peltophorum ferrugenum ont une croissance rapide et couvrent bien le sol. Albizzia molucana enrichit considérablement le sol. Cassia siamea dépérit au bout de huit ans.

Tectonia grandis est une essence de pleine lumière exigeant un éclairage zénithal absolu. Il ne demande dans de telles régions à fortes précipitations suivies d'une saison sèche marquée aucune protection latérale même dans le jeune âge. Cette espèce est bien adaptée en plantation monospécifique avec un élagage naturel excellent et un développement harmonieux du houppier lorsque l'éclaircie est pratiquée.

Les terrains très dégradés à sol rouge brun, compacts parsemés de gravillons ferrugineux sont à reboiser, avec de l'Albizzia stipulata et de l'Anacardier (Anacardium occidentale). Du point de vue économique l'ensemble est sans valeur aucune mais la restauration du sol est pleinement atteint.

Eucalyptus rostrata planté serré (1m x 2m) installe bien ses racines en sol profond s'il arrive à résister aux deux premières saisons sèches, et démarre par la suite avec vigueur.

Avec des précautions supplémentaires, reboisements de protection et de production peuvent très bien venir au Sambirano.

On doit d'abord éviter les plantations purs qui sont contraires à la notion de formation naturelle.

La protection et l'enrichissement du sol sont assurés avec un mélange temporaire.

Un mélange temporaire peut également avoir un but économique pour obtenir un revenu précoce d'une terre occupée par une espèce à croissance lente.

Un mélange d'essences principales double les chances de succès, l'une des espèces pouvant remplacer l'autre quand celle-ci échoue.

L'association teck (installation en stumps) avec *Indigofera teysmanii* ou *Leucaena glauca* sur sol riche donne d'excellents résultats.

Pour les terrains pauvres, les eucalyptus demandent l'utilisation des essences comme le *Cassia*, les *Albizzia* pour la couverture et l'enrichissement du sol.

3.3.1.3.6.Résultats obtenus dans le Moyen Ouest (GACHET, 1965)

La région de la Sakay se trouve dans le Moyen-Ouest de Madagascar, à une altitude d'environ 900 m. Le climat est chaud et sec durant une grande partie de l'année avec une température moyenne annuelle de 21° 95. Les pluies (1617 mm/an) sont réparties sur un faible nombre de jours de l'année et présentent un caractère érosif accentué.

Les reboisements entrepris par le BDPA dans cette région ont pour buts de produire du bois, de lutter contre l'érosion et d'influencer le climat pour le rendre plus humide.

Les reboisements ont été effectués sur des terrains médiocres en dehors de la zone fertile volcanique de l'Itasy.

Différentes techniques de plantation ont été testées de 1953 à 1958. La plantation sur labour total, complétée par la suite par un binage manuel et d'un passage de rotavator, est la méthode retenue pour les reboisements. Cette technique offre un taux de reprise dépassant 90%.

Les zones à pentes trop fortes, ne pouvant faire l'objet d'un travail mécanique, doivent être fixées, soit par des semis directs de mimosas, des boutures de Lilas de Perse (Azadirachta indica), des stumps de Cassia siamea, ou des bandes d'aloès en courbes de niveau.

Les plantations sur trouaison ou sur simple raie de sous-solage ont été abandonnées pour leurs faibles taux de reprise (10% à 30%). Les échecs sont dus surtout à la mauvaise rétention d'eau et aux feutrage et déchaussement des racines au niveau de la raie de sous-solage.

En ce qui concerne les essences utilisées, les reboisements proprement dits ne sont constitués que d'eucalyptus. Les espèces suivantes ont été retrouvées sur les parcelles d'essais :

E. tereticornis, E. camaldulensis, E. saligna, E. grandis, E. crebra, E. rudis, E. maïdeni, E. citriodora, et E. colossea.

Les meilleures essences de reboisement pour cette région se trouvent dans le groupe « camaldulensis-tereticornis » qui ont donné de bons à très bons résultats. E. citriodora, malgré sa croissance plus lente, semble se développer d'une manière satisfaisante. Les espèces E. rudis, E. maïdeni, grandis et E. saligna ont donné de mauvais résultats.

3.3.1.3.7.Résultats obtenus sur les Hautes terres Nord (ROCHE, SARRAILH, 1978)

Depuis 1963, des essais en champ en vue de mesurer les effets du ruissellement sur le sol sont menés dans divers endroits du pays. Les dispositifs les plus importants ont été installés et suivis à Manankazo et Périnet.

MANANKAZO

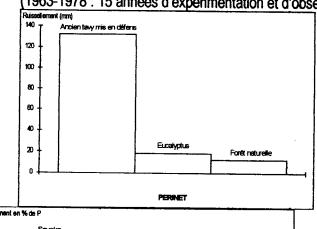
1 ~ .	
Situation	- Nord Ouest d'Antananarivo (125 km), sur les Tampoketsa d'Ankazobe,
	altitude: 1.580 m
Climat	- Tropical d'altitude, pluviométrie : 1.830 mm, température moyenne
	annuelle: 16°6
Pédologie	- Sols ferrallitiques fortement désaturés, concrétionnés, remaniés sur granite
Végétation	- Steppe à graminées à base de Loudetia simplex spp, de Sripoides et
	Elionurus tritis
Dispositif	- BV1, sup. 3,18 ha, laissé en défens
1	- BV2, sup. 4,77 ha, cultures en courbes isohypses avec dispositifs
	antiérosifs
}	- BV3, sup. 3,17 ha, prairie naturelle brûlée et pâturée
	- BV4, sup. 3,90 ha, reboisement en Pins, brûlé en 1975

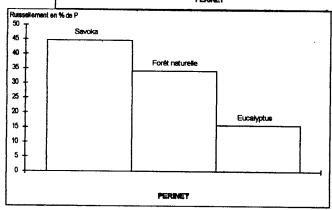
PERINET (Andasibe)

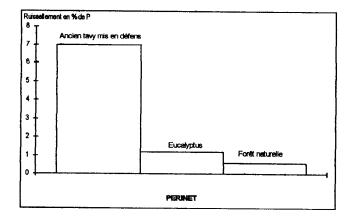
Situation	- Falaise Est, 1.000 m d'altitude
Climat	- d'altitude subhumide, pluviométrie : 1.700 mm (sur 30 ans), température
	moyenne: 19°C
Pédologie	- Sols ferrallitiques jaune sur rouge sur roche mère gneiss à muscovite,
	biotite, amphibole
Végétation	Ampangalantsary: forêt naturelle d'aspect de futaie jardinée. Parmi les
]	arbres les plus fréquents : Varongy, Tavolo, Famelona, Rotra
1	Marolaona: brousse secondaire (savoka) succédant au brûlis (tavy)
	Betsakotsako: Forêt d'Eucalyptus robusta
Dispositif	Ampangalantsary: Quatre BV: D1, D2, D3, D4 et une parcelle élémentaire
}	Marolaona: Deux bassins versants: D6, D7, trois petits bassins 71 - 72 - 73,
	Deux parcelles élémentaires : savoka en défens et tavy suivi de culture
}	Betsakotsako: Un bassin versant D5 et une parcelle élémentaire

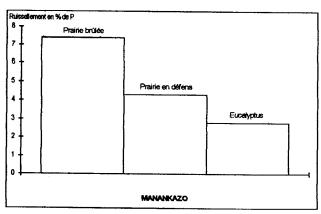
Deux types d'essais en parcelles élémentaires et en bassins versants expérimentaux sont alors suivis. Les résultats sur 15 années d'observations ont été synthétisés dans la série de graphiques qui suit.

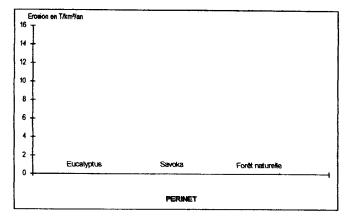
EN PARCELLES ELEMENTAIRES A MANANKAZO ET A PERINET (1963-1978 : 15 années d'expérimentation et d'observations)

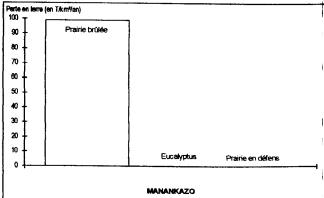




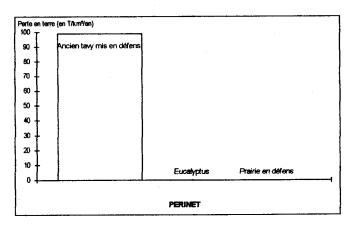


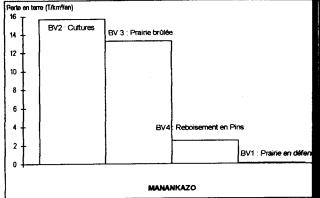


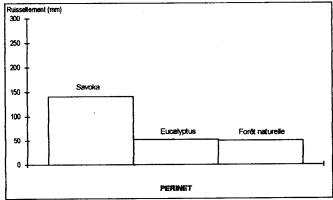


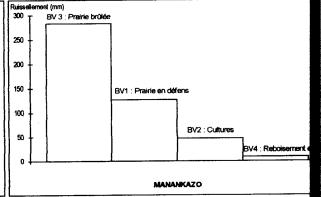


EN BASSINS VERSANTS A MANANKAZO ET A PERINET (1963-1978 : 15 années d'expérimentation et d'observations)









Quel que soit l'endroit, le reboisement (Pins et Eucalyptus) se montre toujours bénéfique pour la conservation du sol (départ et perte en terre négligeable) et de l'eau (freinage du ruissellement significatif par rapport à ce qui se passe en terrain régulièrement incendié).

3.3.2. EMBROUSSAILLEMENT DES VERSANTS . INTRODUCTION ET ESSAIS D'ESPECES

3.3.2.1. Embroussaillements des bassins collines orientales (ANDRIANIRINA, 1970, 1978)

En une à deux dizaines d'années, l'effet bénéfique de l'embroussaillement par Grevillea banksii a été ressenti sur la région de l'Est très menacée par la pratique du tavy et les feux.

G. banksii, communément appelé Grevillea blanc est une Protéacée de taille moyenne (8 mètres de hauteur). Installé d'abord sur le littoral (Ambila Lemaitso), il fructifie très tôt (vers 2 ans) sur sols chimiquement pauvres comme les sables blancs ou même les sols dénudés et mis à nu qui correspondent exactement à ceux des endroits où

l'embroussaillement est nécessaire (en particulier les gorges des lavaka ou les talus abrupts à minéraux bruts).

L'embroussaillement par G. banksii commence normalement par un semis direct ou une plantation extensive sur ligne de crête. Le feu semble un meilleur facteur activant la germination des semis de l'espèce très fructifère. En effet, la germination en pépinière est très médiocre (levée difficile et très étalée dans le temps). Dernièrement (1980), la Recherche forestière a réussi à homogénéiser cette levée en appliquant un traitement prégerminatif par immersion des semences en vase clos, dans une solution étendue d'eau oxygénée de 4% par litre d'eau courante en 24 heures.

Une fois le couvert fermé, l'embroussaillement a réussi. Le sol semble se régénérer rapidement et après passage du feu, toutes les trouées de la strate herbacée sont envahies par les semis de Grevillea. Ce qui provoque un frein non négligeable aux attaques des feux ultérieurs.

Les autres avantages du Grevillea banksii sont :

- le bois d'énergie qu'il peut procurer en abondance. Il a un pouvoir calorifique très élevé d'après les utilisateurs de la région Est;
- l'espèce est très mellifère.

Mais l'espèce est également très envahissante et il est assez difficile de la détruire après son installation en embroussaillement. Ce qui constitue une gêne pour la réutilisation pour l'agriculture sur les sols régénérés. Il faudra donc se garder de l'installer sur des terrains de cultures pérennes, trop ensoleillés et humides.

Enfin, pour des zones sèches, une solution se dessine avec *Acacia holosericea*, une légumineuse améliorante pour le sol. Cette espèce introduite vers 1978 dans le Nord Ouest semble avoir les mêmes capacités d'embroussaillement que *G. banksii*. La Recherche forestière travaille avec cette espèce depuis 1995.

3.3.2.2. Des possibilités d'Embroussaillements dans le Sud Ouest (BAILLY et al., 1968)

Le bassin dominant le canal de la Taheza se trouve dans la sous-préfecture de Betioky (80km à l'est de Toliara) et couvre une superficie de 15.000 ha. Il n'alimente pas le canal mais participe à la destruction des siphons des canaux construits pour la mise en valeur des terrains dominés de 4000 à 4500 ha. Les « sakasaka » (torrents de sable) s'encombrent de dépôts sableux provenant de la carapace sableuse qui recouvre la majeure partie du bassin.

Vers le milieu des années 60, on a remarqué une diminution du troupeau bovin et une augmentation sensible des troupeaux ovins et caprins. La SEDEFITA avait envisagé l'aménagement de 1400 ha de pâturages artificiels destinés à décongestionner le bassin versant.

Le bassin est couvert de plusieurs types de végétation dont les plus importants sont la « savane arborée » à deux strates (graminéenne et arbustive), la « steppe dégradée », la « steppe de la zone basse » et les « formations arbustives ».

Le problème de la protection de la Taheza est celui de la protection des siphons au niveau des « sakasaka ».

L'érosion

L'intensité des pluies, très importante (80 mm/h en 30mn), liée à la nature des sols (sable roux) provoque des formes d'érosion spectaculaire. Les causes, naturellement dépendantes en sont la nature du sol, les conditions pluviométriques, l'état de couverture du sol et la pente du terrain. Les feux détruisent et appauvrissent régulièrement la végétation herbacée de protection. Les berges se dégradent aux endroits où elles ne sont pas protégées par une couverture végétale. Il se trouve que les rideaux de « bararata » (roseaux) protecteurs sont défrichés.

Quand l'érosion est très vive, il est difficile d'intervenir. Mais lorsque cette érosion ne se présente pas sous forme brutale, la simple diminution des facteurs aggravants (mise en défens effective) et le nature arrive peu à peu, par reconstituer le couvert végétal contribuant ainsi à diminuer les méfaits.

Possibilités d'amélioration

Deux moyens sont susceptibles d'être envisagés pour diminuer les facteurs de dégradation : la réglementation et la technique.

Le premier moyen ne pourra être bénéfique que si les moyens techniques sont mis en oeuvre. Donc il faudra d'abord éviter le surpâturage et les feux : mise en défens totale mais temporaire (clôture en fil de fer et vivante en agaves) ; travail du sol par traits de labour isohypses espacés de 10 mètres ; exploitation rationnelle par compartimentage du pâturage permettant le pâturage par rotation.

Les zones d'argilites seront découpés par rapport aux points d'eau pour l'abreuvage du bétail. On doit planter des herbacées comme le Pennisetum purpureum et le « Raketa » sur les zones avoisinant le canal et qui sont impropres à la riziculture.

Le principe de la technique de la protection des berges repose sur le maintien et la reconstitution de la couverture naturelle (Phragmites communis). La présence d'arbres sur les berges est parfois nocive car les crues arrivent à les déraciner, créant par leur chute un départ de l'érosion.

Il est conseillé de prévoir une bande totalement protégée en mise en défens de 500 mètres de large en amont du canal d'irrigation. De plus, il sera bénéfique de boiser totalement toute cette zone située en amont.

Dans les zones délimitées à protéger et à forts débuts d'érosion, à pente plus importante, il convient de laisser se réembroussailler par des agaves.

Sur les zones de parcours à pente faible, on réalisera de « contour furrow »

Entre les lignes de labour, il est prévu de réaliser un scarifiage

Il est préconisé de reboiser et de réembroussailler la zone intermédiaire entre le basin et le canal.

La conservation du sol

L'origine des phénomènes d'érosion se situe sur les hauts bassins versants : en amont.

Toute action tendait contrôler ces phénomènes et à assurer une protection vraiment efficace et durable des zones aval doit comporter en premier lieu la correction des zones amont.

La fixation des dunes

Le profil d'équilibre est plus rapide à atteindre si on intervient dans les zones stables c'est-à-dire si on freine l'action du vent en amont des dunes (côté vent).

Quand le profil d'équilibre est atteint les meilleurs résultats pour la fixation biologique de la dune littorale et des zones qu'elle protège sont obtenus avec Ipomea pescaprae, Casuarina equisetifolia, les bulbilles d'agaves, Acacia cyanophylla et le Tsingivy (Solanum autochtone).

3.3.2.3. Des possibilités d'Embroussaillements autour du Lac Alaotra (De VERGNETTE, 1961)

Il a été réalisé des travaux de reboisement de protection et des dispositifs de lutte contre l'érosion dans divers chantiers autour du Lac (750 m), région qui est fortement déforestée (taux de boisement de 12 à 13%). Les reboisements ont été Antsahamalemy compris dans un périmètre de DRS de 3.600 ha; Sahamaloto, dans le BV de 30.000 ha; Sahabe (BV de 120.000 ha; Menaloha-Mananamontana, compris dans un périmètre de 10.000 ha.

Le problème crucial, en plus de l'érosion, est la rareté du bois de chauffe et de construction. D'où l'intérêt certain des chantiers de reboisement. Mais le Malgache voit le moment présent et pour lui les travaux de reboisement sont une entrave au libre pâturage de ses troupeaux et à la mise à feu de ces terrains.

Les travaux aniti-érosifs sont destinés à modifier les méthodes culturales. Après les aménagements, les cultures doivent être stabilisées sur de faibles ou moyennes pentes. Les rendements doivent être supérieurs et les sols ne sont déplacés que de quelques mètres à l'intérieur d'une courbe.

Les chantiers de restauration des sols sont créés pour diminuer l'ensablement d'un barrage d'irrigation. Le barrage ainsi protégé aura une vie prolongée et son prix de revient diminuera car il pourra être amorti sur un plus grand nombre d'années. Le problème du paysan et de l'éleveur reste toujours, comme pour le reboisement, la gêne créée par les travaux qui entravent le libre pâturage des troupeaux et la libre mise à feu.

Du point de vue écologique, la couverture végétale se ramène à une prairie à Aristida, à Hyparrhenia ruffa et Heteropogon contortus. La prairie à Aristida dégradée par le feu se réduit en couvert discontinu de touffes surélevées, les deux autres espèces y ont complètement disparu.

Les plants d'*Eucalyptus robusta* destinés aux reboisements sont mis en terre suivant trois méthodes : à l'angady sur pentes non mécanisables (trous de 40 cm en tous sens à l'écartement de 2 mètres), sur labour sur les lignes de crêtes plantées à 2 m x 2 m et sur sous-solage au tracteur traçant de raies espacées de 2 mètres. On devait produire des plants repiqués en boulettes d'argile de 20 à 25 cm sortis de pépinière. La plantation se fait dès les premiers orages (Octobre - Novembre) et on le reprend en pleine période de pluie (mi-Décembre à mi-Mars).

En 1961 (une dizaine d'années après le début des travaux) les superficies plantées sont :

Chantiers	Type de plantation	Superficie plantée	Effectivement boisée
		(ha)	(ha)
Antsahamalemy	En bandes et en plein	760	500
Sahamaloto	En plein	770	770
Sahabe	En plein	350	350
Menaloha-	Par bouquets, en bandes et	940	650
Mananamontana	en pl ei n		<u>i</u>
Andaingo	En bandes	45	45
Total		2865	2315

La grosse difficulté est la production correcte de plants (mortalité et taille trop petite). Les plants n'ont pas suffisamment de force pour passer le cap de la saison sèche suivante et la plus grosse perte survient en octobre. D'où la nécessité de produire les plants assez tôt (Avril, Mai), de réduire l'arrosage et de cerner les boulettes. L'herbe s'accumulait entre le corps sous soleur et le porte outils et on se trouvait dans l'obligation de relever le système de sous soulage pour pouvoir progresser.

Dans la région du Lac, environ 3.000 ha de courbes de niveau sont tracés dont 1.000 à 1.500 ha cultivés suivant la courbe. Selon le propriétaire, on peut améliorer la méthode.

Pour les petits propriétaires, obligés de cultiver la totalité de leurs courbes, au lieu d'un système de fossé à absorption totale, on conseillera un réseau de fossés à pente légère de 2 à 3 pour mille déversant les eaux dans un exutoire convenablement choisi et corrigé. On prévoira en outre, l'installation (par le Service), de haie anti-érosive plantée sur l'ados avec de l'elephant-grass, vétiver ou légumineuses dressées.

Pour le gros propriétaire qui peut la première année ne labourer qu'une courbe sur deux, on peut établir un réseau à absorption totale mais la plantation de haie anti-érosive est toujours recommandée.

Pour corriger les lavaka:

Les barrages en grillage rigides ne conviennent pas. Les barrages en grillage souples forment un bon arrêt d'alluvions quand ils sont solidement ancrés sur les berges.

Par ailleurs, la hauteur du barrage ne doit pas dépasser 50 à 70 cm pour éviter les trop fortes pressions.

Les fascines en bois de 1 mètre de haut conviennent à la correction des gorges profondes et étroites (1m à 1,5m de large)

Les barrages en gabion chargé de pierre forment un bon système mais qui est onéreux

Les barrages en gabion chargé de terre compactée sur une hauteur de 1m permettent de bien barrer une gorge d'au plus 2 mètres de large.

La correction de zone d'emprunt par un réseau de banquettes anti-érosives est très valable mais la difficulté est de construire un exutoire solide dans un terrain généralement instable pour recueillir la totalité des eaux provenant des terrasses.

3.3.2.4. Etudes récentes pour le Sud Ouest (RAKOTOMANANA et al., 1995)

Des méthodes de conservation par des moyens biologiques sont proposées par les chercheurs du FOFIFA/DRFP pendant les phases de convention de recherche contractée avec la DEF (PEI). Un diagnostic a été mené pour réactualiser les informations sur la dégradation du milieu dans le Sud Ouest où tous les milieux sont concernés. Il a été souligné que le milieu est très sensible à cette dégradation (sols érodables sur des substrats sensibles, pluies orageuses et violentes dans la saison, perte de couverture végétale, afflux des personnes de l'extrême sud poussées vers la région par la dernière disette aiguë, croissance démographique). Les techniques de production et d'exploitation ne cherchent que le rendement immédiat. La structure de vulgarisation est défaillante (faible ou absente). Le réseau d'irrigation de la plaine est défaillant.

Tous les milieux dans le Sud Ouest sont concernés : dégradation des sols, des eaux, de la végétation, des minéraux (la plaine, La Table, les sables rubéfiés, les plateaux calcaires, Vineta, La Taheza).

L'avancement des dunes s'active (érosion éolienne), la terre arable se perd et les dalles calcaires s'exposent (érosion hydrique). Il y a manque d'infiltration et augmentation du ruissellement (déstructuration).

Le ruissellement s'intensifie. La rétention en eau du sol diminue, de par sa texture sableuse et sa faible profondeur. Il y a en fait une forte évaporation.

L'augmentation de la température du sol limite le développement de la végétation naturelle ou installée. Ce qui augmente les pressions des utilisateurs de la ressource (homme et animaux). Il y a baisse de la production de biomasse (bois et fourrage).

La dégradation minérale se manifeste par l'accentuation de la carence en phosphore.

Une possibilité pour l'embroussaillement de vastes surfaces est offerte par Leucaena leucocephala. L'espèce est d'ailleurs très connue par les éleveurs de caprins qui utilisent les feuilles de cette légumineuse comme nourriture d'appoint pour les chèvres.

Dans d'autres endroits rocailleux, la Recherche forestière a pu noter que le maïs local vient sans inconvénients sur sa croissance et sa production, avec un terrain préembrouossailé par *L. leucocephala*. la hauteur ne devrait cependant pas être supérieure de la graminée. Il s'agit donc de mettre au point d'une gestion rationnelle de l'association pour profiter de la capacité améliorante de la légumineuse fixatrice d'azote qui maintient la fertilité du sol et garde à la fois l'humidité.

Certaines espèces autochtones pionnières du Sud Ouest peuvent également être utilisées en embroussaillement. Actuellement, la plus connue par la Recherche forestière est *Cedrelopsis grewii* (Katrafay). C'est une espèce très utilisée mais à croissance très lente. Elle fournit une régénération naturelle abondante après exploitation ou défrichement de la forêt naturelle. Cette régénération dépérit pourtant si le défrichement se répète sans interruption.

3.3.3. PAREFEUX

3.3.3.1. Les feux de brousse

Chaque année, plusieurs centaines de milliers d'hectares de savanes herbeuses et arborées de l'Ouest et de l'Est, et de savanes steppiques des plateaux et du Sud sont embrasées par les feux de brousse. Ces feux non contrôlés sont le plus souvent allumés en fin de saison sèche (Septembre - Octobre) pour :

- le maintien des zones de pâturage à l'état de savane herbeuse ;
- la stimulation des repousses des graminées mieux appétibles par le bétail ;
- le nettoyage des champs de culture ;
- le défrichement.

Autres causes:

- feux de campement
- charbonnage
- dressage des zébus
- malveillance
- motivation criminelle
- contestation sociale et politique

Selon IUCN/UNEP/WWF (1987), en 1969, 2.000.000 d'hectares de végétation herbeuse et ligneuse dont 2.000 ha de forêts auraient été ravagées.

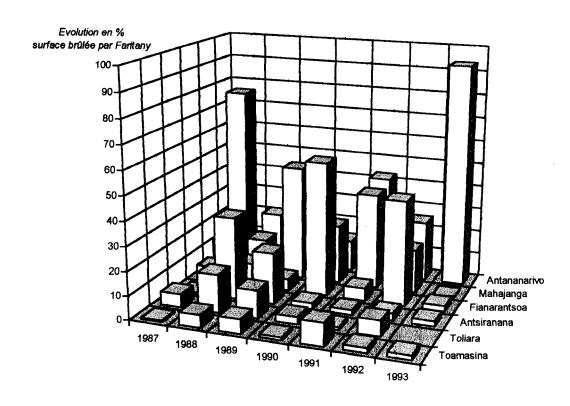
De 1983 à 1989, il a été constaté une recrudescence des feux de brousse tous les 2 ans.

Répartition des feux de brousse par Faritany (en ha)

FARITANY	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
			}				
Antananariv	537.562	79.285	49.147	30.919	46.595	57.392	89.686
0	75.5%	21.1%	8.4%	13.0%	42.4%	24.9%	93.5%
Antsiranana	4.695	126.663	123.643	6.412	2.184	11.631	2.074
	0.3%	33.9%	21.2%	2.6%	2.0%	3.0%	2.2%
Fianarantsoa	41.684	35.121	27.648	135.629	5.787	100.803	2.224
	5.7%	9.4%	4.8%	56.0%	5.2%	43.5%	2.3%
Mahajanga	88.581	54.449	278.628	59.173	43.625	41.526	230
	12.4%	14.5%	48.0%	24.4%	39.7%	18.0%	0.2%
Toamasina	7.82	19.975	34.810	2.800	10.412	5.045	1.734
	0.6%	5.3%	6.0%	1.1%	9.5%	2.1%	1.8%
Toliara	41.572	59.173	67.233	7.146	1.343	14.963	
	5.5%	15.8%	11.6%	3.0%	1.2%	6.5%	
TOTAL	721.896	374.666	581.109	242.079	109.946	231.360	96.130

Chaque année, 90 à 97 % de la surface brûlée sont constituées par des formations herbeuses.

1% à 2% des forêts naturelles2% à 10% des reboisements



Entre 1987 et 1993, les Faritany les plus touchés par les feux sont :

- 1°) Antananarivo
- 2°) Mahajanga
- 3°) Fianarantsoa
- 4°) Antsiranana
- 5°) Toliara
- 6°) Toamasina

3.3.3.2. Elevage bovin

Les milieux forestiers sont utilisés comme simple parcours ou comme parcage des boeufs. Cette pratique contribue à la dégradation de la végétation (piétinage des plantules, broutage des feuilles...) et la propagation des feux incontrôlés par les bouviers (propriétaires ou voleurs).

L'équilibre écologique et hydrique de nombreuses régions est perturbé par l'avance inexorable du déboisement. Cette destruction se manifeste par :

- une érosion considérable
- une perturbation du cycle de l'eau
- une perturbation de la qualité et du débit de l'eau
- une aggravation des sécheresses et des inondations
- une diminution de la diversité biologique

3.3.3.3. Protection des bassins-versants

Les actions techniques de protection de bassins peuvent être constituées de :

- réalisation de dispositifs anti-érosifs : murettes, gabions, barrages de sédimentation ;
- reboisement, reforestation et embroussaillement;
- correction des lavaka;
- mise en défense et lutte contre les feux de brousse ;
- aménagement des terrains de parcours (gestion des feux et amélioration des pâturages, pacage contrôlé...);
- aménagement des terrains cultivés sur tanety ou sur forêts défrichées pour les cultures sèches et l'agroforesterie;
- aménagement des vallées forestières...

Certaines de ces solutions techniques ne sont qu'au stade expérimental ou pilote et doivent faire leur preuve à grande échelle. D'autres rencontrent l'adhésion difficile des communautés paysannes ayant souvent des intérêts contradictoires (agriculteurs/éleveurs ; natifs/migrants ; paysans des tanety/paysans des plaines) ou soucieuses d'obtenir des

revenus lucratifs immédiats. Les problèmes d'appropriation forestière se posent aussi pour l'aménagement et le développement de certains bassins versants inhabités.

Dans les zones prioritaires : Antananarivo, Lac Alaotra, Fianarantsoa, Mahajanga et Manakara, l'ANAE (Association Nationale d'Actions Environnementales) créée en 1990, intervient pour aider les communautés et associations rurales à protéger les bassins versants par des mini-projets incluant :

- . la conservation des sols;
- . l'agroforesterie;
- . le reboisement ;
- . la réalisation de diverses petites infrastructures et activités rurales productives.

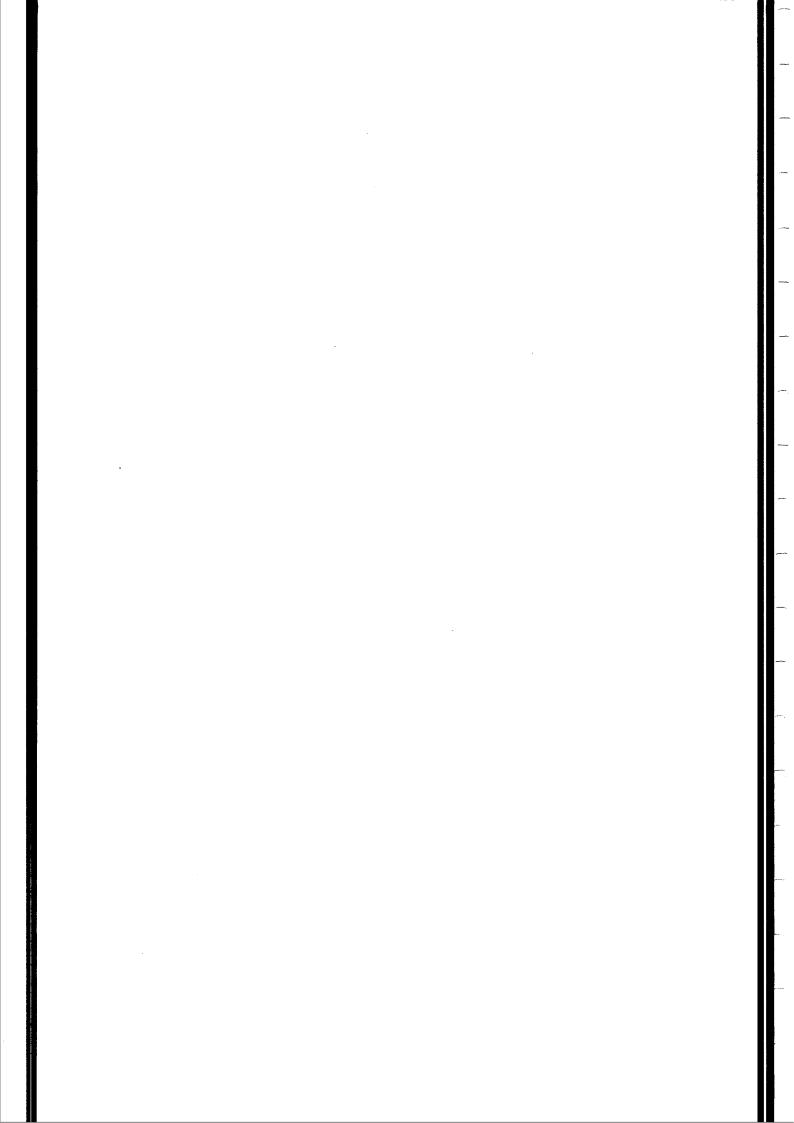
BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



3.4 PRATIQUES AGROFORESTIERES

par Jean Louis RAKOTOMANANA FOFIFA / CRR

Mars 1997



3.4. TECHNIQUES AGROFORESTIERES

INTRODUCTION

L'agroforesterie s'est propagée dans le monde très rapidement, favorisée par son concept et par la prise de conscience de la situation environnementale. La transmission des messages aux acteurs directs sur terrains, les paysans, s'est fait à un rythme plus lent. Ce bilan est l'occasion de faire le point en instant sur des pratiques agroforestiers traditionnelles que les techniciens ont souvent négligées.

Après une brève analyse de l'environnement de Madagascar en liaison avec l'agroforesterie, on présentera les principaux acquis par zone agro-écologique.

3.4.1. L'ENVIRONNEMENT DE MADAGASCAR EN LIAISON AVEC L'AGROFORESTERIE

3.4.1.1. Les facteurs physiques

3.4.1.1.1. Les facteurs climatiques

Deux paramètres importants touchent les activités agroforestières : la pluviométrie mieux illustrée par le nombre de jours de pluie et les régimes thermiques.

La pluviométrie

On peut considérer le déplacement des isolignes correspondant à plus de 10 jours de pluie par mois pour indiquer une humidité suffisante et de moins de 5 jours/mois pour indiquer la sécheresse.

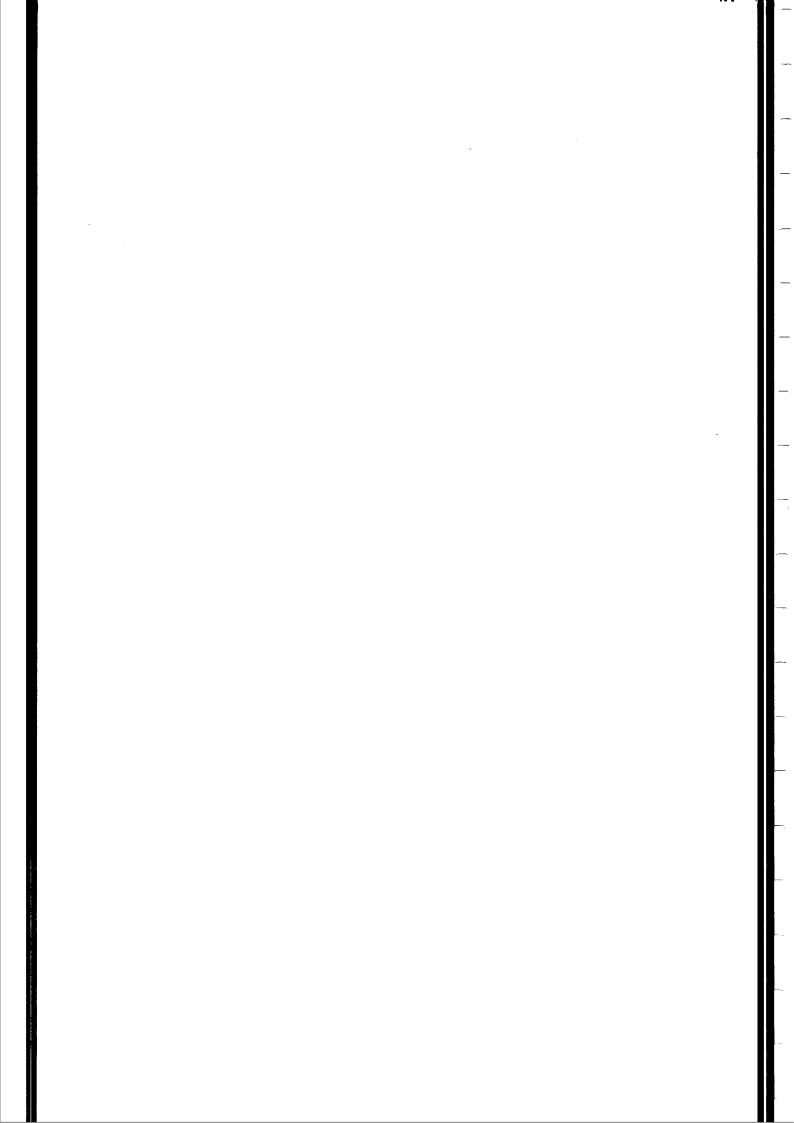
Au cours de la saison des pluies (Novembre à Avril), l'humidité progresse de la moitié orientale du pays (ligne XI) vers l'Ouest et le Sud et se stabilise en un arc rejoignant Morondava, Betioky et Antanimora. L'isoligne y reste plus ou moins stationnaire pendant les mois de décembre, janvier et février. A la fin de la saison des pluies, la ligne se déplace vers le Nord Est pour se stabiliser le long de la crête centrale (séparation de versant oriental et occidental).

Au début de la saison sèche (juin à octobre), l'isoligne "5 jours de pluie/mois" est située un peu à l'Ouest de la crête et s'y stabilisée pendant le mois de juin, juillet, août et septembre. En octobre, elle se déplace vers l'Ouest pour signifier l'humidification globale du climat. Sa position limite se trouve au mois de décembre en une ligne repiquant Tuléar à Sainte Marie et délimite la zone sub-aride.

En combinant les deux variations, on arrive à distinguer trois grandes régions climatiques :

1 - le versant oriental caractérisé par des chutes de pluie "constantes", de plus de 10 jours par mois toute l'année;

263



- 2 le Sud et le Sud Ouest, caractérisé par des chutes de pluies qui ne dépassent jamais 10 jours par mois toute l'année et ;
 - 3 le versant occidental au climat contrasté.

Les températures

Les valeurs caractéristiques pour le mois le plus frais qu'on peut considérer sont :

- isothermes de 12°C pour délimiter les régions froides ;
- isothermes de 16°C pour délimiter les régions fraîches ;
- isothermes de 20°C pour délimiter les régions mégathermiques.

Avec ces valeurs, on arrive à distinguer 4 régions thermiques :

- la région mégathermique de l'Ouest, du Nord Ouest et du Nord Est;
- la région fraîche des hautes terres centrales
- la région froide (avec gelées fréquente en saison fraîche);
- la région mésothermique du Sud, de l'Est se prolongeant dans le centre de la partie méridionale.

Neufs régions ombro-thermiques sont identifiées

Humidité	Température		Localités
Nb de jours<10 jours/mois	Mégathermique	7	Région d'Ambovombe Région de Morombe
	Mésothermique	8	Mahafaly, Androy
Nb de jours	Mésothermique	1	Sakalava Tsimihety Antakarana
	Mésothermique	6	Moyen Ouest, Pays Bara, Tsimihety
<u></u>	Frais	5	Versant occidental des Hautes terres
Nb de jours > 10 jours/mois	Mégathermique	2	Nord Est (SAVA) Sambirano
	Mésothermique	3	Massif Tsaratanana Est
	frais	4	Falaise orientale et versant oriental des Hautes Terres
	froid	9	Vakinankaratra et Andringitra

3.4.1.1.2. Paysages végétaux de Madagascar

Sans nous étendre sur ce point, assez largement connu, rappelons les grandes subdivisions végétales

Zone orientale	Domaine de la forêt ombrophile			
	Pression humaine avec les tavy			
Zone d'altitude	Domaine de la pseudosteppe et des reboisements d'Eucalyptus			
	pression humaine : extension des surfaces agricoles Feux de brousse			
Zone du Moyen Ouest	Domaine de la Savane à Hyparhenia ou à Loudetia			
	Pression humaine = extension des surfaces agricoles			
	Pression de l'élevage = feu de brousse			
Zone occidentale	Domaine de la Savane à Heteropogon et des Forêts			
	tropicales humides			
	Pression de l'élevage = feu de brousse			
	Pression humaine = Tavy			
Zone méridionale	Domaine des bush et de la forêt tropicale sèche			
Domaine de la savane à Heteropogon				
	Pression de l'élevage = feux de brousse et surpâturage			
	Pression humaine = défrichement pour l'agriculture			

3.4.1.1.3. Paysages géo-morpho-pédologiques

La présence de reliefs accidentés est de règle et l'érosion des sols sévit même sur des surfaces assez planes, conséquences des modes d'utilisation et de gestion du couvert végétal.

Les facteurs pouvant avoir des conséquences pour la plantation d'arbres sont :

- la faible profondeur du sol et le pédoclimat sec que ceci entraîne;
- l'acidité des sols, marquée par l'insuffisance des réserves en calcium et/ou l'apparition de toxicité aluminique, parfois aussi manganique;
- la faible fertilité car certains sols (ferralitiques fortement désaturés) n'ont plus de réserves chimiques mobilisables ;
- la pauvreté en matière organique due à la rupture du cycle du carbone provoquée par les feux de brousse et l'écobuage (agriculture sur brûlis).

3.4.1.2. Utilisation des ressources

3.4.1.2.1. Répartition de la population

La population malgache est inégalement répartie sur le territoire. Le triangle délimité par des lignes joignant Soanierana Ivongo, Tsiroanomandidy et Vangaindrano regroupe près de 50 % des habitants sur le quart de la superficie de l'île. Les activités économiques suivent cette concentration.

Cette concentration se retrouve au niveau régional et même au niveau local, à la faveur de bonnes conditions de mise en valeur.

Durant les 20 dernières années, d'importantes migrations sont en cours et changent parfois l'équilibre régional. Certains villages de la région de Sakaraha, Bara d'origine, sont actuellement dominés numériquement par les Antandroy, chassés par la famine de leur région d'origine.

3.4.1.2.2. Paysages agricoles

On ne fera que mentionner l'importance de l'agriculture de bas fonds (Hautes Terres) et de plaine (Ouest) pour centrer la réflexion sur l'agriculture de la colline. Les différents systèmes sont connus :

surtout sur les Hautes Terres et le Moyen Ouest.

Système du TAVY

= - dans l'Est et le Sud essentiellement

- utilisé dans le Centre et l'Ouest en cas extrême.

Système des monocultures de rente = Coton et Manioc dans le Sud et l'Ouest, café vanille à l'Est

Système de polycultures vivrières = Surtout sur les Hautes Terres et le Moyen Ouest

A ceci, on peut raccorder les différents types de paysages pastoraux:

- élevage extensif sur de grands pâturages, avec de grands troupeaux dans les pays Antandroy, Bara et Sakalava ;

- élevage semi-intensif en petits troupeaux, sur les Hautes Terres;

- élevage intensif, surtout pour la production laitière centré autour d'Antsirabe et d'Antananarivo.

3.4.1.2.3. Paysages arborés

Il existe des forêts naturelles gérées soit au sein du système des <u>aires protégées</u>, soit des <u>forêts classées</u>, ou des <u>forêts domaniales</u>. Les forêts de production (plantation) ont été réalisées souvent en régie mais subissent des dégâts importants par les feux. De petits reboisements individuels ou communautaires existent mais sont actuellement surexploités pour la production de bois d'énergie. Enfin on peut mentionner les forêts d'agrément (pour l'ombrage, l'ornementation) autour des villages ou en alignement le long des routes. Pour ce dernier cas, signalons que les arbres ont été mis en place pratiquement tous avant l'indépendance.

3.4.1.2.4. Attitudes vis-à-vis de l'arbre

Si on peut dire que 100 % de la population sont utilisateurs de bois sous diverses formes, la plantation d'arbres ne concerne qu'une petite partie, même pas 1 % de la population. Sur les hautes terres, pourtant si déboisées, les activités de reboisement n'arrivent à toucher que 2 % de la population. Existe-t-il un état d'esprit contre l'arbre ? Voici quelques éléments de réponses.

- L'arbre peut être un élément indésirable, concurrençant les cultures sur les zones agricoles, attirant la fondre ou abritant les ennemis des cultures (fody, papango, serpents, rats).
- Le temps passé à planter des arbres ou des espèces non vivrières est considéré comme du temps perdu.
 - Les contraintes sociales couvrent deux aspects :
 - a) la plantation d'arbres sur un terrain constitue un acte assimilable à l'accaparation de ce terrain. La communauté peut considérer ce geste défavorablement. Aussi, les métayers n'ont pas le droit de planter des arbres.
 - b) Les surfaces disponibles sont réservées pour des utilisations autres que le reboisement.

Les fruitiers sont cultivées partout. Des clôtures sont en usage autour des habitations ou des certains terrains de culture mais il existe des contraintes techniques pour la plantation des arbres :

- manque de semences;
- manque de techniques (multiplication-pépinière, plantation);
- contraintes sociales;
- risques des feux de brousse;
- risques d'expropriation = les forêts ont appartenu aux rois et aux fanjakana.

3.4.1.3. Définition de l'agroforesterie

L'ICRAF a défini l'agroforesterie comme un système d'utilisation des terres faisant intervenir un élément ligneux, délibérément planté, avec un élément agricole ou animal, en vue de faire jouer des interactions écologiques et/ou économiques. Cette définition assez restrictive ne peut pas correspondre aux diverses activités menées dans les différents projets qui intégrent sous le vocable "Agroforesterie" des activités de reboisement, d'arboriculture, parfois des dispositifs de DRS.

Aussi, pour intégrer le mieux possible les différentes expériences, on utilisera le terme Agroforesterie dans un sens plus large, il s'agit de la culture intensive d'arbres dans les différents espaces d'activités de l'homme. Aussi pourra-t-on y inclure :

- les arbres dans les espaces agricoles;
- les arbres dans les espaces pâturés ;
- les arbres dans les espaces habités ;
- les arbres dans l'aménagement des bassins versants.

Dans la suite de cette étude, on passera en revue les expériences acquises dans les différentes zones de Madagascar.

3.4.2. AGROFORESTERIE SUR LES HAUTES TERRES A CLIMAT FRAIS

Il s'agit de la zone située entre le sommet de la falaise et une ligne reliant Antananarivo et Ambalavao Tsienimparihy, limitée au Sud par la rivière Mananantanana et au Nord, par le plateau de l'Anjafy. C'est une région très peuplée, active dans la petite agriculture vivrière et l'élevage semi-extensif. L'agroforesterie y a un rôle indéniable à jouer et peut apporter une production complémentaire. La pauvreté des sols pose une contrainte particulière.

3.4.2.1. Les actions entreprises et les acteurs

La zone considérée est bien couverte par des organismes de recherche et de diffusion. Différents projets y ont mené ou mènent encore des actions. On mentionnera particulièrement les organismes suivants.

FOFIFA	Recherche Appliquée au Développement rural	Foresterie Agroforesterie Agriculture Elevage	Mandat National
FAFIALA	Expérimentation et de diffusion des méthodes et techniques sur tanety	Agroforesterie Socio-économie Formation	Faritany Antananarivo
Projet Terre Tany	Projet de recherche intégré au FOFIFA	Gestion des ressources naturelles	
Projet LOVASOA	Diffusion des techniques d'Aménagement tanety	DRS Agroforesterie Formation	Fianarantsoa Région Matsitra
ANAE	Protection des tanety et amélioration du cadre de vie rurales	DRS Reboisement	National (zones prioritaires)
ORIMPAKA	ONG	Foresterie Agroforesterie	
Projet Bassins versants d'Antananarivo	Projet pilote de conservation et gestion des ressources naturelles	Foresterie DRS Agroforesterie Socio-économie	Far-Antananarivo Anjozorobe Ambohidratrimo
Projet d'appui au Reboisement villageois	Prédécesseur de FAFIALA	Foresterie Agroforesterie DRS	Atsimondrano

3.4.2.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

Le parcours de la zone permet de voir certains dispositifs intégrant l'arbre :

- Vergers de fruitiers = Pêchers, Bibassier, Prunier, Manguier, Caféier
- Bosquets= Eucalyptus, pins, Mimosa
- Haies sur les talus de terrasses =Goyaviers, Mimosa, Psiadia
 - Clôtures
 - Arbres isolés ou groupés = Figuiers, Lilas de perse

3.4.2.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

3.4.2.3.1. Systèmes agri-sylvicoles

Il s'agit surtout d'agir pour conserver les sols et améliorer leur fertilité. Différentes techniques ont été étudiées et vulgarisées.

- La fixation des talus de terrasses

Elle renforce l'aménagement effectuée pour contrôler l'érosion. Il est alors recommandé de planter des arbustes au bord des talus de terrasses. Les espèces recommandées sont :

- Pennisetum purpureum
- Crotalaria grahamiana
- Tephrosia vogelii

A Anjozorobe, le projet FAO/BV a installé efficacement des haies de *Calliandra* alors que cette espèce n'a pas donné bonne réussite ailleurs. On peut trouver des espèces forestières (*Grevillea, Toona, Arocarpus*), des espèces fruitières (manguier, pêchers, etc...) des herbacées (*Setaria, Brachiaria*) ou des petits fruitiers (ananas) associés dans les haies.

- La jachère améliorée

Pour améliorer la fertilité des sols via la production de biomasse à enfouir ou à composter, on propose l'installation d'une jachère arbustive. (Les espèces sont Crotalaria grahamiana, Tephrosia vogelii, Tephrosia micans) ou d'une jachère herbacée (Desmodium, Dolichos, Mucuna, Macroptilium).

- La banquette Café-Flemengia

Les recherches du FOFIFA menées à Sahambavy ont montré la bonne intégration des deux espèces, une ou deux rangées de *Flemengia congesta* étant plantées de part et d'autre d'une ligne de caféiers *Arabica*. Les *Flemengia* sont rabattus deux fois par an et les produits coupés utilisés comme paillage des caféiers. Cette procédure permet de satisfaire aux besoins nutritifs et écologiques du café.

3.4.2.3.2. Systèmes sylvo-pastoraux

Ce système a été testé par le projet FAO/BV à Anjozorobe. C'est une combinaison d'herbacées fourragères et d'arbustes fourragères (*Leucaena*, *Calliandra*). Vu le climat

assez frais et l'acidité des sols, *leucaena* ne se développe pas. *Calliandra* présente par contre une meilleure croissance. La même conclusion a été obtenue à Betsizaraina.

3.4.2.3.3. Autres systèmes

Le reboisement, les haies herbacées (*Eragrostis*, *Pennisetum*, *Brachiaria*) les cultures fourragères sont des pratiques conseillés aux paysans. Eucalyptus et *Pinus* sont les genres les plus répandus. On produit aussi des plants pour constituer des clôtures : *Cotoneaster*, *Cupressus* sont recommandés.

3.4.2.4. Réalisations

Plusieurs organismes encadrent les paysans des Hautes Terres, qu'ils soient gouvernementaux ou ONG. D'importantes réalisations sont réalisées et les paysans s'appliquent à suivre les recommandations techniques. On peut dire que tous les Fivondronana sont touchés.

Les surfaces concernées restent cependant limitées par rapport à tout ce qu'il faut aménager.

Des remarques ressortent des travaux entrepris en milieu paysan:

- Les haies arbustives ne sont pas longévives et disparaissent progressivement après les coupes successives. Les plants morts ne sont plus remplacés.
- Les espèces semées en jachère ont du mal à pousser, ou même germer sur certains sols très appauvris. Il faut apporter une fertilisation mixte dolomite NPK pour réussir à implanter la jachère.
- Les paysans répugnent à planter une espèce qui n'a pas de vocation vivrière. Les surfaces mises en jachère améliorées sont faibles.
- La biomasse produite pendant la jachère est compostée et utilisée plutôt sur rizière que sur tanety.

3.4.2.5. Les effets

Compte tenu des justifications identifiées pour la mise en place de systèmes agroforestiers, on peut dire que :

- les systèmes proposés contribuent à contrôler effectivement l'érosion. La disparition des haies risque d'affaiblir le dispositif de protection, ou de limiter la viabilité (sustainability) des aménagements ;

- l'amélioration attendue de la fertilité se retrouve dans la possibilité pour les paysans d'intensifier les cultures et d'avoir des rendements plus intéressants. Il a la possibilité d'intensifier les cultures et d'avoir des rendements plus intéressants. Il y a alors risque de surexploiter les sols ;

- l'impact sur la production ligneuse est très faible ;

- la production de fourrage provient surtout des plantes herbacées. Peut-être, n'a-ton pas appris aux paysans comment utiliser le fourrage ligneux.

3.4.3. AGROFORESTERIE POUR LES HAUTES TERRES - ZONE FROIDE

Cette zone concerne le Vakinankaratra, entre Behenjy et Antsirabe. Sa particularité est de comporter une saison hivernale où les gelées surviennent plus d'une fois par an. Occasionnellement on attends la température de 0°C. Autrement, les caractéristiques mentionnées pour les Hautes Terres à climat frais restent valables. La grêle est un autre élément climatique important.

3.4.3.1. Les actions entreprises et les acteurs.

Plusieurs organismes et projets sont actifs dans la zone.

FIFAMANOR	Recherches et vulgarisation sur le blé, les plantes à tubercules (pomme de terre) l'élevage (amélioration de la race laitière et alimentation des animaux	Vakinankaratra
FOFIFA	Recherches sur les cultures vivrières Riz, haricot, maïs	National
CIRVA	Vulgarisation, organisation paysannes	Vakinankaratra
PDFIV	Projet de développement intégré	Région
ANAE	En association avec des opérateurs (ONG)	d'Ambatolampy
IREDEC	Développement communautaire	Région d'Antsirabe

Le Vakinankaratra est une région très active en agriculture et ceci explique la présence d'un système d'encadrement très dense. C'est un centre de production d'envergure nationale pour les fruits tempérés (pomme, prune), la pomme de terre, les carottes et le lait. Il existe de plus en plus d'unités de transformation (Minoterie KOBAMA, Laiterie, Huilerie et Extraction de jus TIKO).

Soulignons que le bois de chauffe est un grand problème dans la région, le bois de pin étant devenu la source principale après surexploitation du mimosa.

3.4.3.2. Systèmes agroforestiers traditionnels.

D'origine peut-être récente, on trouve beaucoup de fruitiers associés avec les cultures vivrières. L'arrangement des arbres peut être en ligne ou en carré. La densité est variable, pouvant aller du système verger pur à un système lâche évalué à 100 arbres par hectare.

Un autre système concerne l'exploitation de la jachère de mimosa, en rotation avec les cultures de patate douce ou de pomme de terre. La jachère de mimosa est abattue au bout de 3-5ans. Le paysan ramasse le bois pour le vendre comme bois de chauffe ou pour le carboniser. La parcelle défrichée est labourée, fumée et cultivée pendant 1 ou 2ans. Le mimosa recolonise le terrain par drageon et le cycle Jachère se remet en place.

D'autres formes d'agroforesterie concernent les haies vives (avec la boule de neige) et les haies de fixation des talus où on voit surtout le mimosa.

3.4.3.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

Les systèmes utilisées pour les Hautes Terres à climat frais sont extrapolables pour celle-ci, à conditions que les espèces résistent au gel.

Les essais entrepris par FIFAMANOR concernant l'adaptation des espèces ont montré que plusieurs ne s'adaptaient pas aux basses températures. L'espèce la plus vigoureuse semble être Sesbania macrantha. On voit cependant qu'il y a aussi Tephrosia vogelii. Parmi les arbres, on peut voir des Grevillea robusta dans la zone. Serait-ce une solution que de trouver une variété d'Acacia dealbata (ou un proche) qui ait les caractéristiques souhaitées.

3.4.3.4. Réalisations

Les activités entreprises en matière de reboisement sont bien acceptées par la population. Eucalyptus et *Pinus patula* sont les principales espèces plantées. Ceci mis à part, et à côté des aménagements traditionnels, les activités agroforestières tournent encore au ralenti.

3.4.4. AGROFORESTERIE POUR LA FALAISE ORIENTALE

La falaise orientale occupe la zone comprise entre 300m et 1000m d'altitude. C'est une zone forestière mais qui se dégarnit en raison de l'extension des Tavy. La population devient plus dense en raison d'une forte croissance démographique. Les terrains sont accidentés, mais l'humidité permanente entretien un couvert végétal qui assure une certaine protection contre l'érosion, mais pas contre le ruissellement.

Les activités agricoles comprennent la riziculture sur tavy, les plantations de café et de banane, la production de manioc et d'autres plants vivriers. Les fruitiers existent mais en nombre largement inférieurs à ce qu'on trouve plus à l'Est; certaines espèces ne s'y adaptent d'ailleurs pas. La région de Beforona produit du gingembre pour l'exportation. Ambohimanga du Sud est renommé pour ses sculptures Zafimaniry.

3.4.4.1. Les actions entreprises et les acteurs.

La zone de la falaise peut être considérée comme une zone sans projet de développement jusqu'à la mise en place du système d'aires protégées. Depuis 1992, plusieurs ont vu le jour = Réserve spéciale de Périnet - Mantadia, Parc National de Ranomafana, Zahamena, Anjanaharibe. Les "Plan de conservation et de développement intégrés - PCDI" de ces aires protégées servent de base à la mise en place de systèmes durables d'utilisation des terres dont une composante est l'agroforesterie. Le projet Terre Tany a travaillé dans la région de Beforona depuis 1989 et ses expériences servent de

référence en la matière. Vu le caractère récent de ces travaux, peu d'informations sont disponibles à l'heure actuelle.

3.4.4.2. Systèmes agroforestières traditionnels

La succession culture sur brûlis ou Tavy - jachère arbustive (Savoka) est un trait dominant de l'utilisation des terres. Avec la pression démographique, la durée de la jachère est raccourcie, passant de 5 - 10 ans à 1 - 3 ans, le système touche à son effondrement dans certaines zones. Le café est une production de rente dans les parties basses de la zone. Le champ comporte au-dessus des caféiers un étage supérieur d'arbres d'ombrage, *Albizia stipulata* qui, en perdant ses feuilles, recycle matière organique et éléments nutritifs.

Les plantations de bananiers occupent les zones alluvionnaires. Autour des villages, la population constitue des jardins de case où l'on observe surtout des fruitiers, des caféiers et quelques cultures vivrières.

Les reboisements, s'ils existent, sont réalisés avec des Eucalyptus. Des fruits sauvages peuvent être observés (orange amer, goyavier). Le bambou géant (Dendrocalamus) sert à la construction des habitations (murs et planchers).

3.4.4.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

- Les haies vives, établies en courbes de niveau avec différentes espèces :
 - Vetiver gizanoides
 - Flemengia congesta
 - Cassia siamea
 - Gliricidia sepium
 - Tephrosia vogelii
- Les boisements de productions avec Araucaria cunninghamii, Agathis robusta, Eucalyptus grandis, Eucalyptus robusta, Pinus caribaea
- L'embroussaillement, avec Grevillea banksii
- La jachère arbustive avec Tephrosia vogelii, Crotalaria grahamiana, Cajanus Cajan
- Les réserves fourragères avec *Tripsacum laxum*, *Pennisetum purpureum*, (très grosse production de biomasse toute l'année, permettant un affourragement à l'étable à moindre frais).
- La banquette caféière avec Flemengia congesta
- Une difficulté essentielle de tous ces dispositifs concerne l'entretien pendant la période d'installation car les mauvaises herbes sont très envahissantes.

3.4.4.4. Réalisations

Peu d'informations sont disponibles, mais les potentialités existent. Pour le reboisement, on peut faire appel à Araucaria angustissima, Agathis robusta, Acacia mangium, Eucalyptus grandis, Eucalyptus robusta, Pinus caribaea. Vu le manque de débouché commercial, les arbres contribuent peu au développement économique de la zone.

En matière d'aménagement, ont été testé :

- les haies anti-érosives constituées avec Flemengia congesta et Vetiveria zizanoides;
- les jachères de Tephrosia vogelii;
- les embroussaillements avec Grevillea banksii.

Les grandes graminées poussent facilement et des expériences d'affouragement ont été entrepris.

Les banquettes Café-Flemengia n'ont pas été testées mais pourraient marcher correctement.

3.4.4.5. Les effets

L'isolement de la région (isolement administratif, économique, social) rend les actions dans cette zone très difficile. Les gestionnaires des aires protégées cherchent encore une voie et des techniques appropriées pour développer la zone.

3.4.5. AGROFORESTERIE POUR LA ZONE EST

On parle ici de la zone littorale et de son arrière pays, à altitude inférieure à 300m. L'humidité y est permanente (plus de 2m de pluie et aucun mois sec). La topographie est un plateau disséqué montrant une multitude de collines, de petites plaines et des bas fonds mal drainés. La zone examinée part de Soanierana Ivongo à Fort Dauphin et comprend une population nombreuse. A part la production vivrière (riz, manioc, légumineuses), les cultures de rentes sont nombreuses : banane, café, girofle, vanille, litchi, divers arbres à pain, poivre, cocotier. La forêt a souvent disparu, aussi le bois contribue-t-il assez peu dans les activités économiques. Dans les ménages, le bois de feu est récolté dans les savoka. Les cultures vivrières sont établies sur brûlis de la végétation préexistante.

3.4.5.1. Les actions entreprises et les acteurs

Beaucoup d'actions ont été entreprises pour le développement des cultures d'exportation : Opération Café du Ministère de l'Agriculture, les bananes de l'UCOFRUIT, Opération pour le développement du Sud Est - ODASE, projet intégré, etc. FOFIFA gère trois stations de recherche dans la zone : Ivoloina, Ilaka Est et Kianjavato. Un projet PNUD-FAO mène actuellement des actions à partir de Toamasina pour la gestion des ressources naturelles, prenant la suite de l'Opération Savoka, menées à Vavatenina et Kianjavato.

3.4.5.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

C'est probablement une des zones où l'agroforesterie traditionnelle est la plus développée. Les jardins de case se rencontrent partout. Ils sont basés sur un grand nombre de fruitiers (*Anona sp.*, litchi, manguiers, caféiers, ananas, plantes à tubercules comme le manioc et le taro, brèdes divers, condiments tels le piment, le gingembre, agrumes divers, etc. Les volailles viennent picorer sous le jardin de case.

Plus loin des habitations, on trouve les cultures de rente : caféiers avec leurs ombrages d'Albizia, girofliers. Sous des parcelles d'apparence de forêt, on établit les champs de vanilliers, supportés par leurs tuteurs : Gliricidia, Jatropha. Des champs sont clôturés par des haies de Gliricidia ou de Draceana (hasina).

Tous ces aménagements sont traités suivant des modes de gestion propre. Le point commun est le dégagement (sarclage) périodique qui consiste à rabattre les mauvaises herbes, à enlever les plantes inutiles (*Lantana, Agramomum angustifolium*, lianes).

La zone littorale Est est le domaine privilègie des cultures fruitières tropicales :

- Banane
- Litchis
- Agrumes
- Ananas

3.4.5.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

Le littoral Est bénéficie de la présence de plusieurs centres de recherches et d'expérimentation : Ivoloina, Ilaka Est, Kianjavato pour les espèces végétales vivriers et les cultures de rente ; Mahela, Tampolo, Ivoloina, Menagisy - Brickaville, Ivakoina, Manombo-Farafangana et Mandena -Fort Dauphin pour les espèces forestières.

En matière de reboisement, plusieurs espèces ont été identifiées :

- Okoumé (Aucoumea klaineana), Terminalia superba
- Eucalyptus botroyides, saligna, résinifera, grandis, cloeziana, torreliana, citriodora, robusta
- Pinus caribaea, merkusii
- Agathis loranthifolia
- Araucaria angustifolia

Parmis les espèces autochtones, Intsia bijuga, Canarium madagascariensis.

Pour l'emboussaillement, Grevillea banksii.

En matière de production fourragère, les grandes graminées : *Pennisetum purpureum*, *Tripsacum laxum* se développent très bien dans la zone. Le système de banquette Café-Flemengia est un résultat de la station d'Ilaka Est.

3.4.5.4. Les réalisations

Les systèmes proposés sont beaucoup plus simples que les jardins de case. Le reboisement est effectué avec des Eucalyptus et des pins. L'embroussaillement réussit bien avec le Grevillea banksii.

Les plantations de caféiers font appel à un matériel génétique plus productif, qu'on plante pur ou sous ombrage d'Albizzia. L'innovation est la recommandation des banquettes Flemengia-Café. Les lignes de caféiers sont bordés de rangées de Flemengia taillé régulièrement pour fournir des matériaux de paillage.

Pour l'aménagement des terrains de culture, on propose des haies antiérosives. Les espèces à proposer seraient nombreuses, mais faute de matériel végétal, de semences, on utilise essentiellement *Crotalaria grahamiana* et *Tephrosia vogelii*. L'Opération Savoka a mené des travaux de DRS, de mise en terrasse, de cultures maraîchères à Vavatenina et Kianjavato.

3.4.5.5. Les effets

Les jardins de case constituent une importante source de revenu et de subsistance pour la population. C'est, en plus du manioc produit ailleurs, ce qui permet de passer la période de soudure. Les habitants sont sensibles à l'amélioration des prix les décourage.

Les reboisements n'ont pas la faveur de la population - sauf à proximité des villes pour diverses raisons :

- les cyclones en déracinent souvent, on en éciment les arbres; de ce fait, on trouve peu d'arbres dans les jardins de case ;
 - il n'y a pas de marché, pas de transport;
 - ce qui reste de formation naturelle semble suffire aux besoins.

3.4.6. AGROFORESTERIE DANS LE NORD EST

La zone étudiée comprend les fivondronana de Mananara, Maroantsetra, Antalaha, Sambava, Andapa et une partie de Vohémar. Elle déborde donc sur la zone SAVA. La vanille fait la renommée de la zone, mais en plus il y a la production de café. La zone est humide et très chaude. La végétation forestière y est encore abondante quoique la dégradation par les Tavy se développe inexorablement.

Andapa est le grenier à riz de la partie Nord de la zone et Maroantsetra joue le même rôle pour le Sud.

3.4.6.1. Les actions entreprises et les acteurs

La vanille, produit vedette de la région est encadrée par de nombreux opérateurs depuis la recherche (FOFIFA - Station d'Antalaha), la culture, la commercialisation jusqu'à l'exportation. Il fut un temps où les planteurs de vanille se souciaient très peu des cultures vivrières pouvant satisfaire leurs besoins à partir des ventes de gousse. La chute du prix de la vanille a décuplé les surfaces défrichées pour la culture du riz de Tavy. Des phénomènes identiques ont été observés pour le café, surtout dans la région d'Andapa. La société d'aménagement de la plaine d'Andapa s'occupe surtout de la mise en valeur des 4000 ha de rizières et entreprend peu d'activités sur les hauteurs. SOAVOANIO est une société qui exploite 2500 ha de cocotiers dans la région de Sambava.

Le projet Masoala a pour objectif de protéger la forêt de la presqu'île de Masoala et de mener des actions de développement dans la région de Maroantsetra.

Le projet UNESCO-MAB de Mananara Nord vise la protection d'une réserve qui comporte également un parc marin et le développement de la population riveraine.

3.4.6.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

L'importance de la vanille et du café dans le Nord Est a donné à cette zone une orientation différente de la zone Est, alors qu'on trouve beaucoup de similitude dans les conditions physiques.

Pour implanter les champs de vanille et de caféiers, les agriculteurs procédaient à un défrichement sélectif de la forêt : on enlevait tous le sous-bois et on abattait quelques arbres pour éclaireir la voûte. Ceci fait, on procédait à la population.

Les cultures prenant de l'extension, on aménage les savoka à peu près de la même façon, laissant les arbres sur place. On plante alors les boutures de vanillier en même temps que leurs tuteurs - Gliricidia sepium et Jatropha sont les plus utilisés.

Il existe des jardins de case ou agroforêts et il y en a même plusieurs types. Le jardin de cour se situe aux alentours de l'habitation. Il est riche en fruitiers, en espèces vivrières et comporte d'autres espèces utiles, médicinales et autres (37 tasa appartenant à 23 familles et répartis en 45 individus sur une parcelle de 250 m²). Le jardin mixte. Il comporte de grands arbres (Albizia gummifera, Albizia stipulata et Nephelium lappaceum), un sous-étage de cultures de rente. Ils sont plus éloignés du village : canarium, Afzelia, Symphonia.

Moins traditionnel, ce modèle SOAVOANIO est un exemple de système agrosylvo-pastoral. Les terrains destinés aux plantations de cocotiers, anciennement occupés par une forêt littorale sont défrichés au bulldozer. Les arbres sont mis en andins et brûlés. Puis on procède à la plantation, à l'écartement de 7m x 7m. Lorsque les cocotiers sont bien implantés et les remplacements effectués, on procède à l'ensemencement d'une plante de couverture, le *pueraria*. Une fois celle-ci développée, les boeufs peuvent y entrer et partie paisiblement à l'ombre des cocotiers. L'usage de *pueraria* élimine les rondes des tracteurs destinés à sarcler la plantation et apporte de la matière organique et surtout de l'azote. Actuellement, SOAVOANIO exploite une usine de traitement du Coprah qui fournit la matière première pour plusieurs savonneries du pays.

3.4.6.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

Les systèmes café et vanille semblent être au point. Tout au plus penserait-on à proposer de nouvelles variétés (Station Vanille d'Antalaha) ou de nouvelles espèces d'ombrage. On pourrait ajouter les reboisements à la liste des propositions.

Eucalyptus microcorys	Bois d'oeuvre
E. citriodora	- " -
E. camaldulensis	Bois d'oeuvre, bois de chauffe
E. cloeziana	Bois d'oeuvre
E. robusta	Bois d'oeuvre, bois de chauffe, bois de service
	Bois d'oeuvre
Terminalia superba	- " -
Cedrella odorata	_ " -
Aucoumea klaineana	Arbre d'ombrage
Agathis	Embroussaillement
Araucaria cookii	Pirogue, Arbre d'ombrage
Albizia fulcata	
Grevillea banksii	
Enterolobium cydocarpum	

3.4.6.4. Les réalisations

Pas d'information

3.4.6.5. Les effets

Pas d'information

3.4.7. AGROFORESTERIE DANS LE VERSANT OCCIDENTAL DES HAUTES TERRES

Cette zone se situe à plus de 1000 m d'altitude, à l'Ouest de l'Ankaratra et se prolonge au Sud à l'Ouest de Fianarantsoa. Son climat est frais mais elle connaît une saison sèche de 4 à 6 mois. La zone est assez hétérogène car on y trouve des sols dérivés de volcanisme récent (Betafo), de roches calcaires (Ambatofinandrahana) et de gneiss. Une savane, faisant la transition entre la pseudo-steppe à l'Est et la savane à *Hyparhenia* à l'Ouest. Les sols sont relativement fertiles.

C'est une zone densément peuplée. En plus de la culture du riz sur bas-fonds, l'agriculture est diversifiée car on y produit du maïs, du manioc, de l'arachide, des haricots. Le caféier arabica semble y trouver une terre de prédilection.

Il n'y a plus de forêt naturelle dans la zone.

L'élevage était prédominant, il y a peine trois décennies mais avec l'accroissement démographique, les pâturages ont été progressivement convertis en terrains de culture.

La zone est une zone de transition mais c'est aussi une zone en transition, passant d'une économie pastorale d'une économie agricole.

3.4.7.1. Les actions entreprises et les acteurs

Les actions des différents projets de la zone sont assez bien circonscrites dans l'espace.

- FIFAMANOR
- Projet de développement intégré du Lac Itasy, PNUD-FAO
- Projet ODR-CIRAGRI Antsirabe dans la région de Betafo
- Projet ODR-CIRAGRI Ambositra dans la région de Soavina
- Projet LOVASOA-CIRAGRI Fianarantsoa dans la région Befeta et d'Ikalamavony
- Projet CVVB devenu Lazan'i Betsileo à Befeta (plus les viticulteurs privés)
- Projet FAO-BV Miarinarivo

Tout ceci démontre le potentiel élevé qu'on peut trouver dans la zone. Les principales spéculation concernées sont :

- la pomme de terre (Manalalondo, Betafo);
- le blé de contre saison ;
- l'élevage laitier;
- le café arabica;

- le maïs ;
- les fruitiers.

3.4.7.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

Les systèmes en culture pure (arbres exclus) dominent. Les ligneux trouvent une petite place dans les reboisements, les verges de fruitiers, les parcelles de caféiers. On trouve parfois des clôtures ou des haies.

3.4.7.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

Plusieurs espèces font leur apparition dont :

- Leucaena leucocephala
- Albizia stipulata
- Eucalyptus camaldulensis

Les systèmes testés par le projet FAO-BV comportent :

- les haies antiérosives constituées avec Tephrosia vogelii, Leucaena leucocephala, Vetiver zizanoides;
- les embroussaillements avec Grevillea banksii
- les reboisements avec Eucalyptus robusta, Eucalyptus camaldulensis, Pinus Kesiya;
- les jardins fruitiers avec les agrumes et les papayers.

Par ailleurs, on trouve des parcelles aménagées incluant Grevillea robusta (Befeta) caféiers sous ombrage d'Albizia stipulata (Isorana), des haies de Tithonia et de Flemengia congesta. D'autres espèces, telles Sesbania bispinosa, Sesbania sesban, Sesbania macrantha, Cajanus cajan sont utilisées en haies ou en jachère simultanée. Des techniques de compostage ou de paillage ont été testés à Isorana. Des nombreuses espèces fourragères s'adaptent dans la zone : Pennisetum, Centrosema, Desmodium, Pueraria, Brachiaria, Setaria, Chloris, Trifolium.

Tous ces éléments attendent de rentrer dans des systèmes agroforestiers adaptés.

3.4.7.4. Réalisations

On s'intéressera particulièrement aux réalisations de 3 sites : Miarinarivo, Befeta et Isorana.

A Miarinarivo le projet FAO-BV a pu reboiser des bassins versants dont le site de défrichement d'adduction d'eau pour la ville. Des embroussaillements ont été réalisés pour restaurer les pentes très degradées ; Des haies antiérosives ont été installées avec *Tephrosia* et un peu *Sesbania*.

A Befeta, Lovasoa a travaillé avec des dizaines de groupements paysans pour aménager des terrains de culture. L'aménagement comporte des dispositifs mécaniques, des haies pour la fixation des talus, des Jachères améliorées avec *Crotalaria grahamiana* et des compostières. Des reboisement ont été également effectués.

A Isorana, un projet mène des actions dans le cadre du système scolaire de l'Eglise catholique. On y effectue des reboisements et des plantations de café (en parcelles ou par banquette de *Flemengia*), les plants étant produits par des pépinières scolaires et vendus aux parents des élèves et à la population locale; Des éléments plus actifs de la communauté procèdent actuellement à la fabrication de compost à grande échelle (20 à 40 m³).

3.4.7.5. Les effets

Miarinarivo (comparé à Anjozorobe) et Befeta-Isorana (comparé à Mahasoabe) semblent moins réceptifs aux innovations. Ceci serait dû au fait que les problèmes traités et les solutions proposées les concernent moins. Les effets antiérosifs des systèmes appliqués sont visibles ; ceux sur la production le sont peut-être moins. L'augmentation des demandes de plants de caféiers à Isorana semble indiquer une recevabilité plus grande de cette activité.

3.4.8. AGROFORESTERIE POUR LE CENTRE OUEST

La zone concernée comprend surtout le pays BARA, le pays Tsimihety et l'Alaotra reliés par une bande étroite constitué aux moyen Ouest de province d'Antananarivo. L'altitude se situe ente 600 à 1000m. C'est une zone couverte par les savanes à *Hyparhenia*, en mélange avec *Heteropogon*, donc domaine traditionnel de l'élevage. C'est aussi une zone de plateaux avec des vallées plus ou moins encaissées, s'évasant parfois pour former des plaines. Les pentes sont généralement faibles ou moyennes sauf après la rupture de pente. Les feux de brousse y sont courants et il n'y a pratiquement plus de végétation ligneuse sauf en bordure des cours d'eau. Les activités agricoles se développent rapidement de sorte qu'on assiste à un phénomène de concurrence agriculture - élevage.

C'est une zone qui est marquée également par le processus d'érosion en lavaka. Les sols sont de bonne fertilité mais leur rétention en eau peut réduire leur potentiel de production.

3.4.8.1. Les Tas entreprises et les acteurs

Le lac Alaotra est le site privilégie des actions, suivi du Moyen Ouest. Quelques actions de développement ont touché la région de Befandriana à Mandritsara. La région d'Ihosy a peu bénéficiée.

• Au lac Alaotra : le Centre Agricole du Lac Alaotra (CALA/FOFIFA) poursuit les recherches entreprises depuis les années 30 (Station Agricole)

SOMALAC = aménagement de la plante PRD (programme de recherche Développement) Projet Vallées du Sud Est Projet Imamba Ivakaka Production laitière
Protection des bassins versants par les Eaux et Forêts
Vallée témoin = aménagement pilote d'Antandrokomby
Féculerie
ANAE

Au Moyen Ouest: La Sakay

PSE

SOMASAk

ODEMO

PDMO

Station de Kianjasoa

PEPA

PNM

Ferme d'Etat OMBY

Ambararatabe

Befandriana Mandritsara Bealanana
 Opération Befandriana Mandritsara
 FAFIMALAL

Pays BARA

3.4.8.2. Les systèmes agroforestiers traditionnels

"Pas d'arbres, pas d'agroforesterie" ! C'est ce qu'on pourrait dire de la zone. Tout au plus, trouve-t-on des clôtures vives avec *Jatropha curcas* et des manguiers dans quelques champs ou proches des habitations.

3.4.8.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

- a) Les études en arboretum ont fait ressortir l'adaptation des espèces de Eucalyptus camaldulensis, E.citriodora, E.maculata.de Acacia nilotica (Acacia arabica), Acacia galpini. Des études récentes ont conclu à l'adaptation de Gliricidia sepium, Acacia crassicarpa, Tephrosia vogelii, Calliandra calothyrsus, Leucaena leucocephala, Gmelina arborea, Ateleia herbert-smithii, Albizia lebbeck, Albizia stipulata, Grevillea banksii.
- b) Les Eucalyptus servent à la mise en place de parcelles de reboisement, *Grevillea banksii*, à l'embroussaillement. Le système TAUNGYA permet d'assurer la mise en place du boisement.
- c) Un système sylvo pastoral, constitué par des rangées de *Leucaena* introduites dans le pâturage naturel ou artificiel a été montré efficace. *Leucaena* peut être planté pour former un jardin fourrager.
- d) Les haies vives antiérosives à base de Tephrosia, Flemengia, Gliricidia, Leucaena, Ateleia, Calliandra peuvent être constituées.

- e) Les arbres d'ombrage pour les hommes et les animaux.
- f) Les espèces fourragères adaptées sont nombreuses = Pennisetum, Brachiaria, Chloris, Centrosema, Macroptilium, Mucuna, Desmodium

3.4.8.4. Les réalisations

Au lac Alaotra

D'importants travaux de reboisements ont été réalisés soit régie par les Eaux et Forêts soit par les paysans dans les "Zone de Gestions Concertée" de l'Imamba Ivakaka et sur d'autres périmètres de reboisement. Ces actions se basent sur la stabilisation du foncier acquise par consensus au sein de la population. Des unités de production de plants (pépinières privées) ont été initiées. Des aménagements antiérosifs ont été réalisés en plusieurs endroits, permettant de sédentariser l'agriculture. L'intégration de l'arbre n'est en qu'à ses débuts. Les dispositifs mécaniques subsistent encore 40 ans après leur installation.

Au Moyen Ouest

Les aménagements de la Sakay ont été à l'origine d'une activité agricole intense, basée surtout sur la transformation des produits par l'élevage bovin et porcin. Toute une infrastructure d'approvisionnement et de commercialisation appuyait les agriculteurs professionnalisées. Des reboisements ont été entrepris, utilisant surtout l'Eucalyptus.

Actuellement, les techniques agroforestières sont en cours d'expérimentation-diffusion chez les paysans.

Dans le Moyen Ouest de Fianarantsoa (Ikalamavony), le paquet technique proposé n'a pas reçu une totale adhésion des agriculteurs. La bonne fertilité relative du milieu rendait probablement le système superflu, qu'il s'agisse d'amélioration des terres cultivées où d'amélioration des parcours. A ceci s'ajoute les grandes surfaces mises en valeur qui demandent une approche différente de ce qui est appliqué dans les zones de petite exploitation.

3.4.8.5. Les effets

De véritables systèmes agroforestiers ne sont pas encore mis en place, aussi est-il difficile d'indiquer des effets. Malgré ceci, on peut retenir les conclusions de Tassin :

- La bonne rémanence des aménagements mécaniques, aussi bien au niveau des terrains de culture que des lavaka traités.
- La faible pérennité des méthodes biologiques (lignes de *Pennisetum*, boisements détruits par les feux).
- La baisse progressive de la fertilité sur les parcelles aménagées, à l'exception de certaines localités où la fumure organique des Tanety est garantie par une solide tradition de l'intégration de l'élevage à l'agriculture.

Du côté de Tsiroanomandidy, l'enrichissement des pâturages naturels avec Stylosanthes gayanensis, était considérée comme une opération réussie avant que l'anthracnose n'élimine jusqu'au dernier pied de la légumineuse.

3.4.9. AGROFORESTERIE POUR L'OUEST ET LE NORD OUEST

Il s'agit essentiellement du MENABE et du BOINA qui pourraient constituer deux sous-zones si l'on tient compte de la hauteur pluviométrique. On maintiendra l'idée d'une zone pour marquer les hautes températures qui peuvent gêner l'installation des arbres et influencer leurs fonctions dans un système agroforestier.

Un autre facteur commun est la dominance de la savane à *Heteropogon*. C'est une zone d'élevage extensif, avec les feux de brousse comme corollaire. La saison sèche dure entre 6 et 8 mois.

La forêt subsiste essentiellement sur terrasses alluvionnaires. Ailleurs, on peut trouver des arbres éparpillés et des satrana (*Hyphaene shaton*).

3.4.9.1. Les actions entreprises et les acteurs

Quelques opérateurs interviennent dans la région. A Morondava, on trouve le projet "Sauvegarde et Aménagement des forêts - SAF-CO qui s'occupe de la valorisation des "mouka" (terrains anciennement défrichés) et de l'appui au développement communautaire.

A Port Bergé, opère l'Opération pour le Développement Agricole Intégré ODAI. La protection de la réserve d'Ankarafantsika où des recherches zootechniques et agrostologiques sont menées. Une collection de manguiers se trouve à Mangatsa.

L'orangeraie de Bezezika à Morondava/Arboretum de Marofandilia, Tsaramandroso. Le système le plus répandu est le verger de manguier, arbre d'ombrage par excellence dans la zone. Le tamarinier est également maintenu pour l'ombrage et les fruits.

3.4.9.2. Système agroforestiers traditionnels pour la zone

Les arbres d'ombrage sont un élément permanent du paysage : Tamarindus indica, Mangifera indica, Albizia lebbek, etc...

Les verges de fruitiers occupent aussi des superficies importantes, comportant surtout des manguiers et des anacardiers, quelques agrumes et d'autres espèces.

Le pâturage sous couvert arboré ou arbustif semble important.

3.4.9.3. Les systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

A Morondava, le SAFCO a travaillé sur la sélection d'espèces adaptées à la zone. Quelques espèces seulement peuvent être considérées pour la diffusion:

Carica papaya	- Leucaena leucocephala	- Coloillea racemisa (A)
Dolichos lablab	- Acacia albida	- Delonix (Malamasafoy) (A)
Jathropha curcas	- Eucalyptus camaldulensis	- Gmelina arborea
Melia azedarach	Albizia lebbeck	Mangifera indica
Sesbania rostrata	- Anacardium occidentale	- Moringa oleifera
		- Atelier herbert smithii
	Azadirachata indica	- Mucuna sp
	Citrus lemon (makera)	- Prosopis chilensis
	Citrus sinensis (Loranjy)	-Tamarindus indica
		- Gliricidia sepium
]	- Acacia arabica
	·	Acacia galpini

Au Nord Ouest, plusieurs de ces espèces ressortent aussi des expérimentations. Ajoutons : Eucalyptus camaldulensis, Citriodora, Khaya senegalensis, Cassia siamea, Acacia arabica peut permettre d'embroussailler les friches et de constituer des haies vives ou mortes. Il produit aussi un charbon de bois de qualité. Enfin, il peut avoir un intérêt comme arbre fourrager pour les bovins (feuilles, rameaux et gousses).

Compte tenu des conditions écologiques, une différentiation en fonction de la profondeur de la nappe phréatique doit être forte.

3.4.9.4. Les réalisations

(Pas de données disponibles)

3.4.9.5. Les effets

(Pas de données disponibles)

3.4.10. AGROFORESTERIE POUR LE SUD ET LE SUD OUEST.

Ce sont le pays Mahafaly et l'Androy, jouissant d'un climat sub-semi-humide. Il pleut rarement plus de 10 jours/mois et la saison sèche dure 8 mois. C'est une zone variée avec ses plateaux calcaires, ses plaines sédimentaires (sables roux) et sa pénéplaine cristalline. Les sols sont riches mais peu profonds. Le manque d'eau se fait sentir aussi bien pour les hommes que pour les animaux et les plantes. Mais c'est une zone où l'on trouve

beaucoup d'arbres et où le pâturage arbustif est important pour les troupeaux de zébus, de moutons et de chèvres.

3.4.10.1. Les actions entreprises et les acteurs

Le principal opérateur est le Comité pour le Développement Intégré du Sud (CDIS)

3.4.10.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

a) - Le pâturage en forêt (système sylvo-pastoral) constitue l'originalité de la zone. Poupon a effectué une étude qui indique que les boeufs broutent 86 végétaux ligneux sur 179, les moutons 107 et les chèvres 128.

Hazonosy

Peha

Kily - Tamarindus indica

Maropototse

Lamoty - Flacourtia ramontchii

Sitsitsy

Mozohy - Euphorbia stenvelada

Roikova

Hazontaha

Famille	Nb espèces	Boeufs	Mouton	Chèvres
Pappilionnacées	33	20	25	29
Mimosées				
Zygophyllacées	3			
Solonacées	3			k
Meliacées	7	4	5	5
Buservacées				
Composées]	

L'émondage se pratique couramment.

Poupon conclut : "Quoiqu'il en soit, seules les arbres et les autres végétaux ligneux permettent à des milliers d'animaux de subsister, pendant 8 à 9 mois de l'année, et s'ils disparaissent, le pays se viderait de ses habitants" (-1957).

- b) Les vala (clôtures). Il s'agit de clôtures vivantes installées autour des champs de culture. On les réalise avec des agaves (sisal), des raketa (opuntia) *Parkinsonia aculeata*, *Jatropha curcas*, etc. Les arbres d'ombrage sont fréquents : *Tamarindus indica*, Manguier, Taindelokarana, Badamiers.
- c) Sortant un peu du cadre agroforestier proprement dit, mentionnons que cette région est très riche en espèces médicinales qui sont utilisées dans tout Madagascar.

3.4.10.3. Systèmes agroforestiers pour la zone

Il y a peu de propositions pour cette zone.

En matière d'espèces ligneuses, on peut tirer une liste de l'Inventaire des Ressources Ligneuses (1990).

Eucalyptus camaldulensis = bois de feu, bois de service

Acacia galpini

= bois d'oeuvre, bois de feu

Acacia raddiana

= construction, clôture, fourrage, combustible

Faidherbia albida

= clôture, fourrage, amélioration du sol

Acacia nilotica

= construction, bois de feu, clôture

Eucalyptus citriodora = bois d'oeuvre

Tamarindus indica

Leucaena leucocephala

Azadirachta indica

en matière d'espèces fourragères,

Opuntia indica

Cenchrus ciliaris

Stylosanthes humilis

3.4.10.4. Réalisations

En dehors des parcelles expérimentales, on connaît peu de chose sur les activités dans la zone. Le reboisement de Vineta-Andranovory constitue un massif forestier assez conséquent, mais il est régulièrement parcouru par les feux de brousse.

Les travaux effectués à la Taheza ont une vie en dent de scie : bonne implantation des espèces pendant les phases de financement - disparition des arbres et des dispositifs après l'arrêt des interventions. Aussi ne peut-on en tirer aucune conclusion.

3.4.10.5. Les effets

(Pas de données disponibles).

3.4.11. AGROFORESTERIE POUR LA ZONE DE L'ANDROY SEDIMENTAIRE

Il s'agit du bassin d'Ambovombe. Le climat semi-aride est accentuée par l'irrégularité et concentration des pluies en quelques phénomènes orageux. L'agriculture est pourtant développé (patate douce, manioc, maïs, sorgho, arachide) mais les risques d'échec des cultures sont élevés. L'élevage est important même si les troupeaux doivent régulièrement parcourir des kilomètres pour s'abreuver. La allandia spp sont les espèces endémiques. L'exploitation du sisal dans quelques grandes concessions constitue le particularité agro-industrielle de la zone.

Les vents violents du Sud-Est provoquent une érosion éolienne importante.

3.4.11.1. Les actions entreprises et les acteurs

Le Commissariat pour le Développement intégré du Sud (CDIS) coordonne les actions menées dans la zone depuis 1990. Mais auparavant plusieurs projets et Opérations s'y sont succédés :

- L'Opération Androy, chargé de la vulgarisation agricole et animale ;
- Les Eaux et Forêts, qui ont encadré la mise en place de brise vents ;
- FAFIMALAL, projet de développement de l'élevage.

3.4.11.2. Systèmes agroforestiers traditionnels

Les vala (clôtures et haies vives) existent partout et se développent en permanence. Leur objectif est de servir de brise-vent et d'empêcher le bétail d'entrer dans les cultures. L'espèce Opuntia *ficus-indica*, espèce dominante des vala, sert aussi de fourrage et les fruits sont consommés. C'est une véritable espèce à usage multiple...

Récemment, ces clôtures ont intégré Leucaena leucocephala qui est utilisé pour le fourrage et pour le bois.

3.4.11.3. Systèmes agroforestiers mis au point pour la zone

On parlera surtout de deux techniques = les brise-vent et le pâturage d'Atriplex. Les reboisements domaniaux ont été entrepris à grand coup de tam-tam mais il faut se rendre à l'évidence que ce type d'activité ne peut être que secondaire. Des brise-vent ont été installés, constitués par un ou plusieurs rangs de plantation. Avec l'expérience, un système a été adopté comportant un brise-vent principal et deux brise-vent secondaires et ainsi de suite. Le brise vent principal comprend quatre ou 5 lignes d'arbres.

Cajanus cajan - Casuarina - Acacia arabica - Acacia arabica ou 4 lignes de Casuarina

Les brise-vent secondaires comportent 3 lignes d'Acacia arabica 10 m laissé libre de culture de côté sous le vent.

Ce système a correctement fonctionné. Plus tard, la population a demandé la plantation d'Eucalyptus. Des brise-vent à une ou deux lignes d'Eucalyptus camaldulensis ont été réalisés.

L'Atriplex a été introduit à Ambovombe. Des variétés se sont bien adaptées et ont servi à nourrir le troupeau du Centre Pépinière de reproduction.

3.4.11.4. Réalisations

Des centaines d'hectares ont été protégés avec des brise-vent à Sampona, Erakoky, Ambondro, Elanja. La surface totale aménageable est estimée à 3000 km².

Les Atriplex sont restés dans la station du CPR d'Ambovombe.

3.4.11.5. Les effets

Il est bon de rappeler qu'en principe, les brise-vent sont plus efficaces en années très sèches (Production multipliée par 2 à 5), qu'en année, modérément sèches (facteurs de 1,5 à 2). En année moyenne, il n'y a pas de différence avec la production d'un terrain non protégée.

Les première brise-vent étaient trop rapprochés et les paysans se sont plaint de la réduction de la surface utile. Lorsque la distance optimale fut adoptée, on a assisté à une véritable ruée vers la mise en valeur.

L'introduction de l'Eucalyptus peut être considérée comme une erreur, car il a un effet ralentisseur moindre et puis, les arbres sont souvent coupés pour le bois.

BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR



PRATIQUES AGRONOMIQUES A LA PARCELLE ET SYSTEMES DE CULTURE

par:

- Jacqueline RAKOTOARISOA FOFIFA / DRR
- Jacques ARRIVETS
 CIRAD CA
- Roger MICHELLON CIRAD CA

Mars 1997

3.5. PRATIQUES AGRONOMIQUES A LA PARCELLE ET SYSTEME DE CULTURE

3.5.1. ENTRETIEN DE LA FERTILITE CHIMIQUE : FERTILISATION ET AMENDEMENT.

3.5.1.1. Présentation cadre et limite du texte

3.5.1.1.1. Présentation

Il ne s'agit pas de faire la synthèse exhaustive des résultats de toutes les études de fertilisation sur les cultures annuelles conduites sur l'ensemble de Madagascar, mais d'"illustrer" sur des exemples caractéristiques l'essentiel de ce qui s'en détache en relation avec la conservation des sols¹.

3.5.1.1.2. L'érosion

Les risques d'érosions dépendent à la fois des caractéristiques du climat (exprimées par le coefficient R (agressivité des pluies) de l'équation universelle de Wishmeyer et de celles du sol exprimées par les facteurs K (sensibilité à l'érosion) et LS (facteurs topographiques) de cette équation de Wishmeyer - voir encadré n° 1.

L'étude de ces risques peut donc être placée dans un cadre écorégional limité aux facteurs du milieu physique défini par un type de sol et un climat.

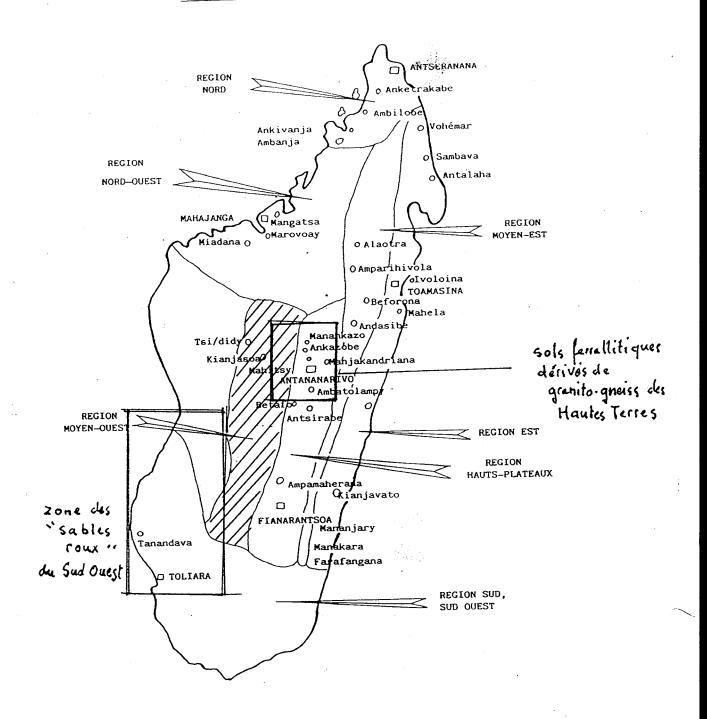
Très grossièrement, Madagascar sera divisé en deux ensembles climatiques très différents quant à leurs bilans hydriques.

- zones humides (per à subhumide) correspondant au versant Est de l'île (au vent des alizés) aux Hautes Terres, et au grand bassin sédimentaire du Nord-Ouest (soumis à un régime de mousson);
- zones sèches (subarides à très arides) correspondant au grand bassin sédimentaire du Sud-Ouest, et au Sud.

Dans le premier cas, les précipitations pendant la saison des pluies, dont la durée est supérieure ou égale à six mois (sauf exceptions), sont très excédentaires par rapport aux besoins des cultures; et, quand le ruissellement est limité ou maîtrisé, le drainage en profondeur est important. Les sols correspondant, ferrallitiques en règle générale sont plus ou moins désaturés, pauvres, mais ont une bonne structure, favorable à l'infiltration des eaux pluviales, donc au drainage en profondeur, plus qu'au ruissellement, d'où finalement à la lixiviation (érosion chimique) plus qu'à l'érosion de surface.

Dans le deuxième cas, les précipitations pendant la saison des pluies, d'une durée de 4 à 5 mois (sauf exception) sont, en moyennes saisonnières, inférieures ou égales aux besoins des cultures, et le drainage en profondeur est donc faible. Les sols correspondants, ferrugineux tropicaux en règle générale, sont assez pauvres en matière organique; une fois détruite leur structure fragile ils deviennent peu perméables, ce qui favorise le ruissellement et donc l'érosion hydrique.

¹ Rappel du plan de la synthèse générale en annexe



Carte 1 Situation des deux zones traitées Sud Ouest et Hautes Terres région de Tananarive

En tenant compte de l'importance et de la qualité des études de fertilisation faites dans les différentes régions, parallèlement ou non à des études sur les risques d'érosion un exemple type a été retenu pour chacune de ces deux situations :

- les sols ferrallitiques très désaturés des Hautes Terres Centrales, où l'on peut se rattacher aux études d'érosion de Manankazo, Ambatomainty...

- les "sables roux" du Sud-Ouest avec pour références sur l'érosion les études sur le bassin de la Taheza et à Ankazoabo.

Entre ces deux cas extrêmes, les plus difficiles à gérer pour le développement de l'agriculture pluviale, des situations intermédiaires mérite(raie)nt d'être traitées, au moins celle du Moyen-Ouest où les sols sont moins pauvres, la pluviométrie plus "tempérée" et le "potentiel de production" est le plus favorable. Ce cas est traité également.

3.5.1.1.3. Considérations sur les rapports entre la fertilité et l'érosion.

Les liens entre les deux phénomènes ne sautent pas aux yeux, il n'existe pas de références d'études ou d'expérimentation avec des résultats quantifiés, traitant de l'influence de la fumure sur l'érosion. Néanmoins des liaisons existent, mais les rapports de cause à effet ne sont pas directs, dans un sens (fertilité sur érosion) ou l'autre (érosion sur fertilité).

On peut considérer que l'effet de la fumure est inclus dans le coefficient C, très "intégrateur" de l'équation de Wishmeyer - voir encadré 1 - Ce coefficient C qui caractérise le couvert, soit naturel soit artificiel (culture) englobe tous les aspects de ce couvert :

- densité : efficacité contre l'effet "splash" des pluies, et/ou pour freiner le ruissellement
- permanence : en particulier pendant la saison des pluies, qui dépend de la culture et même de la longueur de cycle de la variété retenue.

La fertilité du sol, donc la fumure, joue aux deux niveaux, en favorisant l'installation rapide du couvert de la culture et sa densité par la suite.

Cette "analyse" montre surtout combien il est artificiel d'isoler l'effet du facteur fumure de ceux des autres facteurs : travail du sol, date de semis, longueur de cycle de culture, cultures associées ou en relais, mode de gestion des résidus de récolte (enlevés ou laissés en surface, ou enfouis...), rotations finalement et même système de production. Il paraît en particulier bien difficile de dissocier : fumure minérale, fumure organique, mode de gestion des résidus de récolte et usage d'engrais (comme leur nom l'indique) verts, recours aux jachères...

Pour être simple, disons que la lutte contre l'érosion et la fumure sont deux aspects complémentaires, qui devraient être indissociables, de la gestion de la fertilité. L'érosion enlève au sol sa partie la plus fertile. On imagine mal l'utilisation d'engrais, dispendieux, sur des sols qui ne seraient pas protégés contre l'érosion. Réciproquement on ne conçoit pas l'utilité d'aménagements antiérosifs "coûteux" sur des terres agricoles qui ne soient pas exploitées de façon intensive, donc avec utilisation d'engrais.

Le risque d'érosion et l'efficacité de la fumure sont l'un et l'autre très dépendants de la pluviosité, de ses excès ou insuffisances, saisonnières ou momentanées. Une bonne alimentation hydrique est indispensable pour que les engrais soient rentables, par contre les excès de précipitations seront néfastes car :

- les engrais sont, en général, peu efficaces sur des sols très érodés ;
- les pertes par lixiviation peuvent être importantes.

Les divers types d'aménagements antiérosifs ont pour premier objectif de limiter et/ou freiner le ruissellement, favorisant l'infiltration de l'eau, en admettant qu'ils ne suffisent pas, et que l'on doit leur associer des techniques culturales complémentaires : augmentation de la capacité de rétention en eau sur une plus grande épaisseur... Les conséquences varient avec le type de climat ; dans les cas extrêmes :

- en zone sèche : les excès ponctuels de précipitations seront infiltrés et stockés dans le sol dans la mesure du possible pour être réutilisés par les cultures en période déficitaire : les irrégularités de l'alimentation hydrique de la plante sont tamponnées ;
- en zone humide : les excès saisonniers sont systématiques donc non stockables, ruissellement et/ou drainage profond sont inévitables, il faut les gérer, de façon conjointe : la diminution du ruissellement ne peut se traduire que par une augmentation du drainage. On reviendra par la suite sur cette question.

3.5.1.1.4. Les différentes étapes des études sur la fertilisation à Madagascar, les démarches correspondantes et leurs principaux résultats.

Madagascar reste un pays rizicole, surtout sur les Hautes Terres. Les cultures pluviales n'ont commencé à se développer que lorsque les surfaces à vocation rizicole (les bas-fonds) sont devenus insuffisants par rapport à la croissance démographique, vers 1960 dans les zones les plus peuplées des Hautes Terres, un peu plus tôt dans le Sud-Ouest.

Très longtemps la recherche agronomique ne s'est vraiment intéressée qu'à l'aménagement des rizières, l'amélioration de la culture du riz, et "marginalement" dans les deux sens du terme aux cultures de baiboho, alluvions-colluvions en bordure des rizières, dont le régime hydrologique n'est pas strictement pluvial. Les terrains exondés, aptes aux seules cultures pluviales (1), ont été sur les Hauts Plateaux longtemps considérés comme stériles, impropres à l'agriculture, ne convenant guère qu'à leur utilisation traditionnelle de parcours très extensif pour les bovins, parcours "régénérés" tous les ans par des feux de brousse. A un moindre degré, on pensait la même chose des sables roux du Sud-Ouest.

On peut distinguer, par commodité, trois ou quatre étapes suivant la région dans les études sur la fertilisation et la gestion de la fertilité.

I. AVANT 1960

Il n'existait alors pas de programme de développement des cultures annuelles pluviales, soit de rente⁽¹⁾ comme le coton et l'arachide, sont à plus forte raison vivrières.

Les cultures strictement pluviales traditionnelles sont marginales (en petit paysannat), et de toute façon ne reçoivent pas d'engrais minéraux.

Les paysans ne disposent que de très peu de fumier type "poudrette de parc" qu'ils réservent de préférence pour leurs pépinières de riz. Exceptionnellement, dans certaines régions

¹¹ Excéption du manioc, pour les féculeries, avec fumure organique.

Encadré 1. L'équation⁽¹⁾ des risques de perte en terre de Wishmeyer.

Universal Soil Loss Equation (USLE)
Wishmeyer & Smith, 1978

A = R * K * L * S * L * P

A = quantité de sol perdue par érosion, en t/ha/an

R (ou El30) = coefficient pluviométrique/ruissellement

K = coefficient érodibilité du sol

L.S. = coefficient topographie (L = longueur, S = pente)

C = coefficient couvert végétal & techniques culturales

P = coefficient aménagement antiérosif

Encadré 2. Bilan hydrique sol/culture (pour une période de temps donnée)

H + I = R + D + ETR + I - DS

H = pluviométrie l = irrigation

R = ruissellement D = drainage profond

ETR = évapotranspiration réelle (effective) du couvert

+/- DS = variation du stock d'eau du sol

^{1.} Naguère à la mode, qui vaut ce qu'elle vaut mais garde au moins l'intérêt de faciliter la présentation du problème.

des Hautes Terres, il peut être utilisé à très faible dose (de l'ordre de 5 t de "poudrette" /ha) à raison d'une poignée par poquet de maïs + haricot ou manioc + haricot.²

Dans la région de Tananarive les premiers essais, avec surtout le maïs comme plante test, ne furent pas concluants (Carré, 1961), car n'imaginant pas le degré extrême de pauvreté des tanety, on ne savait pas qu'il fallait apporter tous les éléments à la fois (P, K, Ca, Mg, plus au besoin des oligo-éléments, et bien sûr de l'azote pour les céréales) pour avoir une réponse appréciable.

Les fumures strictement minérales testées étaient toutes incomplètes, c'est-à-dire qu'il y manquait un élément ou un autre, et les rendements obtenus furent toujours décevants; conformément à la "loi du premier facteur limitant" l'absence d'un seul des éléments bloquait l'action des autres

Les essais de fumure strictement organique ne furent guère plus encourageants sur les cultures vraiment annuelles ³, à cause de la pauvreté de la poudrette, en particulier pour l'azote, liée à son mode de (non) fabrication. Les formules mixtes, organo-minérales, donnèrent des résultats plus prometteurs, bien que pas entièrement satisfaisants car les "formules" ou "équilibres" testés n'étaient pas "logiquement" déterminés, en fonction de la pauvreté exceptionnelle du sol et de la poudrette.

Dans l'Ouest malgache, la première culture annuelle à faire l'objet d'une véritable recherche, après le riz, fut le coton avec l'implantation de l'IRCT dans les années 50 ; les premières années furent en pratique entièrement consacrées à résoudre les nombreux problèmes phytosanitaires qui se posaient. En ce qui concerne les études sur les itinéraires techniques et en particulier la fertilisation, l'IRCT bénéficiait au départ de son expérience dans les régions soudano-sahéliennes d'Afrique, dans un "éco milieu" analogue, du moins pour les cultures sèches. Comme il était de règle dans cet Institut, dans le domaine de l'agronomie, les travaux de recherche appliquée en accompagnement du développement concret de la culture étaient prioritaires ; ce développement n'a vraiment eu lieu qu'au cours de la décennie suivante, années 60, en priorité sous forme de culture intensive, de décrue dans le Nord-Ouest, irriguée dans le Sud-Ouest (Berger, 1987).

II. PÉRIODE POSTINDÉPENDANCE 1960-73.

».

Durant cette période le nouvel Etat malgache a provisoirement confié l'encadrement de ses services de recherche agronomique aux Instituts français, en ce qui nous intéresse ici l'IRCT déjà en place et l'IRAT via l'IRAM créé en 1960.

Sur les Hautes Terres, l'IRAM, tout au déut des années 60, a confirmé l'efficacité d'une fumure organo-minérale modeste⁽²⁾ permettant d'obtenir des rendements conséquents : environ 3 t maïs/ha sur les tanety. Puis l'IRAM s'est surtout attaché à démontrer les possibilités d'intensifier la production de ces tanety avec une fumure strictement minérale. La démarche adoptée fut celle de la "méthode Chaminade" avec le maïs comme plante test - voir encadré - comme dans toutes les agences de l'IRAT de l'époque. Il fut démontré que les sols des tanety pouvaient produire 8 t de maïs grains/ha et plus de 50 t de racines de manioc/ha avec une fumure strictement minérale suffisante et équilibrée dans laquelle on distinguait :

¹ Poudrette ou poudrette de parc: résidus des déjections accumulées dans les parcs où sont enfermés les boeufs pendant la nuit

² Le cas du manioc est différent par son cycle de 24 mois, au moins, sur les Hautes Terres, donc l'étalement de ses « besoins », et les doses très fortes utilisées; dans les exploitations coloniales agroindustrielles on disait: « 1 tonne de fumier pour une tonne de manioc en plus

Encadré nº 3

Méthode Chaminade : études de fertilisation

Elle comporte deux phases :

- 1. En serre ou en laboratoire : le diagnostic des principales carences minérales du sol : P, K, Ca, Mg... par la technique des vases de végétation (non adaptée au cas de la fumure azotée).
- 2. Dans des essais "au champ" dits "courbes de réponse" l'étude de la réponse d'une culture test (le maïs à Madagascar) à des doses croissantes d'un élément, identifié comme déficient dans les vases de végétation, en apportant tous les autres éléments y compris des oligo-éléments à forte dose (par prudence, pas d'autre facteur limitant⁽¹⁾ engrais).

Elle permet de déterminer :

- 1. Le potentiel de rendement du milieu, sol-climat, avec une fertilisation minérale non limitante pour une culture et des techniques culturales données.
- 2. Les doses des différents engrais avec lesquelles on obtient environ 80 % du rendement potentiel (au-delà la productivité risque d'être insuffisante⁽²⁾).
- C. Roche, J. Velly et J. Celton, 1967. Cheminement expérimental : méthode de suivi pour l'étude du redressement de la fertilité en rizière et en cultures sèches à Madagascar.
- J. Velly, J. Celton, P. Roche, 1967. Fertilisation de redressement de la fertilité en rizière et en cultures sèches.

^{1.} Loi du premier facteur limitant.

^{2.} Loi des rendements moins que proportionnels.

- sur défriche : une forte fumure de redressement ¹, pour corriger les carences générales du sol, et permettre ensuite aux cultures d'exprimer 80 % de leur potentiel de production sous ce climat ;

- des fumures d'entretien annuelles, variables selon les cultures ², destinées à compenser les exportations par les plantes et les différentes pertes (immobilisation,

lixiviation...).3

Les pertes par érosion étaient à priori et par principe supposées nulles ou négligeables car les chercheurs de l'IRAM, comme les "développeurs" de l'époque (GOPR, projet Sakay dans le Moyen-Ouest) estimaient que les aménagements antiérosifs étaient le corollaire indispensable à la mise en valeur des sols avec fumure de redressement. Les deux opérations : aménagements antiérosifs et fumure de redressement étaient considérés toutes deux comme des investissements fonciers, à long terme, auxquels l'Etat devait participer, au même titre qu'il préfinançait les aménagements hydroagricoles dans le cadre de la riziculture. Cette prise en charge, partielle et provisoire peut être, de la fumure de redressement par l'Etat paraissait d'autant plus justifié que tous les résultats d'essais montraient qu'avec des fumures minérales, quelles que soient les doses d'apport initial, les rendements étaient très faibles la première année sur défriche, et encore très médiocre en seconde année. On parlait d'"effet défriche" sans en comprendre le mécanisme.

Pendant cette période les études sur l'érosion étaient méthodiquement poursuivies par le CTFT tant au niveau parcelle élémentaire que bassin-versant (au Nord/Nord-Est d'Ankazobe). Le site le plus significatif pour les Hautes Terres étant celui de Manankazo.

Durant les années 60 et début 70, les chercheurs, comme auparavant, ne traitaient pas directement avec les paysans; l'expérimentation était conduite en milieu contrôlé, en station, dans des conditions pas toujours représentatives de la réalité paysanne; mais les chercheurs dialoguant effectivement avec les responsables d'opérations de vulgarisation-développement importants comme le GOPR, le projet Moyen-Ouest Sakay..., les résultats fournis par la recherche, plus ou moins adaptés par le développement commençaient à être testés chez les paysans.

Dans le Sud-Ouest, l'IRAM entreprit l'étude des possibilités de développement des cultures vivrières ⁴ sur les sables roux :

- d'abord dans la zone d'Ankazoabo, en suivant la même " démarche Chaminade ", de 1963 à 1968 ;
- plus tard l'expérimentation fut reprise, avec toujours la même démarche sur les sables roux de la zone d'Andranovory (période 1971-1976);
- ainsi que sur les sables roux de la région de Morondava, dans le cadre du projet SODEMO (période 1970-1989).

Faute de véritable relais avec le paysannat les résultats obtenus dans le Sud-Ouest sur la fumure des cultures vivrières (céréales, arachides...) très similaires à ceux que l'on connaissait en zone soudano-sahélienne (déficience principale : le phosphore corrigé par un apport de $30\text{-}40~\text{kg}~\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, nécessité d'une fumure azotée modérée sur céréales...), ne furent pas vulgarisés.

Les travaux de l'IRCT, pendant la même période dans le Sud-Ouest, portèrent sur la mise au point des itinéraires techniques d'une monoculture intensive du coton :

¹ Fumure de redressement: 400 kg P205 + 2 T de Dolomie:ha

² Fumure d'entretien pour le maïs: 160N-90 P205 - 90 à100 K2O et 300à400 kg de Dolomie.

- en culture irriguée (Samangoky, Bas-Fiherenena) en priorité ;

- en culture pluviale progressivement mais sur les meilleurs sols de la région, comme c'était l'usage général, du tandem CFDT-IRCT. Ces sols : vertisols ou sables roux hydromorphes, sont systématiquement situés en zone dépressionnaire, ou basse (comme les précédents : périmètres irrigués) donc peu sujets à l'érosion mais au contraire pouvant être enrichis par l'érosion des terrains qui les surplombent. ¹Curieusement c'est seulement sur des sols irrigués, dans le périmètre de la Samangoky, que l'on a effectivement signalé de l'érosion.

Les résultats de l'IRCT étaient vulgarisés, passés à l'épreuve du paysannat, par les

compagnies cotonnières.

Il faut constater que quelle que soit la fumure ou le mode de travail du sol et malgré l'irrigation, les rendements du coton en culture continue sur le périmètre irrigué de la Samangoky, chutaient progressivement mais irrémédiablement en dessous du seuil de rentabilité de la culture, assez élevé (2,7 t/ha) compte tenu des charges fixes liées à l'irrigation et aux traitements phytosanitaires. Une solution fut découverte et préconisée: interrompre tous les 3 à 4 ans la monoculture de coton par une sole d'antaka (Dolichos lablab) d'un ou deux ans.

III. PÉRIODE 1974-1981

La "révolution" politique de 1972 s'est traduite sur le plan de la recherche agronomique par la création du SNRA malgache, le FOFIFA qui regroupa les attributions des anciennes organisations autonomes (culture vivrières, coton, élevage, forêt...) reproduisant le modèle d'organisation des Instituts français. Le rôle de ces derniers à Madagascar a été parallèlement sensiblement réduit et une bonne partie de ses chercheurs, en particulier des agronomes, fut rapatriée. Le retrait commença dans les provinces : il ne restait plus d'agronome IRAT ou IRCT dans le Sud-Ouest dans le cadre du FOFIFA à partir de 1975 ²

Les travaux en "agronomie" dans le Sud-Ouest à partir de 1973 n'ont été que la poursuite "sur la lancée" des travaux de la période précédente, et ne méritent pas d'en être différenciés lors de leur présentation.

La situation fut tout autre sur les Hautes Terres où l'IRAT laissa un certain nombre de chercheurs détachés au FOFIFA à Tananarive. Les travaux sur la fertilisation se poursuivirent dans une nouvelle direction, justifiée par l'explosion du prix des engrais minéraux consécutive à la première crise pétrolière en 1972-73. Le FOFIFA chercha des solutions économes en engrais importés utilisant au maximum les ressources locales (dolomie, phosphates) ou universelles (comme le fumier ou les résidus de récoltes).

Les études sur les pertes par lixiviation des apports d'engrais en fumure strictement minérale, envisagées dès 1972 (avec construction des premiers lysimètres) furent parallèlement intensifiées.

Les principaux résultats obtenus à cette époque montrent que :

- il est possible de mettre progressivement ces sols en valeur (avec fumure strictement l'on continue parfois à dire) de blocage du phosphore soluble apporté dans ces sols ;
- une autre possibilité, plus adaptée peut-être, consiste à n'utiliser les engrais minéraux avec des apports d'engrais minéraux modestes;

² Une excéption: L'IRAT à Morondava (contrat direct avvec la SODEMO)

- les pertes par lixiviation sous culture avec des fumures de l'ordre 90 N - 42 P₂ - 60 K₂O étaient très modérées en année moyenne si l'on veillait à maintenir un système racinaire fonctionnel et suffisamment profond pendant la plus grande partie possible de la saison des pluies. Cette dernière condition, entièrement respectée dans le cas des prairies pérennes, est approchée dans le cas des cultures annuelles semées précocement dont le cycle correspond à la durée de la saison des pluies (maïs vulgarisé par l'IRAM puis le FOFIFA).

Par ailleurs, aucune amélioration n'a pu être apportée pendant cette période au problème de l'acidité des sols et sa gestion en fumure strictement minérale par un amendement calco-magnésium, coûteux "au départ", relayé par des apports annuels systématiques. Il ne fut pas trouvé de solution plus économique.

L'enrichissement des connaissances de la communauté internationale, dans ce domaine, pourtant non négligeable :

- prépondérance de la toxicité aluminique dans la baisse de fertilité due à l'acidification des sols (que l'IRAM commençait à signaler en 1972);

- le rôle de la matière organique dans le complexage de l'ion aluminique Al³⁺;

- les caractéristiques des sols à charge variable quant à leur complexe absorbant n'avait pas encore conduit à la découverte d'une solution adéquate à ce problème difficile.

On sait que le chaulage augmentant la CEC des sols à charge variable, leur taux de saturation n'augmente guère.

De même la question de l'"effet défriche" n'avait guère été élucidée, bien que l'on ait constaté qu'il disparaissait pratiquement en cas d'apport important de matière organique.

Enfin, il faut bien le dire, les études menées pendant cette période, ainsi que la précédente, ont été menées dans des stations agricoles "en milieu contrôlé", selon une démarche assez abstraite et un peu réductrice dans la mesure où l'on ne testait pas la totalité des facteurs de production (travail du sol, rotation, fumure) dans leur globalité avec leurs interactions, leur compatibilité (possibilité pratique d'enfouir les résidus de récolte, ou goulets d'étranglements dans les calendriers agricoles, par exemple).

La "révolution" malgache de 1972 ayant interrompu les expériences en cours d'adaptation des formules IRAM au paysannat Merina ¹, la recherche s'est trouvée longtemps sans interlocuteurs du développement.

Le CTFT a, durant cette période, poursuivi les études sur l'érosion dans la même ligne que pendant la période précédente et a lancé une étude intégrée de mise en valeur de bassins versants type en coopération avec l'IRAT, le CTFT, l'EMVT et l'ORSTOM (bassins versants de Manankazo et d'Ambatomainty).

Le résumé des conceptions de la recherche en matière de la mise en valeur des tanety, le plus pertinent peut être trouvé dans le rapport final de cette étude des bassins versants (référence : Malvos et Saraillh, 1978).

298

¹ Par exemple du GOPR avec SATEC, de la SAKAY avec BDPA (références: Gillain ,968; Buresi et Celton, 1971).

En 1981, le retrait des chercheurs de l'IRAT s'est accentué. Faute de moyens le FOFIFA a très fortement réduit ses recherches sur la fertilisation.

IV. PÉRIODE 1984-95

Les recherches du FOFIFA n'ont repris qu'en 1984-85, pour vérifier et tester en essais multilocaux, sur les Hautes Terres et dans le Moyen Ouest, l'intérêt d'une fumure organo-minérale modérée, pendant qu'une nouvelle voie était explorée, celle de la "gestion agrobiologique" des sols et des cultures suivant la démarche préconisée par Lucien Séguy.

Les recherches dans ce domaine se développèrent plus comme recherche d'accompagnement dans des projets de développement (KOBAMA pour le blé, puis PO...) ou dans le cadre d'ONG que dans le cadre du FOFIFA. Pour la synthèse des travaux dans cette période voir le texte de L. Séguy et R. Michellon.

Après cette brève présentation de l'histoire des études sur la fertilisation et de ses résultats à Madagascar (présentation que l'on pourra considérer comme un "aide-mémoire" de l'ensemble du texte), nous allons examiner maintenant plus en détail chacune des deux études de cas retenues.

Dans le chapitre concernat le Sud-Ouest (beaucoup plus bref car les études y furent moins nombreuses et moins systématiques). Le principal problème à traiter, en ce qui concerne l'effet des engrais, est le fort risque de manque d'eau pour la plante qui se traduit par une faible efficacité des engrais. On y traitera donc séparément des cultures irriguées et des cultures strictement pluviales.

Dans le chapitre concernant les Hautes Terres (correspondant aux travaux les plus nombreux et les plus suivis), le principal problème à aborder y est celui de l'extrême pauvreté du sol en tous éléments et le coût de la correction de la fertilité avec apports strictement minéraux. On y traitera donc successivement de la fumure strictement minérale puis de la fumure organo-minérale.

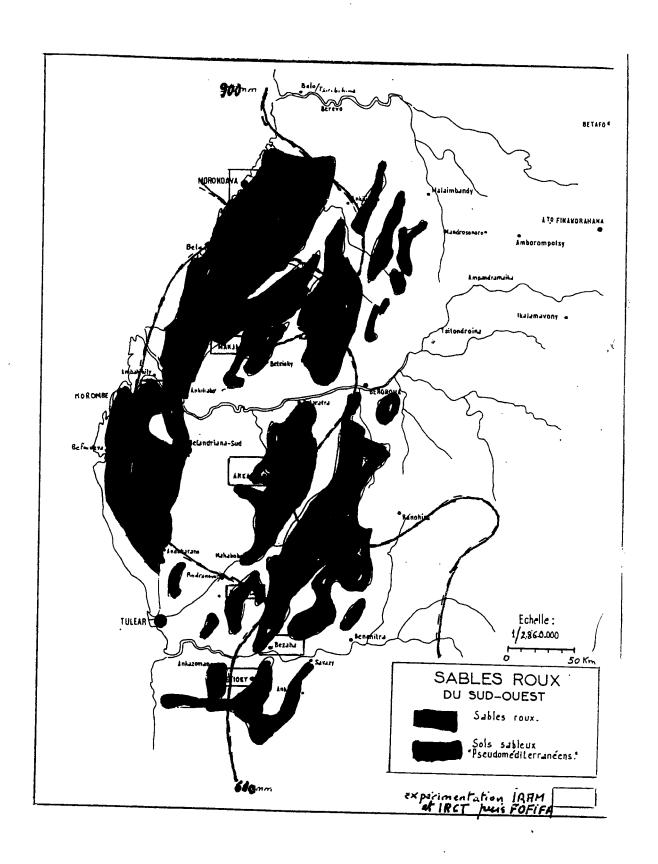
Dans le chapitre concernant le Moyen-Ouest, les problèmes concernant les sols ferrallitiques moyennement désaturés sont moins aigüs que ceux des Hauts Plateaux. Ces sols nécessitent cependant des fumures organiques et minérales pour l'entretien de la fertilité.

3.5.1.2. Les sables roux du Sud-Ouest.

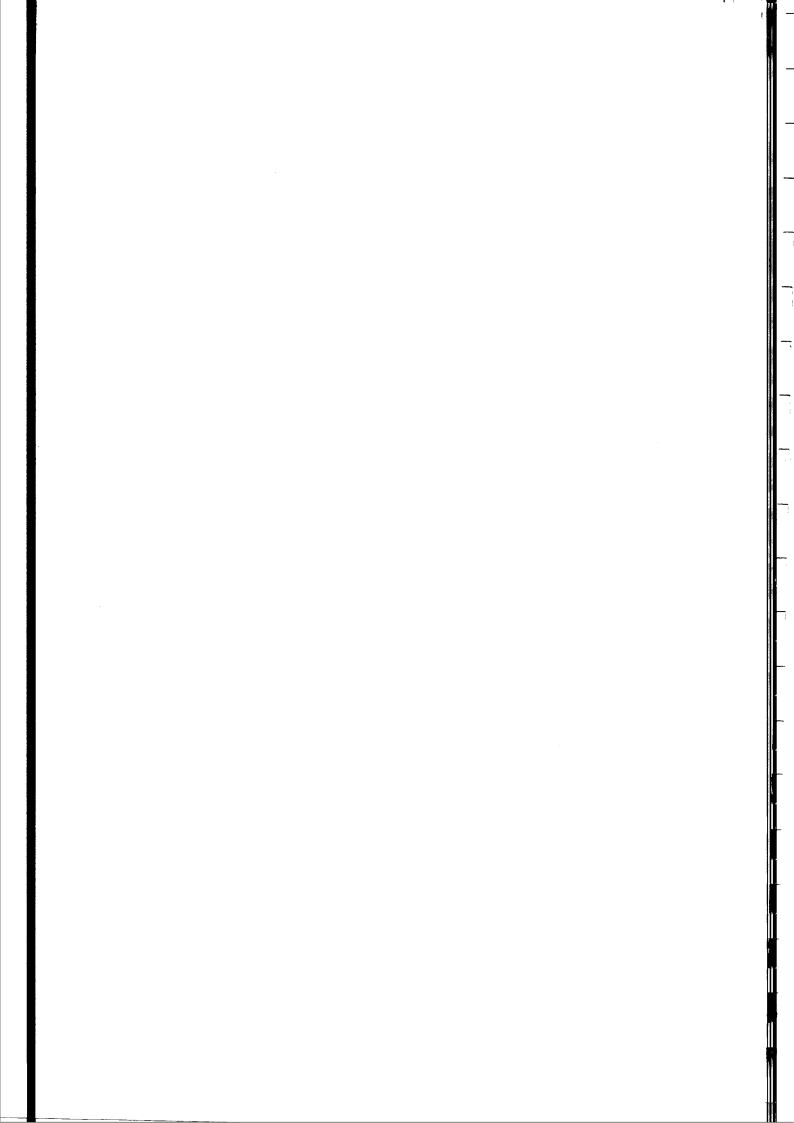
3.5.1.2.1. Extension.

Les sables roux recouvrent environ la moitié de la surface du Sud-Ouest, approximativement assimilé ici au grand bassin sédimentaire méridional de l'Ouest malgache, dit « bassin de Morondava » (Sourdat, 1977), dont les principaux axes de drainage sont, du Nord au Sud : la Morondava, le Mangoky, le Fiherenena et l'Onilahy.

En schématisant, on peut caractériser le Sud-Ouest comme une région sèche à vocation pastorale, peu peuplée, où l'agriculture était concentrée dan quelques zones, soit irrigables (vallées de cours d'eau importants), soit à nappe phréatique peu profonde (alluvions, colluvions...). Les foyers initiaux de l'agriculture traditionnelle (riz, cultures de baiboho) sont donc constitués par les terres basses peu sujettes à l'érosion (mais qui par contre peuvent pâtir de l'érosion des sols en amont).



Carte 2. Extension des "sables roux" du Sud Ouest



Autour de ces pôles de cultures irriguées ou sur nappe, une agriculture strictement pluviale, a pu s'étendre dans les zones ou la pluviosité est la moins défavorable, c'est-à-dire dans la périphérie Nord, Nord-Est, Est de la région (gradient de pluviométrie croissante Sud-Ouest, Nord-Est). La quasi-totalité des nouvelles terres ainsi mises en culture correspondent à des "sables roux", terme qui pour le spécialiste couvre plusieurs catégories de sols, mais qui ont toutes en commun d'être sensibles à l'érosion et l'objet effectivement d'une érosion intense consécutive à la déforestation, au surpâturage...

Pour une présentation circonstanciée de leur place dans le paysage (morphologie), leur nature, origine... on se reportera au chapitre (II) sur les facteurs physiques. Ce qu'en disaient les agronomes de l'IRAM il y a une trentaine d'années (De Casabianca, 1966; Marquette, 1970) est suffisant pour ce qui concerne les problèmes de fertilisation.

Les termes de « sable roux » et de carapace sableuse qui lui est souvent associé ¹, ont été vulgarisés par les géologues, pour qui les formations de surface ne sont pas d'intérêt majeur, puis consacrés par l'usage local (Sourdat, 1977).

Ils coiffent une gamme étendue de remaniement des formations sablo-gréseuses du pliocène de plus de 10 m d'épaisseur. S'y sont formés des « sols ferrugineux tropicaux» à 70 à 80 % d'éléments grossiers. Correlativement leur teneur en argile est faible, le complexe absorbant réduit à quelques milliéquivalents pour 100 g et les réserves en eau faibles: 6 à 12 %. (De Cassabianca, 1967). Ils présentent une grandes variabilité quant à leur aptitudes culturales. On distingue deux grandes catégories:

- les « sables roux ordinaires » à texture plus ou moins grossière, que l'on subdivisera en :
 - . sables roux typiques,
 - . sables roux très dégradés,
- les « sables roux humifères », hydromorphes ou non en profondeur ; leur richesse en matièreorganique étant liée à leur position en cuvette dans le paysage, donc en conditions d'hydromorphie (favorables à la conservation de la matière organique) plus ou moins marquées.

Dans les systèmes agraires du Sud-Ouest malgache les systèmes de production végétale et les systèmes de production animale (« affaire » de l'ethnie Bara) sont en règle générale bien séparés.

L'association agriculture-élevage, la culture attelée, les transports avec attelage de boeufs (ou zébus), n'ont, malgré certaines tentatives de vulgarisation par les sevices agricoles dans le passé, jamais "pris" dans cette région. Ceci, jusqu'à l'utilisation du fumier de ferme, longtemps considéré comme "fady" (interdit) qui ne ferait que timidement commencer.

L'usage des engrais minéraux en culture sèche n'a jamais été adopté que par les producteurs de coton pris en encadrement très strict de la CFDT puis d'Hashyma.

Dans ces conditions, le système de culture de base de la région (cf. Enquêtes PSO) : le maïs en culture pure sur les sols les plus riches, derrière longue jachère (y compris les derniers vestiges de forêts), suivi d'association maïs-manioc puis éventuellement de manioc en culture pure avec ensuite retour à la jachère naturelle, de plus longue durée possible, paraît bien adapté aux contraintes du milieu :

¹ Les mêmes surfaces ont été cartographiées sous l'un ou l'autre nom.

Encadré nº 4

« [...] Pour qui a assisté à des orages sur les zones de sables roux, la vision de la violence de l'érosion restera bien claire. En effet, dès la premières minutes de l'averse, la structure de ces sols est désagrée en surface, de sorte que le sols se colmate et l'eau s'engage très vite en un ruissellement abondant et très chargé [...] »

Par rapport aux sables roux « typiques » (plus ou moins arbitrairement désignés comme tels), F de Casambianca donne comme principales variantes:

- « 1. Les sables roux très grossiers (cf. Sakaraha) sont sujets à des chites de fertilité très rapides et graves car la perte des collides et éléments fins abaisse considérablement le potentiel de fertilité. Un sol à 8 % d'argile qui en perd 2 % accuse une perte relative de 25 % (et ce à niveau, la production agricole est très aléatoire). Notons que les éléments organiques chutent très vite sur ce sol; enfin les agégats sont peu consolidés et l'érosion creuse facilement des griffes importantes.
- 2. Les sables roux « fins » (cf. Manja) offrent de bien plus grandes possibilités agronomiques (richesse en colloïdes, richesse minérale, réserve en eau...). Mais ici, la démoliton de la structure provoque des effets de « battance » très accusés:
 - Constitution d'une « plaque » superficielle (1-3 cm) fortement colmatée, qui bloque l'infiltration (et l'aération). L'érosion en est très aggravée (perte de l'horizon humifère).
 - Constitution d'une semelle de labour très compacte et colmatage de la macroporosité qui bloquent l'enracinement.

Ces sols d'un niveau potentiel supérieur sont donc plus fragiles du point de vue physique et de ce fait leurs qualités agronomiques sont rarement employées à plein. Ils nécessitent une attention plus grande portée à leur morphologie structurale, à leur porosité; les travaux superficiels sont à économiser au maximum (pas de pulvérisage autant que possible, minimum de sarclage, etc...).

On conçoit que sur sables très grossiers ou fins, les modalités de la régénération organo-minérale et strucurale, puissent être différentes de ce qu'elles sont sur Ankazoabo. »

De Casabiance, 1966. « Les sables roux Malagasy, entre la désertification et l'expansion agricole ». Doc. IRAM, n° 85.

- le maïs pouvant valoriser, quand la pluviosité est favorable, des sols relativement riches après jachère, quand leur teneur en matière organique est convenable;
- le manioc remarquablement adapté à la sécheresse et s'accommodant de sols très pauvres, assurant la survie pendant les mauvaises années et fournissant toujours un appoint de revenus.

Une question pourtant reste un peu mystérieuse « pourquoi le choix systématique du maïs, plante assez exigeante en eau et en fertilité du sol, alors que le sorgho et surtout le mil, connus dans les régions, sont bien mieux adaptés au mileiu physique? ».

Les cultures de légumineuses, un temps développées, dans le cas du mais par exemple, sont relativement secondaires, la principale limite de leur expansion étant peut être l'organisation de filières.

Les "sables roux" aptes, selon l'IRCT puis le FOFIFA, à la culture du coton, sont à priori les plus riches et les plus favorables quant à leur régime hydrique, soit que l'alimentation en eau puisse être "assistée" par la nappe phréatique proche de la surface dans le cas des sables roux hydromorphes humifères (région d'Ankazoabo) soit qu'ils soient carrément irrigués dans certaines plaines alluviales (périmètre de la Samangoky...). Dans les deux cas leur position basse dans les toposéquences n'est pas à priori favorable à l'érosion. Il semble que ce ne soit pas toujours vrai, c'est pourquoi on rapportera également ici les résultats d'études sur la fertilisation du coton dans ces deux situations.

Les études sur la fertilisation des cultures vivrières dont on rendra également compte (le maïs surtout, puis l'arachide...) ont été conduites dans les mêmes situations (périmètre expérimental irrigué de la SODEMO à Morondava) et aussi dans des conditions pluviales strictes, moins favorables : région d'Ankazoabo et d'Andranovory, Morondava hors périmètres...

Les résultats disponibles des analyses de sols de ces sites sont reportés dans les tableaux 2 et 3 puis les encadrés 5 et 6.

Le sujet de l'érosion au sens strict des sables roux, est traité ailleurs sur la base des travaux de la Taheza. Les observations⁽²⁾ qualitatives d'un agronome généraliste dans un cadre plus vaste donnent une bonne idée de la gravité du problème, voir encadré 4.

3.5.1.2.2. Données climatiques

La plus grande partie des sables roux est située entre les isohyètes 600 mm (que l'on peut considérer comme le minimum pour une agriculture strictement pluviale où le maïs prend une grande place) et 900 mm. Les données agrométéo de Morondava, site représentatif de cette bande, sont fournies dans le tableau 1 et représentées dans la figure 1.

Ces moyennes masquent, pour la pluviométrie, une très grande variabilité tant de la hauteur totale d'une année à l'autre, que de la répartition à l'intérieur de la saison.

3.5.1.2.3. Résultats en culture irriguée

L'aménagement de périmètres irrigués fut le premier axe de la politique de développement agricole dans le Sud-Ouest ; l'irrigation étant considérée comme le seul

¹ Sinon le coton est cultivé dans la région ailleurs que sur sables roux, sur des sols plus favorables: alluvions (basse vallée du Fiherenana), sols vertiques (plateau de Vineta, couloir d'Antseva...)

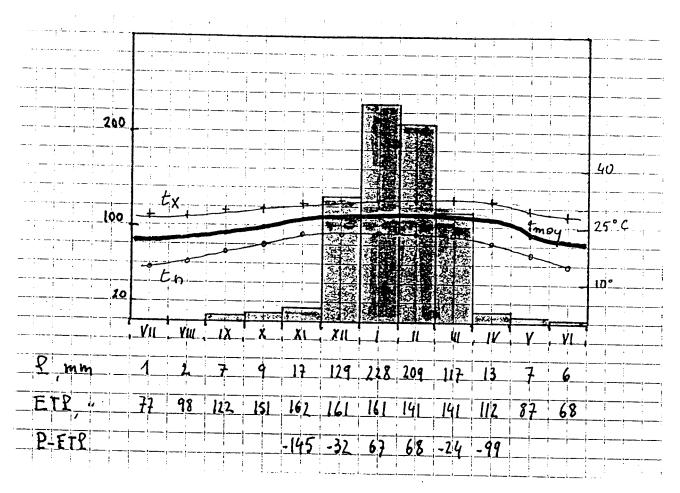


Figure 1. Diagramme ombrothermique avec échelle P = 4T (Birot)

SITE) : MOROND : R I : 202804 CE MET: 67117				LO	TTUDE GITUDE TTUDE	: 044	DEG 1 DEG 1 METER	NIM P		PERI Nb (SOUR) ANNEE	08SERV. S D'08:	ATION S.	: 1931 : 30 : 1,3,)
	UNIT	S	JUIL	AOUT	SEPT	œτ.	NOV.	DEC.	VNAL	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	ANNUAL
IURNE (N)	Hr	(7)	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.0		
TIONS TOTALES	mm	(3)	1	2	7	9	17	129	228	209	117		11.2	10.9	
PLUIES =>1 mm		(3)	0.2	0.2	0.7	0.6	2	7	11	10	6	13	0.7	6	745
RE MINIMUM	С	(1)	14.5	15.5	18.0	20.5	22.6	23.4	23.7	23.5	23.1	20.0	0.7	ე.8	40
RE MAXIMUM	С	(1)	27.5	27.7	28.6	29.5	30.8	31.6	31.8	31.8		20.9	17.4	14.9	19.8
RE MOYENNE	С	(1)	21.0	21.6	23.3	25.0	26.7	21.5	27.7		31.8	31.5	29.8	27.8	30.0
RE DIURNE	С	(7)	23.4	23.8	25.2	26.6	28.1	28.9	29.1	27.6	27.4	26.2	23.3	21.3	24.9
re nocturne	С	(7)	19.0	19.6	21.4	23.2	25.0	25.7		29.1	29.0	28.1	25.6	23.7	26.7
NT TOTAL	MJ/m2	(5)	16.2	18.7	21.6	24.3	25.7	24.3	26.0	25.9	25.8	24.4	21.3	19.3	23.0
REL.MOYENNE	%	(7)	74	78	78	78	76		24.0	24.0	21.9	20.0	17.3	15.7	21.1
DE VAPEUR ACT.	mbr	(5)	18.5	20.1	22.3	24.7	_	78	79	81	78	76	75	74	77
DE VAPEUR DEF.	wpr	(7)	6.4	5.7	6.3		26.5	28.8	29.3	29.8	28.5	26.0	21.5	18.7	24.6
VENT	m/s	(5)	1.5	1.8	2.1	7.0	8.5	7.9	7.9	7.1	8.0	8.0	7.1	6.6	7.2
PIRATION POT.	mm	(5)	77	98	122	2.1 151	2.1	1.8	2.1	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.8
	=====	=====	======			131	162	151	161	141	141	112	87	68	1481

moyen - sous ces climats semi-arides, à pluviosité très aléatoire - de parvenir à une agriculture vraiment productive. Vu le coût de ces aménagements, en investissement initial d'abord, puis en entretien et fonctionnement, l'intensification demandait à être intégrale, portant sur tous les facteurs : traitements phytosanitaires, fumures.

Les premiers de ces aménagements étaient, suivant une habitude ancienne de l'administration malgache, centrés sur la riziculture irriguée par gravité en casiers, s'appuyaient sur une tradition locale dans les vallées de la Taheza, du Fiherenena et de la Morondava. Les sols concernés n'étaient ni des sables roux (mais des alluvions limoneuses le plus souvent) ni sujets à l'érosion car situés dans les points les plus bas du paysage.

La génération suivante de projets, concerna des surfaces plus vastes, dans des deltas côtiers des principaux cours d'eau, grâce à d'autres techniques d'irrigation permettant l'extension de celle-ci aux sables roux environnant les parties alluviales.

A. DELTA DU MANGOKY (PROJET SAMANGOKY/FERME COTONNIERE DE 3 000 HA)

La pluviométrie dans la vallée du Bas Mangoky est de l'ordre de 500 mm/an répartis sur 3 à 4 mois. Le cycle du coton, semé fin décembre, y est d'environ 200 jours; il faut irriguer, systématiquement à partir d'avril jusqu'à la récolte en juillet; les besoins en eau globaux sont de 8 000 m³/ha (soit une lame de 800 mm dans l'année). La culture s'effectuait sur billons avec irrigation par gravité, à la raie, sur des terrains de pente parfois supérieure à 5, qui à la longue ont ontré des marques, indirectes, d'érosion : « disparition des éléments fins de surface, vraisembement par érosion puisque l'on ne constate pas d'enrichissement des sols sous-jacents » (Berger, n.d.).

« Les sables roux (du Mangoky) sont des sols ferrugineus tropicaux, dérivés de la carapace sableuse résiduelle, avec recouvrement alluvial récent. La fertilité de ces sables roux est liée essentiellement à l'importance de ce recouvrement ». Leurs principales caractéristiques sont rapportées dans les deux premières colonnes du tableau 2.

Ces sols sont "au départ" riches en éléments principaux P, K, Ca, Mg, et moyennement pourvus en azote (matière organique) ; ils ne répondent pas, ou peu, à la fumure minérale.

Par ailleurs, leur densité apparente est d'environ 1,6, ils sont très perméables et leur capacité de stockage de l'eau est faible avec une réserve utile (moitié de la capacité de rétention) égale à 9-10 % du volume du sol.

Le périmètre du Mangoky fut, au cours des premières années, cultivé en coton continu, sans rotation ni fertilisation. On y constata une chute rapide de la fertilité, voisine de 200 kg de coton graine par année de culture; les rendements sont dès la quatrième année inférieurs au seuil de rentabilité² (voir figure 2) et cela même en présence de fumure minérale.

Même l'apport de fumier, à la dose de 40 t/ha tous les 3 ans, ne peut que limiter partiellement cette chute mais insuffisamment pour être rentable.

¹ Où le coton trouva plus tard sa place.

² Assez élevé il faut le dire : 2,7 t / ha compte tenu de lourdes charges d'exploitation : irrigation, mécanisation des travaux, nombreux et coûteux traitements phytosanitaires.

Tableau 2. Analyse de sols du delta du Mangoky "au départ" et après 15 ans de culture continue du coton (d'après Berger et al.).

Caractéristiques/	'Horizon	"Au d	départ"	"Après	s 15 ans"
		0-20 cm	20-50 cm	0-20 cm	20-50 cm
Granulométrie %	A 19,5 L 23,5 SF 18,5 SG 33,5		18,5 18,5 20,5 38,5	18,8 16,0 20,5 38,5	15 12,5 16,5 53,0
Matière organique	C % N %。 %	0,6-1,9 0,8-1,7 1,3-2,9	0,1-0,7 0,2-0,8 0,3-1,2	0,6-1,0 0,6-0,8 1,1-1,8	0,1-0,9 0,02-0,1 0,2-1,6
Bases échangeables mé/100 g Capacité d'échange	totale Ca Mg K	19 à 39 17 à 26 2,5 à 4,5 0,8 à 1,0 12 à 24	8 à 13 6 à 11 1,5 à 2,0 0,2 à 0,3 8,5 à 12,5	12 à 15 9 à 13 1,3 à 1,6 0,3 à 0,6 9 à 10	5 à 13 4 à 12 0,8 à 1,5 0,1 à 0,3
рН		7.5 à 8,0	-	7,5 à 8,0	5,5 à 13,5
P ₂ O ₅	%。	0,1 à 1,5	0,02-0,03	0,1	-

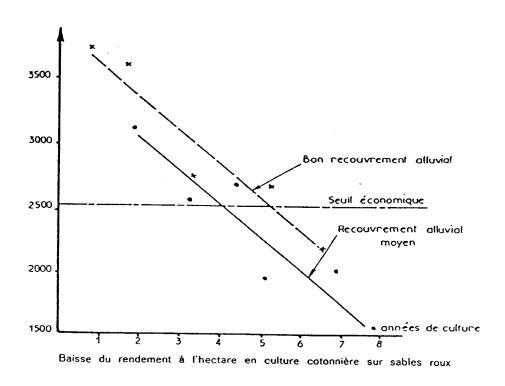


Figure 2.

La dégradation de la structure du sol, habituelle en culture irriguée avec mécanisation ("gâchage" de l'horizon de surface et formation d'un horizon compacté imperméable ¹ parut une raison, (aussi sinon) plus importante que l'appauvrissement chimique, de la baisse de fertilité

Des essais parallèles sur le mode de travail du sol (labour aux sols/disques, en humides/sec, précoce/tardif, sous-solage) n'ont pas permis de trouver de remèdes en jouant sur ce facteur.

Finalement la solution fut trouvée avec la culture et l'enfouissement d'une légumineuse: Dolichos lablab, localement appelée « antaka » « permettant de retrouver des rendements acceptables, voisins de 3 t/ha, très fréquemment identiques à ceux obtenus en première année de culture ».

« L'action de D. lablab, se manifeste par un redressement spéctaculaire des rendements du cotonnier, mais aussi par une meilleure efficacité des fumures minérales ».

Les diverses observations et analyses réalisées ont permis de mettre en évidence un horizon durci vers 25-30 cm, notamment sur les sols les plus dégradés. D. lablab agirait par son système racinaire, en permettant une meilleure exploitation du sol par le cotonnier qui lui succède. Lorsque la dégradation du sol est très accusée, il faut associer aux racines des Dolichos la matière organique aérienne et notamment le mulch des débris végétaux déposés sur le sol dans le courant de la culture. L'effet de cette matière organique est peut-être dû à la mobilisation d'éléments fertilisants situés en profondeur et remis à la disposition du cotonnier dans les horizons supérieurs. On constate, en effet, que l'enracinement de D. lablab est toujours profond, même lorsqu'il y a présence d'un horizon durci. Les faits expérimentaux qui sont rapportés contribuent à expliquer en partie le mode d'action de D. lablab. D'autres facteurs, qui mériteraitent des expérimentations ultérieures, peuvent également intervenir, notamment dans le domaine biologique qui n'a pu être abordé ». (Berger, 1967).

B/. PLAINE DE MAHABO-MORONDAVA

Cette région de culture de riz et d'élevage traditionnels, peu peuplée et enclavée naguère, fut considérée comme une "aire de mise en valeur rurale" (AMVR) par l'Administration au début des années 60. Les études sur le milieu physique et humain commencèrent en 1966 (pédologie...). Un programme d'expérimentation agricole fut confié à l'IRAM en 1968 puis l'IRAT en 1973, après la création de la SODEMO (Baran, 1981). L'un des deux objectifs² du programme était l'amélioration de la mise en valeur des "sables roux" avec ou sans irrigation (par aspersion ou par gravité) en culture intensive.

La pluviosité moyenne est de 800 mm répartie sur 4 à 5 mois. Mais les variations sont très importantes d'une année sur l'autre : 381 mm en 1930/1 508 mm en 1917, et, plus récemment : 465 mm en 1980/1 293 mm en 1977, avec aussi une répartition très irrégulière à l'intérieur de la saison. Les dates de début ou de fin de saison des pluies ainsi que la durée de cette saison sont très variables.

Le régime des pluies est cyclonique, des précipitations supérieures à 300 mm en 10 jours et à l'opposé des périodes sèches de 1 à 3 semaines, en cours de saison, ne sont pas rares. Les risques de mauvaise alimentation hydrique pour une culture strictement pluviale sont donc élevés malgré une moyenne annuelle de 800 mm.

¹ C'est le processus classique utilisé pour « fabriquer » des rizières.

² L'autre éltant l'amélioration de la riziculture sur des sols alluvionnaires différents des sables roux.

Le système de production traditionnel inclue d'ailleurs peu de cultures pluviales et seulement sur de faibles surfaces.

Les "sables roux" de la plaine sont des sols ferrugineux tropicaux formés :

- soit sur grès continentaux, ou matériaux d'origine gréseuse, dans la partie Est peu intéressante pour l'agriculture;

- soit à partir des alluvions anciennes de la Morondava et de l'Andranomeva; ils

sont les plus représentatifs de la région.

Ils sont caractérisés - voir tableau 3 par une texture grossière (sablo-limono-argileuse) sur l'ensemble du profil ; ils ont tendance à se prendre en masse en saison sèche devenant alors pratiquement impossibles à labourer en sec. Ils sont assez bien pourvus en matière organique dans les horizons de surface. La décomposition des résidus de récolte y est exceptionnellement rapide; leur incorporation n'a qu'un effet très éphémère sur la structure de ces sols.

Leur pH est voisin de la neutralité, grâce à leur teneur en Ca échangeable toujours élevée; ils sont, aussi, assez bien pourvus en Mg et K. Leur teneur en P assimilable serait par contre faible

Le diagnostic en vases de végétation n'indique pas de carence en P, K, Ca, Mg et oligo-éléments, les déficiences ne concernant que N et S.

Ces sols sont très perméables; le débit est le même que le sol soit sec ou humide : 43 mm/h; ils se ressuient vite. Leur réserve facilement utilisable (RFU) après ressuyage, définie comme la moitié de leur réserve utile (RU) (soit un tiers de leur capacité de rétention) est de l'ordre de 8 % en volume dans les horizons de surface.

La grande perméabilité de ces sols² fit recommander l'irrigation par aspersion plutôt que par gravité et penser que les risques de ruissellement donc d'érosion étaient alors négligeables (Baran, 1980).

RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION

* Cas du coton

L'examen à priori des aptitudes de la région à la culture du coton en pluvial strict sur sables roux et les résultats obtenus sur des parcelles conduites sans irrigation aucune concordent pour montrer que c'est une spéculation à haut risque compte tenu de la nécessité de fournir une "couverture phytosanitaire" coûteuse et d'obtenir des rendements conséquents. Or, ceux-ci varient extrêmement depuis 2,5 t/ha quand la pluviométrie de l'année est favorable pour chuter à 700 kg/ha en année défavorable, comme en 1980. Cette culture fut donc déconseillée dans le cadre d'exploitation en monoculture intensive, mais paraissait pouvoir être envisagée dans le cadre de petites exploitations de polyculture incluant le coton dans leurs assolements; les études dans ce sens n'ont pas été entreprises.

¹ Dont une partie, dans la zone mal drainée, a évolué en sols hydromorphes qui n'ont pas été pris en compte dans l'expérimentation.

Tableau 3. Caractérisation d'un "sable roux" typique dans la plaine de Morondava (station d'Analaiva). Sols ferrugineux tropicaux rouges, peu lessivés sans hydromorphie ou à hydromorphie de profondeur, d'origine alluvionnaire.

Caractéristiques		Hori	zons	
Caracteristiques		0-10 cm	10-40 cm	
Granulométrie %	A	8	8	5 à 15 %
diandometric 70	Ĺ	17	16	10 à 15 %
	SF	36	32	
				70 à 85 %
	SG	37	41	
	C %			
	N %	< 1		
Matière organique %	1-2,4	0,2-0,4		
Bases échangeables totales	6à11	4-6		
mé/100 g	Ca	3,8-10,5	2,5-3,5	•
.	Mg	0,4-2,0	0,3-2,0	
	ĸ	0,2-0,5	0,2-1,7	
Capacité d'échange	10 à 13	7 à 10		
pH		6,6-7,2	6,9-7,4	

L'intérêt du coton irrigué par contre était démontré dès 1970 par l'IRAM qui obtint de 3,5 à 4,8 t de coton par hectare avec irrigation contre 0,9 en pluvial.

Les études menées par la suite, portèrent surtout sur la détermination des besoins en eau de la plante et sur les possibilités de culture continue avec pour corollaire l'expérimentation sur la fumure et sur l'utilité d'intercaler une phase de reconstitution de la fertilité.

Les essais de fumure minérale conduits entre 1970 et 1972, essais soustractifs N, P, K, Ca, Mg et courbes de réponse à l'azote, n'ont pas montré de réponse à d'autres éléments que l'azote, et encore dans ce cas était elle incertaine et limitée aux apports de doses faibles. Il en fut déduit qu'il convenait de ne fournir qu'une fumure de restitution des exportations de coton-graine, légèrement renforcée en azote, égale à : 70 N - 36 P₂O₅ - 38 K₂O, les résidus de récolte étant broyés et enfouis.

Cependant, il était constaté, comme à la Samangoky, une baisse des rendements, malgré l'apport de fumure, à partir de la troisième année en moyenne

L'acquit de l'IRCT à la Samangoky a été utilisé : on a cherché à vérifier l'efficacité d'une sole d'"antaka" dans la rotation, comme "améliorateur" (reconstitution) et/ou comme "mainteneur" de la fertilité. Seul le rôle "conservateur" de la fertilité a été démontré par les essais.

* Cultures vivrières

Les principales plantes vivrières étudiées à la demande de la SODEMO étaient l'arachide et le maïs, puis de façon beaucoup moins prioritaire, le manioc .

L'arachide type Valencia était cultivé depuis longtemps dans la région, donnant même lieu à une commercialisation. Les résultats des essais menés tant en saison des pluies, ou pluvial strict ou avec irrigation de complément, qu'en saison sèche, avec irrigation, ne montrent pas de réponse significative à la fumure NPK (voir à titre d'exemple les tableaux 4 et 5).

On note dans le tableau 5 la chute rapide puis régulière des rendements en culture sèche continue (il n'y a pas d'essai équivalent, sur plusieurs années, en culture irriguée).

Faute d'avoir observé de réponse aux engrais, la recherche conseille alors d'apporter une fumure d'entretien, compensant les exportations. La formule recommandée pour l'arachide fut : NO-P15-K35 si les fanes sont exportées sinon NO-P10-K15.

Le maïs est traditionnellement cultivé comme culture de soudure (entre vary bé et vary tsipala) en champ de case par de nombreux agriculteurs; il est le plus souvent récolté en vert, après 90-100 jours, pour un cycle de 115-120 jours à maturité normale pour la variété locale; cette variété locale s'est montrée supérieure en culture pluviale stricte, à toutes les variétés introduites, avec des rendements et des réponses aux engrais très variables suivant la pluviosité de l'année:

Tableau 4. Rendement, en tonnes d'arachide gousses par hectare, variété 61-24, suivant la fumure NPK; essai saison sèche 1979, avec irrigation (600 mm).

Fumure N	0		30	60
Fumure P ₂ O ₅	0	30	30	60
Fumure $K_2O = \begin{bmatrix} 0\\30\\60 \end{bmatrix}$	2,3 2,28 -	2,08 2,42 -	2,39 -	- 2,29

Tableau 5. Rendements en tonnes de gousses par hectare, variété 61-24, suivant la fumure NPK dans l'essai soustractif conduit en pluvial strict pendant les saisons des pluies 1975 à 1978.

Année	Témoin 00	-	Moyenne					
Ailliee Terroin 00	()	N	- P	- K	- Ca	- S	•	
1975 ⁽¹⁾ 1976 1977 1978	2,01 1,44 1,19 0,80	2,38 1,68 1,19 0,86	2,44 1,74 1,32 0,74	2,42 1,63 1,26 0,83	2,51 1,65 1,19 0,73	2,39 1,58 1,25 0,72	2,49 1,69 1,23 0,95	2,4 1,6 1,2 0,8

^{1.} Sur défriche.

<u>Tableau 6:</u> Rendements en tonnes de maïs grains par hectare suivant l'année(pluviosité) avec et engrais.

ANNEE	1969	1970	1971
Sans engrais	1.40	0.24	0.72
Avec NPK	3.14	0.27	1.12

Les rendements de saison sèche, avec irrigation sont plus élevés, mais la réponse peu nette pour N, P et K, sauf pour les plus faibles doses - voir tableaux 7 et 8.

Il en a été déduit que la fumure minérale à recommander en saison des pluies, en pluvial, comme en saison sèche était, avec enfouissement des résidus de récolte, d'environ :

Les différents résultats et recommandations théoriques rapportés ci-dessus n'ont pas été testés en conditions de production réelles dans le cadre du projet du périmètre irrigué car la SODEMO ayant été reconvertie pour des projets canne à sucre dans les années 80.

3.5.1.2.4. Cultures pluviales en petit paysannat (hors périmètres)

Seules les cultures dites de rente étaient naguère considérées pouvoir en pratique faire l'objet d'une intensification avec usage d'intrants comme les engrais. L'arachide a connu un certain développement dans le Sud-Ouest (huilerie de Tuléar), mais la production s'est effondrée au début des années 70 après la désorganisation de la "filière d'achat".

L'arachide, qui n'a pas besoin de fumure azotée, donnait des rendements acceptables sans aucune fertilisation sur les sables roux non dégradés, avec retour régulier en jachère.

La culture pluviale du coton s'est développée en petit paysannat dans les années 70 pour couvrir en 1980 : 50 % des surfaces et 36 % de la production pour cette spéculation auparavant cantonnée, dans la région, aux zones irriguées en culture intensive (Berger, 1967).

Les travaux de recherche d'accompagnement conduit par l'IRCT avaient surtout porté sur la mise au point des itinéraires techniques de la culture intensive irriguée. Pour différentes raisons il n'a pu en être fait autant, par la suite, pour la culture pluviale familiale; beaucoup resterait à faire, en partculier pour la mise au point d'une fumure minérale et organo-minérale relativement modeste, maintenant un certain niveau de productivité du sol ¹ (Berger, 1967).

En ce qui concerne les cultures vivrières, les recherches n'ont pu s'appuyer sur une structure de développement effective pour assurer le relais avec le paysannat, comme c'était le cas pour l'IRCT avec la CFDT puis le FOFIFA avec Hasyma en ce qui concerne le coton. Les études conduites par l'IRAM, puis le FOFIFA, sur le maïs par exemple à Ankazoabo de 1962 à 1966, à Andranovory de 1971-75, en station, peuvent être considérées comme exploratoires, leurs résultats n'ont pas été mis à l'épreuve des conditions réelles chez les paysans. De plus, dans les deux cas, il leur a manqué la continuité.

¹ Comme cela a été fait à la même époque dans une écologie très semblable (sahélo-sooudaniènne) en Afrique de l'Ouest.

Tableau 7. Réponse du mais à des doses croissantes d'azote en culture irriguée de saison sèche (SS) et en saison des pluies (SP), en t de graines/ha.

Λ		Caiana	Dose N en kg/ha							
Anı	née et variété	Saison	0	40	80	120	160	200		
1969	variété locale	SP SS	2,3 2,6	2,1 2,9	2,6 3,5	2,4 3,4	2,5 3,9	2,6 3,7		
1976	variété locale H 383 H 383	SP SP SS	3,2 2,4 3,8	3,5 3,4 5,8	4,0 3,5 6,0	3,8 3,7 5,8	3,9 3,5 6,0	3,8 3,5 6,3		

Tableau 8. Réponse du maïs à des doses croissantes de P ou de K en culture irriguée de saison sèche SS et en saison des pluies SP (en t/grain/ha).

Ann	iée et variété	Saison		Dose P ₂ O ₅								
			0	40	80	120	160	320				
1969	variété locale variété locale	SP SS	1,9 3,4	1,5 3,5	1,6 4,0	2,1 3,5	2,1 3,6	1,7 3,9				
1978	H 383	SS	5,8	6,5	6,4	6,3	5,9	5,8				
					Do	se K ₂ O						
			0	40	70	100	130	160				
1978	H 383		5,5	6,5	6,3	6,1	5,7	6,2				

Encadré 5. Caractéristiques du sol "au départ" à Ankazoaba (d'après document IRAM, n° 230)

- 1. Test de carence en vases de végétation (VV)
 - analyse sol (utilisée dans les VV)
 - granulométrie: 77 % de sables, 8 % de limon, 13 % d'argile
 - matière organique : 1,2 % avec C/N = 10,4
 - capacité d'échange CEC: 3,4 meq/100 g; somme des bases 3,8 meq/ 100 g (sol saturé en Ca et Mg); pH = 5,8
 - résultats du test (somme des 4 coupes)

Traitement	FC	- P	- K	- Ca	M- g	- S	- OE
Production	100	36	82	108	124	47	96

FC = fumure complète recevant N, P, K, Ca, Mg, S et OE (oligoéléments) en quantité non limitante.

Les autres traitements reçoivent la FC sauf un élément : - P reçoit FC sauf P....

Tableau 9. Evolution des caractéristiques des sols et des rendements en arachide en culture continue. Andranovory.

Caractéristiques	Nombre d'années de culture (arachide)						
de l'horizon 0-10 cm	1	2	3	4			
Rendement arachide (t/ha) Taux de matière organique du sol (%) Taux d'argile (%) ⁽¹⁾	1,77 2,00 12,3	1,33 1,88 11,0	1,16 1,79 10,8	0,84 1,64 9,6			

Dans la région d'Ankazoabo, la démarche habituelle de l'IRAM (diagnostic des carences en vases de végétation, puis courbes de réponse aux principaux éléments) a été appliquée, comme sur les hautes terres, avec une variante sur laquelle on reviendra plus loin.

Les quelques données analytiques disponibles sur les sols, enrichies des résultats de l'essai en vase de végétation correspondant sont rassemblées dans l'encadré 5. Ces sables roux typiques de bas plateaux bien drainés des interfluves sont plus sableux que ceux que nous avons vu plus haut dans les plaines de la Samangoky et de la Morondava (davantage d'origine alluviale).

Le diagnostic en vase de végétation indique que la seule déficience grave, en dehors de celles systématiques de l'azote et du soufre, concerne le phosphore.

Le taux de matière organique 1,2 % est à la limite celui d'un "sable roux non humifère" dont les aptitudes culturales sont très limitées. Seules les cultures de légumineuses: arachide et vigna (vohema) y sont, ou y ont été pratiquées avec un comportement acceptable. Le manioc et le mais n'étaient cultivés que sur des sables roux humifères, lesquels se dégradent d'ailleurs assez vite après défriche (rupture d'un équilibre instable avec une végétation - la forêt - non climacique).

La culture continue de l'arachide, pratiquée à l'époque, au début des années 60, épuise le sol particulièrement vite. Une étude enquête, menée par F. De Casabianca en 1964-65 dans les champs paysans sur les caractéristiques du sol et les rendements, montre une chute de productivité et une évolution parallèle des sols spectaculaires, en fonction du nombre de cultures successives (voir tableau 9).

L'appauvrissement du sol en colloïdes : argile et matière organique, est caractéristique d'une érosion sélective particulièrement rapide, avec baisse parallèle de la fertilité.

Une fois "dégradés" ces sols sont, comme les sables roux non humifères, très difficiles à récupérer. La jachère naturelle est extrêmement lente à s'établir et reste imparfaite après 3 ans ². F. De Casabianca (1967) écrit « Sur sables roux « moyens » et à plus forte raison « dégradés », la régénération par jachère naturelle ou par la jachère stimulée par des apports minéraux ³ est un mythe dangereux car en fait, le sol continue à se dégrader »...(agression des pluies sur un sol plus ou moins découvert) « en culture traditionnelle, le sol (de la jachère derrière l'association de culture maïs-manioc) n'est jamais complètement dénudé: sa protection et son semis naturel étant assurés par les herbes coupées au sarclage (de l'association maïs-manioc) qui sont laissées sur place. »

Des fumures strictement minérales, ne paraissent pas aptes à priori, à fournir une solution. D'autre part, la très faible quantité de fumier disponible dans la région, compte tenu de son système d'élevage, ne permet pas d'envisager une régénération et un entretien de la fertilité par des apports réguliers de fumier en quantité suffisante.

Dans ces conditions, une agriculture fixée, permanente, n'était envisageable, aux yeux de F. De Casabianca, qu'en intercalant dans la rotation, à brefs intervalles, des soles de régénération avec enfouissement d'une grande quantité de matière organique fraîche. De même le "redressement" de la fertilité doit-il passer par la culture et l'enfouissement d'un

³ Sans parler de l'irréalisme d'une telle solution.

¹ Test que l'on pourrait assimiler à une forme d'analyse de sol (par plante).

² Tany maty: terre morte.

Tableau 10. Courbe de réponse au phosphore (CRP essai au champ) Ankazoaho

Année	Do	se P ₂ O ₅	(kg/ha)	initiale (rien ensi	uite)	CV %	0.4
	0	40	80	160	240	320	et S ⁽¹⁾	Culture
64-65 65-66 66-67 67-68 68-69	6,1 23,6 1,25 10,1 3,1	7,3 23,8 1,05 9,8 3,25	10,0 24,7 1,45 11,0 4,15	9,5 29,5 1,10 8,9 3,25	11,2 24,2 1,35 11,0 4,10	10,5 23,3 1,00 9,7 3,55	22 ns 20 ns 28 ns 21 ns 32 ns	Sorgho fourrager ⁽²⁾ Sorgho fourrager ⁽²⁾ Arachide ⁽³⁾ Manioc ⁽³⁾ Maïs grain ⁽⁴⁾

^{1.} CV: coefficient de variation; S: significativité; ns: non significatif. 2. Sorgho fourrager recevant 150 N et enfoui en fin de cycle; production en tonnes de matière verte par hectare. 3. Sans fumure; en tonnes de gousses par hectare pour l'arachide; en tonnes de racines fraîches par hectare pour le manioc. 4. Recevant 130 N + 90 K₂O; en tonnes de grains par hectare.

La courbe de réponse à la potasse CRK (doses 0,25, 50, 100, 150 et 250 kg $\rm K_2O/ha/symétrique$ du CRP ne montre aucun effet significatif de $\rm K_2O$.

Tableau 11. Courbe de réponse à l'azote (CRN) Ankazoaho

Année	Dose N annuelles (kg/ha)								
	0	40	80	120	160	200	CV % ⁽¹⁾	Culture	
64-65	1,8	4,7	5,8	8,4	8,0	7,8	18	Sorgho fourrager ⁽²⁾	
65-66	11,7	15,4	18,3	19,5	15,9	19,9	23	Sorgho fourrager ⁽²⁾	
66-67	0,9	1,4	1,7	1,5	1,0	1,3	34	Sorgho grain	
67-68	1,5	1,5	1,3	1,0	0,6	0,6	26	Arachide ⁽³⁾	

^{1.} Voir (1) dans tableau CRP. 2. Avec "fumure de redressement" $320\,P_2O_5+120\,K_2O$ en première année (1964) et rien par la suite ; enfoui en fin de cycle, en tonnes de matière verte par hectare. 3. Par d'apport N cette année-là.

engrais vert. Cela explique les modalités particulières dans lesquelles ont été menés les essais "courbes de réponses" à Ankazoabo: les deux premières années étant consacrées à la production d'un engrais vert - le sorgho fourrager - enfoui en fin de cycle. Les cultures test n'apparaissent qu'en troisième année pour évaluer l'effet de l'apport des "fumures de redressement" apportés sur la sole initiale engrais vert, combiné à l'enfouissement de ces engrais verts. Les résultats obtenus, voir tableaux 10 et 11 sont décevants: on ne constate guère d'effet résiduel du phosphore en troisième année, et les rendements restent de façon générale très faibles malgré deux cultures d'engrais vert consécutives. Plutôt que d'en analyser les raisons, ce pourquoi les informations sur les conditions expérimentales manquent d'ailleurs, prenons acte de l'inadéquation de cette approche. Un des éléments de cette inadéquation est le niveau extrêmement élevé des fortes doses testées dans les courbes de réponse, doses adaptées au problème des Hautes Terres mais pas à celui des sols ferrugineux tropicaux. Le constat est particulièrement clair dans le cas de la fumure azotée et du danger d'en appliquer en excès.

Des prélèvements de sols effectués après la quatrième culture sur les différents traitements de l'essai courbe de réponse à l'azote ont donné à l'analyse :

	Dose N cumulée						
Caractéristique	0	140	260	380	500	620	
рН	5.11	4.71	4.26	4.20	4.26	4.26	
Al éch (ppm)	8	17	41	47	56	54	

Les signes de toxicité aluminique sur l'arachide étaient d'ailleurs visibles sur les deux doses moyennes et très nets sur les deux doses fortes.

Un apport de dolomie l'année suivante sur la moitié des parcelles, avec une nouvelle culture d'arachide n'a que peu amélioré la situation - voir tableau 12.

Ces études très intéressantes entreprises à Ankazoabo n'ont malheureusement pas été poursuivies plus de 4 ans. L'expérimentation sur la fumure des cultures vivrières sur sables roux n'a repris que quelques années plus tard à Andranovory, avec une approche IRAM plus classique (pas d'engrais vert en ouverture) et avec des doses testées plus appropriées à ce que l'on savait sur les sables roux.

TABLEAU 13: Etude de fertilisation à Andranovory (d'après Jenny, 1975).

	Dose P ₂ 0 ₅ (kg/ha) initiale ⁽¹⁾							
ANNEE et H	0	40	80	120	160	200	CV %	Culture ^(*) et fumure K ₂ 0
1970/71(740)	9.6	10.9	13.8	15.1	14.7	15.5	16	Arachide (30-100)
1971/72(460)	11.6	15.4	17.3	17.3	18.5	17.8	5	Arachide (30-60)
1972/73(235)	1.3		8.6	13.6	10.0	12.3	30	Maïs (150-60)
1973/74(624)	9.7 1	7.7 ⁽²⁾	13.4	19.3 ⁽²⁾	19.5	19.3	24	Maïs (1 35-100)

^{(*):} Sous forme de phosphate bicalcique; ensuite effet résiduel: aucun apport sauf (2) arachide épandage $40 P_2 O_5$ sous forme hyperreno en 1973/74. A: arachide M: Maïs en q grains/ha).

Tableau 12. Production d'arachide (t de gousses/ha) en 1968-69 dans l'essai CRN.

Apport de			Doses N	cumulées		
dolomie	0	140	260	380	500	620
O 1 t/ha	2,24 2,19	2,07 2,23	1,95 2,26	1,65 1,85	1,25 1,40	0,98 1,48

Encadré nº 6. Caractérisation des sols d'Andranovory (sables roux)

- Sols ferrallitiques tropicaux, sans réserve calcique, modal sur matériau s limono très sableux.
- Profond (150 cm et plus), homogène, sans éléments grossiers, rouge, texture limon très sableux sur tout le profil.
- Le diagnostic en vases de végétation met en évidence une grave carence principale en phosphore puis des carences secondaires en K et Ca.

Analyse d'un échantillon de la station d'Andronovory prélevé sous jachère d'Héteropogon contortus.

Horizons cm		0-40	40-150
Granulométrie %	A L SF SG	18 8 26 49	16 6 27 50
C % N ‰ Matière organique		0,5 0,5 0,9	0,25 0,30 0,45
P ₂ O ₅ assimilable (Olsen) ppm		31	13
Bases échangeables me/100 g	Ca Mg K	1,48 0,50 0,19 4,10	1,10 0,30 0,78 2,30
pH		6,2	5,9

TABLEAU 14: Courbe de réponse à la potasse (CRK).

		K	g K ₂ 0 ap	portée en	1970					
ANNEE	0	30	60	90	120	150	CV %	Culture ^(*) et fumure N- P ₂ 0 ₅		
1970/71	18.7	19.5	19.8	18.1	20.3	21.2	14	Arachide (30-95) ⁽²⁾		
1971/72	19.0	18.1	18.5	17.8	17.9	18.8	9	Arachide (30-60)		
1972/73	9.6	8.6	9.7	3.1	9.9	9.4	24	Maïs (150-60)		

^{(*):} Arachide (q de gousses/ha); maïs (q de grains/ha). (2) Plus, cette année là redressement de la fertilité: 500 kg/ha de dolomie et 10 kg/ha de Nutramine.

Les caractéristiques des sols de la station sont données dans l'encadré n° 6.

Les résultats des essais (voir tableaux 13 et 14) confirment ce que l'on sait en général sur ce type de sol : déficience en P, "corrigée" par un apport de 40 à 80 kg P₂0₅/ha ¹, p as ou peu de carence initiale en potasse.

Malheureusement le programme lancé à Andranovory a été lui aussi interrompu, faute de moyens, avant d'avoir pu être mené à terme.

3.5.1.2.5. Conclusions sur la gestion de la fertilité des sables roux

On peut passer rapidement sur le cas des sables roux irrigués qui ne représentent que des surfaces négligeables par rapport aux sables roux en culture pluviale et un système de culture très intensif inadapté à l'environnement socio-économique de la région. C'est pourtant pour ces sols que l'on dispose des résultats de recherche les plus cohérents avec le plus de continuité. Ils ont montré que la gestion de la fertilité chimique, via la fumure minérale, était bien insuffisante pour aboutir à des systèmes stables, même dans ce cas à priori favorable; seul le recours à des solutions que l'on peut déjà qualifier d'"agro-biologique": comme l'intercalation des soles d'antaka dans les rotations à base coton permettait de proposer des solutions techniquement valables. Quant à leur validité sur le plan socio-économique, l'échec du projet cotonnier de la Samangoky ne plaide pas en sa faveur; mais l'idée mérite d'être reprise.

F. De Casabianca a fait il y a 30 ans un remarquable diagnostic des problèmes de mise en valeur des sables roux. Il a souligné leur fragilité, particulièrement celle de leur "stabilité structurale" étroitement dépendante de leur teneur en matière organique, donc dans le système traditionnel de la fréquence et de la longueur des jachères.

L'intensification brutale, ou même simplement progressive sous l'influence de la pression démographique détruit un équilibre instable sous une pluviométrie peu favorable à la formation de matière sèche (source possible de matière organique du sol), car les précipitations sont insuffisantes et de plus très irrégulières.

La minéralisation accélérée de la matière organique sous les climats constamment chauds, sans hiver, n'est pas compensée. La structure du sol, trop sableux, se détruit rapidement ; sa porosité, sa perméabilité, diminuent favorisant le ruissellement ; puis l'érosion sélective fait rentrer le processus dans un cercle vicieux.

¹ En fait moint n'est besoin de chercher des rendements potentiels et différencier une fumure de redressement d'une fumure annuelle.

Les voies explorées par F. De Casabianca : limiter le travail du sol, utiliser des engrais verts étaient techniquement bien prometteuses ; malheureusement, le programme mis en place à Ankazoabo a tourné court, comme celui monté à Andranovory quelques années plus tard.

Faute de continuité de la recherche dans cette région, on n'y a pas obtenu de résultats convaincants et, à fortiori, rien proposé d'efficace à la vulgarisation.

Il faut pour cela se tourner vers les travaux menés dans des agro-écologies voisines, comme la zone soudano-sahélienne d'Afrique. Ils ontfourni des solutions simples pour la gestion de la fertilité des sols, en particulier du Sud-Mali ainsi que pour la lutte antiérosive au Sénégal.

Encore faut-il garder quelques réserves, la seule voie véritablement prometteuse : l'association agriculture-élevage, donc la possibilité de fumure organique, semble réservée à la minorité la plus riche. De même l'usage complémentaire de l'engrais qui paraît incontournable, ne paraît pas applicable, sans que l'Etat (ou la communauté internationale ?) subventionne leurs prix.

3.5.1.3. Région des Hauts Plateaux.

3.5.1.3.1. Période du 1960 / 73 et 1974 / 81.

3.5.1.3.1.1. Présentation, Cadre et Limites, Dispositif expérimental sur les sols ferrallitiques dérivés de granoto-gneiss

a/ - Cadre géographique.

Les Hautes terres malgaches au sens large correspondent à l'étage au-dessus de 1 000 mètre d'altitude du bati "cristallin" de la grande île. Le terme dans un sens plus restreint désigne les Hautes terres des provinces Merina, de Tananarive et Fianarantsoa - laissant de côté le Nord de l'Île, en particulier le Tsaratanana et le massif volcanique de la montagne, dont les sols au demeurant sont plutôt riches.

Le vieux socle antécambrien granito-gneissique affleure sur la plus grande partie de ces régions, qui n'ont jamais été immergées, il est localement recouvert par des roches volcaniques soit assez anciennes (massif de l'Ankaratra avec son bassin lacustre du Vakinankaratra), soit plus récent ayant donné naissance aux seuls terrains "fertiles" que l'on puisse y trouver.

Le problème, le plus difficile est celui de la gestion des sols les plus anciens, les plus pauvres, sur socle ou roches volcaniques anciennes. En trouvant des solutions pour les sols dérivés de granito-gneiss on peut penser que les problèmes des autres sols seraient à fortiori réglés.

La plus récente surface d'aplanissement du socle, d'altitude moyenne 1 300 m, est actuellement profondément entaillée par un très dense réseau, en forme de feuilles de chêne, de bas-fonds marécageux. Tourbeux et relativement étroits en tête de réseau, ils s élargissent et leurs sols deviennent de plus en plus limoneux au fur et à mesure que l'on passe à des vallées d'ordre plus élevé dans le réseau, avec apparition d un écoulement permanent de plus en plus important (réseau hydrologique).

Le canevas de "plateaux collinaires" dans lesquels s'est imprimé le réseau de basfonds et vallées, avec une dénivelée de 20 à 50 mètre, constitue ce que l'on appelle localement les "tanety", collines à flancs convexes et sommets plan, organisées elles-mêmes en ensembles faisant contrepoint au dessin des bas-fonds.

Les sols de ces collines, dérivant de cette ancienne surface d aplanissement, sont épais de plusieurs mètres, reposant sur plusieurs dizaines de mètres d'altérations, constituant des réservoirs d'épaisses nappes phréatiques dominant de part et d'autres les bas-fonds.

La toposéquence caractéristique comporte le sommet plat de la colline avec des sols ferrallitiques profonds très " évolués", puis sur le flanc de colline à pente convexe (10-15 % en haut puis 30 %...) des sols plus ou moins "rajeunis" puis une zone de colluvions limoneuses, s'appuyant sur une terrasse (apellée ici "baiboho"), puis enfin, le bas-fond plat.

Il existe encore de sensibles différences entre ces sols formés sur le socle, en fonction de la variabilité de composition de celui-ci ; ils sont plus ou moins sableux, suivant qu ils ont été plus ou moins érodés de leur horizon de surface, et auront été d'autant rajeunis... mais le processus fondamental de ferrallitisation, qui se poursuit sous le climat actuel, les a façonné en une seule catégorie du point de vue de leur fertilité naturelle actuelle : à peu près nulle, et de leur fertilité potentielle, très convenable sous le climat des Hautes terres. On exposera, comme exemple largement extrapolable, le cas de la région de Tananarive où, pour différentes raisons, les études ont été les plus suivies et complètes.

Le climat, classé comme tropical d'altitude, comporte en gros deux saisons de longueur à peu près égale 5-6 mois :

- l'une chaude et pluvieuse, de novembre à avril: l'été austral, avec des précipitations variables d une année à l'autre autour d une moyenne annuelle de 1 300-1 400 mm dont 90 % entre le 15/11 et le 15/4;
- l'autre fraîche et sans pluie mais des brouillards et un ciel couvert: l'hiver austral durant lequel la végétation est plus ou moins en sommeil sauf pour quelques rares espèces sauvages, ou cultivées introduites de climats tempérés (blé, pomme de terre, cultures maraîchères).

Le système de production des paysans Merina (et Betsileo dans la province de Fianarantsoa) est basé sur la riziculture de saison des pluies, dans les vallées et bas-fonds aménagés avec un savoir-faire ancestral, et sur un élevage associé de zébus. Les "baiboho" entourant les rizières, à sols plus riches que les tanety sont exploités en une sorte de maraîchage : légumes (taro...) et arbres fruitiers. Le bétail sert à piétiner les rizières, les mettre en boue avant le repiquage — technique de préparation traditionnelle, fournit en complément un peu de fumier de parc, utilisé pour les pépinières des rizières et en fin de compte, a une fonction d'épargne.

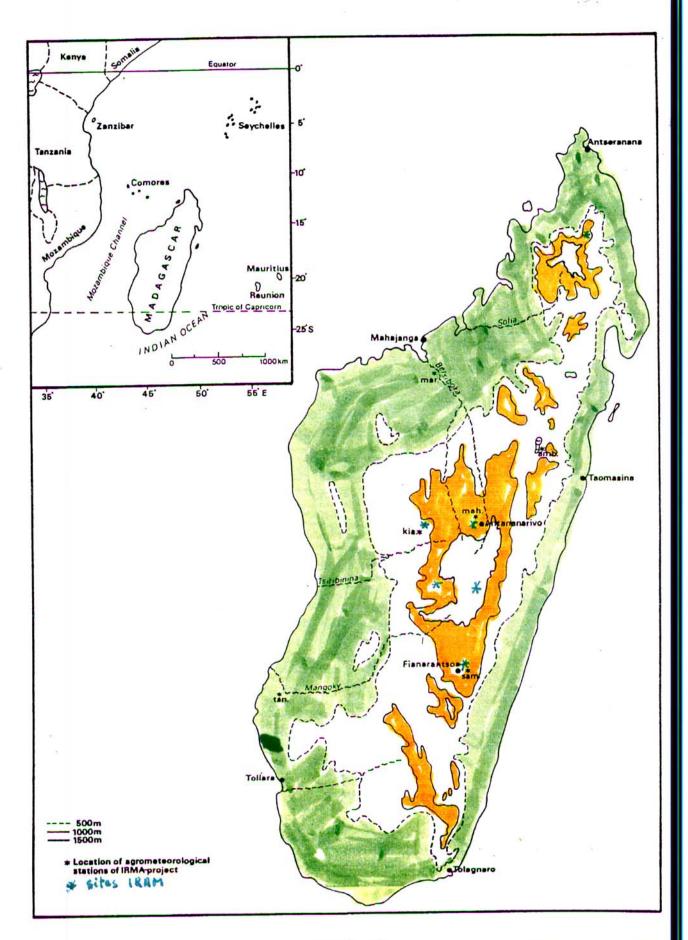
Les troupeaux, en saison des pluies, pâturaient sur les tanety une maigre végétation de steppe, gérée par des feux de brousse chargés de la "régénérer", lorsqu'elle est devenue trop lignifiée. Ils disposaient jadis, de nombreux bas-fonds encore non utilisés pour le riz comme pâturages de saison sèche.

L'augmentation inéluctable et rapide de la population rurale, s'est traduite par l'aménagement systématique de tous les bas-fonds, donc la disparition des pâturages d'hiver et le surpâturage des tanety par compensation, accompagné d'une progression des feux de brousse.

Au-delà d un certain seuil de pression démographique, il n'y eu plus de bas-fonds à aménager, plus assez des rizières, plus assez de baibohos. La question de la mise en valeur des tanety s est posée et se pose encore.

b/ - Dispositif

L' IRAM a mis en place en 1963-64, au début de son expérimentation avec les courbes de réponse, un réseau de points d expérimentation, couvrant les Hauts Plateaux et les principaux types de sols qui s y rencontrent (voir carte 3):



Carte 3. Réseau de sites IRAM sur la "dor

- sols ferrallitiques sur roches acides, avec les points d essai d Ampangabé près de Tananarive, et de la Sakay puis de Fianarantsoa et Fianarantsoa-Iboaka;
- sols ferrallitiques sur roches volcaniques:
 - anciennes : Ambatolampy, Anketrakabe (Diego Suarez).
 - récentes : Betafo.

Tous ces points d essai furent abandonnés en 1973 à 1 exception d Ampangabé.

Deux études multidisciplinaires, sur la mise en valeur de bassins versants des Hautes Terres, axées sur les bilans hydrique et l'érosion, lancées en 1973-74 à Manankazo et à Ambatomainty ont été poursuivies jusqu en 1976-77. A côté du CTFT pour les aménagements antiérosifs, les mesures en parcelles d érosion..., l ORSTOM pour les bilan hydrologiques et l'IEMVT pour la gestion des pâturages, l'IRAM (puis le FOFIFA) intervenait en mesurant dans des lysimètres, le drainage et les pertes par lixiviation sous végétation naturelle et sous culture.

Le FOFIFA dans le cadre d'un nouveau programme "Economie des importations des engrais minéraux / tilisation prioritaire des engrais minéraux" a installé en 1973-74 un réseau de 15 essais multilocaux, en rizières et en cultures sèches, répartis dans les deux provinces de Tananarive et Fianarantsoa, et couvrant également les principaux types de sols.

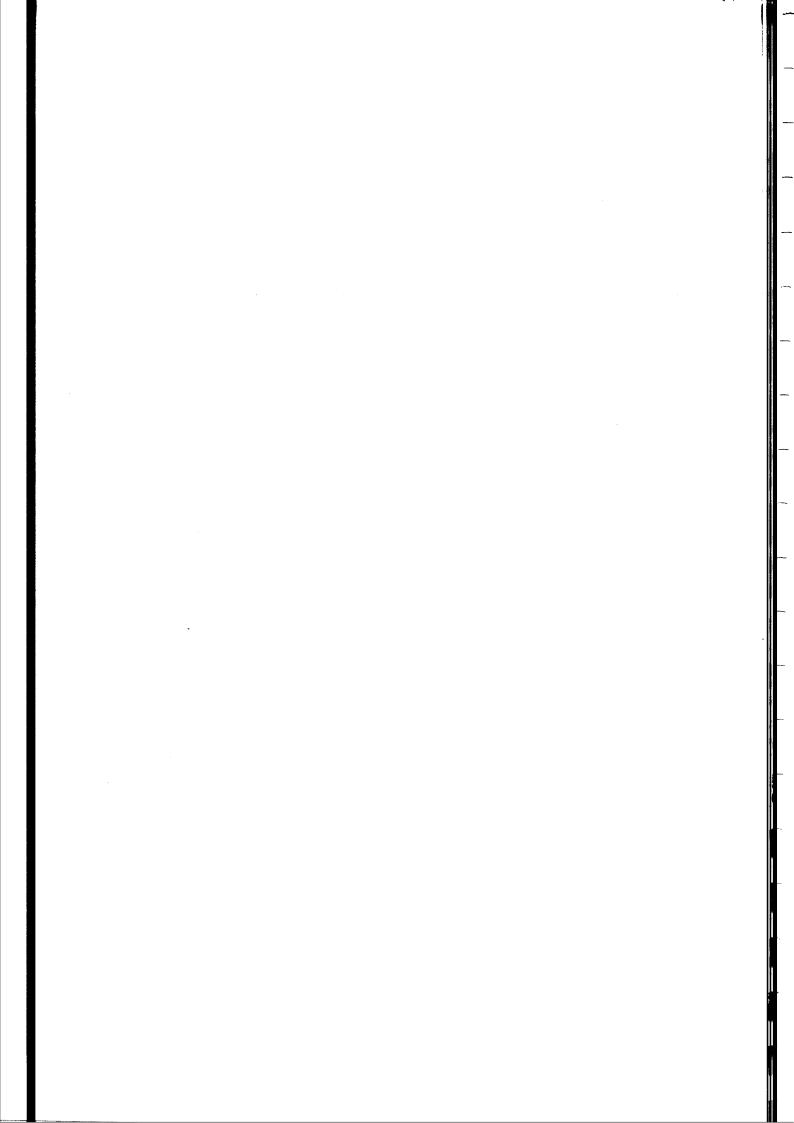
La station d'Ampangabe ouverte en 1963, et qui a fonctionné une vingtaine d'années (certains essais y ont été conservés pendant plus de 20 ans), est le coeur du dispositif où le relais IRAM-FOFIFA a eu lieu ainsi que les études les plus complètes. Elle fut équipée :

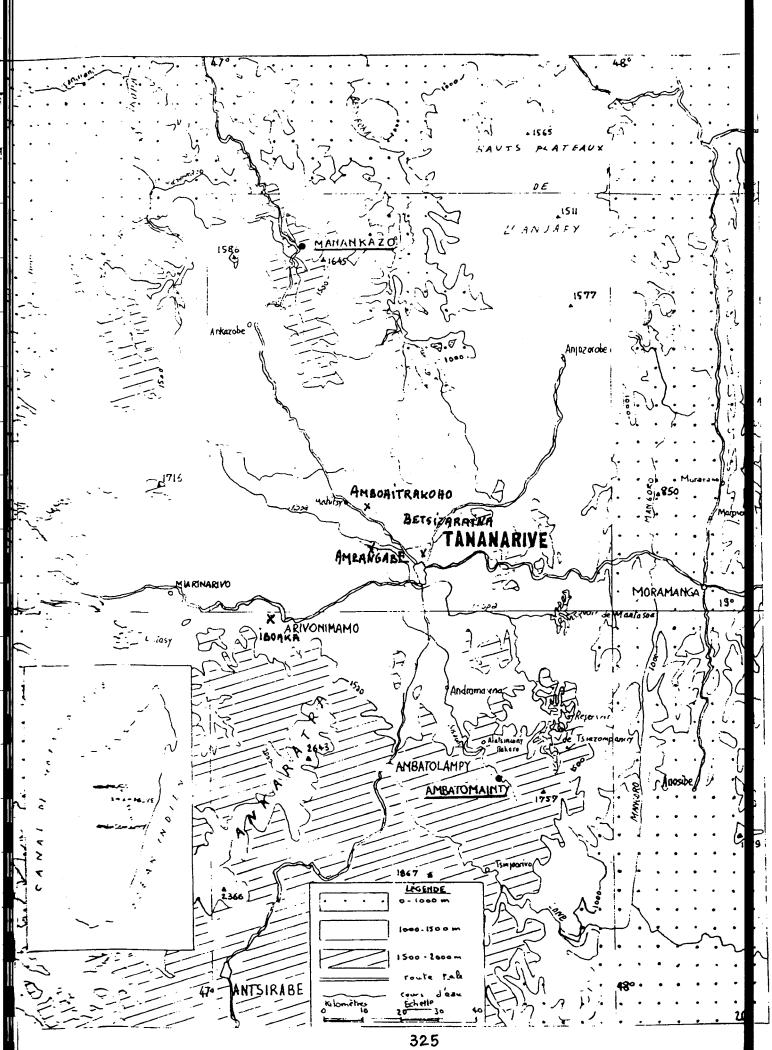
- d'une station agrométéorologique complète depuis 1973, avec un poste pluviométrique depuis 1969 ;
- d'une batterie de 9 parcelles d érosion sur le modèle standard préconisé par le CTFT, installé en 1969 sur défriche à flanc de colline de pente 10 %;
- de deux batteries de lysimètres "modèle Roose" de 1 m de profondeur :
 - la première avec 16 cuves construites en 1972-73, utilisée en parallèle avec un essai au champ, pour étudier l'influence d'un enfouissement de pailles (10 t/ha) sur l'économie de la fumure azotée du maïs,
 - la seconde avec 12 cuves construites en 1973-74 ou 1974-75 pour étudier d'abord, l'influence de la fumure potassique et du réenfouissement des pailles sur les pertes par lixiviation.

Les essais au champ concernent essentiellement la fertilisation strictement minérale avec en premier lieu des courbes de réponse au phosphore, à la potasse et à la dolomie standard implantées en 1963-64 dès l' ouverture de la station, puis des essais de longue durée sur la fumure annuelle azotée seule ou associée avec un apport organique. Cet apport pouvant être :

- du compost, matière organique évoluée, à la dose 10 t/h;
- des pailles, matière organique fraîche, à la dose de 10 t de pailles de maïs, séchées à l'air, par hectare.

L'idée dans les deux cas, surtout le second, était que la matière organique fraîche enfouie dans le sol pouvait servir de support à la réorganisation de l'azote minéral engrais (par l'intermédiaire de la faim d'azote des micro-organismes "digérant" les pailles) et ainsi de le mettre partiellement à l'abri d'une lixiviation immédiate, pour ensuite le libérer progressivement à la disposition de la culture (minéralisation de la matière organique).





Carte 4. Réseau d'études et expérimentations

Les essais ou études mises en place en 1973-74 portaient plutôt sur l'économie de la fumure que sur l'obtention de rendements très élevés. Le problème de l'utilisation des pailles en particulier a été considéré sous un autre angle : celui de limiter les exportations par la culture, en "restituant" au sol les pailles produites après-récolte et non apportant de l'extérieur des pailles en plus grande quantité ce qui constituait un transfert de fertilité.

Jusqu'alors les résidus de récolte étaient systématiquement enlevés avant la préparation de la culture suivante, comme c'est réputé être le cas chez les paysans qui répugneraient à l'effort supplémentaire de leur enfouissement lors de leur bêchage à l'angady déjà assez pénible.

c/ Plante - Test.

La principale culture sèche sur les tanety, de préférence en bas de pente près des "baiboho", est le manioc, dont le cycle est, à cette altitude, de 24 mois ou plus car il perd ses feuilles en saison sèche et se contente de survivre jusqu'au prochain été avec les nouvelles pluies. Il ne reçoit comme fumure qu une poignée de "poudrette" enfouie au pied de chaque bouture (ou poquet); cela représenterait environ 5 tonnes de poudrette à l'hectare. Assez fréquemment quelques graines de maïs et/ou haricot sont semées dans le poquet, avec la bouture.

La principale plante test fut, bien que sa culture ne soit pas très importante localement, le maïs, en général des hybrides créés par l IRAM (H383 le plus souvent) de cycle 150 jours soit environ la longueur de la saison des pluies. Le maïs a pu être semé en culture continue pendant plus de 10 ans sur certaines parcelles sans que cela pose de problème phytosanitaire ou d'enherbement particulier. Le maïs est d'abord un remarquable indicateur de fertilité...

Le sol est bêché à l'angady² au début de la saison des pluies après épandage de la dolomie et du phosphore (éventuellement des oligo-éléments, Nutramine)³ au début de la saison des pluies. Le maïs est semé en ligne écartée de 80 cm, en poquets à 2 grains à 40 cm sur la ligne (densité de 62 000 pieds/ha) vers la mi-novembre. La fumure NK est localisée sur la ligne : 1/3 N + 1/2 K2O au 20e JAS (début épiaison), enfoui chaque fois en buttant la ligne (sarclo-buttage à l'angady). L'ensemble des façons culturales est, on le voit, effectué manuellement avec les outils du paysan.

Après le maïs utilisé comme plante test de 1973 à environ 1978 à Ampangabé, la plupart des essais offrant une très large gamme d états de fertilité pour chaque élément seul ou en association, furent utilisé pour étudier le comportement dans ces diverses conditions d'autres cultures intéressantes pour la région : manioc (1976-78), arachide et soja (1978-81). Il n'en sera pas rendu compte dans ce document ; l'essentiel de l'information qui nous intéresse étant déjà fourni par les résultats sur maïs.

¹ Un diction local dit que le manioc a besoin de trois saisons de pluies: la première pour se développer, les suivantes pour faire des racines.

¹ Bêche de jet à lame longue, étroite et lourde particulière à Madagascar.

Et à l'occasion les résidus de récolte, ce qui nécessite une organisation spéciale : étendre les pailles dans le sillon.

3.5.1.3.1.2.Etude plus approfondie du milieu.

L'expérimentation au champ sur les effets de la fumure s'appuie sur l'étude des conditions de milieu (sols et climat), dont les différents états permettent d'expliquer le mécanisme, ou plus modestement indiquer les raisons des différences de réponse d'un traitement à un autre (sol) ou d une année à l'autre (pluviosité).

La plus grande partie des observations faites dans ce cadre présente un intérêt général sur le plan de la fertilisation, et non simplement spécifique à tel ou tel essai. Les études n'ont été suffisamment systématiques que sur le site d'Ampangabé, que l'on considérera comme caractéristique, car particulièrement pauvre, du problème à traiter : redressement puis maintien de la fertilité.

a / Sols.

La station d'Ampangabe est située dans la ferme "La Brie", inexploitée depuis le début des années 40, sur le sommet aplani d'une colline et sur le haut des pentes, à déclivité de 10-15 %, après aménagement sommaire en banquettes de 15 m de large.

La végétation naturelle est une steppe très dégradée, à Aristida multicaulis.

Ces sols sont particulièrement homogènes sur l'ensemble du site, comme en témoignent les nombreuses analyses de "profils" faites "au départ" de nombreux essais distants de quelques centaines de mètres.

C'est dans la classification française un sol ferrallitique très désaturé typique non "rajeuni" par l'érosion; il est très profond, une dizaine de mètres au moins, avant d'atteindre la zone de "pourrissement" de la rode mère (granito-gneiss).

C'est dans la classification française, un sol ferallitique très désaturé typique non "rajeuni" par l'érosion; il est profond de 2 à 4 mètres, avant d'atteindre la zone de "pourrissement" de la roche mère (granito-gneiss), qui elle, peut atteindre 40 mètres.

Encadré nº 7

Description des sols d'Ampangabe

Un profil type (décrit par Souchier) comporte de 0 à 20 cm:

- un horizon A de 15 cm d'épaisseur, assez organique, de couleur brun rougeâtre, de structure grumuleuse, où les racines sont très nombreuses;
- Un horizon A/B de 15 à 30 cm, de même couleur et même structure mais avec moins de matière organique et de racines;
- un horizon oxique de couleur rouge jaunâtre et structure massive jusqu'à 150 cm.

Sa texture est argilo-sableuse¹ dans les quarante premiers centimètres puis sabloargileuse (15 % d argile et 9 % de limon) jusqu à 2 m et plus (zone exploitée par les racines).

¹ Mais donne l'impression d'être plus grossière à cause de la formation de pseudo-sable

Tableau 15. Caractéristiques des sols près des lysimètres : fosses de construction des cuves. Moyennes des deux fosses (analyses : laboratoire GERDAT à Montpellier).

Mesures			Profon	deur en c	m des horiz	ons	
		0-15	15-35	35-60	60-100	100-150	150-200
Granulométrie % de la terre fine (pas de refus à 2mm)	Argile Limon fin Limon grossier Sable fin Sable grossier	17 27 6 16 34	17 26 9 16 32	8 19 135 22 38	8 14 15 27 36,5	10,5 13,5 14,5 31,0 27,0	14,0 17,0 15,0 32,0 22,5
Matière organique	C % N %	2,7 2,3	1,9 1,8	1,2 1,2	0,5 0,5	0,4 0,35	0,3 0,3
Eléments totaux % (attaque triacide)	Insoluble Si02 Al203 Fe203 CaO MgO K ₂ O	27 5,3 27,4 7,8 0,06 0,04 0,01	24 6,7 29,9 8,1 0,04 0,03 0,01	22 7,5 29,1 8,1 0,02 0,03 0,005	17 9,7 30,2 8,2 0,02 0,03 0,005	18 7,6 28,2 7,7 0,02 0,02 ts	12 11,2 25,1 7,3 0,02 0,02 ts
Bases échangeables Ac - NH ₄ et CEC le/100 g	Ca Mg Na K CEC	0,28 0,15 0,05 0,16 11,7	0,20 0,07 0,06 0,03 9,6	0,17 0,06 0,02 0,01 8,8	0,18 0,06 0,01 0,01 7,1	0,15 0,07 0,01 0,01 7,8	0,19 0,06 0,01 0,01 4,8
pΗ	Eau KCI	5,0 4,3	5,2 4,5	5,1 4,7	5,9 5,7	6,1 6,1	6,0 5,9
PhosphoreP-AI Chang et Jackson ppm P	15 P-Fe P-Ca Phosphore total	3 135 18 430	3 47 28 720	30 88 12 855	24 196 30 1 600	28 210 14 1 400	90 30 1 040

L'analyse triacide de la fraction fine : 16 % SiO2, 36 % Al2O3, 12 % Fe2O3, confirmée par l'analyse thermique différentielle et l'étude aux rayons X, y montrent la prédominance de gibbisite avec par ailleurs la kaolinite comme seule forme d'argile à feuillets.

Le taux de matière organique (C x 1,7 %) baisse très progressivement de 2,5 % en surface à 0,9 % à 1 m, puis 0,3 % à 1,5 m de profondeur. Les réserves correspondantes en azote ne sont pas négligeables.

Le complexe absorbant est uniquement constitué de colloïdes à charges variables. La capacité d'échange est donc éminemment variable avec la teneur en bases donc le pH. La capacité d'échange mesurée à pH neutre et le taux de saturation que l'on en déduit, ont peu de signification.

Le pH est toujours acide (pH eau = 5.0), plus en surface qu'en profondeur (pH = 6.0). La CEC effective à pH 5 n'est que de 1 me/100 g.

Le PCN (Point de Charge Nulle) déterminé par la méthode de titration potentiométrique est obtenu à pH = 4,2 (Pieri, 1975).

Du point de vue chimique, (voir tableau 15), ces sols sont extrêmement pauvres en éléments assimilables autre que N :

- d'abord en bases échangeables K, Ca, Mg, en quantité très faibles même en surface où elles sont, comme partout, plus concentrées dans le réservoir matière organique et racines ;
 La capacité d'échange est complétée par de l aluminium échangeable, dont la toxicité se manifeste dès que la fumure K-Ca-Mg est insuffisante.
- ensuite en P. Olsen Dabin : 15 ppm en surface malgré des teneurs en phosphore total assez élevées.

Ces sols avaient la réputation d avoir un fort pouvoir fixateur et de "rétrograder" le P soluble apporté par certains engrais.

L'extrême pauvreté de ce sol ressort très clairement dans le test en vases de végétation, effectué sur un échantillon prélevé sous friche, dont les résultats sont reportés dans le tableau 16. Les premières carences à ressortir sont celles en phosphore et en calcium; les déficiences en K et Mg n apparaissent pas aussi tôt mais après la troisième coupe, on voit qu elles sont alors aussi graves que les précédentes.

<u>Tableau 16</u>. Test en vase de végétation sur sol d'Ampangabe (défriche), avec Ray grass. Production de matière sèche en fonction des traitements, en % de celle de la fumure complète.

			RE CO	MPLET	E (FC) m	oins		TEMOIN OO
	FC	-PC	-K	-Ca	-Mg	-S	OE(1)	
Première coupe	100	40	71	42	94	87	102	11
Deuxième coupe	100	15	42	27	48	34	96	0
Troisième coupe	100	11	24	8	31	19	99	0
Quatrième coupe	100	12	0	0	0	0	88	0
Moyenne	100	21	38	21	48	40		

On en trouve également la confirmation dans l'indigence de la végétation naturelle (très pauvre du point de vue floristique, composée de quelques espèces de graminées résistantes au feu), lignifiées, non consommables par les bovins, quand elle n'est pas régénérée par le feu; même dans ce dernier cas, le recru de la steppe à Aristida est bien maigre.

Les eaux de lixiviation sous végétation naturelle sont pratiquement pures, autre signe de l'épuisement de ces sols, tant à Ampangabe qu' à Manankazo et Ambatomainty dans les bassins versants expérimentaux voir encadré n° 8.

Pertes par lixiviation sous végétation naturelle à Ampangabe :

Six lysimètres des lysimètres construits à Ampangabe en 1974 ont été gardés en friche, sous végétation naturelle non perturbée pendant la saison des pluies 1974/75.

Les mesures de drainage et les analyses des eaux percolées ont été faites systématiquement.

La saison ayant été très pluivieuse, le drainage fut important: 958 mm au total pour 1 603 mm de précipitations de novembre 1974 à Avril 1975.

Néanmoins, les eaux précolées étant pratiquement pures, leur conductivité électrique reste comprise entre 20 et 30 µmhos pendant les quatre mois (Décembre à Mars) de drainage; les pertes minérales par lixiviation se limitèrent à:

0,5 kgN - 8,5 kg K20 - 11 kg CaO et 3,5 kg MgO/ha.

pour l'ensemble de la saison.

Le seul anion présent dans le percolat, à l'excéption de traces de nitrate en fin de saison, était le carbonate CO₃H la concentration de 0,1 - 0,2 me/litre.

MOIS	PLUVIO-	DRAINAGE	CONCENTRATION DES PERCOLATS EN mg/l						
	METRIE		N	K	Ca	Mg			
Novembre	76	-							
Décembre 74	500	300	0	1.0	1.2	0.2			
Janvier 75	200	116	0	0.5	1.2	0.2			
Février	522	376	0	0.7	1.0	0.2			
Mars	289	161	0.4	0.6	0.8	0.2			
Avril	16	-		3.0	0.0	0.5			
Total	1 603	953							

^{1.} Equivalent à celui que l'on a mesuré sous culture de maïs dans les lysimètres voisins de la même année.

b / Pluviométrie, drainage.

La pluviométrie est très variable d'une saison à l'autre mais toujours excédentaire au cours des 5-6 mois pluvieux, elle est systématiquement génératrice de drainage et/ou ruissellement. Les mesures effectuées dans les lysimètres d'Ampangabe pendant cinq ans de 1974-75 à 1978 - sont résumées, en données mensuelles, dans le tableau 17. On y voit déjà la grande variabilité:

Encadre nº 8.

Etude du drainage et des pertes par lixiviation sous végétation naturelles dans les bassins versants de Manankázo (altitude 1500 m) et d'Ambatomainty (altitude 1600 m)

La ferrallitisation des sols est **très** poussée, les rapports moléculaires Si O_2/Al_2 O_3 est de 0,2 à Ambatomainty et 1,2 à Manankazo La gibbsite prédomine largement dans la fraction d'argile granulométrique" et l'on ne trouve **en** complément que de la kaolinite.

Ils sont d'une extrême pauvreté en éléments assimilables avec dans l'horizon de surface des teneurs en P Olsen-Dabin de l'ordre 20 ppm et/pour les bases échangeables : 0,3 - 0,4 Ca - 0,2 - 0,3 Mg -0,1 K.

T. 1: Analyse, partielle, de l'horizon de surface 0 - 15 cm

				Analyse triocide					
Bassin versant		totales		é	changeable	s	%		
	K	Са	Mg	K-	Са	Mg	Si O ₂	Al O ₃	
Ambatomainty Manankazo	0,2 0,2	5,6 0,5	0,8 0,5	/ 0.1 0.1	0,4 0,3	0,3 0,2	5,2 2,4	36 36	

Pauvreté que l'on retrouve dans le composition de la végétation naturelle : steppe à base de graminées résistantes au feu. Pour une masse végétative à peu près constante toute l'année : 10 - 12 t de matière verte/ha à faible taux d'humidité (40 % H₂O.) les immobilisations minérales sont de l'ordre de 33 kg de N, 3 kg de P, 20 de K, 10 de Ca et 5 de Mg à l'ha.

T. 2 : Composition de la végétation naturelle

Bassin			Eléments, e	n % de la MS		
versant	N	Р	К	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

Les sols sont néanmoins assez riche en matière organique : environ 6,5 % en surface et encore 0,2 - 0,6 % en profondeur, ce qui leur confère, en association avec la gibbsite, une bonne structure et une grande permeabilité. Il s'agit d'une matière organique, biologiquement peu active, évoluant peu aussi, ce à quoi contribue le froid lié à l'altitude.

Les eaux qui percolent à plus d'1 m de profondeur sous cette steppe sont pratiquement pures : leur conductivité électrique (à 25°) étant de 20 rembos à Manankazo et 40 rembos à Ambatomainty ou les percolats sont un peu plus riches en Ca : 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 à 0,2 mg/l sur des deux stations. Ces éléments sont sous formes de bicarbonate, seul anion identifié ; on ne trouve en particulier pas de nitrate et/ou d'azote sous quelle forme que ce soit.

T. 3: Pluviométrie (H) et drainage (D) sous friche.

Bassin versant		1973 - 74	1974 - 75	1975 - 76	1976 - 77
Ambatomainty	Н	1 050	1 430	1 150	1 760
	D	435	705	630	1 120
Manankazo	Н	1 580	1 660	1 910	1 650
	D	600	810	890	1 030

Malgré l'importance du drainage, les pertes par lixiviation sous ce couvert naturel sont négligeables pour 700 à 800 mm d'eau percolées en moyenne par saisons elles se chiffrent à : 3 à 5 kg de K, 1 à 2 kg de Mg et 5 (Manankazo) ou 20 (Ambatomainty) kg de calcium.

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

Tableau 17. Pluviométrie (H) et drainage (D) moyens sous culture de maïs mm par décades et par mois.

Années	Mois	Prem déca		Deuxi déca		Trois déc		To	tal mensu	ıel
		Н	D	Н	D	Н	D	Н	D	H-1
1974-75	ΧI	41	-	13	-	22	-	76	-	76
	XII	151	45	192	124	157	131	500	300	200
		156 105	111	19	3	25	2	200	116	84
	 	195 129	115 95	180 115	146 71	147 45	115 -	522 289	376 1	146 123
	IV	2	<i>9</i> 5	14	-	0	-	16	-	16
Total annuel					***************************************			1 603	958	
1975-76	ΧI	67	-	109	8	44	30	220	38	182
	XII	33	6	77	25	115	77	225	108	117
	!	41	25	82	24	76	56	199	105	94
	Н	155	68	95 10	55	85	61	335	184	151
	III IV	1 12	2	18 3	-	73 2	6	92 17	6 2	86 15
Total annuel								1 088	443	
1976-77	VI	F0	3			11		114	<u>~~~</u>	
1970-77	XI XII	52 130	71	51 97	23 78	11 243	- 174	470	26 323	88 147
	711	31	16	49	1	63	41	143	58	85
	ij	230	148	32	27	40	-	302	175	127
	111	115	69	19	-	234	169	368	238	130
	IV	9	1	9	•	0	-	18	1	17
Total annuel								1 415	821	
1977-78	ΧI	61	-	62	6	12	_	135	6	129
	XII	42	5	55	18	1	-	98	23	75
	1	24	-	14	-	240	138	278	138	140
	11	36	7	3	-	115	12	154	19	135
	111	87	42	41	24	0	•	128	66	62
	IV	18	-	35	<u>.</u>	3	<u> </u>	56	<u> </u>	
Total annuel								849	252	
1978-79	ΧI	12	-	71	-	81	-	164		164
	XII	105	42	53	28	24	-	182	70	112
	!	62	27	2	-	129	45	193	72	121
	11	90	23	160	112	2	3	252	138	114
	Ш	64	12	89	38	108	43	161	93	168
	IV	52	30	2	-	0	-	54	30	20
Total annuel								1 106	403	

1) d'une saison à l'autre, que l'on peut résumer par les quelques chiffres suivants (en mm/saison), voir aussi figure 3.

Année	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79
H: pluviosité	1 603	1 088	1 415	849	1 106
D : drainage(1)	958	443	821	252	403
H - D	645	645	594	597	703

- 1. Avec un ruissellement nul.
- la pluviosité varie au cours de ces seuls 5 ans du simple au double : 849 à 1 603, pour une moyenne standard de l'ordre de 1 300 mm à Tananarive ; le drainage du simple à presque le quadruple : 252 à 958 mm ce qui est, pour le dernier chiffre, énorme.
- Le déficit de drainage H-D sur l'ensemble de la saison, que l'on peut approximativement assimiler à l ETR est, elle, ce qui est logique, assez constante 600-700 mm/an. Les différences résultent de la plus ou moins grande régularité de la répartition au cours de la saison.
- 2) à l'intérieur de la saison, la répartition mensuelle de la pluviométrie et du drainage est très variable d'une année à l'autre, avec des conséquences plus ou moins graves sur les pertes par lixiviation selon que ces excès ont lieu en début de saison quand le sol est mal protégé par la culture, ou plus tard.

Encore les données mensuelles masquent-elles une variabilité beaucoup plus importante de la pluviosité, que seul l'examen de la pluviométrie annuelle permet d'appréhender – voir l'exemple de l'année 1975-76 dans le tableau18. On peut alors ² mesurer l'importance du passage des cyclones sur le total des précipitations, et constater l'occurrence entre les phases cycloniques de petites périodes sèches de 10 à 20 jours qui peuvent avoir des incidences néfastes sur les cultures quand elles tombent sur leurs "périodes critiques".

La variabilité des rendements de traitements recevant la même fumure d' une année à l' autre donnée ci-dessous (en quintaux de grains par hectare) illustre l'influence de ces aléas.

Traitement		1970/71	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77
N=0	8	14	13	25	10	24	33	25
N=150 +pailles	55	54	36	99	54	78	82	53

¹ Et l'érosion dans le cas où le ruissellement est possible, le ruissellement moyen mésuré dans les parcelles d'érosion voisine était de 130 mm en 1974-75 (Dont 127 avant le 7/1), 10 mm en 1975-76, 65 mm en 1976-77, 6mm en 1977-78 et 24 mm en 1978-79.

² Prendre exemple d'une année particulière moyenne

Tableau 18. Pluviométrie, drainage et EVbac journaliers à Ampangabé, saison 1975-76.

	Octo	obre		lovembre	8	Déc	embre 19	975	Jai	nvier 197	'6		Février			Mars			Avril		M	ai
	н	E	н	D	E	н	D	E	Н	D	E	н	D	E	Н	D	E	н	D	Е	Н	Ε
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 29 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	3,0 4,1 8,7 0,6 7,8 7,3 6,1	7777666667778888787886611786	8.8 3.0 2.8 7.8 11.1 15.6 21.0 38.6 6.0 38.6 6.8 21.4 2.5 28.6 37.0	12.9 2.4 19.8 5.0 1.2 0.4 0.1	766686788464345566365767577856	20.5 12.5 1.0 10.0 26.5 36.9 5.1 46.0 18.0 10.2 1.6 5.5 1.5 0.5	0.9 6.3 2.2 0.5 0.1 8.8 3.2 0.6 0.1 8.9 3.1 40.0 3.5 7.9 9.2 1.6 0.3	7878767778888786467874453746366	8,5 8,5 0,5 20,0 2,2 0,7 34,9 1,8 5,0 25,0 25,0 18,0 16,0 12,2 17,0 0,3	2,5 1,4 9,9 2,8 0,2 2,5 2,2 0,1 3,3 6,5 12,3 12,3 2,2	5 4 3 4 7 7 6 8 8 7 7 8 8 8 4 5 7 6 6 6 7 7 6 5 5 6 6 3 5	63,4 67,4 12,1 10,0 50,2 0,5 11,2 19,6 3,0 18,7 65,6 3,0	2.8 52.6 5.2 1.3 0.3 1.0 2.2 0.5 52.0 0.3	7 7 6 7 7 8 7 10 6 5 6 6 10 5 6 6 7 8 4 7 3 5 6 6 5 6 4 5 6 7	0,2 5,5 6,4 0,5 1,8 4,6		55677676765534445555654443	12.3 3,2 1.5	1.2	555565655666767555763566675675	6.0 3.0 9.0	7 6 6 5 6 6 6 7 4 6 6 5 6 5 5 3 4 6 4 4 5 6 5 5 5 4 4 4 4 6 6
31		7				25,9	8.2	2	0,5		6				68,5	4,7	6					5

Ampangabé 1975-76 Lysimètres N x pailles Pluviomètrie à 1,5m H Drainage sous maïs D Evapotranspiration bac Cobrado E en mm/j

Figure 3 : Drainage et "déficit de drainage" Ampangabé de 1974 à 1979

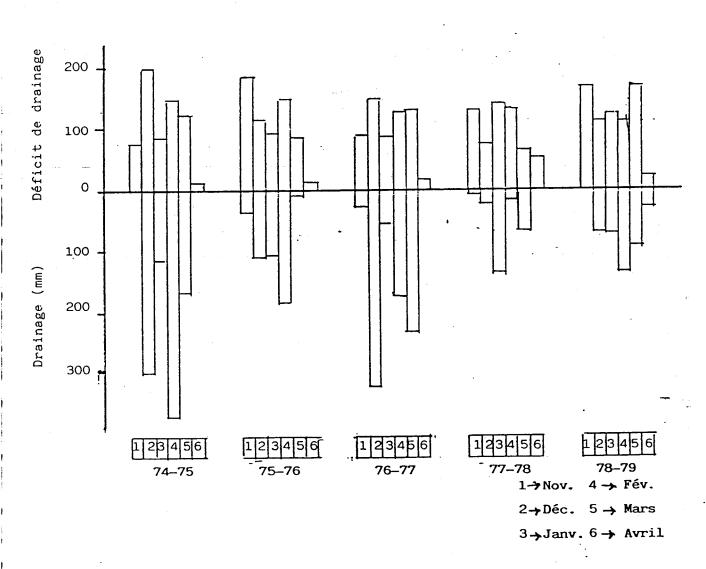


Tableau 19. Composition minérale moyenne des différentes parties aériennes de la variété IRAM 383 en pourcentage de la matière sèche.

Parties aériennes			Elément		
deriennes .	N	P		0	
	N		K	<u>Ca</u>	Mg
Grains	1,0-1,7	0,2	0,4	0,02	0,60
Rafles	0,5	0,05	1,0	0,04	0,05
Spathes	0,5	0,05	0,9	0,08	0,11
Tiges et feuilles	0,6	0,05	0,9-1,3	0,20	0,20

Pour une répartition moyenne de la matière sèche dans des plants recevant une fumure suffisante équilibrée égale à 40 % dans les grains, 10 % dans les rafles et 50 % dans les tiges, avec feuilles et spathes, les **mobilisations minérales** pour produire une tonne de grains (à 15 % d'humidité standard) sont, en kg :

Parties	Elément								
aériennes	N	Р -	К	Ca	Mg				
Grains	12,8	1,7	3,4	0,1	0,8				
Rafles	1,0	0,1	2,1	0,1	0,1				
Tiges, feuilles, spathes	6,3	0,5	11,7	2,1	2,1				
Total parties aériennes	20,1	2,3	17,2	2,3	3,0				

Soit environ : 20 kg azote - 2,3 kg P, 17 de K et 2,3 de Ca et 3 de Mg dont au minimum sont exportés avec les graines :

13 kg N - 1,7 de P, 3,4 de K - 0,1 de Ca et 0,8 de Mg.

c / Mobilisations minérales par la culture, exportations par les épis, restitutions (possibles) avec les tiges (et comparaisons avec fumier de parc).

De nombreuses mesures de mobilisation des cultures sur les essais, et dans les lysimètres d'Ampangabé ont montré que la composition minérale des différentes parties de la plante est relativement stable pour des fumures variées. Les facteurs les plus variables sont la teneur en K des tiges fortement dépendantes de la fumure K et de la restitution ou non des pailles et les teneurs en N du grain selon la fumure N, cf. Tableau 19 ci-contre.

Pour une récolte de 5 t de grains/ha, ce qui peut être considéré comme une assez bonne moyenne, pour une fumure raisonnable sur ces sols : les exportations dans les épis (grains + rafles) seront de l ordre de :

et les mobilisations dans les tiges, avec feuilles et spathes qui sont elles soit enlevées donc autant d'exporté ou économisé dans le cas contraire

Que l'on peut comparer aux apports de 5 t/ha ¹ de poudrette de parc, "engrais" pour lequel on a effectué aussi de nombreuses mesures. La composition minérale de cette poudrette est assez variable - voir tableau 20 - cela n est pas surprenant vu son mode de fabrication, et de récupération après des séjours plus ou moins prolongés dans les parcs à boeufs.

Si l' on prend comme composition moyenne de la matière sèche : 1,3 N - 0,75 P2O5 - 0,8 CaO et 0,5 MgO avec une teneur en eau moyenne de 70 %, 5 t de poudrette de parc fraîche fournissent :

20 kg de N - 11 kg de P2O5 - 15 à 40 kg de K2O - 13 kg de CaO et 8 kg de MgO. ou 20 kg de N - 5 kg de P - 12 à 33 kg de K - 9 kg de Ca et 5 kg de Mg.

<u>Tableau 20</u>: Composition des « poudrettes de parc » utilisées dans les essais. Echantillons analysés par le laboratoire de technologie du FOFIFA.

LIEU	ANNNEE	H2O%	COMPOSITION EN % DE LA MATIERE SECHE								
LIEU	THUTUEL	112070	P/feu	С	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	SiO2	
Ampangabe	1974/75	70	-	25	1.2	0.5	1.8	0.5	0.5		
	1975/76 	83	-	37	1.7	0.6	1.3	0.5	0.5	18	
Antaboaka	1974/75	63	52	27	1.5	0.6	1.9	0.7	0.5	37	
	1975/76	55	37	18	0.8	0.6	1.7	0.6	0.3	48	
Ambohitrako	ho 1974/75	72	53	27	1.6	1.0	3.4	1.6	1.0	27	
	1975/76	75	65	32	1.5	1.0	1.5	0.5	0.4	26	
Betsizaraina	1974/75	63	29	12	0.9	1.0	1.1	1.2	0.6	38	
	1975/76	70	45	18	1.3	0.7	1.4	1.3	0.5	38	
Moyenne (Ar	rondie) 70	_		1.3	0.75	1.6	0.8	0.5	3.6		

¹ Dose que l'on estime pouvoir être appliquéepar les paysans.

A / La prétendue "stérilité" des sols de collines = leur "fertilité actuelle".

La littérature disponible ¹ sur les premiers essais de fertilisation (Carré, 1961; Roche, Dufournet et Rabetrano, 1967), donne très peu d informations chiffrées sur les effets de la fumure strictement minérale mais affirme l'inefficacité de cette technique : "(sur) ces terres en grande majorité, dégradées et rendues plus ou moins stériles sous l action néfaste des feux et des érosions consécutives... l'emploi d'engrais minéraux ne peut intervenir qu' à titre complémentaire... tous les essais de fertilisation par les seuls engrais minéraux ont démontré que cette technique ne pouvait donner des résultats appréciables ou valables, même en augmentant deux, trois ou quatre fois les doses, ce qui rendrait au surplus l'opération non rentable, même à la longue. Dans des terres qui n ont ni structure, ni complexe absorbant, à peu près totalement dépourvues de matières organiques, les engrais minéraux sont pratiquement inutilisés par les plantes cultivées et inefficaces." (Carré, 1961). D'après Carré, il était d'abord indispensable de redonner une vie biologique à ces sols par des apports de fumier.

Les résultats rapportés par Roche, Dufournet et Rabetrano (1967) sur l'expérimentation multilocale menée en 1966-63 et 1963-64, les tanety des Hautes Terres sont peu explicites car seules sont fournies les moyennes de 10 sites aux conditions très hétérogènes : sols sur granito-gneiss et sols sur roches volcaniques anciennes ou récentes, sur défriches (province de Tananarive) ou sur champ de case régulièrement enrichis par des apports organiques (provinces de Fianarantsoa).

Les rendements moyens du témoin absolu sans engrais : 1,2 t de maïs grain/ha première année (1962-63) et 0,6 t/ha l' année suivante n ont donc pas grande signification.

B / Leur fertilité potentielle

LES COURBES DE REPONSES A P, K, DOLOMIE EN FUMURE STRICTEMENT MINERALE :LA FUMURE DE REDRESSEMENT.

La démarche proposée par le "professeur" Chaminade pour déterminer le rendement potentiel du sol à l'aide de courbes de réponse a été très brièvement exposée.

Rappelons que les essais au champ dits "courbe de réponse" sont la suite logique des essais au laboratoire en "vases de végétation" en vue de la mise au point de la fumure de redressement. Ils sont réalisés pour tous les éléments ayant présenté une carence nette en vases de végétation, c est-à-dire pour les sols qui nous intéressent ici : P, K, Ca et Mg.

Dans ces essais "il n y a qu une seule variable : l' élément qui est apporté à doses croissantes. Tous les autres éléments sont apportés à une dose uniforme suffisamment forte pour qu' ils ne risquent pas de constituer des facteurs limitants. Il y a dans chaque cas six doses d' éléments testés, dont une dose zéro, et une dose supposée nettement trop forte, ce qui doit permettre de tracer une courbe de réponse correcte." (Velly, Roche et Celton, 1967). Les doses testées étaient :

- 0-100-200-300-400-1 000 kg P2O5/ha;
- -0-90-180-270-360-600 kg K2O/ha;
- $-0-400-800-1\ 200-1\ 600-3\ 200\ kg\ dolomie^{2}/ha$;

¹ Il faudrait pouvoir retrouver les rapports de campagne de l'époque: travaux de Roche au Lac Alaotra, Ambatobe Sakay

² Dolomie avec en moyenne 30 % CaO et 20 % MgO

en présence d une fumure de base uniforme apportant : 1 000 kg P2O5,
 600 kg K2O, 3 t de dolomie, 10 kg de Nutramine et 240 kg pour N
 en général ; fumure de laquelle était enlevé bien sûr l élément à étudier.

Bien que l'azote ne fasse pas partie de la fumure de redressement, il a aussi systématiquement donné lieu à des essais courbes de réponse qui permirent de mettre au point la dose de fumure azotée annuelle.

Les courbes de réponse donnent pour chaque élément la dose qui permet le rendement maximal (potentiel) ; ce n'est pas forcément la plus intéressante au point de vue économique, (cf. Loi des rendement moins que proportionnel).

L'IRAM a considéré, au vu des résultats moyens que la fumure de redressement a recommander, correspondait à 80 % de la dose permettant d'obtenir le rendement potentiel.

LA FUMURE D'ENTRETIEN

La fumure d'entretien à apporter tous les ans par la suite devait tenir compte des exportations par les cultures et des différentes pertes (lixiviation...) pour maintenir la production au niveau atteint (autorisé) avec la fumure de redressement. Elle dépend bien entendu de la plante cultivée l'année considérée.

Il n' y eut à vrai dire pas de programme systématique d'expérimentation au champ sur ce dernier sujet, il a plutôt été abordé par le biais de l' étude des mobilisations et exportations minérales par les cultures : cf. Velly (1967) puis Oliver et Ervay (1974). Le second facteur après les exportations par la plante, en débit dans l' équation du bilan minéral était supposé évidemment être les pertes par lixiviations. C est dans ce but qu ont été mis en place les premiers lysimètres d APG et ceux des BV à partir de 1972 et 1973. En fait, les études ont vraiment commencé en 1976-74.

Provisoirement la fumure d'entretien conseillée sur le maïs s'élevait à : 160 kg N - 90 kg P2O5 - 90 à 120 kg K2O et 300 à 400 kg de dolomie par hectare par an (Roche P., Velly J., et Celton J., 1996).

RESULTATS DES ESSAIS COURBE DE REPONSE A P, K, Ca, MG.

Il n' y a pas eu d'essais courbes de réponse tout à fait typiques de la démarche IRAM sur les sols dérivés de granito-gneiss dans la province de Tananarive. Ceux qui furent mis en place à Ampangabe présentent la particularité de ne pas tester les doses standards et d' utiliser le Vigna sinensis comme plante test en première année, 1964-65, sur défriche.

Le vigna, semé en janvier 1965, a été coupé puis pesé en vert à la fin de la saison des pluies puis enfoui comme engrais vert pour la culture suivante : maïs 1965-66.

Les rendements obtenus par le vigna, exprimés en tonnes de matière verte par hectare furent :

- -4.6 t sans phosphore vs 20 t avec 320 kg P2O5/ha;
- 7,8 t sans phosphore vs 20 t avec 150 kg K2O/ha;
- 3.9 t sans dolomie os 7.5 t avec 0.8 t de dolomie/ha.

Tableau 21. Essai courbe de réponse au phosphore(Matsiatra) production suivant les doses exprimées en tonne de grains/ha pour le maïs.

Dose P ₂ O ₅ /kg/ha	0	100	200	300	400	1 000
Première année (1967-68) maïs	0,3	2,0	2,6	2,4	3,3	4,1
Deuxième année (1968-69) maïs	1,6	4,95	6,9	7,2	8,1	8,8
Troisième année arachide ⁽¹⁾	1,4	2,8	3,5	3,3	3,9	4.1
Quatrième année stylosanthes ⁽²⁾	5,7	8,5	12,1	15,4	18,4	23,0
Cinquième année stylosanthes	5,2	7,7	10,7	14,3	16,6	19,7
Sixième année ⁽³⁾ stylosanthes	11,5	17,9	25,5	29,7	36,4	41,3

Tonnes de gousses par hectare.
 Tonnes de matière verte par hectare.

^{3.} En deux coupes.

Les rendements obtenus l'année suivante, après apports complémentaires d'engrais pour obtenir les doses standards des courbes de réponse, furent (en tonnes de maïs grain/ha):

```
1,34 t K_2O = 0
                                                 1.31 t Dolomie = 0
                                                                                         2,66 t
P_2O_5 = 0
                                                                                         3,25 t
P_2O_5 = 100
                   1.34 	 K<sub>2</sub>O = 100
                                                 2,90 \text{ t Dolomie} = 0,4 \text{ t}
P_2O_5 = 200
                   1,34 \text{ t} \quad \text{K}_2\text{O} = 200
                                                 3,50 \text{ t Dolomie} = 0,8 \text{ t}
                                                                                         3,80 t
                   1.34 	 t K_2O = 300
                                                 3,49 \text{ t Dolomie} = 1,2 \text{ t}
                                                                                         4.01 t
P_2O_5 = 300
P_2O_5 = 400
                   1,34 t K_2O = 400
                                                 4.76 \text{ t Dolomie} = 1.6 \text{ t}
                                                                                         4,26 t
P_2O_5 = 1000 \quad 1,34 \text{ t} \quad K_2O = 500
                                                  5,06 \text{ t Dolomie} = 3,2 \text{ t}
                                                                                          5,07 t
```

La fumure uniforme (hormis pour l'élément testé) était ici de :

Il en fut déduit que la fumure de redressement permettant d'obtenir 80 % du rendement potentiel devait fournir : 400 kg P2O5 - 300 kg K2O et 1,9 t en dolomie/ha (Velly, Roche et Celton, 1968) formule recommandée, de façon générale, à la suite des résultats obtenus sur le réseau d essais multilocaux sur les sols ferrallitiques dérivés de granito-gneiss ou de roches volcaniques anciennes (Celton, 1968).

Le dispositif IRAM standard, avec le maïs comme plante test dès la première année sur défriche avait été mis en place sur des sols du même type, ferrallitiques très désaturés dérivés de granito-gneiss, sur le point d'essai de Matsiatra dans la province de Fianarantsoa. Les rendements obtenus dans l'essai courbe de réponse en phosphore sont rassemblés dans le tableau 21.

Les résultats montrent une bonne réponse en première année bien que les rendements plafonnent à 4 t, (effet défriche) et une réponse extraordinaire en deuxième année avec des rendements excellents alors que la production du témoin absolu, hors bloc, est nulle. Dans ce cas aussi il fut conclu que la fumure de redressement en phosphore devait être de 400 kg P2O5/ha.

Habituellement ces essais "courbes de réponse" ont déjà fourni l'information nécessaire dès la deuxième année et sont arrêtés; c'est ensuite le rôle de la fumure d'entretien de maintenir le niveau des rendements. Cependant, sur quelques essais, dont précisément la CRP de Matsiatra, les arrières actions des apports à doses croissantes ont été suivies "ceci principalement pour le phosphore. Pour la potasse, en effet quand il y avait une réponse à l'origine, l'arrière action a disparu assez rapidement (de quatre à cinq ans) en raison des pertes par lessivage. Ceci peut d'ailleurs s'appliquer aussi à la dolomie" (Velly et Roche, 1974).

On voit dans le tableau 21. que la réponse est encore nette en sixième année sur le *stylosanthes*. Les effets résiduels sont remarquables, les apports de la première année sont restés disponibles. La détermination du P2O5 assimilable sur des prélèvements effectués fin 1975 le confirment :

Tableau 22. Ampangabé essai P nº 1, rendements en quintaux de grains (maïs et soja) ou gousses (arachide) à l'hectare des traitements recevant diverses fumures initiales puis aucune fumure d'entretien en phosphore, sous forme de Supertriple.

Année ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6	·.	7	8
Culture ⁽²⁾	М	М	М	, M ,	М	Α	Α	S	S
Fumure P ₂ O ₅ initiale									
0	-	-	11	15	5	14	11	4	5
90	6,5	22,5	25,0	24,0	8,0	19	14	8	7
180	7,5	29,5	38,5	39,0	15,0	21	17	10	8
360	9,0	39,0	53,0	52,0	30,5	28	24	11	10

^{1.} Année 1 : 1973-74 sur défriche..... année 8 : 1980-81.

Tableau 23. Ampangabé essai P nº 1, comparaison des formes de phosphate : Supertriple (ST), ou Hyper Reno (HR) ; rendements en quintaux par hectare de maïs (et soja) grain.

Αţ	oport P ₂ C	05	Année de culture								
1	Е	Forme	1	2	3	4	5				
45	45	. HR	2	18	30	43	26				
135	45	HR	4	34	44	46	28				
360	0	HR	6	38	51	51	28				
	í	7.		703	, \$ -	År.	1,11				

Tableau 24. Essai (N) K x pailles, Ampangabé, production de maïs, en tonnes de grains par hectare, en fonction de l'apport initial de potasse et du réenfouissement ou non des résidus de récolte (tiges de maïs).

	Pai	lies enlev	ées	Pailles restituées		
Dose potasse initiale en kg K ₂ O/ha :	0	60	180	0	60	180
Production première année 1974-75 ⁽¹⁾	0,5	3,5	3,9	_	-	_
Production deuxième année 1975-76 ⁽²⁾	0,5	4,5	5,0	0,1	4,7	5,4
Production troisième année 1976-77 ⁽²⁾	0	4,2	3,6	0,2	4,2	4,1

^{1.} Sur défriche.

^{1.} M: maïs, A: arachide, S: soja.

^{2.} Avec, outre la fumure NP CA Mg d'entretien uniforme, un apport de 60 kg $K_2O/ha/an$ sur les traitements ayant reçu de la potasse en 1974.

dose P ₂ O ₅ apportée en 1967 :	0	100	200	300	400	1 000	-
ppm P Olsen Dabin fin 1973 :	32	33	41	54	64	150	

ESSAI P NO 1

Les résultats obtenus à Ampangabe une dizaine d'années plus tard, lors de la reprise de l'expérimentation sur la fumure strictement minérale pour voir si l'on pouvait diminuer les doses conseillées confirment ces observations (Arrivets et al., 1977, 1978).

Dans le cas du phosphore, les doses croissantes épandues sur défriche en 1973, avec une fumure de redressement K-Ca-Mg uniforme, sans fumure P d'entretien par la suite mais avec des fumures N, K, Ca, Mg annuelles, ont montré des effets résiduels sur différentes cultures très nets jusqu'à la quatrième récolte pour la dose 90 P2O5 jusqu'à la huitième pour la dose 180 P2O5! (voir tableau 22). Le bilan des exportations de P cumulées sur les différents traitements indiquent un coefficient d utilisation du phosphore pratiquement égal à 100 % au total quelle que soit la dose initiale. Il n y a pas de "rétrogradation", pas de "pertes" de phosphore sur ces sols, toute la fumure de redressement sera à terme utilisée par les cultures.

Remarque : dans ce même essai on a comparé plusieurs formes de phosphate dont le Supertriple et l'Hyper Reno ; les deux formes sont également efficaces ¹ (voir tableau 23).

ESSAI K X PAILLES

Dans le cas de la potasse, on a comparé deux niveaux de fumure initiale, 180 et 60 kg K2O, et suivi l'effet résiduel de la dose forte/dose faible pendant deux ans en présence d' une fumure d'entretien uniforme égale à 60 kg K2O/ha/an (ainsi bien sûr que N, P, Ca et Mg). Les résultats rassemblés dans le tableau 24. montrent que :

- l' effet direct en 1975-76 de la forte dose de potasse par rapport à celui de la dose faible (celle-ci correspondant à une simple fumure d' entretien) est de l' ordre de 3 kg de grains seulement par kg de K2O additionnel. On peut attribuer ce manque d' efficacité à l' "effet défriche";
- en effet résiduel l'IP n'est que de 4 à 7 l'année suivante, selon que l'on a ou non réenfoui les résidus de récolte, et est nul ensuite, que les pailles soient enfouies ou non.

L'IP cumulé de kg K2O supplémentaire, au-dessus de 60 kg K2O/ha n'est donc que de 7 à 10 kg de grains, ce qui correspond à un coefficient d'utilisation très faible.

ESSAI P X K X DOLOMIE

Dans un troisième essai mis en place en 1975, on a étudié les effets directs et résiduels de doses initiales faibles (niveau fumure d entretien) et fortes (niveau redressement) de phosphore, potasse et dolomie selon les huit combinaisons possibles. Les résultats obtenus - voir tableau 25:

 $^{^{\}rm l}$ Mais l'IRAM recommandait de préférence le phosphate naturel, l'hyper Reno qui fournit, outre 30 % de P_2O_5 , , 50 % de CaO

- confirment le fort effet direct et résiduel de la forte dose de phosphore ;
- nuancent les conclusions sur la durabilité (effet résiduel) de l'effet de la potasse : il varie avec le niveau des apports de P et dolomie initiaux : sensible si ces niveaux sont faibles, marginal s'ils sont élevés ;
- montrent que l'effet direct de la forte dose de dolomie est faible sinon nulle (en présence de P1 et K1, et que ses effets résiduels sont par contre très ets en deuxième année et même en troisième année (s il n'y a pas eu apport de redressement en P). Les résultats de la seconde et troisième année montrent que les doses fortes de dolomie et de phosphore font plus ou moins double emploi (calcium apporté par le phosphate).

<u>TABLEAU 25</u>: Essai dolomie x P x K, Ampangabe, rendements en quintaux de maïs grain par hectare en fonction des apports initiaux de phosphore ⁽¹⁾, de potasse⁽¹⁾ et de dolomie⁽¹⁾; moyenne de deux repétitions.

ANNEE	K Initial	P1		P2		DO (2)
AMMEE	K Illiliai	D1	D2	D1	D2	DO (2)
1975/76	K1	15	14	24	26	12
	K2	20	22	19*	29	12
1976/77	K1	25	37	34	52	
	K2	32	50	43	55	6
1978/79	K1	23	35	42	47	(
	K2	30	39	42	42	6

- 1. P1 = 60, P2= 300P2O5/ha, K1=60, K2=300 K2O/ha, D2=2000 kg dolomie/ha.
- 2. DO= Pas de dolomie mais avec P2K2 (hors essai).

3.5.1.3.1.4. Etude de la fumure azotée.

ESSAI N X COMPOST/ 1969-70 A 1975-76.

Bien que la fumure azotée ne relève pas du concept de fumure de redressement, son étude a été abordée par le biais des courbes de réponse comme celle des autres éléments. Dans ces essais l'azote était apporté seul ou en même temps que de la matière organique à la dose de 10 t/ha; l'idée étant, rappelons-le de limiter les pertes par lixiviation de l'azote minéral en facilitant sa "réorganisation" et stockage provisoire sous forme organique.

Dans le tableau 26 sont rapportés les résultats annuels d'un essai N et compost pour les traitements ne recevant que de l'azote. En bas du tableau en grisé sont ajoutées les moyennes interannuelles des traitements avec ou sans compost; on voit que les deux courbes sont à peu près parallèles: l'effet du compost se chiffrant à 3 q de grains quand les doses sont inférieures ou égales à 120 kg N/ha puis de 6 à 8 q pour les doses forte d'azotes. Quoiqu'il en soit de l'effet du compost sur l'économie de la fumure azotée, l'opération dans son ensemble ne paraît guère économique.

^{*:} Moyenne

Tableau 26. Essai "azote et compost" Ambangabé, production des traitements recevant une fumure strictement minérale (résultats annuels) et moyennes interannuelles pour les traitements avec et sans compost en quintaux de maïs grain par hectare.

								
				De	ose N en	kg/ha		
Année	Fumure PK	Compost	0	40	80	120	160	200
1967-68 ⁽¹⁾		Sans	55	61	69	68	69	68
1969-70 ⁽²⁾	90 P ₂ O ₅ + 60 K ₂ O	Sans	34	42	47	42	50	51
1970-71	90 P ₂ O ₅ + 60 K ₂ O	Sans	30	47	48	53	47	. 55
1971-72	90 P ₂ O ₅ + 60 K ₂ O	Sans	21	30	43	51	53	46
1972-73	?	Sans					٠	
1973-74	90 P ₂ O ₅ + 60 K ₂ O	Sans	16	21	31	34	32	35
1974-75	90 P ₂ O ₅ + 60 K ₂ O ⁽³) Sans	28	50	41	57	68	75
1975-76 ⁽⁴⁾		Sans Avec	29 32	31 36	33 38 _.	31 35	36 42	33 38
			1.8	2,2				X

^{1.} Ancien essai N et pailles mis en place en 1964-65, puis transformé en courbe de réponse à l'azote jusqu'en 1968-69.

Tableau 27. Analyse des sols dans l'essai N et compost, prélèvements en juin 1974, moyennes de six répétitions.

•		Apports annuels d'azote (kg/ha)								
Caractéristiques		Compost	0	40	80	120	160	200		
Complexe absorbant en me/100g	Ca	Sans Avec	2,15 2,83	2,52 2,56	2,24 2,2	1,87 2,47	1,86 1,99	1,92 2,01		
	Mg	Sans Avec	0,81 0,92	0,77 0,79	0,65 0,70	0,49 0,74	0,51 0,54	0,52 0,56		
pH eau		Sans Avec	6,5 6,9	6,6 6,6	6,5 6,5	6,1 6,5	6,1 6,2	6,1 6,2		
pH KCI		Sans Avec	5,6 5,5	5,4 5,5	5,4 5,4	5,1 5,3	5,1 5,1	5,1 5,2		

^{2.} Les parcelles élémentaires du CRN sont subdivisées en deux sous-traitements : avec et sans compost.

^{3.} Plus de 500 kg de dolomie.

^{4.} Pas d'apport de N et/ou de compost cette année là, on étudie les effets résiduels.

On note que la production moyenne du témoin sans N : 26 q/ha (assez variable : 16 à 34) n'est pas négligeable ; quant à la réponse du maïs à N dans cet essai elle est conforme à une typique courbe de Mitcherlitch, avec une efficacité décroissante de l'azote quand les doses augmentent ; l'index de productivité par kg N additionnel passe de : 30 pour la première dose (40 N) à 11 entre 40 et 120 kg N, puis 7-8 et finalement 5 pour la dernière dose. Les indices de productivité de l'azote en présence de compost sont pratiquement identiques aux précédents jusqu à N = 120 et sont pour les fortes doses d'azote sensiblement supérieurs : environ 20 kg de grain par kg N additionnel de 120 à 200 kg N/ha.

On peut penser que c'était tout simplement un autre facteur limitant, fourni par le compost qui faisait plafonner l'efficacité des fortes doses d'azote en fumure strictement minérale. Il s'agit probablement selon Celton, Roche et Velly (1973) et Velly (1974), des éléments Ca et Mg dont les réserves induites par la fumure de redressement ont trop baissé par suite de leur lixiviation; la baisse étant d'autant plus forte que la fumure N était élevée. L'amélioration très nette de la production en 1974-75, après l'apport de 500 kg de dolomie par hectare en complément de P et K, est conforme à cette hypothèse. Les résultats d'analyses d échantillons de sols prélevés sur les différents traitements après la récolte 1973-74, année où la production plafonnait dès la dose 80 N, vont aussi dans ce sens (voir tableau 27) : la présence d'un seuil pour les teneurs en Ca, Mg et le pH entre les doses 80 et 120 N est manifeste. C'est à ce même niveau 80 N que Celton, Roche et Velly (1973) avait placé le probl/ en se basant sur les résultats 1967/68 (voir tableau 28). Ils suggéraient l'apparition d'une toxicité aluminique, hypothèse discutable au niveau du rendement obtenu (près de 7 t de grain par hectare) et qu'il n'étayait pas de signe de toxicité sur la culture. Les analyses de sols sur des échantillons prélevés après cette campagne 1967-68, montraient aussi que la fertilisation de redressement avait suffisamment amélioré la situation (Velly, 1974). (voir tableau 28)

Enfin, on constate en 1975-76, année où les apports de N et de compost n'ont pas été renouvelés, que les effets résiduels des apports d'azote cumulés pendant des années, sont négligeables dans le cas de la fumure strictement minérale et faibles en moyenne dans le cas d'apport complémentaire de compost.

ESSAI AZOTE ET PAILLES / 1969-70 A 1976-77.

Parallèlement à l'essai N x compost, était conduit un essai où la matière organique était apportée sous forme de tiges de maïs, matière organique fraîche, à apport C/N élevé, condition plus favorable à la "réorganisation" de l azote minéral des engrais. Le phénomène qui avait été bien étudié en Europe, s'y traduit même par une "faim d azote" des cultures réalisées après enfouissement de pailles et fumure azotée insuffisante; en résulte une baisse des rendements. En présence d'une fumure azotée suffisante, par contre le bilan de l'utilisation de l'azote est amélioré.

L'essai mis en place en 1969-70 à Ampangabe comporte six traitements, combinaisons de trois doses d'azote : 0-150 et 240 kg N/ha/an avec deux niveaux d'apport de paille : 0 (témoin) et 10 t/ha/an. La production comparée des six traitements – voir tableau 29 – indique pendant les cinq premières cultures, une remarquable efficacité de la première dose d'azote (150 kg/ha) avec un IP de 26-27 kg de grains/kg N, qui tombait à 4-5 par kg de N additionnel fourni par la deuxième dose ; ceci que l'on enfouisse ou non des pailles dont le seul effet sensible à ce niveau est d'augmenter un peu la production : de 5 q de grains quel que soit le niveau de fumure azotée, même nul. Il n'y a donc pas d' "effet dépressif" provoqué par la "faim d azote" sur ce traitement contrairement à ce que l'on constate en Europe.

Tableau 28. Essai courbe réponse à l'azote (et compost), Ampangabé 1969-70.

(00,000,000	•	· .				
			Apport ar	nuel de N		
Caractéristique	0	40	80	120	160	200
oH (KCI) N échangeable (ppm) Rendement q/ha	4,47 14 55	4,40 17 60	4,32 25 69	4,25 28 68	4,16 38 69	4,15 35 68

Enfin, on constate en 1975-76, année où les apports de N et de compost n'ont pas été renouvelés, que les effets résiduels des apports d'azote cumulés pendant des années, sont négligeables dans le cas de la fumure strictement minérale et faibles en moyenne dans le cas d'apport complémentaire de compost.

Tableau 29. Essai azote⁽¹⁾ et pailles, Ampangabé. Rendement en quintaux de maïs par hectare.

			Sans pailles		A	vec pailles (.)
-		0	N1	N2	0	N1	N2
(1)	1969-70 1970-71 1971-72 1972-73 1973-74	7,5 13,5 13 24,5	47 50,5 33 87,5 49,5	54 50 37 99 52	7,5 20 13,5 34 20	55 53,5 36 99 53,5	52 51,5 46,5 107 61

Tableau 30. Essai azote et pailles, Ampangabé, production moyenne par périodes, variant par les dose de N, en quintaux de maïs grains par hectare.

		1969-74			
Pailles / N =	0	150	240		
	14	54	58		:
0 t	19	59	64		

^{1.} N1: 150 - N2 = 240 kg N/ha.

^{2.} N1 = 80 - N2 = 160 kg N/ha.

Les niveaux de la fumure azotée ont été diminués à N1 = 80, N2 = 160 kg N/ha à partir de 1974-75. Les rendements et l'efficacité de la fumure azotée sont assez variables d'une année sur l'autre. En moyenne, (voir tableau 30), 1 IP de la première dose est de 31 kg de grains par kg d azote que l'on enfouisse ou non les pailles et de 20 à 12 par kg additionnel de la deuxième dose selon que l'on enfouit ou non des pailles; leur rôle serait donc ici positif sur l'économie des fortes doses de N.

La production de pailles est en moyenne, pour les trois cultures 1974-75 à 1976-77 de 3,5 t/ha sur les traitements sans azote, 5 t sur les traitements recevant 80 kg N et 6 t/ha sur les traitements en recevant 160 ; l'enfouissement de 10 t de pailles n'ayant lui pas d'influence à ce niveau.

Les lysimètres, deux cuves pour chacun des six traitements, construits en 1972-73 pour compléter l'étude au champ, furent après avoir reçu la fumure de redressement conservés en sol nu pendant les deux premières années, tout en recevant les mêmes apports de N, de pailles, et PK d'entretien que les traitements correspondants de l'essai au champ.

Ils furent cultivés en maïs à partir de 1974-75, avec toujours les mêmes fumures que dans l'essai au champ (donc les doses d'azotes réduites : 80 et 160 et non plus 150 et 240).

La production de grains dans les cuves est en général inférieure à celle de l'essai au champ en ce qui concerne les grains, mais pas fondamentalement différente, ainsi pour les moyennes 74-75 et 75-76 a-t-on :

Site		Sans p	aille	Avec paille			
	0	80	160	0	80	160	
Au champ	2.9	5.9	6.8	3.3	5.8	7.9	
En lysimètre	1.8	3.5	4.4	1.4	5.4	6.1	

L'effet des traitements est semblable dans les deux cas. Il est vraisemblable que les dimensions des lysimètres (1 m deprofondeur) limitent l'extension du système racinaire du maïs, donc son efficacité, en fin de cycle surtout.

Les productions de tiges dans les lysimètres sont par contre voisines de celles dans l'essai au champ.

L'analyse de la composition minérale des différentes partie de la plante : grains... tiges donne des résultats semblables pour les cuves et l'essai au champ ainsi que sur les autres études en ce sens conduites à Ampangabe.

Les traitements ont peu d influence sur ces données; dans le cas présent la principale différence concerne la teneur en potasse des tiges (0,9 % sur les traitements sans pailles contre 1,3 % sur les traitements avec pailles) – voir le tableau 19 au paragraphe 323.

Les mobilisations minérales correspondant à la production de 6 tonnes de grains, ordre de grandeur des rendements des traitements avec fumure complète (dont une dose d azote intermédiaire entre 80 et 160, disons 135 N = 300 kg d urée) s'élèvent à : 120 kg de N - 14 kg de P (32 P2O5) - 100 kg de K (120 K2O) - 14 de Ca (20 CaO) et 18 de Mg (30 MgO).

Quantités qui, pour l'azote est la potasse, sont équivalentes aux fumures apportées dans l'essai.

Tableau 31. Lysimètres N x pailles d'Ampangabé. Drainage moyen (D) et pluviométrie (H) mensuels, en mm.

				Mo	is			Total
Saison		ΧI	XII	1	II	111	IV	
1973-74	H D	152 24	144 69	226 169	158 24	259 85	145 20	1 084 390
1974-75	H D	76 19	500 406	200 136	522 356	289 198	16	1 603 1 115
1975-76	H D	220 51	225 109	199 108	335 161	92 3	17 1	1 088 434
1976-77	H D	114 36	470 322	143 74	302 174	368 239	18	1 415 845
1977-78	H D	135 27	98 31	278 122	154 28	128 68	56 0	849 276

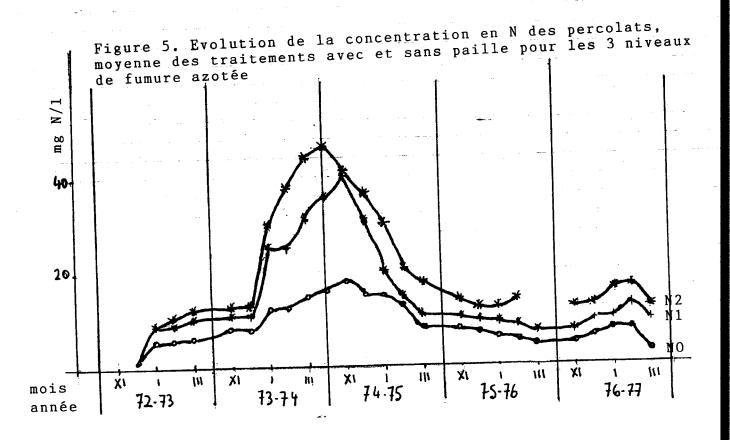


Figure 5. Evolution des concentrations en N dans lysimètres N x pailles.

DRAINAGE ET PERTES PAR LIXIVIATION.

Les mesures de drainage effectuées régulièrement sous chaque lysimètre, dont on donne les moyennes mensuelles sous culture de maïs dans le tableau 31 donnent des résultats très voisins de ceux que l'on a rapporté dans le paragraphe 22 (correspondant aux lysimètres K x pailles).

Le drainage annuel est très variable, reflétant les grandes variations de la pluviosité; le déficit de drainage H-D que l'on a assimilé à l'évapotranspiration de la culture - voir paragraphe 22 - étant relativement constant. Les quantités percolées vont de 276 mm en 1977-78 à 1 115 mm en 1974-75 (proportions de 1 à 4!). C est le principal facteur qui règle l'importance des pertes par lixiviation.

Les concentrations en éléments minéraux des eaux percolées se stabilisent à des niveaux relativement faibles sous culture de mais recevant une fumure complète équilibrée.

L'évolution de la concentration en azote des percolats donnée dans la figure 5 illustre clairement l'histoire de la gestion des lysimètres et l'allure générale du phénomène de lixiviation.

Chacun des six traitements étant représenté par deux lysimètres et l'enfouissement de pailles n'ayant en général que très peu d'effet sur la composition des percolats (sauf pour leur concentration en potasse) on donne dans la figure 5, et les suivantes, la moyenne des résultats avec et sans pailles, donc la moyenne de 4 données pour chacune des doses d'azote (N0, N1, N2) comparées.

Les premiers percolats (début de saison 1972-73) étaient très pauvres, avec une composition voisine des percolats recueillis sous la friche. Ils s enrichissent régulièrement en 1972-73 et début 1973-74 puis très fortement après le deuxième épandage d'azote, pour arriver, en fin de campagne à près de 20 mg de N/l sur les traitements sans azote et de 40 mg sur les traitements avec N.

Avec la mise en culture l'année suivante, 1974-75, les percolats s'appauvrissent régulièrement tout au long de la saison pour atteindre dès la fin de cette première campagne de culture les teneurs de l'ordre de 10-12 mg N/l qui ne varieront guère aux cours des deux campagnes 1975-76 et 1976-77. Ce niveau correspondrait donc à un pallier pour le système avec cette fumure.

Dans la figure 6 on retrouve cette même évolution pour la conductivité électrique, bon indicateur global de la "richesse" des percolats ; proche de 400 µm hos en novembre 1974, elle atteint un pallier de l'ordre de 120 mhos dès la fin de la saison.

Du côté des cations on analysait systématiquement les teneurs des percolats en K, Ca et Mg (voir figures 7, 8 et 9). On constate, sans entrer dans les détails, que :

- les teneurs en Mg, sont à peu près indépendantes de la fumure : azote ou pailles ; environ 3 mg/l ;

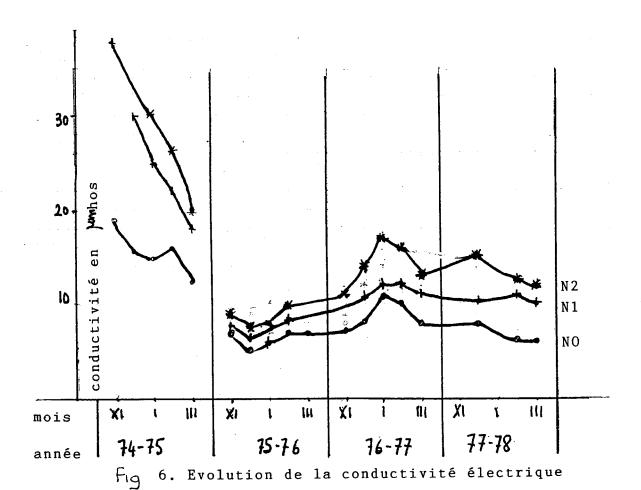
- les teneurs en K sont indépendantes de la fumure azotée mais sont systématiquement plus élevées sous les traitements avec pailles : 5 à 7 mg/l contre environ 3 mg/l sous les traitements sans pailles ;

NJB

Tableau 32. Lysimètres N et pailles d'A

.......on en kg/ha.

			Traitements							
Année H : pluviométrie	Eléments	3	Sans paille:	S		Avec paille	s			
D : drainage		0	80 N	160 N	0	80 N	160 N			
1975-76	N	23	32	45	30	38	44			
H = 1080	Κ	15	10	11	24	17	18			
D = 435	Ca	22	25	34	20	19	26			
-	Mg	10	8	9	9	9	. 11			
1976-77	N	41	74	109	60	85	91			
H = 1 405	K	36	24	26	69	58	41			
D = 841	Ca	35	59	100	42	53	71			
	Mg	17	20	25	20	23	24			



- les teneurs en Ca sont indépendantes de l'apport ou non de pailles mais, sont d'autant plus élevées que la fumure azotée est forte ; en fait, le supplément d'anions nitrate qui percole quand on apporte de l'urée, entraîne préférentiellement, sinon exclusivement, un supplément équivalent de cations Ca.

Les pertes par lixiviations calculées à partir des mesures de drainage et des échantillons d'eau correspondants, pour les deux années 1975-76 et 1976-77 où le système sol-plante-fertilisation paraît avoir atteint un équilibre sont rapportées dans le tableau 32. On y constate que les pertes en azote sur les traitements qui n'en reçoivent pas sont déjà élevées ce qui témoigne encore d'une active minéralisation de la matière organique après fumure de redressement, puis d'entretien P, K, Ca, Mg. On a vu que cette minéralisation permettait de produire 25 q de grains en moyenne sur les témoins sans N dans l'essai au champ.

Les pertes sous les traitements sans azote n'ont qu'un intérêt académique ; pour estimer les pertes sous un traitement normal, c est-à-dire recevant une dose de N de l'ordre de 135 N (300 kg urée), on prendra les moyennes des traitements N1 et N2 sur les deux années -1975-76 avec 435 mm de drainage et 1976-77 avec 841 mm de drainage - soit sur une année moyenne que l'on considérera comme "standard" avec une pluviométrie et un drainage intermédiaire, considérés comme "représentatifs" environ 1 200 mm de pluies et 640 mm de drainage.

Ces pertes s'élèvent en kg/ha pour chaque élément, à :

Traitements	N	K	Ca	Mg
Sans pailles Avec pailles	65	18	55	15
	63	34	43	16

L'apport de pailles dans cet essai est supérieur à la simple restitution des résidus de récolte (10 t au lieu de 6 t/ha) néanmoins on a avec les chiffres ci-dessus une approximation de la réalité.

3.5.1.3.1.5. Economie de la fumure (minérale).

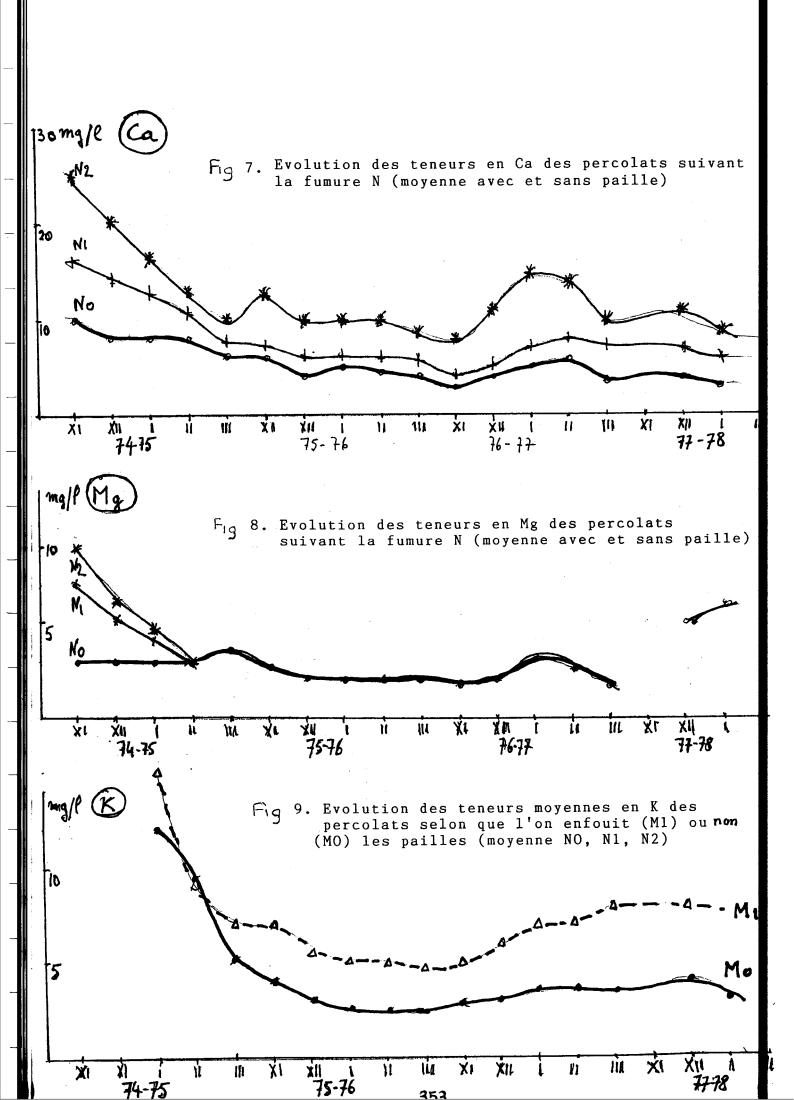
L'explosion du prix des engrais minéraux 1 après la première crise pétrolière, en 1972-73, a conduit le FOFIFA à chercher des formules de fertilisation économes en engrais importés.

Deux "systèmes de fumure" ont été envisagés :

- la fumure strictement minérale, avec restitution des résidus de récolte ; ce qui pose un problème complémentaire celui de l'enfouissement de ces résidus de récolte. On a dans ce cadre étudié les possibilités de limiter d'abord la fumure de redressement en P et K extrêmement coûteuses, puis les fumures d'entretien en acceptant d'obtenir des rendements moins élevés que dans le système IRAM, mais avec des index de productivité 2 plus élevé donc une rentabilité des engrais meilleure.

supplémentaire d'engrais.

¹ Tous importés à Madagascar sauf la dolomie qui doit d'ailleurs être considérée comme amendement pour corriger l'acidité du sol autant qu'un engrais Ca, Mg. Index du productivité: IP = Nombre de Kg de grains supplémentaires obtenu grâce à l'apport d'un kg



Ces études se sont appuyées sur des mesures en lysimètres des pertes en éléments minéraux par lixiviation profonde pour la fumure potassique.

— la fumure organo-minérale, retour aux solutions anciennement recommandées en les affinant grâce à la meilleure connaissance des déficiences des sols et leur réponse aux différents engrais, récemment acquise.

A / ECONOMIES POSSIBLES SUR LA FUMURE DE REDRESSEMENT PHOSPHATEE.

L'essai P n° 1 dont on a rapporté déjà une partie des résultats comportait d'autres traitements recevant des fumures P annuelles d entretien : 45 ou 90 kg P2O5/ha/an à tester par rapport aux traitements n'en recevant pas, vu précédemment (cf. tableau 22). les données correspondantes sont rapportées dans le tableau 33.

Au bout de quelques années, par le jeu des apports initiaux, puis annuels différents, certains traitements ont reçu la même dose de phosphore, mais selon un calendrier différent, on peut comparer :

T2 = T3 =	$90 + 90 \times 3$	et T4 = 180 + 0 et T4 = 180 + 0 et T7 = 360 + 0	en deuxième année en troisième année en quatrième année
T5 =	$180 + 45 \times 4$	et $T7 = 360 + 0$	en cinquième année

On constate qu'à ces moments, les rendements sont pratiquement égaux sur les traitements comparables. Quand on fait le cumul des rendements de ces mêmes traitements à ces mêmes moments :

T3 en quatrième année = T7 en quatrième année =	6,5 + 31 40 + 53 = 9 + 39 + 53 + 52 =	131 q 153 q
ou		
T5 en cinquième année =	7,5 + 35 + 38 + 47 + 32 =	160 q
T7 en cinquième année =	9 + 39 + 53 + 52 + 31 =	186 q

On constate bien que la production cumulée du traitement recevant le tout au début est supérieure à celle du traitement recevant la même dose mais sous forme échelonnée. Mais, si l'on tient compte des "restes (de P2O5) en terre" des apports échelonnés, étant donné qu'ils restent disponibles (non rétrogradés) et seront utilisés les années suivantes quand les forts apports initiaux seront épuisés, ce que confirment des mesures de P assimilables dans le sol, on peut estimer que les deux solutions sont équivalentes. En bref, on peut "redresser" progressivement la fertilité de ces sols et les amener à produire à terme de bonnes récoltes avec une assez modeste fumure phosphatée annuelle.

Le phosphore apporté à un moment ou un autre sera de toute façon valorisé, le choix du niveau et du rythme d'apport doit donc être dicté par des considérations économiques : coût de l'immobilisation du capital fumure de redressement.....

Quant à la fumure annuelle d entretien 45 ou 90 kg P2O5/ha, comparée au témoin sans apport, à deux niveaux de fumure initiale : 90 et 180 kg P2O5 cf. Tableau 13, on voit que :

- cette fumure marque peu la première année d'apport ;
- son effet augmente les quatre années suivantes sur culture de maïs avec des IP en général très élevés, égaux ou supérieurs à 40 kg grain/kg P₂O₅, à partir

de la troisième année pour la première dose ; l'IP de la deuxième dose étant encore en moyenne de 15 ;

- les réponses avec les légumineuses (arachide et soja) sont moins spectaculaires, la première dose restant beaucoup plus productive que la deuxième ;

- il n'y a pas d'interaction fumure initiale x fumure d'entretien.

Tableau 33. Ampangabe, essai P n°1, évolution des rendements suivant les différents niveaux de fumure initiale (1) et d'entretien (E) en phosphore, sous forme Supertriple.

				Anné	e de cultu	re et plante	e test (1)		
Appo	rt P205	1	2	3	4	5	6	7	,	8
I	E	· M	 M	 М	<u></u> М	 М	 A	A	S	S
0	0	?	?	11	15	5	15	11	4	5
 - 90	0	6.5	23	25	24	8	19	14	8	7
	45	-	23	30	50	26	30	27	14	15
	90	<u>-</u> ·	31	40	53	37	32	37	16	21
180	0	7.5	30	38	39	15	21	17	10	8
100	45	-	35	38	47	32	31	30	19	17
	90	-	38	53	. 54	38	28	35	18	23
	360	0	9	39	53	52	31	28 2	4 11	10

^{1.} M:Maïs (grain), A: Arachide (gousses), S: Soja (Grain)

3.5.1.3.1.6. Les éléments solubles: k, ca, mg études en lysimetres.

En ce qui concerne la potasse on a vu dans le paragraphe 332 – tableau 24 – que les apports initiaux étaient peu rentabilisés en effet direc, à cause de l'effet défriche, et assez faiblement en effet résiduel. Dans l'étude parallèle en cuves lysimétriques on obtient des résultats très comparables quant à la production de grains - tableau 34 (à l'excéption des traitements avec pailles exportées).

Les pertes par lixiviation, sous la première culture en défriche sont extrêmement faibles, malgré le drainage très important observé en 1974-75, car la composition des eaux de drainage reste très voisine de celles des eaux pratiquement pures, percolées sous friche sauf en fin de saison - voir figure 10 -.

Les pertes moyennes s'élèvent à 7 kg N - 8 kg K2O - 13 kg Ca0, et 4 kg Mg0, pour un drainage de 958 mm (les pertes sous friche étaient de : 0,5 N - 8,5 K2O - 11 CaO et 3,5 Mg0).

Les eaux percolées sous culture continuent à ne s'enrichir que très lentement en deuxième année, ce n'est qu'en fin de saison, puis à partir de la troisième année que l'on commence à observer des différences sensibles entre traitements.

Tableau 34. Lysimètres K et pailles, Ampangabé. Rendements comparés en tonnes de grains/ha dans l'essai au champ et dans les cuves lysimétriques (une seule série sans répétitions).

Année	RR ⁽¹⁾	Es	Essai au champ			Cuves lysimétriques		
		КО	K1	K2	КО	K1	K2	
1974-75 (défriche)	•	0,4	3,5	3,9	0,2	2,4	3,5	
1975-76	0 +	0,7 0,1	4,6 4,7	5,0 5,4	0 0	1,4 4,8	2,2 5,4	

1. RR: résidus de récolte exportés (0) ou restitués (+).

N.B.: par suite d'un accident les résultats des cuves de la troisième année ne sont pas disponibles.

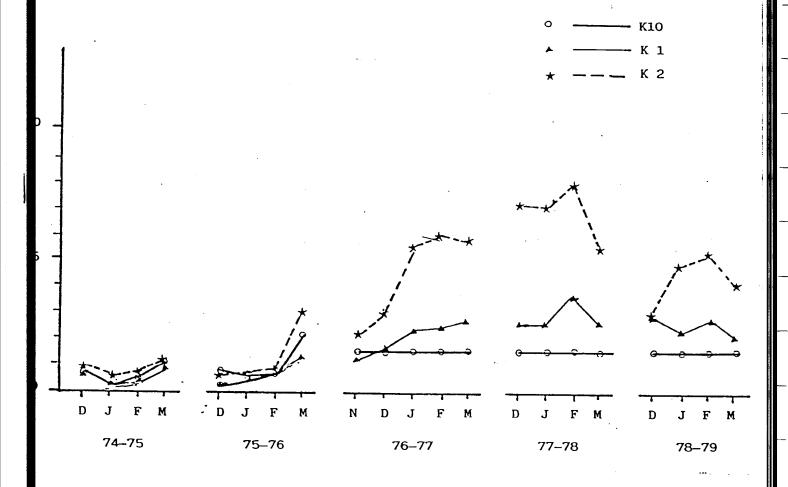


Figure 10. Evolution des teneurs en potassium (mg/l) des percolats de lysimètres au cours des diverses campagnes (cf. tableau 10)

Le mode d'utilisation des résidus de récolte n'a pas d'influence sensible sur la composition des percolats. Il est vrai que la production, donc les mobilisations minérales, sont plus élevées quand on enfouit les tiges ; il y aurait donc semble-t-il compensation entre les restitutions par les tiges et les mobilisations par la culture suivante.

L'azote, uniquement présent sous forme de nitrate dans les percolats est l'élément qui détermine la minéralisation des eaux drainées. L'étroite similitude de l'évolution de la teneur en N et de la conductivité électrique, le traduit clairement ici comme dans le cas des lysimètres N x pailles. Les nitrates entraînent avec eux les ions K et surtout Ca, Mg.

Les traitements K0 sans potasse ont les teneurs en azote les plus élevées, car cet élément est peu utilisé par une culture carencée, se développant très mal. Les percolats recueillis sous les traitements K2 sont sensiblement plus riches que ceux du traitement K1. La forte dose initiale de potasse associée aux doses "de redressement" en P, Ca, Mg provoque-telle une activité microbienne et une minéralisation plus intense de la matière organique ? Quoiqu'il en soit les pertes en deuxième année s'élèvent à :

- 26N-5K-14Ca-12Mg sous K0
- 9N-5K-7Ca-4Mg sous K1
- 19N-8K-16Ca-9Mg sous K2
 pour un drainage de 443 mm et en troisième année à :
- 133N-13K-64Ca-37Mg sous K0
- 62N-18N-33Ca-19Mg sous K1
- 87N-38K-55Ca-31Mg sous K2 pour un drainage de 821 mm

L'effet résiduel de la dose forte de potasse étant épuisé, l'essai a été transformé pour comparer en quatrième et cinquième années, toujours avec le maïs comme plante test, deux niveaux de fumure d'entretien potassique à un témoin sans potasse, et toujours avec ou sans restitution des résidus de récolte. La composition des percolats est restée stable.

Essai K nº 2

Dans un essai parallèle mis en place en 1975 à côté du précédent était étudié l'effet de doses croissantes : 0-30-60-90 kg KO/ha de fumure d'entretien avec différents modes de fractionnement : tout ou partie au semis, à la montaison (20 JAS) ou au début de l'épiaison (50 JAS).

Le précédent cultural était une culture traditionnelle de manioc (c'est-à-dire sur défriche avec apport de quelques tonnes de "poudrette" ha), et l'on a enfoui avant de semer le maïs une fumure P, Ca, Mg uniforme (2 t de dolomie + 300 P2O5).

Une partie seulement des résultats de la première année, 1975-76, rapportés dans le tableau étaient utilisables; ils montrent que compte tenu de l'effet résiduel du fumier et de l'effet défriche" la fumure K a très peu marqué.

Les résultats de l'année suivante, 1976-77, montrent un effet très important de la première dose de potasse malgré un rendement non négligeable du témoin sans K, toujours dû vraisemblablement à l'effet résiduel du fumier reçu par le précédent cultural de l'essai. L'efficacité de la première dose : 30 kg K2O/ha est plus grande si on l'apporte au semis ou à

Tableau 35. Essai doses croissantes x fractionnement de la potasse (K nº 2), Ampangabé, rendements en quintaux de maïs grain par hectare.

Année	Apport K ₂ O	Apport aux S et M				
	au 50° jas	0	30 S	30 M	30S-30M	
1975-76	0	31,5	32,0	30,5	35,5	
1976-77	0 30	17,5 33,0	39,5 46,0	39,5 47,5	41,5 53,0	
1977-78	0 30	0,5 42,5	44,5 59,0	38,5 64,0	60,5 63,5	

Tableau 36. Essai dolomie x P x K, rendements moyens (moyenne des traitements avec 60 ou 300 kg K₂O en fumure initiale) en quintaux de maïs par hectare en fonction des fumures phosphatées et des apports initiaux et d'entretien en dolomie⁽¹⁾.

			Fumure dolomie x P initial			
Année	Culture	Apport dolomie annuel		P1	P2	2
			D1	D2	D1	D2
1975-76	Maïs	-	16	18	24*	28
1976-77	Maïs	d1 d2	26 31	38 48	32 45	51 57
1977-78	Maïs	d1 d2	25 28	35 38	42 41	47 45
1978-79	Arachide	d1 d2	24* 32	34 34	33 34	33 34
1979-80	Arachide Soja	d1 d2 d1 d2	18 19 16 17	22 21 16 19	16 20 18 23	23 22 18 19
1980-81	Soja	d1 d2	15 21	18 23	23 24	26 27

^{1.} Moyenne des traitements avec K1 = 60 et K2 = 300 kg K_2O sur défriche en 1975.

la montaison ¹ que plus tard au début de l'épiaison. La deuxième dose : 60 kg K2O/ha doit être de préférence apportée moitié au semis ou à la montaison et moitié à l'épiaison pour une utilisation optimale, IP = 28 kg de grains (kg K2O additionnel).

L'IP du kg additionnel de la troisième dose tombe à : 20 kg grains/kg K2O ce qui est encore très bon. En 1977-78, soit la troisième culture consécutive la carence en K du témoin est devenue extrêmement grave. La production du témoin est pratiquement nulle. L'IP de la première dose est en moyenne (des trois dates d apport testées) égale à 105 kg de grains/kg K2O ce qui serait incompréhensible s'il s'agissait d'un effet direct; il s'agit en fait d'apports cumulés depuis trois ans. Pour la deuxième dose, il et de 63; pour la troisième dose l'IP du kg additionnel est presque nul; l'apport de 60 kg K2O/ha/an serait donc suffisant.

Essai dolomie x P x K

Dans cet essai on a vu que l'effet de la potasse semble dépendre du niveau de la fumure P initiale :

net pour 60 kg P2O5/ha : l'IP du kg additionnel de K2O (entre K1 et K2) est d
 environ 5 en effet direct puis 8 l'année suivante puis 4 en troisième année soit 17 kg
 grains/kg K2O au total ;

- faible pour 300 kg P2O5/ha : IP de l'ordre de 2 en effet direct puis 5-6 l'année suivante et rien en troisième année ; cela confirme les résultats de l'essai K et pailles où l'on

était dans cette situation (300 P2O5).

Si maintenant on différencie dans cet essai les niveaux de fumure d'entretien en dolomie (250 et 500 kg/ha) en prenant les moyennes des traitements K1 et K2, on obtient les données du tableau 36 dans lequel :

- on retrouve la réponse aux apports initiaux de dolomie : presque nulle en effet direct sur défriche, très nette en deuxième année, encore très marquée dans le cas de fumure initiale P2O5 faible en troisième année, elle est encore perceptible sur la sixième année;
- on constate un effet de la dose d'entretien en dolomie beaucoup plus net la deuxième année (où elle doit jouer le rôle de complément à la fumure initiale) que les années suivantes.

La fumure d'entretien forte marque d'autant moins que les apports initiaux de phosphate et de dolomie, c est-à-dire dans les deux cas les apports de Ca, étaient élevés.

3.5.1.3.2.Période du 1981 à 1995

De 1981 à 1984, le FOFIFA a traversé une période difficile de son existence. Faute de moyens financiers, il a été contraint de réduire fortement ses activités sinon de les mettre en veilleuse.

Les conditions de travail se sont améliorées en 1984. Aussi, une reprise des activités a été notée à partir de la campagne agricole 1984 / 85.

les indexes de productivités de la première dose de K (ici IP = 73!) n'a pas de sens sur le plan économique, car il faut ajouter au coût de la potasse celui des éléments N, P, Ca, Mg apportés en parallèle. L'intérêt des IP est de traduire le plus ou moins grand degré d'utilisation de la fumure.

A partir de cette période, les deux sites d'intervention essentielles du FOFIFA ont été le point d'essai d'Ampangabe et la station d'Antsirabe. Les actions ont été principalement axées sur le point:

- « Entretien de la fertilité chimique: Fertilisation et amendement. » difficilement dissociable du point:
- « Gestion de la matière organique du sol, rotations avec les légumineuses ».

C'est ainsi qu'Ampangabe, un point d'essai situé environ 15 km à l'Ouest d'Antananarivo, la capitale, des expérimentations visant à améliorer la capacité de production des sols ferrallitiques fortement desaturés ont été conduites. Elles sont au nombre de deux:

- Un premier essai « complémentarité fumier x Phosphore »
- Un deuxième essai « Interaction matière organique x Dolomie x Phosphore ».

Elles ont été conduites dans le cadre d'une rotation culturale faisant succéder une légumineuse au riz pluvial puis au maïs.

L'essai « Interaction matière organique x Dolomie x Phosphore » vise quant à lui à améliorer les caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques par amendement organique et calcique.

Le cycle de rotation avec les traitements comparés sont présentés au Tableau Π en annexe.

Les rendements des deux premières cultures (soja sur défriche en première année, riz pluvial fortement affecté par la sécheresse en deuxième année) sont dérisoires. Ce qui les a rendus inéxploitable.

Aussi, seuls les résultats du maïs en troisième année qui ont été exploités. Ils sont présentés successivement ci-après:

TABLEAU 37: Complémentarité Fumier x Phosphore.

TRAITEMENT	RANG	RENDEMENT MOYEN
		EN GRAIN kg/ha
T1: 0-0-0	7	0 g
T2:90-60-90	3	3853 c
T3: 90- 0-45	4	2320 d
+ 5 t/ha de Fumier		2320 u
T4: 90-60-45	1	4613 a
+ 5 t/ha de Fumier		7013 a
T5: 90- 0-45	2	4220 1-
=20 t/ha de Fumier	2	4320 b
T6: 90 -0-45	5	1277
T7: 5 t/ha de Fumier.	3	1377 e
17. 3 vna de Fumier.	6	800 f

Le rendement nul du traitement témoin sans engrais témoigne de la pauvreté de ces sols ferrallitiques fortement désaturés et confirme la nécessité de les fertiliser. Une simple fumure organique ne suffit pas. Une fertilisation minérale pure n'est non plus satisfaisante bien qu'elle contribue à augmenter de plus de 3 t/ha le rendement par rapport au fumier seul. On note également la carence aigüe du sol en Phosphore si bien que NK, même avec une dose substantielle de fumier (20 t/ha) n'arrive pas à égaliser le meilleur traitement T4 (NPK 90-60-45 + 5 t/ha de Fumier).

TABLEAU 38: Interaction Matière organique x Dolomie x Phosphore:

TRAITEMENT	RANG	RENDEMENT MOYEN
TRUE LINE		EN GRAIN kg/ha
T1: 90-60-45 + 150 kg/ha	9	3450 e
Dolomie + 5 t/ha Fumier T2 : 90-60-45 + 300 kg/ha	4	4483,3 bc
Dolomie + 5 t/ha Fumier T3: 90- 60-45 + 600 Kg/ha	7	3926,7 d
Dolomie + 5 t/ha Fumier T4: 90-60-45 + 1000 kg/ha	1	5776,7 a
+ 5 t/ha de Fumier T5: 90-60-45 + 3000 kg/ha	5	4150 cd
Dolomie +5 t/ha de Fumier T6: 90-60-45 + 9000 kg/ha	8	3670 dc
Dolomie + 5 t/ha T7: 90-60-45 + 30 kg/ha	2	4700 b
Dolomie par enrobage des semences + 5 t/ha de		
Fumier.	11	140 g
T8: 0-0-0	6	3953,3 d
T9:90-60-45	3	4693,3 b
T10: 90-60-45 + 5 t/ha	10	806,7 f
Fumier		·
T11: 0-0-0 + 5 t/ha Fumier.		

Le rendement insignifiant du témoin T8 sans engrais reflète la pauvreté du sol. Le fumier seul n'est pas suffisant pour relever sa fertilité et fournir à la plante les éléments minéraux dont elle a besoin pour son bon développement. Il est indispensable de la compléter avec l'engrais minéral.

L'addition de dolomie à la dose minimale de 1 t/ha ne peut-être que bénéfique.

En conclusion, il est recommandé sur ce type de sol, l'apport de NPK à raison respectivement de 90-60-45 en complément du Fumier à la dose minimale de 5 t/ha et de 1 t/ha de dolomie.

Ces deux expérimentations conduites dans le cadre de la collaboration par l'International Board for Soil Research and Management (IBSRAM) avec le concours financier de la Coopération Suisse n'ont plus été poursuivies au-delà de la campagne 1989/90 marquant la fin de cette convention.

A la station d'Antsirabe, de 1987/88 à 1989/90 divers petits essais se rapportant à l'étude de la fertilisation ont été conduits dans le cadre du Projet Riz d'altitude dans le but d'élaborer une fiche technique indiquant la formule de fumure organo-minérale et leur mode et période d'apport à recommander en accompagnement du premier lot de trois variétés développées par le projet pour les zones d'altitude.

Ils sont constitués:

- d'un essai soustractif
- d'un essai factoriel NPK
- d'un essai combinaison fertilisation azotée x Fumure organique
- d'un essai localisation de la fertilisation
- d'un essai apport fractionné de NK
- d'un essai effet de doses croissantes de Phosphore avec ou sans Dolomie.

L'essai soustractif visait à déterminer l'élément le plus déficient en les soustrayant un à un d'une fumure compléte NPK + Dolomie + S + Zn.

Il a été conduit en deux sites et a donné les résultats affichés au tableau ci-après.

TABLEAU 39: Résultats Essai soustractif.

	RENDEMENT EN PADDY SI (t/ha)			
1 - Fumure complète (FC) 2 - FC - N 3 - FC - P 4 - FC - K 5 - FC - S 6 - FC - Zn 7 - FC - (Ca, Mg) 8 - FC - Mg 9 - Témoin absolu	2.42 a 1.72 b 2.28 a 2.24 a 2.23 a 2.21 a 2.30 a 2.57 a 1.71 b	Site 2 3.22 a 2.81 a 3.27 a 2.00 b 3.16 a 3.05 a 3.13 a 3.22 a 2.20 b		

On déplore le fait qu'aucune caractérisation des sites n'a été efféctué alors qu'ils semblent être légèrement différents.

Pour le premier site, l'azote paraît être le facteur le plus limitant tandis que pour le second, la potasse l'est. Ces résultats amènent de première abord à supposer qu'une formule de fertilisation à base de NK devrait convenir pour les sols d'Antsirabe.

Les résultats de l'essai factoriel résumé dans le tableau suivant ne semble pas pourtant confirmer cette hypothèse.

TABLEAU 40: Résultats Essai factoriel.

TRAITEMENT	RENDEMENT EN PADDY SEC (t/ha)
T1 : Témoin absolu	0.26 f
T2:60-0-0	1.04 de
T3: 0-60-0	1.38 cde
T4: 0-0-45	1.03 de
T5: 60-60-0	1.87 bc
T6: 60- 0-45	0.83 ef
T7: 0-60-45	1.68 bcd
T8: 60-60-45	1.71 bc
T9: 60-60-45 + Fumier (5 t/ha)	2.71 a
T10: 60-60-45 + S (10 kg/ha)	1.83 bc
T11: 60-60-45 + Dolomie (500 kg/ha)	2.19 ab

Il ressort en effet de ce tableau que les sols d'Antsirabe sont également fortement carencés en Phosphore qu'il est primordial de l'inclure dans la formule de fertilisation à recommander. Le meilleur rendement a été obtenu avec le traitement NPK + Fumier qui équivaut d'ailleurs statistiquement à NPK + Dolomie.

Il semblerait ainsi que les sols d'Antsirabe requièrent une formule de fertilisation organo-minérale à base de NPK à raison de 60-60-45 unités qu'il faudrait apporter en complément de 5 t/ha de Fumier et 500 kg/ha de dolomie.

En marge de ces deux précédents essais, ont été conduits les expérimentations suivantes:

- + Combinaison fertilisation azotée x Fumure organique consistant à combiner deux à deux 3 doses d'azote (40; 60 et 90 unités) avec 3 doses de fumier (0; 5 et 10 t/ha).
- + Localisation de la fertilisation comparant trois modes d'apport d'une fertilisation minérale (et épandage généralisé, en épandage localisée sur la ligne de semis et une demi-dose en épandage localisée sur la ligne de semis).
- + apport fractionné de NK visant à comparer deux modes de fractionnement de l'azote et de la potasse (fractionnement en deux: moitié au semis, moitié au stade plein tallage comparativement au fractionnement en trois: 1/3 au semis, 1/3 au tallage et 1/3 au stade montaison).
- + effet doses croissantes de Phosphore avec ou sans Dolomie testant 13 traitements résultant de la combinaison de deux sources d'engrais phosphatés à 3 doses chacune avec 0 ou 500 kg/ha de dolomie comme le montre le tableau de rendement ci-après:

TABLEAU 41: Effet doses croissantes de Phosphore avec ou sans Dolomie.

SOURCE DE PHOSPHORE	SUPERPHOSPHATE TRIPLE				H	YPER REN)
Dose de P ₂ O ₃ Dosede Dol.	0	30	60	90	30	60	90
0	0.435 c	0.627 abc	0.858 abc	0.973 abc	0.627 abc	1.038 abc	0.486 bc
500 kg/ha	Non testé	0.563 abc	0.953 abc	1.102 ab	0.627 abc	0.833 abc	0.666 abc

Des indications ont pu être tirées des deux premiers essais cités ci-dessus:

- l'apport d'une fertilisation minérale est déterminant et il est d'autant plus marquant lorsqu'on appporte une fumure organique en complément.
- le mode d'apport de fertilisation ne dégage aucun effet ni sur le rendement en paddy ni sur le nombre de panicules par touffes. En effet, les résultats suivants ont été enregistrés:

TABLEAU 42: Essai localisation du Phosphore.

TRAITEMENT PARAMETRES MESURES	EPANDAGE GENERALISE	EPANDAGE LOCALISE	DEMI-DOSE EN EPANDAGE LOCALISE
Nombre de panicules par touffe	4.63 b	6.01 a	4.19 b
Nombre de grains par panicule	72.33	56.33	70.83
Rendement en paddy en kg/ha.	4086	3537	3805

Aussi, une diminution du nombre de grains par panicule compense l'augmentation du nombre de panicule par touffe en cas d'apport localisé annulant ainsi son gain de rendement.

Un apport complémentaire de fertilisation au stade tallage pourrait favoriser l'augmentation du nombre de grains par panicule et rétablir le surplus de production d'un apport localisé.

L'essai mode de fractionnement de NK aurait pu confirmer cette hypothèse.

Malheuresement les deux modes de fractionnement testés ne se sont pas significativement différents entre eux.

Aucun enseignement n'a pas pu être enfin tiré de l'essai dose croissante de phosphore avec ou sans dolomie en raison de son niveau de rendement très faible consécutif à un pourcentage important de touffes manquantes (40% environ) par suite d'une forte attaque d'hétéronychus en cours de végétation.

Les premiers résultats des essais se rapportant à l'étude de la fertilisation dans la région d'Antsirabe ne sont pas toujours très cohérents et probants, néanmoins, on peut d'ores et déjà proposer une formule de fertilisation organo-minérale du type NPK 60-60-45 en complément de 5 t/ha de Fumier et de 500 kg/ha de dolomie.

L'azote et la potasse peuvent être fractionner en deux apports: moitié au semis, moitié au stade plein tallage.

De 1989/90 à 1994/95 les expérimentations relatives à l'étude de la fertilisation ont été basées sur ces premiers résultats de fertilisation essentiellement à apprécier par le biais de tests multilocaux, la fiabilité et/ou la variabilité multilocale de la formule de fertilisation organo-minérale identifiée en station.

Deux types de sols représentatifs de la région d'Antsirabe ont été considérés à cet effet :

- Les sols volcaniques ferrallitisés de la zone d'Antsirabe.
- Les sols volcaniques récents de la zone de Betafo.

Les résultats observés en sols volcaniques ferrallitisés et consignés sur le tableau cidessous confirment la nécessité d'apporter du fumier en plus de NPK:

TABLEAU 43: Fertilisation NPK, seule ou combinée à d'autres apports.

TRAITEMENT	RENDEMENT EN PADDY SEC (kg/ha)
T1: 0-0-0	1608 bcd
T2: 60-0-0	1223 d
T3: 0-60-0	1456 cd
T4: 0-0-45	1155 d
Г5: 60-60-0	1978 b
T6: 60-0-45	1479 cd
T7: 0-60-45	2030 b
T8: 60-60-45	1947 bc
Γ9: 60-60-45 + Fumier 5 t/ha	2657 a
T10: 60-60-45 + 20 kg/ha de S	1826 bc
T11 : 60-60-45 + 500 kg/ha de	1849 bc
Dolomie.	

La formule recommandée pour ce type de sol serait donc à base de NP avec K à dose moindre en complément du fumier au niveau respectivement de 60, 60, 45 et 5 t/ha.

Sur sol volcanique récent par contre, si l'on se réfère aux résultats affichés au tableau ci-après, la nécessité absolue d'apporter du fumier n'est plus vérifiée.

Par ailleurs, le sol semble être nettement riche en P_2O_5 et relativement plus pourvu en N. Une formule à base de NK à la dose respectivement de 30, 60 sera suffisante pour assurer l'obtention d'un bon rendement de plus de 3,5 t/ha.

3.5.1.3.3. Conclusions sur la gestion de la fertilité des sols dérivés de granito-gneiss sur les Hautes Terres.

Contrairement à ce que l'on a constaté pour le Sud Ouest à la fin du chapitre 2, on dispose ici d'une longue série cohérente (fruit de la continuité des travaux de recherche) de résultats sur la gestion de la fertilité de ces sols.

Les effets sur le paysannat ne sont malheureusement pas plus probants. Les travaux avaient été conduits en station, ou en sites de démonstration, ignorant des contraintes ethno-sociologiques et politico-économiques qui sont finalement bien plus astreignantes que les contraintes agro-écologiques. Il en reste néanmoins un acquis sérieux sur la compréhension des problèmes de fertilité locaux.

On a rassemblé dans les pages qui précèdent des estimations chiffrées des principaux termes constitutifs des équations du bilan hydrique et du bilan minéral.

On a volontairement laissé de côté la question du bilan de la matière organique et de façon générale de l'évolution de la composition des sols, considérant que :

- d'une part le climat contrasté au point de vue des températures, avec de grands écarts entre le jour et la nuit, aussi bien qu'entre les deux saisons, est favorable à stabilité du taux de matière organique à un niveau convenable 2 à 4-6 % en surface, croissant très progressivement en profondeur. Le profil a une bonne structure, aérée, et de grande perméabilité favorisant l'infiltration aux dépens du ruissellement;
- d'autre part, elle est à l'abri d'une érosion brutale de l'horizon organique ou plus insidieuse des éléments colloïdaux (érosion préférentielle). On fait, l'hypothèse que la mise en valeur de ces sols implique à la fois la gestion de leur fertilité et la protection contre les feux et l'érosion;
- enfin, on fait le constat que la fertilité actuelle du sol est pratiquement nulle, mais que sa fertilité potentielle est bonne; la gestion de cette fertilité portant sur les apports :
 - de phosphore, qui contrairement à certaines idées anciennes n'est pas bloqué, sous formes "rétrogradées" dans ces sols mais au contraire reste très longtemps disponible avec des effets résiduels très marqués pendant plusieurs années, jusqu'à ce qu'ils aient été entièrement récupérés par les cultures successives (coefficient d'utilisation de 100 %),
 - •d'azote, élément indispensable pour que certaines cultures à consommation instantanée très intense à certains stades de leur croissance et développement, comme le maïs, puissent exprimer leur potentiel de production; le revers de la fumure azotée minérale est qu'elle se retrouve rapidement sous forme d'ion nitrate très mobile, lixiviable et locomotive des pertes en cations,
 - •des cations K, Ca, Mg indispensables à la plante, surtout la potasse ; avec pour Ca un deuxième rôle de correction de l'acidité. Or le complexe adsorbant, la capacité d'échange du sol, est extrêmement faible, et très difficile à améliorer (nature des colloïdes à charge variable...) ; les cations, entraînés d'autre part en profondeur par l'anion nitrate, se stockent mal.

En bref, on considère que ce que l'on pourrait appeler le "canevas fixe" du sol : texture, matière organique, structure, phosphate assimilable (sous des formes plus ou moins rapidement disponibles) est, en gros, stable. Le problème, sur lequel est mis l'accent dans ce texte, est celui de la lixiviation des éléments sous formes ioniques très mobiles, qui, vu l'intensité du drainage, sont susceptibles d'être perdus en très grande quantité.

BILANS HYDRIQUES: les principaux termes rappelés dans l'équation:

$$H = ETR + RD + S^1$$

sont H, R et D dans les systèmes de culture localement traditionnels, et plus généralement conventionnels.

En effet, la pluviométrie H étant toujours excédentaire en saison des pluies, les sols étant profonds donc la réserve en eau utilisable assez considérable, les cultures ne manquent d'eau qu'exceptionnellement ², donc :

- l'évapotranspiration réelle : $ETR = ETR_{max}$ de la culture qui est une constante caractéristique de l'espèce, et sa variété, sous un climat donné que l'on désignera par ETC (évapotranspiration potentielle de la culture);
- les variations d'eau du sol : ± S sont approximativement nulles à l'échelle de la saison de culture, de l'année, dans l'horizon exploité par les racines. Le réservoir du sol a peu près vide en fin de culture, se remplit assez rapidement au début de la saison suivante reste donc la formule simplifiée :

$$H-ETC = R + D$$

Il n'a été mesuré ou calculé qu'à Ampangabé :

- ETC mais (variété 383) était de l'ordre de 650 min.
- R dans certaines conditions (pente < 15 %, aménagement en courbe de niveau, ne laissant pas le sol nu...) était très modéré... à la limite négligeable; faisant un pas de plus on arrive à la formule minimale (en mm/an):

$$H - 650 = D$$

Pour les années 1973-74 à 1980-81 pour lesquelles on disposait des mesures nécessaires à Ampangabe, les termes de l'équation ont été les suivants sous culture de maïs :

¹ Dans laquelle on ne prend pas en compte une hypothèse irrigation

² On a vu dans le corps du chapitre qu'il faut nu ancer cette affirmation, mais le schéma général est bien celui-ci.

TABLEAU 44: Résultats lysimétriques et drainage.

ANNEE	PLUVIO METRIE H	RUISSEL LEMENT R	DRAINAGE D ⁽¹⁾
1973/74	1083	7	390
1974/75	1603	120	958
1975/76	1088	10	443
1976/77	1415	65	821
1977/78	849	?	252
1978/79	1106	,	403
1979/80	1209	7	379
1980/81	1094	?	350

1: Dans les lysimètres munis d'une couronne empêchent le ruissellement.

2: Sur terrains labouré (bêches).

Le drainage profond est le phénomène essentiel dans cette agroécologie, qui expliquerait d'ailleurs plus que l'érosion par ruissellement la formation de lavaka, comme il explique la formation de dolines :par suffosion, ce qui a été qualifié par certains d'érosion chimique", terme que l'on pouvait reprendre pour qualifier la gravité des pertes par lixiviation sous culture.

BILANS MINERAUX

L'équation déjà simplifiée ¹ du bilan pour chaque élément peut s'écrire :

A fert. $+ RR = M \text{ cult.} + P \text{ eros} + P \text{ lix} \pm 1 R \text{ sol}$ où figurent :

- à l'actif:

- · l'apport de fertilisant : A fert. (éventuel),
- · la restitution des résidus de récolte (éventuelle aussi) : RR,
- au passif:
 - · les mobilisations totales par la culture : M cult,
 - · les pertes par érosion : P éros,
 - · les pertes par lixiviation, P lix

Les variations des réserves minérales du sol R sol devant boucler le bilan.

Le parallélisme est absolu avec l'équation du bilan hydrique en regroupant (M cul. et RR) terme équivalent aux exportations par la culture (avec ou sans les pailles) on a :

A fert. N.H, P éros. N R, P lix N D...

Les mesures effectuées permettent d'évaluer pour une culture de maïs les différents termes pour une année "moyenne", avec $H = 1\,300$ mm, D = H - 650 mm = 650 mm, à :

- A fert., pour la fumure d'entretien "intermédiaire" 2 est égal à : 135 N, 60 P_2O_5 , 60 K_2O+175 CaO + 30 MgO fourni par 300 kg d'urée, 200 kg

¹ En ne tenant pas compte des apports par les pluies, des pertes par nitrification probablement de bien peu d'importance ici.

d'Hyper Reno (30 P₂O₅ + 50 CaO), 100 kg Kcl et 250 kg de dolomie (30 CaO + 20 MgO)

- M cult. Avec un rendement de 5 t de maïs grain/ha estimé correspondre, bon an mal an, à la fumure intermédiaire est égal approximativement à :
 - · 80 N, 23 P₂O₅, 34 K₂O, 2 CaO et 5 MgO dans les parties exportées systématiquement (épis despathis) et
 - · 32 N, 6 P₂O₅, 72 K₂O, 14 CaO et 17 MgO dans les résidus de récolte (RR) qui peuvent être également exportés ou éventuellement restitués.
- P éros : à priori négligeable ;
- P lix : estimé à partir des niveaux de concentrations stabilisés à partir de la troisième année de culture dans les percolats recueillis sous les lysimètres recevant les fumures d'entretien proche de A fert. Pour un drainage de 650 mm :
 - · 65 N, 22 K₂O, 77 CaO et 25 MgO si pailles exportées,
 - · 63 N, 41 K₂O, 60 CaO et 27 MgO si pailles restituées.

Les variations de stock du sol, n'ayant pas été étudiée systématiquement, sur tous les horizons exploités par les racines, tiendront lieu ici de terme "Bilan" que l'on fait figurer au bas du tableau récapitulatif ci-dessous.

TABLEAU 45: Les teneurs moyennes

			ELEMEN	ITS	
TERMES DU BILAN	N	P_2O_5	K ₂ O	CaO	MgO
Apports fertilisants	135	60	60	175	30
Résidus de récolte RR	32	6	72	14	17
Mobilisation de la culture	112	29	106	16	22
Lixiviation sans RR	65	0	22	77	- 25
Lixiviation avec RR	63	0	41	60	27
Bilan sans RR	-42	31	-128	82	-17
Bilan avec RR	-13	37	-15	113	-2

A part le phosphore, très mobile qui ne se perd pas par lixiviation et la chaux apportée par le phosphate naturel et la dolomie, ces bilans sont déficitaires surtout quand on exporte les résidus de récolte.

Les pertes ont tendance à être surévaluées car pour calculer les mobilisations minérales on a pris les **teneurs moyennes** des différentes parties de la plante pour chaque élément: or, on a vu que les teneurs de pailles varie plus ou moins selon que l'on enlève, ou restitue les résidus de récolte, tout particulièrement pour la potasse.

Compte tenu de cette précision on peut penser que le bilan est globalement⁽¹⁾ équilibré quand on restitue les résidus de récolte. Ce système paraît donc techniquement satisfaisant, avec des coefficients d'utilisation des engrais, des index de productivité très convenables. Reste le problème du coût des engrais à Tananarive comparé à leur coût en Europe, et celui du prix des produits vivriers, en un mot l'examen des termes de l'échange dans une agriculture non subventionnée, de survie par surcroît.

² Sauf pour Ca très en excèdent, on pourrait peut être remplacer l'Hyper Reno par du Supertriple, du moins en partie.

Il faut aussi souligner l'intérêt de la fumure organique, fumier de ferme mais aussi "poudrette de parc", engrais par nature complet intégralement valorisé sur ces sols extrêmement pauvres, que ce soit pour les éléments qu'ils apportent ou par leur rôle de complexage, de "neutralisation", de l'aluminium échangeable.

TABLEAU 46: essai de fértilisation

TRAITEMENT	RENDEMENT EN PADDY SEC (kg/ha)
T1: 0-0-0	2849 b
T2: 30-30-0	3565 a
T3: 30-0-60	3617a
T4: 0-60-60	2602 b
T5: 30-60-60	3656 a
T6: 30-60-60 + Fumier 5 t/ha	3799 a
T7: 30-60-60 + S 20 kg/ha	3799 a
T8: 30-30-45 + Fumier 5 kg/ha+ S 20 kg/ha	3565 a

En conclusion, en matière d'entretien de la fertilité chimique, trois grands types de sols ont été étudiés sur les Hauts Plateaux:

- Les sols ferralitiques fortement désaturés
- Les sols volcaniques ferralitisés
- Les sols volcaniques récents.

Découlant de leurs caractéristiques physico-chimiques différentes, ils requièrent des formules de fertilisation différentes. Ces dernières sont respectivement:

- NPK 90-60-45 + 5 t/ha de Fumier + 1 t/ha de Dolomie
- NPK 60-60-45 + 5 t/ha de Fumier
- NPK 30-0-60.

3.5.1.4. Région du moyen-ouest

3.5.1.4.1.Période de 1973 - 1981

A - TRAVAUX REALISES PAR FOFIFA A KIANJASOA

Après la fermeture de la station de Fanjakamandroso en 1973, les activités du FOFIFA dans le Moyen-Ouest n'ont été repris qu'en 1975 à la station de Kianjasoa<; elles étaient constituées par trois principaux expérimentations:

- L'étude « Système de fumure »
- L'essai de successions culturales
- L'essai fumure des binômes.

L'étude « Système de fumure » comprend trois essais dont les traitements se répondent:

KJS 01 - Un soustractif N, P, K, Ca, Mg, S oligoéléments avec un témoin absolu et un traitement additionnel fumier qui consiste à suivre l'évolution de la fertillité du sol en culture continue avec exportation systématique des résidus de récolte.

KJS 02 - Un factoriel N, P, K, Dolomie, Fumier chacun des éléments testés à deux niveaux (0 et moyen dans un premier stade et moyen et fort dans un deuxième stade) qui vise à rechercher la fumure organo-minérale la plus économique en culture continue avec exportation des résidus de récolte.

KJS 03 - Un essai système de fumure proprrement dit prenant en compte les trois facteurs suivant deux niveaux:

- . sols de régénération: Rotation triennale et Rotation triennale + sole fourragère de trois ans en stylosanthès.
- . fumure organique: 0 et Fumier (Fu).
- . Fumure minérale: 0 et Fumure minérale (Fm).

Soit un factoriel (2³) auquel on avait ajouté 2 traitements témoins:

- une prairie artificiele de trois ans avec graminées.
- une jachère naturelle de trois ans.

Il consiste à suivre l'évolution de la fertilité du sol en culture continue avec plusieurs hypothèses de systèmes de fumure (organique et/ou minérale).

Cet essai « Système de fumure comprend lui même trois essais (KJS 03.1, KJS 03.2 et (KJS 03.3) et l'ensemble du dispositif avait été mis en place selon le plan de cultures suivant:

TABLEAU 46 bis: Essai « Système de fumure »

CAMPAGNE ESSAI	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/8:	1 81/82
KJS 03.1	M	m	a	rp	a	m	rp
KJS 03.2	-	M	m	a	rp	a	m
KJS 03.3	_	-	M	m	a	rp	a

avec M = Manioc, m = Maïs, a = Arachide rp = Riz Pluvial.

Le KJS 03.1 étudie l'influence d'une sole fourragère (3 ans de stylosanthès) combinés à la fumure organique et/ou minérale sur l'évolution des sols. Il comporte en pratique 8 répétitions de 4 traitements:

- témoin sans fumure
- Fumure strictement minérale (Fm)
- Fumure organique (Fo)
- Fumure organo-minérale (Fmo).

avec deux traitements témoins additionnels:

- une prairie artificielle de trois ans avec graminée
- une jachère naturelle de trois ans, chaque série avevc ou sans sole fourragère de trois ans en stylosanthès.

Le KJS O3.2 est un essai fractionnement de la fumure NK où l'on fait varier:

- Pour l'Azote, la dose (0,67 ET 135 kg/ha) le fractionnement (au semis, 30 jours et 60 jours après levée).

- Pour la K, le fractionnement seul d'une dose unique de 60 unités/ha.

Le KJS O3.3, un essai NP avec des doses d'azote de 0, 67, 135 et 203 kg/ha des doses de Phosphore de 30, 60 et 90 kg/ha.

Les tableaux 9, 10 et 11 en annexe présente les résultats de ces séries d'essais dont le plan de cultures prévu initialement n'a pas pu être bouclé. Il a été interrompu pour l'ensemble après la campagne 79 / 80. Ils ont par ailleurs, subi des modifications en cours d'année.

Il ressort néanmoins, globalement de l'ensemble de ces séries d'expérimentations que la réponse aux engrais minéraux était fondamentalement différente selon qu'il y avait ou non un apport complémentaire de fumier.

On considèrera donc deux cas distincts:

En fertilisation strictement minérale:

Si l'on de refère aux résultats de l'essai soustractif, la première année (75/76) la fumure complète standard (NPK + S + Dolomie + Oligoéléments) fait passer la production de 25 à 54 quintaux soit une augmentation de 29 quintaux. L'absence de Magnésium ou de soufre dans cette formule contribue à améliorer le rendement.

L'apport de ces deux éléments paraît ainsi inutile. Les déficiences les plus nettes sont celles en azote. Les carences en potassium, en calcium et en oligoéléments ne sont pas très marquées.

La dernière année (79/80), les mêmes tendances se confirment pour le Phosphore. Les réserves du sol en azote, en potasium, en calcium et en oligoéléments semblaient s'amenuiser. On notait des carences plus marquées en ces éléments alors que le Magnésium et le Soufre paraissent toujours inutiles.

En fertilisation organo-minérale:

La production en grains de l'essai soustractif de la dernière année 79/80 montre que l'apport annuel de 5 t/ha de fumier s'est traduit par un supplément de production de 10 quintaux de grains sur les témoins ne recevant pas d'engrais minéraux et de 7 quintaux sur les traitements avec fumure minérale complémentaire.

Par ailleurs, en présence du fumier, ni l'azote, ni le soufre et les oligoéléments ne semblent utiles. Seuls P et K puis à moindre degré de Calcium et le Magnésium ont un effet assez limité.

Si l'on se refère aux résultats de l'essai factoriel, comparativement aux traitements sans fumier, on note en moyenne, une augmentation de la production de 15 quintaux de grains/ha avec le fumier et beaucoup plus (20 quintaux environ) si on apporte en complément du fumier, la dose double de phosphore.

L'apport de la double de dolomie entraîne une augmentation de production de trois quintaux en moyenne mais très irrégulière. Aussi, si on supprime le facteur dose de dolomie, les résultats peuvent être présentés de la façon suivante:

TABLEAU 47: Essai de fertilisation sans Dolomie.

NP K	67 - 30	135 - 30		135-60
30	36	37	42	45
60	43	44	49	52

Ce qui permet de voir que:

- l'effet de la dose double de potasse est de 7 quintaux de grains pour 30 kg de K20 soit 23 kg de K20 sans interaction.
- Il y a une légère interaction positive de N et P (2 quintaux qui est insuffisante pour rentabiliser l'emploi de la dose double d'azote (supplément de trois quintaux pour 150 kg d'urée). Par contre le supplément de récolte entraîné par la dose simple d'azote est de 6 quintaux soit 20 kg de grains/kg de P₂O₅.
 - L'apport de dolomie paraît nécessaire en absence à peu près suffisante.

En conclusion générale, les formules les plus efficaces semblent être pour ces types de sols ferralitiques moyennement dessaturés du Moyen-Ouest.

- + en système de Fumure strictement minérale:
 - NPK 67-60-60 + 100 kg/ha de dolomie + 20 kg/ha de nutramine.
- + en système de fumure organo-minérale:
 - 5 t/ha de Fumure + PK 60-60.

Un autre essai qui entre encore dans le cadre du point 35.1 « Entretien de la fertilité chimique fertilisation et amendement » est l'essai « Fumure de fond avec ressources locales ».

Il a été conduit pendant deux campagnes successives en 1976/77 et 1977/78 à la station de Kianjasoa et consiste à tester l'effet (direct en première année et résiduel en deuxième) d'une fumure de fond avec du fumier et/ou de la dolomie avec comme plante test le maïs.

Il est constitué de 9 traitements résultant de la combinaison de trois doses de fumier (0,5 et 10 t/ha) et trois doses de dolomie (0-0,5 et 1 t/ha) avec une fertilisation minérale uniforme NPK (90-60-60 en première année et 135-60-60 en duxième année) et un témoin absolu.

Les résultats enregistrés pendant ces deux campagnes sont rassemblés dans le tableau ci-dessous:

TABLEAU 48: Apport de Fumier et de Dolomie.

ANNEE	FUMIER (t/ha) DOLOMIE (t/ha)	0	5	10	TEMOIN ABSOLU
1976/77	0	17	30	32	
	0.5	18	36	33	7
	1	18	27	26	
1977/78	0	14	22	17	
	0.5	19	19	16	16
	1	20	17	19	

On peut dire d'une manière générale qu'en effet direct, le rendement augmente proportionnellement avec les doses de dolomie ou de fumier apportées. La dolomie et le fumier peuvent agir en synergie. l'apport simultané de 5 t/ha de fumier avec 500 kg/ha de dolomie a dégagé le meilleur rendement. On ne peut pas espérer par contre un effet résiduel d'une dose moyenne de dolomie ou de fumier dès la deuxième année suivant son apport.

B-TRAVAUX REALISES PAR FOFIFA A AMPARY ET A ANKAZOMIRIOTRA.

Des essais-démonstrations « Ressources locales x Engrais importés » ont été mis en place durant trois campagnes successives de 1974/75 à 1976/77 à Ampary et Ankazomiriotra.

Ampary se trouve sur le bord même du Lac Itasy et présente un type de sol désaturé modal formé sur trachyte remarquablement riche en matière organique.

Ankazomiriotra est situé à environ 80 km à vol d'oiseau au sud de Kianjasoa sur la route Antsirabe-Morondava.

Les deux sites d'expérimentation ont été choisis sur deux stations correspondantes à d'anciennes fermes expérimentales des URER Antsirabe et de l'Itasy. Elles ont été à ce titre fortement fertilisées antérieurement avec une fumure de redressement type IRAM (2 tonnes de dolomie + 1 tonne d'Hyper Reno + 500 kg/ha de Kcl).

Ces types d'essais-démonstrations consistaient à rechercher l'économie maximale de fumure minérale en la limitant autant que possible par une complémentation en ressources locales, organiques pour l'essentiel.

Ils exploitaient un dispositif en bandes croisées:

- + 4 bandes « Ressources locales »:
 - 1 = Témoin
 - 2 = Fumier (5 t/ha)
 - 3 = Fumier (5 t/ha) + 500 kg/ha de dolomie
 - 4 = Pailles (restitution des tiges de la culture précédente) + 500 kg/ha de dolomie.

+ recoupées par 5 bandes « Engrais importés »:

1 = Témoin

2 = 90 N

3 = 60 P205

4 = NP 90-60

5 = NPK 90-60-60.

Les résultats des trois campagnes successives pour les deux lieux sont rassemblés les tableaux en annexe qui révèle que:

- Le niveau de fertilité des sols d'Ampary est très élevé. Aucun élément ne marque clairement sauf la dolomie qui ne commence à agir nettement qu'en troisième année. Cela doit être dû à l'effet résiduel des forts apports de fumure de redressement antérieurs.
- Le niveau de rendement moyen enregistré à Ankazomiriotra est relativement plus bas qu'Ampary mais il reste également bon. La production sur les témoins absolus variant de 10 à 30 quintaux traduit, une certaine fertilité. Le phosphore n'a aucun effet, en présence ou non d'une fertilisation azotée complémentaire. Les réserves du sol sont donc suffisantes, pour la même raison qu'Ampary.

K semble par contre indispensable car la fumure NK paraît très efficace. Par ailleurs à partir de la troisième année, la déficience en K devient le premier facteur limitant. Il conditionne l'action de N. En troisième année, la dolomie commence également à marquer.

- Sur les deux sols, le fumier marque bien.

La restitution de pailles a le même effet mais moins marqué.

En résumé, sur ces sols fertiles ayant déjà reçu une bonne fumure en phosphate et dolomie, les rendements sont très élevés. Les exportations minérales conséquentes exigeraient d'importants apports de fumure d'entretien NK notamment à partir de la troisième année. L'apport supplémentaire de dolomie devient également indispensable à partir de la troisième année.

3 5 1 4 2 Période du 1981 à 1995

A l'instar des autres lieux d'expérimentation, la station du FOFIFA à Kianjasoa n'a pas été épargnée de l'impact des problèmes de moyens vécus par l'institution dans les années 80.

La station a été ainsi fermée de 1981 à 1984.

La campagne 1984/85 marquait la reprise des activités de recherche dans le Moyen-Ouest avec la réouverture de la station de Kianjasoa.

Aussi, durant la dernière décennie, les travaux réalisés par le FOFIFA dans le Moyen-Ouest se rapportent essentiellement aux sous-thèmes: - Entretien de la fertilité chimique: Fertilisation et amendement

- Techniques de préparation de sols

- Gestion de la matière organique du sol, rotations avec légumineuses.

- Systèmes agrobiologiques: couverture permanente et semis direct.

Nous donnerons successivement ci-après les sujets traités par sous-thèmes avec leurs résultats respectifs.

Les expérimentations menées dans ce sous thème peuvent être groupées en trois grands groupes:

1er groupe:

Ceux qui visent d'abord à déterminer le degré de déficience en un ou plusieurs éléments minéraux du sol, à suivre ensuite son épuisement en ses différents éléments et à déterminer enfin les interactions entre elles en vue d'aboutir à la définition de la formule de fertilisation minérale à recommander.

2ème groupe:

Ceux qui consistent à améliorer l'efficience d'un élément minéral par la recherche d'un mode et période d'apport appropriés.

3ème groupe:

Ceux qui cherchent à ajuster la formule de fertilisation minérale proposée en fonction du précédent cultural ou plus précisement de la rotation culturale au sein de laquelle la culture test (ici le riz pluvial) s'insère.

Les premiers groupes d'expérimentations ont été constitués de quatre essais et d'un test multilocal de fertilisation:

- un essai soustractif conduit de 1885/86 d'abord en deux sites en milieu paysan dans le but de travailler sur un sol représentatif de la région et en station en 1986/87 et 1987/88. Etant en duplication avec l'essai suivant, il fut supprimé en 1988/89.
- un essai factoriel dont une première série conduite de 1987/88 à 1990/91 et une série de 1991/92.
- un essai interaction Phosphore x Dolomie de 1987/88 à 1990/91.
- des essais courbe de réponse en Phosphore et en Dolomie en 1987/88.
- un test multilocal de fertilisation mis en place à partir de la campagne 1991/92.

Les résultats de ces premiers groupes d'expérimentation sont rassemblés dans les tableaux 15, 16, 18 et 19 en annexe.

Ils ont permis de déceler:

- si l'on se réfère aux données de l'essai soustractif que d'une manière générale les sols ferrallitiques moyennement désaturés du Moyen-Ouest accusent en première année d'exploitation après jachère, une déficience marquée en N et en S mais paraîssent être plus pourvus en Phosphore et en Zinc si bien que l'apport supplémentaire de ces deux derniers éléments est inutile.

Cependant, dès la deuxième année et les années suivantes, l'apport simultané des trois principaux éléments majeurs, N, P, K paraît indispensable en complément d'un apport de fumier de parc à la dose minimale de 5 t/ha.

La Dolomie apportée à une dose modérée de 5000 kg/ha sur le riz pluvial contribue à améliorer d'une façon significative le rendement qu'après cinq années consécutives d'application.

Le Soufre, bien que décelé déficient en première année, semble induire un effet dépressif sur le rendement du riz pluvial lorsqu'il est apporté en complément de N-P-K.

Aussi, après cinq années d'expérimentation, en milieu contrôlé, une formule de fertilisation organo-minérale à base de N-P-K en complément d'une dose minimale de 5 t/ha de fumier de parc a été proposée pour résoudre le problème de faible productivité des sols de tanety.

Des tests multilocaux de doses de NPK, l'un de 30-44-30 et l'autre de 60-44-30 en différents sites éparpillées dans les environs de la station de Kianjasoa ont permis de confirmer qu'une dose relativement faible de fumure minérale au niveau de 30-44-30 completée par une dose modérée de fumier de parc (5 t/ha) suffit pour accroître le rendement du riz pluvial jusqu'à 5 à 6 t/ha.

Le deuxième groupe d'éxpérimentations ayant pour objectif l'amélioration de l'efficience d'un élément minéral est formé:

- d'un essai mode et période d'apport de l'azote et du phosphore en 1985/86.
- d'un essai mode et période d'apport de deux doses d'azote pendant deux campagnes successives 1986/87 et 19987/88.

Pour le premier essai, les traitements testés sont présentés dans le tableau ci-après:

TABLEAU 49: Essai Amélioration efficience d'un élément minéral.

TRAITEMEN T	DOSE	AU SEMIS	30 j APRES LEVEE	60 j APRES LEVEE	AU SEMIS
1	0	0	0	0	66C
2	33	33C	0	0	66C
3	66	33C	16.5C	16.5C	66C
4	33	0	16.5L	16.5L	66C
5	33	0	16.5L	16.5L	66C
6	66	0	33C	33C	66C

C = Epandage généralisée en couverture

Ils ont été testés en trois sites et ont permis d'enregistrer les résultats suivants:

TABLEAU 50: Résultats des essais sur « Amélioration efficience d'un élément minéral »

SITE TRAITEMENT	SITE 1	SITE 2	SITE 3
1	2.06 a	1.69	0.52 a
2	2.45 b	1.6	1.25 b
3	3.12 c	1.61	1.17 b
4	1.89 a	2.04	0.87 ab
5	1.99 a	1.86	0.74 ab
6	2.01 a	2.02	0.56 a

L = Epandage localisée sur la ligne de semis.

Cet essai a été conduit en partant de l'hypothèse qu'un apport de fertilisation au semis serait le moins efficace car il correspond à une période de faible demande de la plante et risque par ailleurs une perte par lessivage ou parvolatilisation avant son absorption par les systèmes racinaires pas encore développés.

Les résultats obtenus infirment cependant cette hypothèse. En effet, au premier site comme au troisième où l'essai a revelé une différence significative, seuls les traitements ayant reçu la totalité ou une partie de la dose testée au semis ont donné les meilleurs rendements.

Le second essai dont les traitements testés et les résultats obtenus pendant deux campagnes successives sont résumés dans le tableau ci-dessous, montrent cependant la superiorité de l'apport fractionné d'engrais azoté comparativement à l'apport de la totalité au semis:

TABLEAU 51: Apport fractionné d'engrais azoté comparé à l'apport de la totalité au semis.

TRAITEME NTS	DOSES D'AZOTE	MODES D'APPORT	PERIODE D'APPORT	RENDE	(kg/ha)	EN PADDY
				MOYEN	6/87 NE	87/88
T1	30	En couverture	100 % AS	1630	2455	2043
T2	60	En couverture	100 % AS	1900	2366	2133
T3	30	Localisé	100 % 20 JAS	1760	2705	2233
T4	60	Localisé	100 % 20 JAS	2150	2233	2192
T5	30	En couverture	50 % AS	1780	<u>2900</u>	2340
Т6	60	En couverture	50 % AM	2080	<u>2666</u>	2373
T7	30	Localisé	50 % 20 JAS	1710	<u>3061</u>	2386
Т8	60	Localisé	50 % AM	1670	<u>2350</u>	2010
AS = Avan	t semis JAS	S = Jours après semis	S = Au semis - AN	1 Avant	stade de	montaison

En résumé, compte tenu de la divergence des résultats des essais, aucune conclusion quant au meilleur mode et période d'apport d'engrais azoté ou phosphaté ne peut être avancé.

On aurait dû le reconduire en troisième année pour pouvoir vérifier ces résultats discordants.

Le troisième groupe d'expérimentation s'est fixé pour objectif de raisonner la fertilisation du riz pluvial dans le cadre d'une otation culturale au sein de laquelle il s'intègre. En d'autres termes, il vise à déterminer la formule de fertiliation à recommander en tenant compte:

- d'une part de l'arrière effet des engrais apportés sur la culture précédente,
- d'autre part de l'effet « précédent cultural » proprement dit.

L'essai prévoit ainsi de faire succéder trois cultures (le riz pluvial, le maïs et le soja). pendant trois campagnes successives suivant l'ordre de rotation triennale suivante:

- Maïs - Soja - Riz

Chacune de ces trois cultures est conduite sous trois niveaux de fertilisation:

- -F0 = Fumier seul (5 t/ha)
- F1 = F0 + Fertilisation minérale faible (Fm)
- -F2 = F0 + Fertlisation minérale forte (FM).

Fm et FM varient suivant les cultures selon le tableau ci-après:

TABLEAU 52: Essai de fertilisation Fumier et Fertilisation minérale.

NIVEAU DE FERTILISATION CULTURE		FM
Riz pluvial	20-40-30	30-60-45
Soja	15-30-30	30-45-45
Maïs	60-45-30	90-60-45

L'essai se met en place progressivement dans le temps si bien que chaque année, une nouvelle rotation de trois blocs est ouverte.

Aussi, au bout de la troisième campagne, l'on dispose des trois situations suivantes:

- le riz après défriche
- le riz après une légumineuse
- le riz après un maïs puis une légumineuse.

A l'issue de la troisième campagne, on a obtenu les rendements en paddy affichés sur le tableau ci-dessous, exprimés en kg/ha.

TABLEAU 53: Rendements obtenus.

HISTOIRE CULTURALE NIVEAU DE FERTILISATION		FRICHE-SOJA RIZ	MAIS-SOJA RIZ
FO	2155	1822	2833
fm	2314	3064	3250
FM	2250	2833	2916

Il ressort de ce tableau que quel que soit le niveau de fertilisation, le rendement du riz pluvial est d'autant meilleur qu'il s'inscrit dans le cadre d'une rotation biennale ou triennale au sein de laquelle il succède à une légumineuse. Pour ce faire, une fertilisation minérale faible au niveau 20-40-30 suffit pour entretenir la culture en plus des arrières actions de fertilisation apportée sur les précedents culturaux Maïs (60-45-30) et Soja (15-30-30).

A l'issue de la campagne 1987/88, l'essai est arrivé à terme. Il a permis :

- d'une part, de constater qu'une légumineuse est un bon précédent cultural du riz,

- d'autre part, de déterminer la formule de fertilisation minérale à adopter lorsque le riz fertilisé se cultive dans le cadre d'une rotation culturale.

Mais il n'est pas permis d'étudier le cas d'une culture de riz non fertilisé qui se pratique fréquemment dans la région.

Il fut donc remplacé par un essai similaire avec les quatre niveaux de fertilisation suivante:

-F0 = 0-0-0

-F1 = Fumier (5 t/ha)

-F2 = Fumier (5 t/ha) + 200 kg/ha de 11-22-16 + 20 kg/ha de Kcl

- F3 = Fumier (5 t/ha) + 400 kg/ha de 11-22-16 + 40 kg/ha de Kcl + 50 kg/ha d'urée. Fortement attaqué par les hétéronychus en 1988/89, cette nouvelle version de l'essai n'a été effectivement reconduit qu'en 1990/91 après une homogénéisation des parcelles en riz en 1989/90.

Au bout des trois années de cycle de rotation, on a enregistré en 1992/93, les rendements en paddy consignés dans le tableau ci-après, exprimés en kg/ha.

TABLEAU 54: Rendements obtenus.

HISTOIRE CULTURALE NIVEAUDE FERTILISATION	FRICHE-FRICHE RIZ	FRICHE-RIZ SOJA-RIZ	FRICHE-RIZ MAIS-SOJA
F0	1146	1271	2271
F1	875	1625	2417
F2	1750	1885	2771
F3	1635	2052	3458

Ce tableau de rendement revèle:

- 1° Un effet « précédent cultural » car quel que soit le niveau de fertilisation apporté, le rendement du riz succédant une légumineuse est supérieur à celui après friche. Le niveau de rendement s'améliore lorsque le riz est cultivé dans le cadre d'une rotation triennale à cause peut être de l'effet cumulatif de l'arrière action des engrais apportés sur les deux cultures précédentes.
- 2° Au sein de chaque type de condition de culture, l'effet de la fertilisation est à peine perceptible pour la succession Riz Riz. Par contre, lorsque le riz succède à une légumineuse, le rendement tend à croître proportionnellement avec la dose de fertilisation.

En conclusion, que le riz soit fertilisé ou non, une légumineuse reste son meilleur précédent cultural.

L'intégration d'une culture de riz pluvial dans le cadre d'une rotation triennale (Maïs - Légumineuse - Riz) est recommandée. Lorsqu'on adopte l'une de ces rotations, la dose de fertilisation minérale d'entretien à apporter, en plus de 5 t/ha de fumier, dépend de l'espérance de rendement escompté, car le rendement augmente proportionnellement avec la dose de fertilisation appliquée.

Un essai sur «Etude de la valeur fertilisante du fumier de parc fermenté sur la riziculture pluviale » a été conduit à partir de la campagne 1992/93 dans le but de:

- Valoriser les ressources fertilisantes locales pour pouvoir diminuer ou supprimer l'apport d'engrais minéral.
- Evaluer l'effet direct du fumier de parc fermenté comparativement à celui de la poudrette de parc habituellement utilisée par les agriculteurs.
- Inciter les paysans à augmenter la production de fumier de parc par adjonction des litières aux étables.

Il comparait ainsi les six traitements qui ont donné les rendements en paddy suivants exprimés en kg/ha:

TABLEAU 55: Rendements obtenus.

TRAITEMENTS	1992/93	1993/94	1994/95
T1: 0-0-0	2567 с	+	+
T2: 5 t/ha de poudrette de parc	3450 bc	3052 b	1970 с
T3: 5 t/ha de fumier amélioré	3656 b	3262.5 b	3590 b
T4: NPK 30-44-30	3558 bc	+	+
T5: 5 t/ha de poudrette de parc + NPK 30-44-30	4125 ab	3894	3075 b
T6: 5 t/ha de fumier amélioré + NPK 30-44-30	4979 b	4609.5	4654 a

(+): Traitement abandonné.

Le tableau de rendement révèle que le fumier de parc amélioré procure un rendement toujours supérieur à la poudrette de parc classique 2000 kg/ha de supplément de production s'il est apporté seul et 850 kg/ha s'il est complété par de l'engrais minéral NPK.

En conclusion, on peut avancer que le fumier de parc amélioré est plus efficace que la poudrette de parc classique.

Le niveau de rendement s'améliore s'il est complété par une fertilisation minérale NPK 30-44-30. Ce qui confirme d'ailleurs les résultats acquis antérieurement en matière de fertilisation organominérale.

3.5.2. TECHNIQUE DE PREPARATION DES SOLS

Un essai qui vise à évaluer l'intérêt de remplacer le labour de début de cycle effectué peu de temps avant le semis par un labour de fin de cycle effectué immédiatement après la récolte a été conduit à la station de Kianjasoa pendant quatre années successives à partir de la campagne 1985/86.

Il est en effet supposé que le labour de fin de cycle devrait:

- permettre de mieux contrôler les adventices
- diminuer par self mulching les pertes d'eau en saison sèche
- permettre d'avoir plus de choix de date de semis.

La période de labour a été combiné avec des dates au semis échelonnées tous les dix jours.

Les traitements testés sont donc:

- + Deux périodes de labour:
 - labour de fin de cycle
 - labour de début de cycle
- + Six dates de semis:
 - -D1 = 30 Septembre
 - -D2 = 10 Octobre
 - -D3 = 21 Octobre
 - -D4 = 31 Octobre
 - -D5 = 11 Novembre
 - -D6 = 21 Novembre.

Les résultats obtenus pendant les quatre campagnes sont rassemblés dans le tableau 20 en annexe.

Il ressort de ce tableau que ni la période de travail du sol, ni la date de semis n'a aucune influence sur le rendement.

Toutefois, leur interaction est légèrement significative.

En conclusion, un labour de fin de cycle et un semis précoce semblent être favorables et contribuent à améliorer le niveau de rendement.

3.5.3. GESTION DE LA MATIERE ORGANIQUE.

3.5.3.1. Région des hauts plateaux

3.5.3.1.1. Période du 1960 à 1981.

A / PREMIERS RESULTATS.

Carré (1961) rapporte que "tous les techniciens ¹ qui avaient déjà abordé le problème de la mise en valeur des tanety étaient d accord pour préconiser :

1. La suppression des feux non contrôlés;

2. Une infrastructure de dispositifs antiérosifs pour lutter contre l'eau qui délave et entraîne;

3. La régénération du sol.

"A la suite de nombreux essais, de l'avis unanime, la meilleure régénération, la plus certaine et la plus rapide, est sans conteste une fumure organique de base, du fumier"... "Des essais ont permis de déceller de façon extrêmement nette et convaincante, la nécessité de traitements avec fumier".

Dans l'expérimentation multilocale, 1962-64, sur les collines des Hautes terres, dont il a déjà été question dans le paragraphe 31, qui comparait quatre traitements, le traitement recevant uniquement du fumier était considéré comme le véritable témoin étant donné que "sans l'apport de poudrette certains sols de colline ne fourniraient aucune récolte, l'apport actuellement réalisé ², en poquet au trou de plantation varie entre 5 et 10 t/ha". La dose retenue pour l'essai : 10 t de poudrette/ha/an correspondrait donc aux possibilités extrêmes des paysans compte tenu du système qu'ils pratiquent.

A ces deux témoins (absolu et paysans) l'essai compare des traitements recevant en complément du fumier, une fumure minérale s'élevant à 57 unités de P2O5 avec 60 unités K2O la première année, et en seconde année, le même apport PK répété plus 42 unités d'azote et 500 kg de dolomie. Les résultats moyens de l essai sont rassemblés dans le tableau 56.

Les rendements moyens du témoin absolu (T00) sans aucun engrais ne sont pas négligeables : 1,2 t/ha en première année et même l'année suivante 0,6 t/ha. Les dix sites d'expérimentation devaient être hétérogènes et comprendre à côté de sols très désaturés sur roches anciennes et sur défriche de meilleurs sols soit par leur roche mère (volcanisme récent) soit qu'ils aient reçu du fumier les années précédentes.

L'effet du fumier seul, à la dose de 10 t/ha, n'est pas très intéressant : 0,6 t grains/ha la première année, 1 tonne l'année suivante.

De même, l'effet des engrais minéraux en complément du fumier, s'il est net ne paraît pas très économique. Il faudrait voir ce que masquent les moyennes c'est-à-dire ce que sont les réponses sur les différents types de sols.

² Pour les paysans en 1960

¹ Services de la conservation et restauration des sols et BDPA.

Tableau **56** Essai multilocal de fumure sur tanety fumure et rendement (en tonnes de maïs grain par hectare).

-	Année 1 : 1	1962-63	Année 2 : 1963-64		
Traitements	Fertilisation N-P-K, dolomie	Rendement*	Fertilisation N, P, K, dolomie	Rendement*	
T1. Témoin absolu T2. Témoin paysan** T3. T2 + (N) PK T4. T3 + dolomie	0-0-0-0 0-0-0 0-57-60-0 —	1,20 1,83 2,85	0-0-0-0 0-0-0-0 42-57-60-0 42-57-60-500	. 0,57 1,55 2,63 3,10	

^{*} Moyenne 10 sites.
** Moyenne 7 sites.
*** 10 t poudrette/ha/an

^{1.} Services de la conservation et restauration des sols et BDPA.

^{2.} Pour les paysans en 1960.

Dans la décennie 1963-73, l'expérimentation sur la fumure organique a été laissée de côté; les très faibles disponibilités en fumier d'une part, les perspectives ouvertes pour l'usage des seuls engrais minéraux d'autre part, n'en faisait pas sentir l'utilité.

Cependant, les partenaires de l'IRAM chargés du développement agricole, le GOPR en particulier, bien que convaincus de l'efficacité de la voie fertilisation strictement minérale, avec fumure de redressement, doutaient des possibilités de faire passer en paysannat, une solution aussi coûteuse en investissement initial. Après réflexion et discussion entre responsables du développement et chercheurs de l'IRAM une solution intermédiaire fut adoptée, dans laquelle une partie de la fumure minérale de redressement était remplacée par l'apport initial (puis à intervalles réguliers) de 20 t de fumier/ha. Cette formule, qui ne semble pas avoir été testée dans des essais en comparaison avec d'autres, devait aussi présenter l'avantage de limiter l'effet défriche (Buresi et Celton, 1972). Elle impliquait aussi que le système de production proposé au paysan lui permette de fabriquer ce fumier, donc comprenne une composante élevage bovin, des soles fourragères dans la rotation ¹. Une opération de vulgarisation en ce sens fut lancée par le GOPR dans la province de Tananarive, à partir de 1972, avec un volet recherche d'accompagnement confié à l'IRAM (référence Celton et Buresi, 1972).

La révolution politique de 1972-73, et la crise du pétrole fortuitement concomitante, ont stoppé l'expérience.

Le FOFIFA s'est lancé dans une autre voie, l'économie des engrais importés et l'utilisation des ressources locales, à des doses réalistes correspondant aux possibilités des systèmes actuels. De l'expérimentation multilocale lancée à cet effet en 1974 tant en rizière que sur collines, on ne rend compte ici que des quatre essais sur sols ferrallitiques dérivés de granito gneiss de la province de Tananarive. L'un d'eux était situé à Ampangabe, ou par ailleurs était mis en place un essai factoriel fumure organique x fumure minérale permettant de tester la formule GOPR en la comparant à la formule IRAM et aux formules que recherchait le FOFIFA en ce moment.

B / ESSAI FUMURE DE REDRESSEMENT ORGANO-MINERAL

L'essai comportait 27 traitements, combinaisons de trois doses initiales de fumier, de phosphate et de dolomie:

- 0-5-20 t de "poudrette"/ha;
- 0-60-300 kg P2O5/ha;
- 0-0.5-2 t de dolomie /ha;

avec en première année un apport uniforme de 60 kg K2O et de 135 kg de N (niveau moyen).

On reconnaît dans les doses de fumier: le niveau ressources actuelles (5 t/ha) et le "niveau GOPR" (20 t/ha ainsi que pour le phosphore et la dolomie: Les niveaux fumure annuelle (ou approchant) et le niveau de redressement.

¹ L'ensemble nouveau et complexe par rapport aux habitudes et ressources locales, correspondant à une révolution qui peut paraîtrte aussi (irréaliste) difficile à faire adopter que la fumure de redressement.

Tableau 57 Essai factoriel, fumier x dolomie x phosphate, Ampangabé, rendements en quintaux de maïs grain à l'hectare.

Année	t dolomie	0			(2,5)			2	
	kg P ₂ O ₅	60	300	0		300	0	60	
1976-77	Fumier dose initiale 0 5 t 20 t	18 15 31	51 45 56	6 8 29		29 57 57	6 11 23	26 39 50	
1977-78	Fumier dose initiale 0 (5 t) (20 t)	13 13 28	45 47 53	11 10 26		46 47 45	12 17 30	33 35 45	
1978-79	Fumier dose initiale 0 (5 t) (20 t)	28 28 44	61 41 75	29 26 43		60 64 72	37 56 49	42 65 49	

^{*} Anomalie inexplicable.

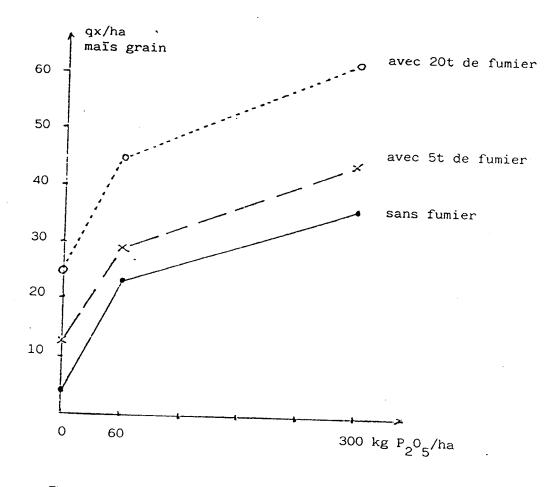


Figure 11. Ampangabe, essai fumure de redressement, production moyenne (facteur dolomie supprimé) 1976-77.

Les résultats, rapportés dans le tableau 57 montrent que:

- le témoin ne recevant ni dolomie, ni phosphore ni fumier a une production nulle; la carence double en P et Ca est un facteur limitant absolu. La production de ce même traitement reste nulle l'année suivante malgré la fumure d'entretien assez modeste en phosphate et dolomie;

- l'"effet défriche" se manifeste encore quand la fumure est strictement minérale: le rendement moyen des traitements avec de redressement P et/ou dolomie est de 31 q/ha ¹; il disparaît en présence de la fumure organique forte qi permet d'atteindre en

première année 72 q de grains avec les doses fortes de P et dolomie en complément.

- l'efficacité de la faible dose de fumier n'est bien nette qu'en absence d'apport de P et de dolomie; apportées en complément de doses de redressement, les 5 tonnes de poudrette n'entraînent pas d'augmentation de récolte. Entre ces deux situations opposées, la réponse intermediaire, plutôt faible en effet direct est de toute façon fugace: pas d'effets résiduels.

Pour simplifier à l'extrême, disons que les traitements recevant 0 ou 5 tonnes de poudrette par hectare sont en pratique équivalents; alors que la dose 20 t/ha a, elle, un effet très marqué la première année et durable, sensible au moins jusqu'à la troisième année.

- Les effets directs et résiduels, jusqu'en troisième année du phosphore sont très marqués pour les deux doses testées, quelle que soit la fumure organiqueassociée; il n'y a pas d' "interaction" entre les apports de fumier et de phosphate (voir figure 11). Par contre, les réponses qu phosphore sont influencées par les apports de dolomie associés: l'effet de P est d'autant plus net que la dose de dolomie faible;

- réciproquement, puisqu'il y a interaction: "phosphate X Dolomie", qui s'explique par la richesse en Ca du phosphate naturel utilisé (Hyper Reno à 50 % de CaO et 30 % de P2O5), la réponse à la dolomie dépend de la fumure phosphatée complémentaire.

Sans s'attarder sur les cas limites, les témoins sous l'un ou l'autre des engrais, remarquons que la dose forte de dolomie n'a pas d'effet supérieur à celui de la dose faible quand on a déjà épandu 300 kg P_2O_5 sous forme d'Hyper Reno. L'Hyper Reno apporte assez de Ca et de P pour régler le problème de toxicité aluminique du sol et de déficience en Ca; la dolomie n'est utile que par raport à la déficience en magnésium.

Pour simplifier encore à l'extrême, disons que les doses D1 et D2 sont en pratique équivalentes, on le constate même pour le traitement $60\ P_2O_5$ / ha..

Il ressort que l'on peut obtenir des rendements:

- de l'ordre de 50 q/ha (40 à 60 selon les années) sur un traitement recevant 20 t de fumier par hectare sur défriche, sans nouveaux apports par la suite, et une fumure minérale moyenne;

- de 35q de grains sans fumure organique forte initiale mais avec la même fumure

minérale (30 à 45);

- de 63q en moyenne avec 20t de fumier / ha et la seule fumure de redressement en P_2O_5 . (pas en dolomie).

¹ Encore compte-on dans la moyenne le rendement qui paraît anormal du traitement 300 P₂O₅-0 dolomie

TABLEAU 58: Equivalence de 0 et 5 tonnes de fumier par hectare Equivalence de D1 = 500 kg et D2 = 2 t/ha de dolomie (D = moyenne de D1 et D2)

Année	Fumier	P0		F	21	P2	
		DO .	D	D0	D	DO DO	D
1	F0-5	8*	8	17	31*	48	37
	F20	24	26	31	52	56	65
2	F0	3	12	13	29	46	46
	F20	23	28	28	43	53	48
3	F0	18	37*	28	47*	51	61
	F20	40	46	44	60	75	75

^{*} Moyennes masquant dans ce cas de grandes différences liées à D1/D2 ou F0/F5.

C / RECHERCHE DE FORMULES DE FERTILISATION TRES ECONOMIQUES.

L'expérimentation multilocale "ressources locales x engrais importés" qui exploitait les acquis antérieurs: l'efficacité du fumier connue depuis longtemps, la nécessité d'apporterune fumure complète en cas de fertilisation strictement minérale, démontrée par l'IRAM, se voulait aussi démonstrative. C'est pourquoi on a utilisé le dispositif, peu habituel des bandes croisées 1 qui se "lit" sur le terrain comme le tableau des résultats dans le rapport correspondant. L'effet des différentes combinaisons d'engrais doit donc sauteraux yeux des paysans (et "développeurs") lors des visites organisées.

Les quatres bandes dans un sens (mettons horizontal dans le tableau 59 voir aussi figure 12,) correspondent aux ressources locales:

- le témoin ne recevant rien,

- la bande recevant 500 kg de dolomie (à Ampangabe) ² ou de 15 t de fumier (sur les autres points d'essais),

- la bande fumier $(15 t)^3$ + dolomie (500 kg),

- la bande de dolomie + pailles (6 t) 4.

Les cinq bandes perpendiculaires (verticales dans le tableau 59)reçoivent différents engrais importés: N, P et K, à des doses modestes comme pour les ressources locales: 90 N -60 P₂O₅ - 60 K2O.

Pour chacun des trois éléments, on est dans la zone de "réponse linéaire", c'est-à-dire proportionnelle aux apports de chacun des éléments N, P et K.

Au total, l'essai comprend donc 20 traitements.

TABLEAU 59. Essai "ressources locales x Engrais importés" de Bestizaraina, moyenne des rendements en maïs (en q de grains par hectare) pendant la deuxième phase 1976/77 et 1977/78.

5 bandes engrais importés NPK

4 bandes ressources locales

	0	NK	PK	NP	NPK
Dolomie	6	26	11	7	29
Dolomie + pailles	6	29	13	17	39
Fumier	11	39	13	32	41
Dolomie + fumier	16	37	18	39	41

² Et Antaboaka la première année

⁴ Puis restitution à partir de la troisième année.

¹ Il consiste en bandes perpendiculaires qui en se recoupant délimitent les parcelles corespondants à chaque traitement, ainsi à l'intersection de la bande recevant uniformément de la dolomie (ou du fumier) et de la bande recevant uniformément de l'azote a-t-on le traitement dolomie et azote (ou fumier et

³ Dix tonnes la deuxième année et 5 t/ha les années suivantes (dose « traditionnelle »)

<u>TABLEAU 60</u>: Essai ressources locales X Engrais importés en bandes croisées, Ampangabe et Bestizaraina, production (quintaux de maïs grains par hectare).

	RESSOURCES		A	MPANG	ABE		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	BE	TSIZAR	AINA	
ANNNEE		0	N	P	NP	NPK	0	N	P	NP	NPK
	LOCALES										
X1	Témoin 0	0.5	1.5	2	1.5	2.5	3	13.5	3	16	18.5
1974 / 75	Dolomie	5	7.5	7.5	10.5	12	-	-	-	-	-
	Fumier	-	-	-	-	-	4	27.5	7	19	20.5
	Dol. + Pailles	25.5	27	23.5	28	20	6	18.5	7	19	20.5
	Dol. + Fumier	33	3	33.5	33	35.5	8	20.5	9	26	22
1975 / 76	Témoin 0	0	0	4	0	8	4	15	6.5	14	34
	Dolomie	4	0	6	1	17	_	-	-	-	-
	Fumier	-	_	-	-	-	9.5	32.5	11.5	48	46.5
	Dol. + Pailles	9	15	14	21	22	6	32.5	11.5	48	46.5
	Dol. + Fumier	9 ·	12	18	24	28	18.5	40.5	11.5	41	46
		0	N	P	NP	NPK	o	N	P	NP	NPK
<u>Y2</u>	Dolomie ⁽¹⁾	0	10	6	0	25	7	26	8	11	32
1976 / 77	Fumier ⁽²⁾	0	0	2	5	23	8	44	10	39	44
	Dol. + Pailles	12	27 [*]	18	22	29	6	31	10	22	41
	Dol. + Fumier	21	32	14	32	31	11	39	13	44	42
1977 / 78	Dolomie ⁽¹⁾	1	10	14	<u> </u>	25	5	25	14	3	25
	Fumier ²⁾	2	3	8	7	13	13	33	16	24	37
	Dol. + Pailles	6	15	18	6	26	6	27	16	11	36
	Dol. + Fumier	10	20	19	21	28	20	35	22	34	39

- 1. Ancien témoin 0 à Betsizaraina
- 2. Ancien témoin 0 à Ampangabe.

Les quatres essais sur sol ferralitiques dérivés de gneiss situés dans un rayon de 50 km de tananarive, voir carte 4, peuvent être répartis endeux groupes:

- Ampangabe et Bestizaraina,
- Antaboaka et Ambohitrakoho.

BETSIZARAINA

Par suite d'un malentendu, l'essai Betsizaraina a été mis en place en 1974 non sur défriche mais sur une parcelle de l'ex-ferme semencière du GOPR, cultivée depuis années après forte fumure organo-minérale initiale, et des fumures minérales d'entretien importantes tous les ans.

Cela se ressent dans les rendements 1974/75, ou malgré un semis tardif (plus qu'à Ampangabe), la production est négligeable sur la bande de fumure minérale NPK stricte: 18,5 q avec NPK - 16 avec NP - 13,5 avec N: le sol a manifestement quelques réserves en P et K.

Les rendements sur les bandes recevant soit uniquement du fumier et de la dolomie sont équivalents en 1974/75, et ausi en 1975/76; le sol avait donc des réserves en Ca et Mg également.

L'élément qui marque le plus en 1974/75 est donc l'azote ce qui est normal sur des sols à fertilité plus ou moins redressée, avec une plante comme le maïs.

L'année suivante, 1975/76, les semis ont eu lieu à temps; les rendements sont trèsconvenables pour le niveau de la fumure NPK (90-60-60) qui, apportée seule, produit 34 q/ha (3 t de plus que le témoin absolu) et quand elle épandue en complément du fumier

permet d'atteindre 46,5 q contre 9,5 q sur le témoin ne recevant que le fumier (3,7 t de plus). On remarquera déjà que la potasse devient un facteur limitant aussi important que l'azote: le traitement NPK produit 2 t de plus que le traitement NP, lui même équivalent au traitement N, ce qui montre qu'il y a par contre toujours du phosphore en réserve.

Le fumier fournit surtout cette année-là la potasse qui manque à ce sol:

- NP seul: 14 q/ha Et NPK seul: 34 q - NP + fumier: 48 q NPK avec Fumier: 47 q.

Au cours de la deuxième phase du projet, quand les bandes "engrais importés" sont en dispositif soustractif, les résultats des deux années sont voisins on en a donné la moyenne dans le tableau 40; on y voit que le traitement NP, c'est-à-dire sans potasse, devient progressivement le plus mauvais:

- en troisième année NP : 11 > PK = 8 > = 7

- en quatrième année NP : 3 < 0 = 5, alors que PK = 14.

On note encore au cours de cette deuxième phase

- le niveau moyen atteint avec la fumure complète strictement minérale; les rendements honorables du traitement NK témoignent une fois de plus de la rémanence des réserves en P;

- l'intérêt du réenfouissement des pailles dépend de la fumure NPK, si celle-ci est incomplète (sans P, par exemple, les pailles seront pauvres en P), et ne peut donc contribuer à la correction de la carence. Par contre, sur le traitement recevant la fumure complète, les pailles ont une composition normale; elles restituent au sol sols tous les éléments prélevés ¹.

- l'équivalence, en général, des bandes "fumier seul" et "fumier plus dolomie" pour les fumures équilibrées, c'est-à-dire recevant de l'azote, ce qui est indispensable pour le maïs ².

Les rendements obtenus sur défrichesont anormalement faible à Ampangabe en 1974/75 sur traitement recevant la fumure complète. Le semis a, il est vrai, été tardif, le phosphate apporté en retard (au semis) et son enfouissement insuffisant.

L'effet de la matière organique, enfouie par labour bien avant semis, est par contre très net. On doit considérer ici l'apport de pailles, 6 t/ha, provenant des essais de la station donc de parcelles en moyenne bien fertilisées, comme un transfert de fertilité. Le fumier par ailleurs était du véritable fumier fabriqué en étable avec des pailles de riz comme litière. Dans les deux cas, le rendement plafond de cette première année est approché sur la bande sans engrais NPK ³.:

- 26 q pour un maximum de 28 sur la bande pailles,
- 33 q pour un maximum de 37 sur la bande fumier.

¹ Le cas de la potasse est à Betsizaraina particulier puisque le sol n'était pas déficient en potasse au départ, le réenfouissement des pailles depuis le début à permis de garder au moins une partie de ces réserves.

² Le traitement NP fait exception, c'est probablement une affaire de compensation entre ions K et Ca-Mg vis-à-vis des nitrates du sol

³ Le traitement NP fait exception, c'est probablement une affaire de compensation entre ions K et Ca-Mg vis-à-vis des nitrates du sol

Les résultats de l'année suivante sont plus clairs: pour les traitements à fumure strictement minérale, à doses moyennes, n'oublions pas, le rendement est très faible quand la fumure est incomplète, l'apport d'azote aggravant d'ailleurs les choses dans cette situation même la production de la fumure complète est décevante.

La restitution des pailles n'améliore guère la situation, le rendement le plus élevé passe de 17 à 22; il n'y plus qu'un transfert de fertilité limité, les pailles produites l'année précédente, dans l'essai même, sont carencées en un ou plusieurs éléments sur les bandes recevant une fumure minérale incomplète; les pailles semblent surtout agir ici en restituant (ou fournissant) de la potasse.

L'effet du fumier est plus net, il y a ici transfert de fertilité avec fourniture systématique de N et de K, élément qui paraît facteur limitant le plus souvent sur ce site.

En troisième année, le dispositif a été (légèrement) modifié: un apport de potasse a été ajouté sur les deuxième et troisième bandes engrais importées de façon à avoir un "dispositif soustractif" (0-NK-PK-NP-NPK) plus lisible, avec les mêmes doses de N, P, K que les deux années précédentes.

Sur les bandes "ressources locales", l'apport annuel de fumier fut réduit à 5 t de "poudrette"/ha.

On constate une amélioration, bien que globale, des rendements sur les traitements recevant des fumures complètes; l'effet défriche disparaissant en principe en troisième année, le plafond de 25 q/ha reste modeste.

La restitution des pailles a un effet spéctaculaire sur les traitements à fumure incomplète, mais très limité sur celui qui reçoit déjà NPK, Ca et Mg.

L'effet du fumier est plus régulier, surtout sur la bande témoin sans NPK, mais le rendement plafond 32 q/ha reste encore très modeste.

ANTABOAKA ET AMBOHITRAKOHO. (TABLEAU 61).

Ces essais ont été également mis en place sur défriche; on voit que la production y est extrêmement faible en première année à Ambohitrakoho; c'est dû au fait que les semis ont été beaucoup trop tardif (janvuer). Les résultats obtenus à Antaboaka sont par contre caractéristiques:

- avec une fumure strictement minérale (en 1974 / 75 on avait apporté de la dolomie et non du fumier, sur la seconde bande), seul le traitement recevant la fumure complète produit quelque chose (et pas grande chose: 7 q.ha).

- l'apport de paille (ramassée dans les champs de paysans des environs) ne suffit pas pour permettre une production de grain sur les traitements ne recevant de P minéral, les pailles semblenet surtout fournir de la potasse mais en quantité faible, mais très peu de P;

- l'apport de fumier de parc a des effets tout à fait comparables, il semble fournir un peu plus de phosphore mais à peine. Les pailles et les fumiers sont en reflet, dans leur composition, la pauvreté des sols.

Les productions sont bien meilleures sur les deux sites en seconde année. Les conclusions que l'on peut tirer de l'effet des engrais sont conformes à celles que l'on avait déduit l'année précédente à Ampangabe, sur les traitements aux deux sites:

Tableau **61**. Essais ressources locales x engrais importés, Ambohitrakoho et Antaboaka. Production de maïs en quintaux de grains par hectare.

Année	Ressources locales				Ambohitrakoho					
	locales					0	Ν	Р	NP	NPK
Y1 1974-75	Témoin 0 Dolomie Fumier Fumier + dolomie Paille + dolomie					0 - 8 5,5 0	0,5 - 4 1 0	0 - 2 0,5 1	1 - 6 3,5 4,5	4 4 4,5
1975-76	Témoin 0 Fumier ⁽¹⁾ Fumier + dolomie Pailles + dolomie					0 6 7,5 2	0 8 14 1	0,5 9,5 8,5 6	0,5 19 18 10,5	1 23 21 18
<u> </u>		timen in the section of				0	NK	PK	NP	NPK
Y2 1976-77	(Dolomie) ⁽²⁾ Fumier Fumier + dolomie Pailles + dolomie					0 1,5 11 3	0 2,5 12 1	2 8 11,5 7,5	2 11 17,5 12	3 20,5 22 13,5
1977-78	(Dolomie) ⁽²⁾ Fumier Fumier + dolomie Pailles + dolomie					0 1,5 - 0,5	0 1,5 11,5 1,5	3 9 15,5 10,5	2,5 21,5 27 5,5	3 24,5 28 28

^{1.} Sur traitement dolomie en 1974-75.

Tableau **62** Essais "Ressources locales x engrais importés" d'Antaboaka et Ambohitrakoho, moyenne des rendements en maïs (en q de grains par hectare) pendant la deuxième phase : 1976-77 et 1977-78.

Ressources		En	grais NPK impo	ortés	
locales	0	NK	PK	NP	NPK
Dolomie Dolomie + pailles Fumier Dolomie + fumier	0 3 4 8	1 5 3 14	5 18 17 22	3,5 13,5 22 29,5	8* 28 28 32

^{* 3-4} q dans trois cas quand l'apport de dolomie n'a pas encore marqué ; 23 q en 1977-78 à Antaboaka où les nouveaux apports de dolomie commencent à marquer.

^{2.} Sur les témoins 0 des années précédentes.

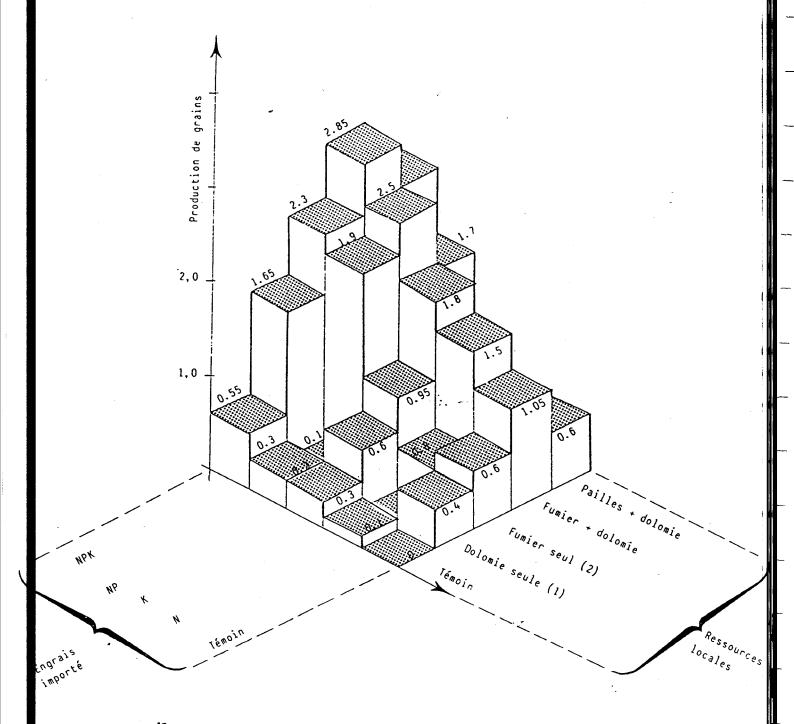


Figure 12: Production 1975-76 en tonnes de mais grain/ha, moyenne des 3 essais défrichés en 1974, sauf pour les bandes ressources locales

(1) dolomie seule : données d'Ampangabé uniquement

(2) fumier seul : données d'Ambothitrakoho uniquement

- nécéssité de fournir tous les éléments minéraux en cas de fumure strictement minérale;
- effet de la restitution des pailles sensibles sur les seuls traitements recevant du phosphore et surtout P et K (avec aussi de la dolomie).

L'apport de fumier seul est très modeste en l'absence d'apport de N et de P complémentaires; il semble apporter par contre suffisamment de K, Ca et Mg.

Pendant la deuxième phase de l'essai, 1976/77 et 1977/78, les différences entre les deux sites restent aussi nettes. La production des traitements équilibrée à Antaboaka est de 50 % supérieure à celles des mêmes traitements à Ambohitrakoho. Les sols de ce dernier site semblent particulièrement carencés en azote; c'est sur les bandes PK que les différences sont les plus accentuées. Ils paraissent aussi bien plus pauvres en Ca (et Mg) car les modestes apports annuels de dolomie sur l'ancienne bande témoin, n'ont en deuxième année encore aucun effet à Ambohitrakoho alors qu'il est déjà sensible à Antaboaka.

A cette différence près les types de réponses sont les mêmes sur les deux sites, et on peut résumer les résultats des deux sites pour les deux années par les moyennes du tableau 43 (sauf pour la fumure complète strictement minérale). On voit ce tableau comme une belle illustration de la réponse de sols initialement très carencés, à des apports de fumure minérale et organique modestes mais répétés. Il n'est pas nécessaire d'en reprendre les caractéristiques en détail; nécessité d'une fumure complète, intérêt du réenfouissement des pailles (restitution des résidus de récolte), efficacité du fumier engrais complet dont sur ces sols tous les éléments sont valorisés ¹. Ce que l'on peut souligner, c'est que le fumier remplit déjà en grande partie le rôle de la dolomie ²: on sait qu'il peut suffir à neutraliser la toxicité aluminique.

D / ESSAI AU CHAMP , MODE DE RESTITUTION DES RESIDUS DE RECOLTE ET TEST ASSOCIE EN PARCELLES D'EROSION.

La restitution au sol des résidus de récolte, si importante pour l'économie de la fumure (réduction des exportations minérales) et pour le bilan organique du sol pose plusieurs problèmes pratiques:

i / d'abord ceux des utilisations concurrentes de ces résidus, soit comme fourrage (faunes d'arachide) et/ou comme litière fourrage (pailles de riz, tiges de maïs); dans l'un et l'autre cas l'exportation des pailles est colpensée par la production de fumier que l'on pourra ramener sur la parcelle; c'est une forme de restitution et au-delà. Leur transformation en compost que l'on épandra sur la parcelle est une solution analogue;

ii / ensuite celui de leur incorporation au sol, qui ne pose en principe pas trop de problèmes en culture mécanisée ou quand les résidus ont été humifiés (fumier et compost) mais qui sont difficiles en culture attelée, à fortiori manuelle, quand on veut enfouir les pailles. C'est pourquoi d'ailleurs les paysans nettoient leurs champs en enlevant les liges (de maïs, de manioc...) avant de bêcher à l'angady. Une solution intérmédiaire consiste à brûler les pailles.

¹ Ce qui n'est pas le cas dans les rizières

² Les deux bandes fumier seul et fumier + dolomie sont presque équivalentes.

Tableau **63**` Essai mode de restitution des résidus de récolte Ampangabé. Rendements en quintaux de maïs grains par hectare.

Année	// AIDIO	Témoin sans	Transformation des pailles				
	(fumure NPK)	paille	brûlées	enfouies	compost		
1974-75	135-45-60	39	49	48	(1)		
1975-76	80-30-45	40	44	48	(1)		
1976-77	80-30-45 + dolomie	42	47	49	38 ⁽²⁾		

^{1.} Ces deux années là, les traitements ont été faussés : par complément de fumure NP pour fabriquer le compost en 74-75, en diminuant la fumure de ce traitement, pour compenser, l'années suivante

Tableau 64 Test "travail du sol x mode de restitution des résidus de récolte". Ampangabé, parcelles d'érosion.

	Travail du		Pailles				
Année	sol	enlevées	brûlées	restituées	Moyenne		
1974-75	sans bêchage	65 76	81 71	73 75			
1975-76	sans bêchage	57 62	48 59	49 56			
1977-78	sans bêchage	48 49	48 53	46 46			
Moyenne	sans bêchage	56 62	59 59	56 59	57 60		
	Moyenne	59	59	58			

Tableau 65 Parcelles d'érosion d'Ampangabé, test "travail du sol x restitution des résidus de récolte", ruissellement annuel en mm et pertes en terre en tonnes/ha.

	Année	Travail du	Pailles			
	(pluviométrie)	sol	enlevées	brûlées	restituées	
Ruissellement	1974-75 (1 602)	sans bêchage	170 130	100 140	· 43 120	
	1975-76 (1 186)	sans bêchage	16 11	17 (10 10		
	1976-77 (1 417)	sans bêchage	90 72	39 72	13 52	
Perte en terre	1976-77	sans bêchage	4,7 4,4	2,4 3,7	0,2 4,1	

Un essai au champ, en culture continue de maïs pour tester les différentes solutions: exportation, brûlis et transformation en fumier ou compost des résidus de récolte, tige de maïs, avant labour à l'angady de préparation de la prochaine culture, a été mis en place à Ampangabe en 1973.

Le fumier et le compost apportés sur les parcelles correspondaient aux quantités de pailles enlevées de ces parcelles pour les fabriquer, ce qui correspondait pour les pailles à 5 t/ha avec 10 % de H₂O, pour le compost à 12 tonnes à 65 % de H₂O et pour le fumier à 12 tonnes à 70 % de H₂O.

La première année sur défriche avec fumure minérale de redressement, l'essai a été conduit en culture uniforme (année blanc) la production moyenne fut de 1,5 tonnes de maïs grain par hectare et de 5 tonnes de tiges par hectare.

Les résultats des trois années suivantes, les traitements étant différenciés, rassemblés dans le tableau 63, montrent que la restitution des résidus de récolte sous toutes ses formes, sauf le compostage, a un effet sensible: augmentation des rendements de 8 q de maïs grains en moyenne. Dans le cas du compost, si l'on retranche de la fumure minérale apportée sur la culture, la quantité exacte de NP qui a été utilisée pour faire le compost $(34N - 23 P_2O_5)$ comme cela fut le cas en 1976-77, le résultats est négatif. Difficulté d'enfouissement mise à part, la restitution des pailles paraît la meilleure solution par sa simplicité à efficacité égale.

Parallèlement, dans les neuf parcelles d'érosion d'Ampangabe, les trois modes d'utilisation les plus réalistes: exportations, brûlis et restitutions ont été selon trois types de travail du sol: pas de labour, bêchage à l'angady en fin de saison des pluies, bêchage au début des pluies (ce qui fait neuf combinaisons possibles, il s'agit donc d'un test sans répétitions). Les traitements avec labour de début ou de fin de saison des pluies ont Fourni des productions très voisines pour simplifier on en a donné, dans le tableau 45 les moyennes. On y voit que l'effet du labour (le bêchage peut être considéré comme un équivalent) est variable suivant les traitements et d'une année sur l'autre, en moyenne, il est faible: + 3 q de grains/ha soit environ 5% de différence).

Si les rendements dans les parcelles d'érosion (tableau 64) sont supérieurs à ceux de l'essai au champ (tableau 63), c'est que ces parcelles avaient reçu de fortes fumures organiques et minérales depuis leur installation en 1969. C'est ce qui peut expliquer que la restitution des résidus de récolte n'y ait aussi aucun effet en moyenne.

Les mesures de ruissellement dans les cuves (voir tableau 65) indiquent un effet favorable de la restitution des pailles pour limiter le ruissellement particulièrement quand on ne labour pas et que les pailles sont laissées sur le sol. La limitation correspondant des pertes en terre est encore plus marquée. On retiendra de cette expérimentation l'intérêt du traitement sans labour avec tiges de maïs laissées sur le sol sous lequel les pertes par érosion sont négligeables et dont la production est égale à celle des autres traitements.

3.5.3.2. Région du moyen ouest

Deux autres essais se fixant comme objectif de traiter les questions relatives à l'alternance des cultures sur une même parcelle ont été également conduits à la station durant trois campagnes successives de 1976/77 à 1978/79.

Ceux sont les essais « Successions culturales » et « Fumure des binômes ».

Le premier essai exploite un dispositif en bandes croisées de huit (8) cultures: manioc, maïs, riz pluvial, arachide, soja, haricot, voandzouia et le *stylosanthes guyanensis* comme sole fourragère.

L'année de couverture, les huit cultures sont disposées dans chaque bloc sur des bandes contiguës. L'année suivante, elles sont effectuées sur des bandes perpendiculaires aux précédentes de telle sorte que chaque bande recoupe les huit bandes de cultures de l'année précédente. Aussi, chacune des 8 cultures a les huit précédents culturaux possibles. En troisième année, on reprend la disposition de la première année. Les bandes sont disposées au hasard, dans les deux sens, sur chacun des blocs.

La fertilisation strictement minérale NPK de chacune des cultures est arrêtée à priori.

Pour le deuxième essai « fumure des binômes », un essai indépendant a été mis en place pour chacune des 6 combinaisons ordonnées que l'on peut avoir avec les trois cultures de base: maïs, riz pluvial et arachide.

Chaque essai indépendant consistait à un carré latin 4 x 4 où la culture, premier terme du binôme est cultivé à 4 niveaux de fertilisation dans chaque bloc. L'année suivante, on cultive la culture, deuxième terme du binôme à 4 niveaux de fertilisation également en subdivisant chaque parcelle élémentaire de la culture précédente (premier terme du binôme) en 4 sous parcelles.

On a donc 16 combinaisons de fumure différentes en associant les 4 niveaux de fumure de la première culture aux 4 niveaux de fumure de la deuxième.

En troisième année, on retourne à la disposition initiale. Les 4 traitements NPK par année pour chaque culture sont données dans le tableau ci-après:

TABLEAU 66: Traitement NPK

CULTURE ANNEE	RIZ	MAIS	ARACHIDE
lère année	NPK 0-0-0	0-0-0	
	NPK 90-0-0	90-0-0	
	NPK 90-60-0	90-60-0	Uniforme
	NPK 90-60-60	90-60-60	30 P2O5
2ème année	NPK 0-0-0	0-0-0	0-0-0
1	NPK 67-0-0	90-0-0	0-0-60
	NPK 67-60-0	90-60-0	0-60-0
	NPK 67-60-60	90-60-60	0-60-60
3ème année	NPK 0-0-0	0-0-0	0-0-0
	NPK 67-0-0	90-0-0	0-0-30
	NPK 67-60-0	90-60-0	0- 30-0
	NPK 67-60-60	90-60-60	0-30-30

Pour chacun de ces deux essais, les résultats des trois campagnes sont rassemblées respectivement dans les tableaux 12 et 13 en annexe.

Les rendements enregistrés sur ces deux essais ont été d'une manière générale jugés trop mauvais pendant les trois années sauf pour le maïs bien que seules les données relatives au maïs ont été exploitées.

Ainsi, il a pu être dégagé les renseignements suivants:

- + De l'essai « Successions culturales ».
 - la succession Maïs sur Maïs est la meilleure.
 - la succession Maïs sur riz pluvial la plus mauvaise.
- + De l'essai « Fumure des binömes culturaux » notamment les « Binômes Maïs-Arachide », il ressort du tableau 13 en annexe que:

. Sur Maïs - Riz:

- en 1976/77, le Maïs répond aux apports de NP. Le supplément de production par rapport au témoin est de 15 quintaux de grains pour 150 (60 + 90) unités de N et P2O5 soit 10 kg de grains par unité fertilisante.

- en 1977/78, année où la pluviosité est extrêmement défavorable, les rendements plafonnent à 27 quintaux/ha. On constate néanmoins un remarquable effet résiduel du phosphore et de la potasse apportée sur la culture de riz précédente.
- en 1978/79, année à pluviometrie favorable, les rendements sont élevés et la réponse aux engrais est très nette: de 16 quintaux sur le témoin, le rendement est passé à 57 quintaux sur les traitements recevant NPK pour la troisième année consécutive. La déficience en potasse apparaît par ailleurs comme le premier facteur limitant si bien que l'effet de la fumure potassique tant en effet résiduel qu'en effet direct est très remarqué. L'effet direct du Phosphore est également très marqué mais son effet résiduel l'est beaucoup moins.

. Sur Maïs - Arachide:

Les résultats affichés au tableau 13.2 semblent réveler qu'il faut apporter simultanément P et K pour chacun de ces éléments aie un effet. Ils montrent en outre l'effet résiduel marqué de P et K apportés sur l'arachide.

En résumé, on peut tirer comme conclusion de ces deux essais de se tenir à:

- recommander chaque fois que possible l'alternance céréales légumineuses d'une part,
- admettre à priori pour la légumineuse une fertilisation PK et NPK pour la céréale suivante.

A/ <u>travaux realises par le fofifa a kianjasoa</u>

Pour ce sous thème, deux principaux essais ont été conduits à la station de Kianjasoa:

- un essai « Etude de la valeur fertilisante de l'engrais organico-biologique (EOB) et sa période d'apport ».
- un essai « Etude de la valeur fertilisante du fumier de parc fermenté ».

- un essai « Précédent cultural ».

Le premier essai relatif à l'étude de l'EOB consiste à:

- Evaluer la valeur fertilisante de l'EOB, comparativement à celle du fumier d'une part et à celle des engrais minéraux d'autre part.
- Déterminer la quantité d'EOB à apporter en complément ou non des engrais minéraux.
- Identifier la période d'apport optimale de l'EOB.

Il a été mené à la station de Kianjasoa de 1985/86 à 1987/88 puis en milieu paysan en 1989/90.

Les résultats présentés dans le tableau 21 en annexe montrent que:

- Sur sol ferrallitique moyennement désaturés du Moyen-Ouest, une dose faible à moyenne d'EOB pourrait équivaloir à l'apport de 5 t/ha de fumier. Les doses de 750 à 1000 kg/ha d'EOB procurent des rendements supérieurs au fumier. Mais l'adoption d'une dose forte serait limitée par son coût. Aussi, comme le rapport valeur / coût nous contraint à limiter la dose d'apport de l'EOB à 250 500 kg/ha, l'utilisation de l'EOB se concevrait beaucoup mieux avec un complément minéral de NPK.
- La période d'apport de l'EOB influe peu sur le rendement obtenu. Toutefois, l'efficacité de l'EOB semble se ressentir beaucoup plus en effet direct qu'en arrière action.
- L'idée d'additionner du fumier à l'EOB en vue d'activer sa minéralisation n'a pas fait ses preuves.

En conclusion, les recommandations suivantes peuvent être émises pour l'utilisation de l'EOB en riziculture pluviale:

- Les doses de 250 à 500 kg/ha en complément des engrais minéraux NPK permettent d'obtenir un rendement appréciable.
- Comme mode d'apport, l'EOB est à enfouir avant la période d'installation de la culture.

Un deuxième essai « Etude du précédent culture » a été conduit dans le but de confirmer qu'une légumineuse est le meilleur précédent cultural du riz pluvial.

Quatre précédents culturaux ont été ainsi comparés:

- deux espèces de légumineuses: le soja et l'arachide
- le maïs
- le riz

Pour pouvoir mieux différencier les effets des précédents en tant que cultures de ceux des arrières effets de fertilisation que ces derniers ont reçu, seuls les doses d'azote ont varié suivant les cultures, la fertilisation phospho-potassique a été uniformisée.

Les résultats obtenus et présentés dans le tableau 22 en annexe confirment que le maïs et l'arachide apparaissent comme les meilleurs précédents culturaux du riz pluvial. Le soja n'est pas en réalité un bon précédent pour le riz.

En conclusion, une légumineuse, notamment l'arachide, reste le meilleur précédent cultural du riz pluvial. Le Maïs se présente également comme un bon précédent pour le riz. · Il est meilleur que lé soja.

3.5.4. GESTION AGROBIOLOGIQUE DES SOLS

3.5.4.1. Généralités

Depuis une dizaines d'années un courant d'agriculteurs et d'agronomes propose de nouvelles pratiques pour les régions tropicales, dites agrobiologiques.

L'origine anthropique de l'érosion est traitée à sa source: le milieu cultivé lui-même, en agissant au niveau de la parcelle, de l'itinéraire technique, des successions culturales, donc par la voie agronomique et agrobiologique. La lutte contre la dégradation des terres s'intègre dans l'ensemble des pratiques de l'agriculteur avec pour objectifs à court terme: réduction des charges, augmentation des marges nettes, économie en travail, réduction de sa pénibilité, amortissement des risques climatiques. Beaucoup plus attractive pour le paysan que les outils mécaniques exogènes (fossés, ...), cette voie agrobiologique qui s'appuie sur ses stratégies, se diffuse de manière quasi-spontanée après adaptation des techniques de gestion du sol aux contraintes locales.

A Madagascar, cette phase de création-adaptation a été entrepris depuis 1990, par le CIRAD avec ses partenaires nationaux (ANAE, FAFIALA, FOFIFA, FIFAMANOR, PSO, TAFA...) qui ont maintenant pris le relais. Ces études dont nous allons décrire succintement les principes, ont débuté dans le Vakinankaratra (KOBAMA), pour s'étendre progressivement à l'ensemble des Hautes-Terres, au Sud Ouest, ...

Qu'entend-on par « Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture »

Ce sont les pratiques, et ensembles de techniques, aujourd'hui fondés et démontrés agronomiquement et économiquement, qui, tout en restreignant le remaniement mécanique des sols et économisant l'emploi des intrants chimiques, se révèlent efficaces à la fois sur la protection des sols contre l'érosion et l'amélioration de leur fertilité, sur le bilan économique de l'exploitation des temps de travaux et de leur pénibilité.

Ces pratiques et techniques favorisent et orientent à l'avantage d'une production agricole durable, les processus chimiques, physiques et énergétiques gratuits de la nature qu'ils soient d'origine animale (microflore, macro-méso-faune), d'origine végétale (photosynthèse, production de biomasse, actions racinaires) ou d'origine climatique (lumière, pluies, condensations, ...). Une gestion agrobiologique fait travailler au bénéfice des sols et des cultures le Laboratoire de la Nature en utilisant et développant ses ressources, en lui créant pour cela des conditions favorables, et en éliminant ou réduisant les effets non désirés.

La voie agrobiologique de gestion des systèmes de culture préconisés pour (entre autres) supprimer totalement l'érosion a pour « noyau dur » le semis direct sur couverture permanente du sol, morte ou vive.

Les principes énoncés ainsi peuvent paraître simples, leurs modalités de mise au point puis de transfert, en fonction des écologies, des pratiques paysannes et des systèmes agraires concernés sont complexes.

Il faut cependant rappeler que les petites agricultures paysannes traditionnelles de la zone tropicale humide, basées sur les systèmes de culture itinérants sur brûlis, pratiquent le semis direct, sans travail du sol, de manière ancestrale. Les voies proposées de gestion agrobiologique des systèmes sont également construites sur le semis direct, mais avec

suppression définitive des brûlis et avec couverture permanente du sol (résidus de récolte, biomasses cultivées au moindre coût). Il ne s'agit plus d'une « technique » mais d'un ensemble de techniques, formant une combinaison d'innovations, qui doivent être coordonnées dans le temps et dans l'espace de l'exploitation.

Elles obéissent à des principes et pratiques généraux bien connus et bien maîtrises (cf. Amérique Latine), mais qui doivent être adaptés et réajustés en fonction des contraintes pédoclimatiques et socio-économiques locales.

Pour être appropriées, ces techniques souvent radicalement innovantes par rapport aux pratiques traditionnelles, requièrent absolument une bonne connaissance des pratiques traditionnelles et une implication active des agriculteurs. L'introduction de ces innovations doit considérer l'ensemble du système de production actuel et s'assurer de la faisabilité des altérnatives proposées, aux niveaux agro-technique et agro-économique.

Le premier principe de base à respecter est de limiter le remaniement mécanique du sol à la seule implantation de la semence, de le couvrir pour le fixer et le protéger totalement et toute l'année du ruissellement érosif, de minimiser les amplitudes thermiques et d'humidité, doit de reconstruire un écosystème stable favorable à l'activité biologique et à la préservation de la matière organique du sol.

Le deuxième principe est de faire travailler la nature en utilisant ses ressources (photosynthèse, macro-méso-faune, microflore, éléments minéraux totaux immobilisés et piégés...) par l'action bénéfique et améliorante de certaines plantes de couvertures annuelles ou pérennes et de successions culturales choisies. Les effets attendus concernent:

- le bilan minéral : fixation de l'azote atmosphérique, limitation de la lixiviation et recyclage des bases par des systèmes racinaires complémentaires dans leur profondeur et par la biomasse des graminées « déblocage » des éléments retrogradés par les sesquioxydes (Fe, Al) tel que le Phosphore, accroissement de l'extraction et de la mobilisation de K, Ca, Mg, oligo-éléments du complexe argilo-humique (exsudats racinaires).
- l'amélioration physique et l'aération du profil cultural, par l'entretien d'une forte macroporosité, la création d'une structure stable, par la colonisation profonde du sol grâce aux systèmes racinaires restructurant et recycleurs, augmentant les réserves en eau et en éléments nutritifs accessibles aux cultures.
- le micro-climat au niveau du sol, par amortissement des variations de la température, moindre évaporation, amélioration du bilan hydrique, donc en définitive moindre dépendance par rapport aux risques climatiques.
- la création d'une forte activité biologique (macro et méso-faune, micro-flore), renforcant les actions précédentes, du fait de l'entretien d'un micro-climat tamponné et de l'arrêt du travail repété du sol.
- le bilan organique, en qualité, en quantité et en profondeur, par les actions biologiques précédentes.
- le contrôle de la flore adventice, par l'obscurité due aux couvertures et aux effets allélopathiques qui limitent efficacement la germination et l'émergence des mauvaises herbes et influencent fortement la sélection des espèces, facilitant donc leur contrôle chimique à moindre coût.

- la limitation des maladies et ravageurs des cultures (contribution à la lutte intégrée).

A ces effets bénéfiques sur le milieu et sa fertilité, il faut ajouter les avantages au niveau micro-économique: diminution des intrants, économie substantielle de main d'oeuvre, souplesse dans les calendriers culturaux, nette amélioration du bilan fourrager de

3.5.4.2. Région des Hauts Plateaux

Les premiers essais de mise au point des techniques de semis direct dans des couvertures mortes ont été initiés par le FOFIFA/CIRAD dans le cadre du Projet riz d'altitude dès la campagne 1990/91 sur la ferme KOBAMA à Andranomanelattra Antsirabe.

Les résultats ont revelé:

- le très bon comportement du riz pluvial cultivé sur une couverture de crotalaire,
- l'effet depressif du semis direct de riz pluvial dans les résidus de récolte du fait de l'enherbement mal contrôlé.

Ces résultats ont également permis d'identifier le desmodium, le tephrosia, le vigna parkerii et le cassia rotundifolia comme plantes de couverture intéressantes.

Plus récemment, des institutions autres que FOFIFA à savoir le centre FAFIALA dans les environs immédiats d'Antananarivo, FIFAMANOR et l'ONG TAFA ont entrepris des travaux se rapportant au point (35.5) « Systèmes agrobiologiques: couvertures pemranentes et semis-direct » également dissociable difficilement à la fois du point (35.3) « Technique de travail du sol » et du point (35.4) « Gestion de la matière organique du sol ».

A - TRAVAUX REALISES PAR FAFIALA

Les activités expérimentales du centre FAFIALA dans le cadre de la gestion des sols et cultures avec des couvertures végétales permanentes ont été initiées dans le but d'identifier des alternatives techniques d'améliorer la production agricole sur tanety afin de soutenir et d'appuyer les initiatives et volonté paysannes, qui malgré la pauvreté de ces sols cherchent à satisfaire leurs besoins d'autoconsommation et monétaire.

Aussi, deux axes de recherche ont été développés:

- L'installation de haies vives et d'utilisation de la biomasse produite,
- La gestion des sols avec couvertures végétales permanentes.

Pour le premier axe de recherche qui cadre beaucoup plus au point 35.4 du sous thème traité ici, les éléments suivant ont été approfondis:

- diversification du matériel végétal directement utilisable par les agriculteurs
- identification des techniques d'implantation adaptées et peu coûteuses pour ces espèces (enrobage, inoculation des semences, fumure localisée...)
- utilisation optimale de la biomasse provenant des coupes des haies vives (enfouissement, paillage, compost).

Quant au second axe, les éléments étudiés porte sur:

- la sélection du matériel végétal,
- l'installation de la couverture
- la gestion de la couverture.

Les activités ont démarré en Octobre 1990 par des observations régulières du comportement de 10 espèces de plantes herbacées de couverture dans la station d'Ambalavao Atsimondrano.

En 1992, il ressort de ces travaux d'observation que deux sur les dix espèces observées se comportent le mieux. Il s'agit de Callopogonium caeruleum et Callopogonium mucunoïdes.

Des parcelles d'observation sur la gestion des plantes de couverture associées aux cultures vivrières ont été installées par la suite durant la campagne 1992/93 en milieu contrôlé à la station d'Andranomandry Ambohimangakely, siège du centre FAFIALA.

Durant la campagne 1993/94, deux modes de gestion des plantes de couverture (par voie mécanique et herbicide) ont été également testés en station en même temps que des essais multilocaux « couvertures végétales » ont été conduits conjointement avec le PNVA en trois localités du milieu réel.

Ces essais multilocaux en milieu paysan ont été poursuivis durant la campagne 1994/95.

Ils traitaient:

- l'installation des plantes de couverture dans le bozaka
- le comportement et gestion des plantes de couverture et haies vives.

Ces activités ont permis respectivement de constater que:

A LA STATION D'ANDRANOMANDRY

+ EN MATIERE D'IMPLANTATION ET DE COMPORTEMENT DES COUVERTURES, l'évolution dans le temps du taux de recouvrement du sol par les couvertures varie suivant les espèces. L'installation la plus rapide a été obtenue par cassia rotundifolia.

Avec un taux de germination très faible, *l'arachis pintoï* s'installe plus lentement (cf tableau 3: évolution du taux de recouvrement du sol par les couvertures en annexe).

Un comportement assez satisfaisant a été observé pour glycine wigthii malgré son installation plus lente.

Le trèfle du Kenya (trifolium semipilosum) s'est bien installé mais n'a pas supporté les saisons sèches de 1994 et de 1995.

Le Desmodium uncinatum installé par bouturage pose un problème de maîtrise en raison de sa forte concurence avec les cultures en association.

Le Kykuyu par contre a été fortement concurrencé par les adentices graminées et est très difficile à maitriser par voie mécanique.

Vigna parkerii, Lotus uliginosus, Callopogonnium mucunoïdes et Trifolium repens ne se sont pas réellement adaptés au milieu offert par les sols ferrallitiques typiques à structure plus ou moins dégradée: les deux premières espèces de ce lot seront testés en bas de pente où elles s'adapteront probablement mieux tandis que les deux dernières espèces seront désormais exclues de la gamme.

Quelles que soient les espèces, en raison des conditions pédologiques défavorables, les aléas climatiques ainsi que certaines faiblesses dans le respect du calendrier cultural et le choix des variétés adaptées, les rendements des cultures sont assez faibles (cf tableau 4 : rendement des cultures en annexes).

Toutefois, malgré ces résultats agronomiques faibles, deux espèces cassia rotundifolia et l'arachis pintoï pouvant être installés en même temps que les cultures se sont avérées prometteuses. Des effets d'amélioration de la structure du sol ont été par ailleurs observés sur la parcelle de cassia.

La gestion des couvertures végétales par voie mécanique en bande étroite reste également une piste prometteuse à approfondir.

+ EN MATIERE DE GESTION DE LA COUVERTURE AVEC APPLICATION D'HERBICIDE OU PAR VOIE MECANIQUE, les résultats ont mis en évidence que d'une manière générale, l'applicaton d'herbicide pour le contrôle des couvertures n'est pas nécessaire durant la première année d'installation.

Un premier traitement herbicide au gramoxone (Paraquat) à la dose de 0,1 dl - 0,2 dl/ha semble suffisante pour arriver à maîtriser les plantes de couverture notamment le cassia sur la ligne de semis des cultures à partir de la deuxième année d'implantation (cf Tableau 5: taux de recouvrement du sol par les plantes de couverture en annexe).

Le traitement mécanique, fait à l'angady dans le but de redresser la bande de couverture sur une largeur de 20 cm entre les bandes de culture de 40 cm ne pose de problèmes que sur desmodium uncinatum qui présente de stolons.

Le Kykuyu a posé un problème de forte concurrence avec le soja associé en raison de l'impossibilité de le maîtriser ni par voie mécanique, ni par l'application d'herbicide.

EN MILIEU PAYSAN DANS LE CADRE DU PNVA

+ EN MATIERE D'IMPLANTATION, COMPORTEMENT ET GESTION DES PLANTES DE COUVERTURE

Le taux de recouvrement varie en fonction des lieux et suivant les espèces: (cf tableau 6 en annexe).

- A Ankazondandy, localité située dans une zone bioclimatique plus favorable, les couvertures sont d'une manière générale bien installées.

Toutefois, *l'arachis pintoï* présente le plus de problèmes d'installation dus à la qualité de semences ou des attaques de rongeurs et d'oiseaux qu'il semble plus indiqué de l'installer désormais par boutures.

- A Merimandroso où les conditions édaphiques sont plus pauvres, le desmodium s'est mal installé alors qu'en deux autres sites, il a produit une quantité de biomasse importante et supporté des coupes répétées.
- La vitesse d'établissement du cassia est liée à la qualité du sol. C'est ainsi qu'Ankazondandy, il a produit une quantité satisfaisante de biomasse tandis qu'à Merimandroso il présentait des problèmes phytosanitaires. A Arivonimamo, où le sol est presque décapé, son installation a été vouée à l'échec.

Pour ce qui est de la gestion des couvertures, l'insuffisance de l'intensité de suivi par les paysans participants est notable. C'est ainsi que l'incompréhension de la gestion mécanique par bandes étroites se posait à Merimandroso et Arivonimamo. Néanmoins, certains paysans essayent de tester des modes de gestion plus adaptées à leurs besoins en fourrages (bandes plus larges que celles recommandées, intensités de coupes) qu'ils se sont montrés plus motivés à gérer les plantes de couverture.

- Pour les cinq autres lieux des Hauts Plateaux sélectionnés plus tard et où les couvertures ont été installées en Novembre-Décembre 1994, aucune conclusion sur l'adaptation des différentes espèces n'est encore avancée. Il a été seulement noter l'installation assez lente des plantes en général durant la première saison de culture (cf tableau 7 en annexe.)
- + EN MATIERE DE REGENERATION DE FERTILITE PAR COUVERTURES ET HAIES VIVES.

La durée de l'essai est prévue pour 5 ans et en raison de son installation récente allant de Novembre 1993 à Février 1995 selon les lieux, aucun effet sur la régénération de la fertilité n'a pas pu être encore mesuré. En effet, en Juin 1995, le taux de recouvrement du sol par les couvertures restent encore assez faible (cf tableau 8) qu'il faut attendre la fin de la fin de la première saison sèche pour mieux apprécier l'adaptation des deux espèces testées (Cassia rotundifolia et Desmodium uncinatum).

3.5.4.3. En Imerina

Cette zone périurbaine (région d'Antananarivo) à forte densité et occupation présente une pression démographique croissante et des conditions pédoclimatiques moins favorables que le Vakinankaratra (sols ferrallitiques très dégradés sur tanety, sécheresse accentuée à une altitude plus basse).

a) Actions entreprises et acteurs.

TAFA	Mise au point des systèmes de cultures diversifiés, économiquement attractifs, en particulier grâce au semis direct.								
	Aménagements intégrés de vallons. Diffusion.								
Programme F.D.P. (ORIMPAKA,)	Promouvoir la maîtrise technique et sociale d'aménagementss sur tanety par les communautés paysannes (grâce à des actions complémentaires au centre FAFIALA)								
FOFIFA	Recherches sur les cultures vivrières: riz, haricot, maïs, et fourragères.								
ANAE	Projets de développement intégrés en association avec des opérateurs.								
PNVA	Vulgarisation								
FAO Bassins versants	Aménagement des bassins versants.								

b) Systèmes mis au point pour la zone.

Dans cette zone, les études sont plus récentes et les conditions pédoclimatiques paraissent plus contraignantes.

Certaines espèces se distinguent en particulier le Cassia rotundifolia. Cette plante de couverture est très rustique.

Elle s'adapte à toutes les conditions pédoclimatiques: sol acide ou alcalin, peu fertile, sécheresse estimale. Cette espèce régénératrice capable de pousser dans des conditions extrêmes, extrait des éléments nutritifs essentiels considérés comme assimilables par les cultures commerciales. En contre partie, si elle n'est pas ma^trisée, elle entre en compétition avec les cultures. Pour éviter toute compétition lors de l'installation de la culture, deux alternatives sont développées:

- bandes alternées: bande large travaillée pour des semis de rangs jumelés de la culture alternés avec la couverture vivante.
 - application d'herbicide de pré-semis.

c) Réalisations.

La diffusion de bandes alternées travaillées avec couverture de cassia est en cours.

3.5.4.4. Région du Moyen-Ouest

COUVERTURE PERMANENTE ET SEMIS DIRECT.

Un essai « Etude du mode de semis du riz pluvial en association avec une légumineuse était à l'origine des études sur les systèmes agrobiologiques du sol à kianjasoa. En effet, l'idée initiale était d'augmenter la productivité par unité de surface d'une exploitation en cherchant une deuxième culture après la récolte du riz pluvial. On menait ainsi cette expérimentation qui a pour objet de déterminer le meilleur mode de semis du riz pluvial à adopter en cas de pratique d'une culture associée.

Deux modes de semis du riz ont été ainsi testées: semis en lignes continues et semis en poquet respectivement suivant deux écartements: 20 cm et 40 cm. Pour chaque mode de semis du riz, une légumineuse, le pigeon pea ou cajanus cajan a été semée entre les lignes de riz en culture dérobée (Relay - cropping):

- soit au stade de fin tallage du riz,
- soit après passage du riz au stade floraison,
- soit après la récolte du riz.

Les résultats présentés au tableau 23 en annexe semblent montrer que tous les modes de semis du riz testés ainsi que les périodes choisies pour son association avec la légumineuse n'ont aucune influence néfaste sur le rendement en paddy.

Le « Pigeon pea » étant légumineuse de port érigé comme le riz, il risque de ce fait d'entrer en compétition avec ce dernier notamment pour la luminosité.

Aussi, les années suivantes, il fût remplacé par d'autres espèces de légumineuses fourragères rampantes qui entre autres ont la propriété de protéger le sol contre l'érosion tout en restaurant sa fertilité.

La première année (1989/90), ce deuxième genre d'expérimentation consiste à tester sept modes d'exploitation faisant intervenir le riz pluvial et différentes espèces de légumineuses comme le montre le tableau suivant:

TABLEAU 66: essai couverture permanente et semis direct.

		Implantation aux premières pluies	Récolte ou incorporation	Après récolte incorporation
ENGRAIS	1	Cajanus cajan	Incorporation vers le 15 Décembre	Semis riz pluvial
	2	Stizolobium	- >>-	- »-
RIZ	3	Riz	Récolte du riz à maturité	Semis cajanus cajan
PUIS COUVERTURE	4	Riz	- >>-	Semis de stilizobium
DU SOL	5	Riz	- >>-	Semis de haricot
SEMIS RIZ ET LEGUMINEUSE EN MELANGE EN COUVERTURE	6	Riz et Callopo en mélange		la récolte du riz, la de couverture reste place
	7	Riz et pu	ueraria	- »-

Il a été voué à l'échec à cause de problème de levée des légumineuse (dormance).

La deuxième année (1990 / 91), des modifications ont été apportées sur l'expérimentation on comparait:

- une monoculture de riz suivi d'un haricot semé dans les pailles de riz après la récolte de ce dernier avec.
- un riz en culture pure où l'on laisse le sol nu après la récolte et
- un riz qu'on associe avec une légumineuse installée en trois périodes différentes.

. en mélange au semis avec le riz,

. semé entre les lignes 30 jours après semis du riz,

. semé à la volée, 30 jours après semis du riz.

Pour l'association, deux espèces de légumineuses ont été testées: le callopogonium et le desmodium.

Deux niveaux de fertilisation ont été par ailleurs comparés dans cet essai F1 et F2.

Les résultats préliminaires présentés au tableau 24 en annexe révèlent que quelle que soit l'espèce de légumineuse avec laquelle on associe le riz, il semblerait qu'il serait plus bénéfique de pratiquer l'association 30 jours après le semis du riz.

En 1991/92, l'essai dut de nouveau modifié et testé les traitements ci-après:

T1 = Centrosema enfoui avant semis

T2 = Centrosema maintenu en couverture

T3 = Desmodium maintenu en couverture

T4 = Desmodium enfoui avant semis

T5 = Mucuna maintenue en couverture

T6 = Mucuna enfoui avant semis

T7 = Callopogonium enfoui avant semis

T8 = Callopogonium maintenu en couverture

T9 = Riz en monoculture sur sol labouré.

L'on se rend compte au vu de ces traitements qu'un nouveau facteur « Enfouissement comme engrais vert » des légumineuses avant semis a été introduit car en raison du très bon développement des plantes de couverture et leur reprise rapide même après enfouissement l'on se demandait s'il n'est pas plus bénéfique de les enfouir tout simplement plutôt que d'appliquer des herbicides avant le semis.

Les résultats présentés au tableau 25 en annexe montrent que les rendements du riz en association sont nettement inférieurs à celui du riz en monoculture. En effet, les espèces de légumineuses testées se sont toutes avérées trop envahissantes qu'elles ont anéanti le rendement en paddy notamment lorsqu'elles sont maintenues en couverture au moment du semis du riz.

Elles sont moins agressives lorsqu'elles ont été préalablement enfouies et n'ont repris que vers le trentième jour après le semis du riz si bien qu'on a pu obtenir sur ces parcelles un rendement relativement acceptable de 1,5 t et 1,8 t/ha respectivement avec Centrosema et Desmodium associé au riz. Les rendements sont par contre restés insignifiants avec Mucuna et Callopogonium. Ces deux espèces étant volubiles et ont par conséquent étouffé les plants de riz.

De ce fait, à partir de la campagne 1992/93, on ambadonnait ces espèces jugées envahissantes pour le riz et l'on introduisait deux nouvelles espèces à port plus rampant le lotier et l'arachis. En 1992/93, par suite de problème de levée, l'essai a été voué à l'échec.

En effet, l'arachis qu'on pensait reproduire par graines n'a pas germé. Le même problème s'est reproduit en 1993/94 pour l'arachis tandis que le taux de germination du lotier est resté très faible.

Les très peu de plants de lotier levés n'ont pas pu en outre résister à la longue période de saison sèche qui sévit dans le Moyen-Ouest d'Avril en Octobre. Le lotier ne paraît pas ainsi adapté aux conditions édapho-climatiques de la région. Il est abandonné.

L'essai fut suspendu en 1994/95 pour n'être repris qu'en 1995/96 avec les espèces suivantes:

- _ Centrosema
 - Desmodium reproduit par bouture
 - Arachis perenne reproduit par bouture
 - Arachis pintoï produit par bouture
 - Cassia rotundifolia.

La campagne 1995/96 étant une période d'installation des plantes de couverture, aucun résultat consernant son association avec le riz ne peut être avancé qu'à l'issue de la campagne 1996/97.

En conclusion, les expérimentations sur les systèmes agrobiologiques menées par le FOFIFA dans le Moyen-Ouest sont restées à un stade de mis au point de la technique. Elles se sont soldées depuis 1990/91 à la recherche d'une meilleure espèce de légumineuse pouvant être mise en association avec le riz pluvial.

3.5.4.5. Région du Vakinankaratra.

Cette région, ordonnée autour du massif de l'Ankaratra, sur lequel l'érosion apparaît intense, comporte de larges bassins sur son rebord oriental. La fraîcheur du climat à une altitude de 1500 m contribue à une certaine spécialisation agricole: fruits et légumes tempérés, élevage bovin laitier,.

a) - Actions entreprises et acteurs

De nombreux organismes sont actifs dans la zone. Les principaux sont:

TAFA	Mise au point* des systèmes de cultures diversifiés,
	économiquement attractifs, en particulier grâce au semis direct.
FIFAMANOR	Sélection et production des semences (blé, pomme de terre,). Systèmes avec semis direct mécanisé. Amélioration de l'élevage.
FOFIFA	Recherches sur les cultures vivrières: riz, haricot, maïs, et fourragères.
ANAE	Projets de développement intégrés en association avec des opérateurs (ONG: Nature et Progrès, Terre Environnement Développement,)
PNVA	Vulgarisation
FIFATA	Distribution locale - Nombreux organismes.

^{*:} En ce qui concerne le semis direct, TAFA créé en 1995 a poursuivi les expérimentations entreprises depuis 1991 par KOBAMA.

b) - Systèmes mis au point pour la zone.

Deux alternatives permettent de construire ces systèmes avevc protection permanente du sol:

- les couvertures mortes, obtenues grâce aux résidus de récolte du cycle précédent, qui constituent l'option la plus simple, mais qui doivent être renouvelées régulièrement,

- les couvertures herbacées permanentes ou couvertures vives, solution définitive à condition qu'elles ne soient pas compétitives pour la culture.

* Couverture morte

La couverture morte est constituée:

- des résidus du précédent cultural (pailles de blé, d'avoine, de riz, de maïs, ...).
- des mauvaises herbes qui étaient associées.

Pour contrôler le potentiel des adventices, la couverture peut éventuellement être complétée par paillage avec du « bozaka » (Aristida...), qui remplace aussi les pailles de céréales quand elles sont reservées au bétail. Lorsque le sol est bien couvert, les adventices sont maîtrisées. Sinon leur contrôle est réalisé par fauchage, desherbage manuel ou avec un herbicide de nettoyage avant plantation (paraquat, ...).

Le semis de la culture au travers du paillage se fait avec les outils disponibles (angady, ...) ou avec des semoirs adaptés manuels (canne planteuse, roue semeuse) ou à traction motorisée.

Les résultats obtenus sont plus intéressants sur les plans rendement et surtout temps de travaux qu'avec labour sur toutes les cultures étudiées: soja, haricot, maïs, blé, avoine. Pour le riz pluvial, qui est très exigeant sur le plan de la macroporosité du sol, il est nécessaire de recourir pendant la phase d'installation du semis direct à un précédent cultural dont le système racinaire soit assez puissant pour créer ces conditions favorables. Elles sont obtenues avec un précédent crotalaire, légumineuse qui s'associe très bien au maïs.

Avant d'installer le semis direct sur les sols ferrallitiques de « tanety » les plus dégradés, il est possible de restaurer leur fertilité par écobuage. Cette combustion lente est réalisée grâce à des pailles sèches disposées dans les sillons, aux emplacements des lignes de semis (tous les 0,8 à 1 m pour le maïs, ...), et recouvertes de terre. Cette technique correspond à une fumure de redressement en oxydant la matière organique et en accélérant fortement sa minéralisation (libérant ainsi de grandes quantités de phosphore assimilable, de potasse, ...).

* Couvertures vives

Les couvertures vives étudiées sont des plantes fourragères: légumineuses (Desmodium uncinatum, Cassia rotundifolia, Trifolium semililosum, Lotus uliginosus, ...) ou graminées (Brachiaria ruziziensis, Pennisentum clandestinum...).

Souvent déséchées par le gel avant le semis de la culture, elles peuvent ensuite être maîtrisées par voie mécanique (fauchage pour l'affouragement, paillage, ...) soit par voie chimique.

Les meilleurs résultats sont obtenus sur sol assez fertile avec :

- le Desmodium (Desmodium uncinatum) qui s'associe aisément au maïs (avec fauchage et paillage des lignes de semis ou traitement localisé à l'herbicide).
- Le Kikuyu (Pennisetum clandestinum) qui constitue une des meilleures couvertures pour les légumineuses: soja, haricot. Son système racinaire puissant améliore la structure du sol et permet de réduire les dégâts des insectes terricoles (Hétéronychus).

c) - Réalisations.

La diffusion des techniques de semis direct se fait dans des projets de développement intégré en association avec divers opérateurs. La gestion avec couverture morte sur résidu de récolte complété si nécessaire par un paillage de « bozaka » pour le contrôle des adventices (sans recours aux herbicides) est privilégiée.

d) - Les effets.

Cette technique de semis direct très simple, se diffuse spontanément après démonstration. Les principaux avantages recherchés par les agriculteurs sont la réduction des temps de travaux et de leur penibilité.

3.5.4.6. Région du Sud-Ouest

Dans cette zone sèche (300 à 800 mm de pluie par an) à forte incertitude climatique, les producteurs ont mis au point des systèmes très extensifs qui dégradent le milieu. Ils manquent souvent de moyens, et en particulier de main d'oeuvre pour cultiver durablement suffisamment de surface. Parfois, l'agriculteur ne contrôle plus les mauvaises herbes, 2 à 3 ans après avoir défriché la forêt, et abandonne irrémédiablement la parcelle. Il est contraint de migrer et de détruire la forêt qui pourtant lui procure la plupart de ses besoins (nourriture, plantes médicinales, pâturage...).

a) - Actions entreprises et acteurs.

TAFA	Mise au point* des systèmes de cultures diversifiés,							
	économiquement attractifs, en particulier grâce au semis direct.							
P.S.O	Diffusion.							
SAF.CO Morondava	Régénération et diversification sur les terrains abandonnés.							
	Epargne crédit en nature.							
HASYMA	Vulgarisation coton.							
FOFIFA	Recherches sur la maîtrise des mauvaises herbes.							

^{*:} En ce qui concerne le semis direct, TAFA et P.S.O ont poursuivi les travaux engagés par le KOBAMA.

b) - Systèmes traditionnels.

Les systèmes de culture itinérants sont pratiqués sans travail du sol, mais avec brûlis et sans couverture du sol.

c) - Systèmes mis au point pour la zone.

Les premiers résultats montrent qu'il est possible de mettre en place le mais ou d'autres céréales (mil, sorgho) en semis direct en association avec des légumineuses alimentaires (dolique, Vigna unguiculata) ou fourragère (Cassia rotundifolia). Il en est de même pour le coton qui est aussi cultivé sur couverture contrôlée de graminée (cynodon dactylon).

Les rendements sont améliorés grâce à l'effet biologique des couvertures (décompactage des sables roux en profondeur mis en évidence avec dolique), et surtout les temps de travaux sont réduits, avec une mise en place rapide des cultures dès les premières pluies et une suppression des sarclages.

ANNEXES

TABLEAU I : Rotation culturale et traitement constituant l'essai "complémentarité fumier x phosphore"

Campagne	Culture	11	T 2	73	74	75	16	77
1987/88	Légumineuse (soja)	000	15.30.30	15.30.30 + 5t/ha Pumier	15.30.30 + 5t/ha Fumier	15.0.30 + 20t/ha Fumier	15.0.30	Tumier 5t/ha
1988/89	Ris Pluvial	000	45.60.45	45.0.45 + 5t/ha Pumier	45.60.45 + 5t/ha Fumier	45.0.45 + 20t/ha Fumier	45.0.45	Pumier St/ha
1989/90	MAIS	600	90.60.45	90.0.45 + 5t/ha Punier	90.60.45 + St/ha Fumier	90.0.45 + 20t/ha Fumier	90.0745	Punier St/ha

TABLEAU II : Cycle de rotation et traitements testés de l'essai "Interotation Matière organique x dolomie x phosphore"

Campa- gme	Cultu- re	71	72	73	74	2 5	76	17	78	T9	T10		1
87/88	Soja	P.0	F.0	2:0	2.0	7.0	P.0	7.0	000	15.30.30	15.30.30	Ľ	er
		150kg/ha dolomie	+ 300kg/ha dolomie	+ 600kg/ha dolomie	it/ha dolomie	+ 3t/ha dolomie	+ 9t/ha dolomie	4 30kg/ha dolomie par en robage semences	•	•	+ Funier St/ha		
88/89	Ris	-"-	-*-	-1-	-*-	-*-	.•.	-*-		45.60.45	45.60.45 + Funier 5t/ha		*-
89/90	Hais	-•-	.*-	-*-	.*-	2 1.	••		2*-	90.60.45	90.60.45 + St/ha		ier ha

H.B.: F.W = 15.30.30 + Funier 5t/ha en 1987/88 F.W = 45.60.45 + Funier 5t/ha en 1988/89 F.W = 90.60.45 + Funier 5t/ha en 1989/90

couvertures (en%)

Mode de gestion	Parcelle	Date d'estimation					
Breakin - 1 + P		Jan, 93	Mai94	Mars95***	Mai		
Arachis pintoï Cassia rotundifolia	3	40-60	5*/5** 100/90	20/30 100/100	3		
Lotus uliginosus Vigna parkerii Trifolium semipilosum	4 5 6	- 20-30 20-30	20/10 30/10 80/50	10/5 40/10 70/60	ra 2		
Trifolium repens Desmodium uncinatum	7 7	20	60/10	70/20			
Calapogonium mucunoïdes	8	20-30	20/60	30/50	7		
Glycine wigthii Pennisetum clandestinum	9 10	20-30 50-60	60/20 80/80	70/40 80/80	70 40		

Sous-parcelle 1 (partie basse de la parcelle unitaire) Sous-parcelle 2 (partie haute de la parcelle unitaire) Le taux de recouvrement a été estimé seulement sur la bande, réservé au plantes de couverture

Mode de gestion	Parcelle	1	Rendements 1992/93		Reno 1993	lements 3/94	Rende 1994/
		Mais _l (kg/are)	Riz _i (kg/are)	Haricot, (kg/are)	Mais ₍ (kg/are) (kg/are)	Riz _s	Soj (kg
Sol nu (témoin) Arachis pintoī* Cassia rotundifolia Lotus uliginosus* Vigna parkerii Trifolium semipilosum Trifolium repens** Desmodium uncinat** Calapogium mucun Glycine wigthii Pennisetum clandestin	1 2 3 4 5 6 7 7 8 9	8,1 6.2 8.1 8.1 8.1 9.4 6.9 - 9.4 4.4 5.6	0.2 0.2 0.4 0.9 0.2 0.4 - 0.3 0.1 0.2	2.9 3.8 4.8 7.0 2.9 4.0 - 2.8 4.6 2.8	9.5 9.0 9.0 8.0 7.0 - 6.0 5.0	8.1 4.5 - 12.6 10.8 9.9 - 10.8 9.0 8.1	6.0 3.1 5.8 3.3 7.0 5.4 - 2.8 2.0 1.3
oyenne Couverture d'Arachis et de Lotus Couverture en 1997/93: Trifolis		7.5	0.3	3.5	6.9 8.	1	3.8

Couverture en 1992/93: Trifolium repens Couverture à partir 1993/94:Desmodium uncinatum

^{2:}produit sur sous-parcellel 3:produit sur sous-parcellel 4:produit sur sous-parcellel 5:produit syr sous-parcelle?

TABLEAU V : Taux de recouvrement du sol par des plantes de couverture (en%)

Parcelle N°	Trai	tements ·	•	Date d'estima	tion
N	Mode de gestion	Contrôle couverture	27.5. 1994	8.2. 1995	Juin 1995
TSl	Trèfle	herbicide	70	60	80
TS2		mécanique	80	55	70
TS3		herbicide	30	45	50
TS4		mécanique	30	40	60
CRl	Cassia	herbicide	5	85	80
CR2	1	mécanique	30	80	85
CR3		mécanique	80	65	80
CR4		herbicide	90	60	70
LU1	Lotier	herbicide	10	15	20
LU2		mécanique	5	10	10
LU3		herbicide	10	10	15
LU4		mécanique	5	10	10
APl	Arachis	mécanique	10	35	- 50
AP2	1	herbicide	10	40	50
AP3	1	mécanique	20	35	50
AP4		herbicide	10	25	40
				 	
DU1	Desmod.	herbicide	30	45	50
DU2 DU3	1	mécanique	30 10	55	60
DU 4		mécanique herbicide	10 · 5	15 5	20 5
D04		nerbicide	5	3	3
DU5	Desmod.	mécanique	20	25	30
PC1	Kikuyu	herbicide	60	80	80
PC2	1	mécanique	60	85	80
PC3		mécanique	70	75	70
PC4	·	herbicide	 90	80	80

TABLEZU VI : résumant les taux de recouvrement du sol par les différentes plantes de couverture par site pour les deux premiscampagne 1993/94 et 1994/95

Parcelle	Traitements:		Date d'estimation	
N.	Mode de gestion	Fin Avril 94	Nov. 94	Mai95
Ankazondandy				-
Р3	Desmodium uncinatum	85	50	100
P4	Cassia rotundifolia	90	80	100
P5	Cassia rotundifolia	95	80	100
P6	Arachis pintoï	5	rare	60
Merimandroso				
P3	Desmodium uncinatum	20	5	10
- P4	Cassia rotundifolia	35	20	50
P5	Cassia rotundifolia	30	20	40
P6	Arachis pintoï	5	5	20
Arivonimemo				
P3	Desmodium uncinatum	70	55	85
P4	Cassia rotundifolia	5	30	70
P5	Cassia rotundifolia		-	0
P6	Arachis pintoï	-	_	20

TABLEAU WII : Les taux de recouvrement du sol par les différente plantes de couverture par site.

Parcelle	Traitements:	Date d'es	stimation
N *	Mode de gestion	Mars95	Mai95
Ambalavao	- Moratsiazo .		
P2	Cassia rotundifolia	15	15
Р3	Desmodium uncinatum	5	rare
P4	Trifolium semipilosum	20	. 5
£ 5	Vigna parkerii	25	5
Imerintsia	tosika - Manerinerina		
P2	Cassia rotundifolia	30	40
Р3	Desmodium uncinatum	2	rare
P4	Trifolium semipilosum	15	10
P5	Vigna parkerii	20	10
Ampahimanga	a - Anjaridaina		
P2	Cassia rotundifolia	10	20
Р3	Desmodium uncinatum	5	5
P4	Trifolium semipilosum	30	70
P5	Vigna parkerii	30	70
Atsimombo	ohitra - Ambohidehidelahy		
P2	Cassia rotundifolia	40	30
Р3	Desmodium uncinatum	10	10
P4	Trifolium semipilosum	2	rare
P5	Vigna parkerii	3	rare
Behenjy -	Andravinila		
P2	Cassia rotundifolium	25	30
P3	Desmodium uncinatum	10	5
P4	Trifolium semipilosun	30	10
P5	Vigna parkerii	25	40

TABLEAU VIII : Comportement et gestion des plantes de couvert

Parcelle	Traitements:	Date d'est	imation		
N.	Mode de gestion	Mars95	Juin95		
Andramasin	a - Ankorona	_			
Р3	Cassia rotundifolia	5	25		
P4	Cassia rotundifolia	pas installé	-		
P5	Cassia rotundifolia	5	15		
P6	Cassia rotundifolia	5	10		
Ampahimang	a - Ampanganamalona		•		
P3	Cassia rotundifolia	15	60		
P4	Cassia rotundifolia	30	60		
P5 Cassia rotundifolia		20	70		
P6	Cassia rotundifolia	30	70		
Antovontan	y - Fisoronana				
Р3	Desmodium uncinatum	5	rare		
P4	Desmodium uncinatum	5	rare		
P5	Desmodium uncinatum	5	rare		
P6	Desmodium uncinatum	. 5	55		
Parcelle	Traitements :	Date d'estimation			
N.	Mode de gestion	Mars95	Juin95		
Atsimomboh	itra - Antanetibe				
P3	Cassia rotundifolia	10	30		
P4	Cassia rotundifolia	5	20		
P 5	Cassia rotundifolia	15	30		
Р6	Cassia rotundifolia	15	30		
Atsimomboh	itra - Ankadibe	•			
P3	Desmodium uncinatum	10	rare		
P4	Desmodium uncinatum	5	5		
			16		
P5	Desmodium uncinatum	5	15		

TABLEAU IX : Résultats de l'essai soustractif (KJS 01)

Année	75/76(*)	76/77(*)	79,	/80
Traitements	, , ,		Sans furmier Avec furmier	
1 = Fc	23,4	54	31	38
2 = Fc - N	20,8	30,5	26	39
3 = Fc - P	22,9	28	14	33
4 = Fc - K	22,6	45	20	34
5 = Fc-dolomie	24,1	51,5	21	37
6 = Fc - Mg	23,6	55	30	36
7 = Fc - S	22,9	56,5	31	38
8 = Fc - OE	24,5	48,5	26	38
`9 = 0 - 0-0	19,6	25	12	22
10 = fumier(+)	21,8	36,5	18	28

NB : Fc = 45-90-60 + 500kg de dolomie + 20kg de nutramine, le fumier à 5 t/na à Tère année sur manioc

= 90-60-60 + 500kg de dolomie + 20kg de nutramine, le fimier . à 5t/ha en IIè année sur maïs

* en t/ha de racines fraiches de manioc en 75/76 et en quintaux/ha de maïs grains en 76/77

(+) N seul en 79/80

TABLEAU X : Résultats de l'essai factoriel (KJS 02)

]	raiches	ce Manio	Ç• .			
RESOURCES LOCALES	_	N	P	NP	K	NK	PK	NPK
dolomie fumier fumier + dolomie	21,9 18,9 18,7 23,5	19,2 22,4 23,1 21,4	20,0 22,0 20,7 22,0	21,8 23,0 20,5 21,3	18,9 17,8 22,8 23,3	, 24,0 18,6 20,8 24,3	19,8 17,4 22,5 18,9	24,6 23,4 21,7 27,0

. Campagne 76/77 : Production en quintaux de grains secs/ha

RESOURCES LOCALES	-	N	P	NP	k	. NK	PK	NPK
dolomie fumier fumier + dolomie	28,4 27,1 42,8 48,1	23,0 24,3 54,3 58,4	27,1 30,0 36,6 45,2	46,5 46,5 58,0 57,2	27,1 32,9 47,3 48,1	32,5 27,6 56,7 61,3	30,8 32,5 42,8 35,8	62,1 57,2 67,9 54,3

. Campagne 79/80 : production en quintaux de grains/ha

RESOURCES LOCALES	npk							
d d	23	10	30	30	21	26	43	37
D	26	15	36	30	17	18	41	39
d d.fu	32	37	41	40	37	41	47	54
D.fu	40	37	43	49	48	46	51	50

n = 67 N = 135 p = 30 P = 60 k = 30 K = 60

d = 100 D = 200kg/ha de dolomie fu = 5t/ha de fumier

TABLEAU 11 : Résultats de l'essai KJS 03.1

Campagne 75/76 (essai à blanc) :

, production en t/ha de racines fraîches de manioc

Campagne 76/77:

production en quintaux/ha de maïs grains

	Traitements	75/76	
ri	-	18,9	76/77
.2	(fm)*		30,2
	, ! .	19,4	47,6
Т3	(fo)	22,6	41,4
Г4	(fmo)	20,3	
r 5	<u>-</u> .	· ·	61,7
r6	(fm)	19,2	29,0
		20,4	51,9
7	(- fo)	21,4	38,5
8	(fmo)	19,6	
9	(fm)		57,5
.0	ı	20,1	57,4
· ·	(fm)	19,2	53,9

^{()*} les formules testées en année 2 sur maïs

fm = fumure minérale fo = fumure organique fmo = fumure organominérale Tableau 12: Résultats des trois campagnes de l'essai "Successions culturales".

Culture	•	Précédent						
Fumure	Année	Mais	Riz pluvial	Arachide	Soja	Manioc	Voandzoi a	Harico. t
·-	76/77	15	13	8	3	-		
Mais 383 90-60-60	77/78 78/ 79	35 54	25 37	27 46	30 65	28 51	29 49	26 46
Riz pluvial 1490 67-60-60	77/78 78/79	0 27 -	0 23	0 16	0 22	0 20	0 18	0 27
Arachide SA 156 0-60-60	77/78 78/79	10 7	10 8	9 7	7 8	9 9	8 7	6 8
Soja Davis 0-60-60	77/78 78/79	2 5	3 7	4 15	3 14	3 8	3 10	3 7

N.B: Le stylosanthès, huitième culture envisagée n'étant pas bien établi qu'en deuxième année, n'a pas été en fin compte considéré.

Tableau 13: Résultats des trois campagnes de l'essai "Binômes culturaux" production de maïs grains en quintaux/ha.

Tableau 13.1: Binômes Maīs/Riz.

- Année	Riz ⁻ (1490)		Fumure Mais (Variété 383)				
	Fumure	Rdt		NK	. NP	NPK	
76/77 "Défriche"			17	23	32	32	
77/78	N 90 NP 60 NPK 60	11	9 7 6 17	8 6 11 14	17 15 15 17	15 16 24 27	
78/79	N67 K30 N67 P30 NPK		16 16 15 20	18 29 32 35	24 47 24 43	44 51 57 57	

<u>Tableau 13.2</u>: Expression de l'effet des éléments en binôme ma**ī**s - riz

		Pun	Récolte	
	Traitement	Riz 77/78	Ma ₁ s 78/79	Ha _I s
	Témoin	-	-	16
Effet K	NP Résiduel K Direct K	NP NK NPK NP	NP NP NP NPK	24 47 43 57
Effet P	NK Résiduel P Direct P	NK NP NPK NK	NK NK NK NPK	29 32 43 51

Tableau 13.3: Binôme Mais-Arachide.

Fumure Arachide 77/78	Fumure Mais 78/79					
	-	NK	NP	NPK		
- K P PK	20 28 23 45	21 28 42 56	19 41 27 60	31 42 56 65		

Tableau 14: Résultats des essais-demonstration d'Ampary et d'Ankazomiriotra - Production en Mals grains en quintaux/ha.

Campagne	EI		Ankazomiriotra					Ampary			
	RL	-	N	P	NP	NPK	-	N	P	NP	NPK
74/75	Témoin	17	52	14	38	50	33	63	39	58	61
	Fumier	23	61	19	57	56	43	60	54	66	74
	Fu+Dol	32	66	21	61	55	46	73	51	73	78
	Pa+Dol	18	53	19	48	50	48	71	55	58	78
75/76	Témoin	20	44	14	27	42	44	68	53	69	89
	Fumier	29	62	23	61	57	69	92	73	94	101
	Fu+Dol	29	62	26	51	63	62	94	75	91	97
	Pa+Dol	15	47	18	51	55	57	91	70	92	98
76/77	Témoin	11	17	12	17	38	45	79	51	89	98
	Fumier	13	50	14	53	51	75	98	70	98	110
	Fu+Dol	23	62	17	54	57	91	111	83	113	132
	Pa+Dol	10	36	13	40	51	81	94	77	105	114

RL: Ressources locales: Fumier 5 T/ha

Pa : pailles 5 T/ha les ler et 2ème année,

puis restitution.

EI: Engrais Importés: N 90; P 60; K 60.

<u>Tableau 15</u>: Résultats des trois campagnes de l'essai soustractif Production de paddy en t/ha.

Campagne	1985	5/86	1986/87	1987/88
Site Traitement	Site 1	Site 2	Station Kianjasoa	Station Kianjasoa
FC FC-N FC-P FC-K FC-S FC-Zn Témoin absolu FC+Dolomie FC-Dolomie	1.83 ab 1.72 ab 2.02 b 1.66 ab 1.47 ab 1.93 ab 1.42 a 1.48 ab	2.48 b 1.81 ab 2.82 b 2.31 b 1.82 ab 2.78 b 1.21 a 2.34 b	2.99 2.99 2.85 3.07 3.28 3.29 2.74 -	2.87 3.08 2.56 2.64 2.96 3.33 1.96 -

Tableau 16: Résultats des deux séries de l'essai factoriel. Rendement exprimé en t/ha.

Campagne	87/8	88/89	89/90	90/91	Année	91/92
Culture	-Riz	Mais	Ara- chide	Riz	Culture Traitement	Riz
1 = 0-0-0	1.93	0.75 b	(*)	4.02	0-0-0	0 .30 g
2 = 60-0-0	2.42	1.23 b		3.73	60-0-0	0.34 g
3 = 0-60-0	2.37	1.05 b		4.79	0-60-0 + Fumier (5 t/ha)	3.52 cđ
4 = 0-0-45	2.20	1.45 b		3.10	Fumier (5 t/ha)	2.44 ef
5 = 60-60-0	2.29	1.13 b		3.35	60-60-0	0.50 g
6 = 60-0-45	2.12	0.78 b		3.21	60-0-45	0.69 g
7 = 0-60-45	2.42	1.09 b		3.98	0-60-45 + Fumier	3.32 cde
8 = 60-60-45	2.89	2.01 ab		3.93	(5 t/ha) 60-60-45	3.03 cde
9 = 60-60-45 + Fumier(5t/ha)	2.77	3.62 a	-	2.93	60-60-45+Fumier (5 t/ha)	5.98 a
10= 60-60-45 + S (15kg/ha)	2.90	2.51 ab		3.81	60-60-45 + S (10 kg/ha)	2.25 f
11= 60-60-45 + Dolomie (500kg/ha)	2.63	2.43 ab		3.67	60-60-45+Dolomie (500 kg/ha)	4.65 b
12= 60-60-0 + Fumier (5 t/ha)	2.27	2.27 ab		3.19	60-60-0 + Fumier (5 t/ha)	4.23 bc

^{(*):} Résultats inexploitables par suite des touffes manquantes important.

Année Traitements						
Dose Dolomie	Surface P ₂ O ₅	Formule	87/88	88/89 (*)	89/90 -	90/91
Sans	Superphos- phate triple	0-0-0 60-30-45 60-60-45 60-90-45	0.91 c 1.65 abc 2.09 ab 2.28 ab		1.73 d 0.64 bcd 1.05 ab 0.84 ad	1.10 1.67 2.27 2.35
Dolomie	Hyper Reno	60-30-45 60-60-45 60-90-45	1.78 abc 1.65 abc 1.45 bc		0.35 cd 1.3 abc 1.20 abc	1.54 2.42 1.85
Avec .	Superphos- phate triple	60-30-45 60-60-45 60-90-45	1.92 ab 1.84 abc 2.53 a	-	1.71 a 1.72 a 1.48 ab	1.88 2.07 2.42
Dolomie 500 kg/ha	Hyper Reno	60-30-45 60-60-45 60-90-45	1.81 abc 1.45 bc 1.37 bc		1.35 ab 1.50 ab 1.20 abc	1.85 1.95 2.47

(*): Rendement fortement affecté par l'attaque de striga d'où inexploitable.

Tableau 18: Résultats de l'essai courbe de réponse en Phosphore et Dolomie. Production de Paddy en t/ha.

Courbe de ré	ponse en P ₂ O ₅	Courbe de réponse en Dolomie		
Traitements	Rendement moyen	Traitements	Rendement moyen	
Terroir 0-0-0 60-0-30 60-30-30 60-60-30 60-60-60 Parcelle de garde (Témoin absolu)	1.44 b 2.66 a 2.88 a 2.88 a 2.84 a 1.65 b	0-0-0 60-60-30 (PU) FU+250 kg/ha Dolomie FU+500 kg/ha Dolomie FU+750 kg/ha Dolomie Parcelle de garde (Témoin absolu)	0.89 ab 1.25 a 1.42 a 1.32 a 1.40 a 0.75 b	

FU: Fertilisation uniforme.

Tableau 19: Résultats des tests multilocaux de fertilisation.

Campagne	1991/92	Campagne 1992/93		
Traitements	Rendement en paddy (t/ha)	Traitements	Rendement en paddy (t/ha)	
- Pratique paysanne (sans fertilisation)	2.57 c	- Pratique paysanne (sans fertilisation)	.3.17 c	
- 5 t/ha de fumier	4.10 b	- 5 t/ha de Fumier	4.07 bc	
- 60-30-45 + 5 t/ha de Fumier	5.79 a	- 30-44-30 + 5 t/ha de Fumier	6.16 a	
	•	- 60-44-30 + 5 t/ha de Pumier	5.52 a	
- 60-30-45 + 5 t/ha de Fumier + 500 kg/ha de Dolomie	6.38 a	- 30-44-30 + 500 kg/ha de Dolomie	5.04 ab	
de notomie		- 30-44-30 + 500 kg/ha de Dolomie + 5 t/ha de Fumier	5.64 a	

Tableau 20: Résultats de l'essai travail du sol et date de semis.

Travail Année du sol	Ţravail	Rendement en grains secs (kg/ha)						
	D1·	D2	D3	D4	D5	D6		
1985/86	L.F.C * L.D.C **	5800 6183	5363 5205	6415 6127	5625 3958	4292 3747	3497 4002	
1986/87	L.F.C L.D.C	1460 1440	1880 1540	1210 1220	1720 1790	1990 1120	1120 1410	
1988/89	L.F.C L.D.C	5510 6180	5370 5210	6420 6130	5630 4030	4290 3750	3500 4000	
		Dl(6 Nov)	D2(16 Nov)-	D3(27 Nov).	D4(7 Déc)			
1987/88	L.P.C L.D.C	3260 2608	2589 2426	2190 2051	2190 2051		/33 /20	

(*)L.F.C: Labour de Fin de Cycle (après récolte)
(**) L.D.C: Labour en Debut de Cycle (juste avant la mise en place de la culture)

<u>Tableau 21</u>: Résultats de l'essai. Etude de la valeur fertilisante de l'EOB.

	Rendement en paddy sec (kg/ha)			
Traitements	lère année Effet direct (1985/86)	2ème année Effet direct (1986/87)	3ème année Arrière effet (1987/88)	
T 1= 0-0-0 T 2= Fumier (5 t/ha) T 3= E.O.B (250 kg/ha) T 4= E.O.B (500 kg/ha) T 5= E.O.B (750 kg/ha) T 6= E.O.B (1000kg/ha) T 7= NPK T 8= NPK+Pumier (5 t/ha) T 9= NPK+E.O.B (250 kg/ha) T10= NPK+E.O.B (500 kg/ha) T11= NPK+E.O.B (750 kg/ha) T12= NPK+E.O.B (1000kg/ha)	1743 1729 1910 2639 2306 2979 1708 3340 2125 2667 2674 2576	2441 2711 2408 2434 2507 2763 2520 2270 - - -	1537 1612 1812 1875 2312 2812 2075 1937	

Test multilocal de la valeur fertilisante de l'E.O.B en effet direct conduit en 1989/90.

Traitements	Rendements en paddy secs (kg/ha)
T 1= 0-0-0 T 2= E.O.B (500 kg/ha) T 3= NPK T 4= NPK + E.O.B (500 kg/ha) T 5= Fumier (5 t/ha) T 6= NPK + Fumier (5 t/ha) T 7= Fumier (12 t/ha) + E.O.B (500 kg/ha)	1390 1790 2210 2190 1560 2600 1950

Tableau 22: Résultats de l'essai précédent cultural.

D. C. Claude and L.	Moyenne des rendements de paddy sec (kg/ha)				
Précédents culturaux	1986/87	1987/88	Moyenne		
Mass Soja Arachide Riz	2010 1050 2250 620	3500 3293 3549 3549	2755 2172 2900 2085		

<u>Tableau 23</u>: Résultats de l'essai "Etude du mode de semis du riz pluvial en association avec une légumineuse.

Trai	tement	Rendement en p	addy en kg/ha
Mode de semis de riz	Période d'installation de la légumineuse	1987/88	1988/89
En lignes continues espacées de 20 cm	Stade fin tallage		5388
espacees de 20 cm	Stade de floraison	2430	4736
	Après récolte		5027
En lignes continues espacées de 40 cm	Fin tallage		5111
espacees at 40 cm	Stade de floraison	2222	5458
	Après récolte		5722
En poquets espacées de 20 cm	Fin tallage	·	4694
ae zu cm	Stade de floraison	2590	4694
	Après récolte		5000
En poquets espacées	Fin tallage .	·	4597
de 40 cm	Stade de floraison	2330	4847
	Après récolte		3972

Tableau 24: Résultats de l'essai "association Riz x Légumineuse" en 1990/91.

Mana Alamaniahian	Niveaux de fertilisation		
Type d'association	Fl	F2	
1 = Riz culture pure 2 = Riz culture pure suivi de haricot 3 = Riz + Callopogonium en mélange au	1.78 1.53 1.67	2.08 1.46 1.34	
semis 4 = Riz + Callopogonium entre les lignes 30 i aprè semis	2.13	1.96	
lignes 30 j apré semis 5 = Riz + Callopogonium à la volée 30 j après semis	1.97	1.6	
6 = Riz + Desmodium en mélange au	1.86	1.78	
7 = Riz + Desmodium entre les lignes	2.12	2.58	
8 = Riz + Desmodium à la volée après	2.06	2.3	
semis 9 = Riz culture pure	1.87	2.27	

Tableau 25: Résultats de l'essai " association Riz pluvial x Légumineuse en plante de couverture" en 1991/92.

Traitement Numero Légumineuse associée au riz	Rendement moyen en paddy après séchage et vannage en t/ha
1 = Centrosema enfoui 2 = Centrosema maintenu en couverture 3 = Desmodium maintenu en couverture 4 = Desmodium enfoui 5 = Mucuna maintenu en couverture 6 = Mucuna enfoui 7 = Callopogonium enfoui 8 = Callopogonium maintenu en couverture 9 = Monoculture riz	1.5 0.241 0.091 1.8 0.650 0.070 0.310 0.060 4.2

Bibliographie sélective du chapitre sur le Sud-Ouest malgache

(base bibliographique M. Raunet + quelques compléments)

Hydrogéologie

Chaperon P., Danloux J., Ferry L., 1993. Fleuves et rivières de Madagascar. Monographie hydrologique nº 10, Ed.ORSTOM-CNRE-DMH, Paris, 874 p.

Domergue C., 1969. Fluctuation des nappes de l'Ouest-Sud de Madagascar (entre Onilahy et Mangoky). Compte rendu semaine géologique, Madagascar.

Domergue C., 1973. Les eaux souterraines au Nord de Tuléar entre Onilahy et Mangoky (zone Masikoro-Sud). Compte rendu Académie malgache, n.s. tome 51; fascicule 2, p. 49-53.

Ferry L., Arthaud F., Grillot J.C., Dussarrat B., Ralaimaro J., 1991. Reconnaissance hydrologique et géologique dans la région de Manombo/Ranozaza (Madagascar). MRSTD-CNRE, rapport LRSAE nº 8.

Martin P., 1950. Etudes hydrologiques et assèchement du Sud-Ouest de Madagascar. RGA, II, p. 357-360.

Pédologie, géomorphologie, géographie

Bosser J., Hervieu J., 1958. Notice sur la carte d'utilisation des sols à 1/20 000 de la plaine de Tuléar. Antananarivo. ORSTOM, 44 p.

Bouchard L., 1969. Etude pédologique de la zone de Béfandriana Sud Antanimihéva, province de Tuléar. Doc. IRAM, nº 181, Tananarive, 31 p.

Bourgeat F., Randriamboavonjy J.C., Sourdat M., 1996. Les unités pédomorphologiques à Madagascar. Les facteurs de pédogenèse. Potentialités et contraintes régionales. Recherche ESSA, département des eaux et forêts, Antananarivo, p. 40-49.

Casabianca F. de, 1967. Facteurs physiques de fertilité des sols dans le Sud-Ouest malagasy. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive (Madagascar), 19-25 novembre, p. 1 540-1 546.

Didier de Saint Armand R., 1956. Contribution à l'étude des sols destinés à la culture du coton sur la rive gauche de la basse vallée du Fiherenana, district de Tuléar. Doc. Station Alaotra.

Durand J.H., 1963. Etudes des sols à vocation coton, culture sèche dans le Sud-Ouest de Madagascar. Vallée de l'Ivolo, sous-préfecture de Sakaraha. Doc. IRAM, Tananarive, 63 p.

Durand J.H., 1967. Le sol des bassins paraliques de la Côte-Ouest de Madagascar. Agronomie tropicale, série 3, agronomie générale. Etudes scientifiques, 22 (12): 1 176-1 186.

Hervieu J., 1959. Les sables roux du Sud de Madagascar. Conf. Inter...... sols 3. Dalaba, vol. 1, p. 233-243.

Hoerner J.M., 1977. L'eau et l'agriculture dans le Sud-Ouest de Madagascar. Revue de géographie n° 30, p. 63-104.

Kilian J., 1965. Etude pédologique de la cuvette d'Ankazomanga. Recherche des sols à arachides. Province de Tuléar. Doc. IRAM, Tananarive, 41 p.

Kilian J., 1968. Les sols de la vallée de la Manombo et de la Ranozaza (province de Tuléar). Doc. IRAM, nº 174.

Pallas A., 1983. Modèles, structure et lithologie en zone intertropicale : l'exemple du bassin-versant du Fiherenana. Madagascar, revue Géogr. nº 42, p. 23-29.

Raunet M., 1977. Reconnaissance morphopédologique des périmètres de Mahajamba (province de Majunga) et d'Antseva (province de Tuléar). IRAT, 18 p.

Roche P., 1959. Prospection pédologique des sols destinés à la culture sèche du coton dans le district d'Ankazoabo, province de Tuléar. Bulletin de la section défense et restauration de sols. Tananarive, nº 4, p. 31-60.

Roche P., 1961. Etude de quelques types de sols utilisés en culture cotonnière dans la province de Tuléar (Fiherenana, Manombo). Doc. IRAM.

Roche P., 1961. L'aménagement du secteur cotonnier d'Ankazoabo. ORSTOM-IRAM, 10 p.

Roche P., Treyer M., 1962. Périmètre du Fiherenana (province de Tuléar). Etude agronomique IRAM, Tananarive, 108 p., multigr.

Rossi G., 1977. Interprétation géomorphologique de la carapace argilo-sableuse de l'Ouest de Madagascar. Madagascar, revue de Géogr. nº 31, p. 119-122.

Salomon J.N., 1978. Un cours d'eau original : la Tsitintine (Sud-Ouest de Madagascar), Tsiokantimo n° 3, revue du CUR de Tuléar.

Salomon J.N., 1979. Notice de la carte géomorphologique de Toliara (Tuléar). Madagascar revue de géographie nº 34, p. 171-178.

Salomon J.N., 1986. Le Sud-Ouest de Madagascar. Etude de géographie physique. Thèse d'Etat, Aix en Provence, 996 p.

Salomon J.N., 1982. Réalités et conséquences de la déforestation dans l'Ouest malgache. Mad. Revue Géo. nº 40.

Salomon J.N., Hoener J.M., 1980. Le couloir d'Antseva : étude géomorphologique et humaine d'une région naturelle. Madagascar, revue de Géogr., nº 36, p. 63-87.

Sourdat M., 1972. Notice explicative de la carte pédologique à 1/1000 000 d'Antseva (préfecture de Tuléar). Antananarivo, ORSTOM, 45 p.

Sourdat M., 1977. Le Sud-Ouest de Madagascar, morphogénèse et pédogénèse. Thèse d'Etat. Publication ORSTOM, Dijon, 212 p.

Sourdat M., 1973. Carte pédologique de Vineta au 1/100 000. Notice ORSTOM Tana.

Sourdat M., 1973. Carte pédologique de Tuléar Ambohimahavelona au 1/100 000. ORSTOM TANA.

Agronomie (coton)

Berger M., 1987. Contribution à l'amélioration de la recherche agronomique en ce qui concerne la culture cotonnière à Madagascar. Paris, CIRAD, 36 p.

Berger M., Bertrand R., 1968. Expérimentation relative à Dolichos lablab (Antaka) en culture cotonnière intensive dans le périmètre irrigué du Bas-Mangoky (Madagascar). Coton et fibres tropicales, XXIII (3): 291-308.

Bertrand R., Berger M., 1967. Actions de Dolichos lablab (Antaka) sur la fertilité des sables roux du delta du Mangoky. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive (Madagascar), p. 1 472-1 789.

Braud M., 1981. Rapport de mission à Madagascar du 23 novembre au 32 décembre 1981. GERDAT-IRCT, Montpellier, 66 p.

Cretenet S., 1975. Bilan des recherches cotonnières effectuées par l'IRCT dans le secteur de Tuléar de 1960 à 1974. IRCT.

Cretenet S., Braud M., Kaiser R., 1979. Les recherche agronomiques conduites par l'IRCT dans le Sud-Ouest de Madagascar (1952-1974). Coton et fibres tropicales, 34 (3): 269-293.

Franquin P., 1962. La culture sèche du cotonnier dans le Sud-Ouest de Madagascar : orientation pour l'expérimentation en fonction de quelques données climatiques et des caractéristiques des sols. Coton et fibres tropicales, 17 (3) : 377-394.

Martin J.P., 1958. Le coton en culture sèche dans le district d'Ankazoabo. IRCT, Tuléar, 47 p.

Agronomie (arachide)

Marquette J., 1973. Synthèse des résultats obtenus sur la culture de l'arachide à Madagascar. Doc. IRAM, nº 360, 16 p.

Agronomie (vivrier)

Casabianca F. de, 1965. Problèmes agronomiques de la mise en valeur des sables roux du Sud-Ouest malgache. Doc. IRAM, nº 70, 39 p.

Casabianca F. de, 1965. Etude agronomique de la cuvette d'Andranomanitsy (province de Tuléar). L'Agronomie tropicale, 6-7 : 627-639.

Casabianca F. de, 1966. Les sables roux Malagasy entre la désertification et l'expansion agricole. L'alternative de la mise en culture. Résultats 1962-1966. Doc. IRAM nº 85, tome I synthèse, 67 p., tome II annexes.

Casabianca F. de, 1967. Facteurs physiques de fertilité des sols dans le Sud-Ouest malagasy. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive (Madagascar), p. 1 540-1 546.

Guis R., 1978. Le point sur l'expérimentation agronomique dans le Sud-Ouest après la campagne 76-77 : Andranovory, Tuléar, Befanamy, Ambovombe. Résultats synthétiques. FOFIFA, 51 p.

Haut de Sigy G. de, 1966. Etude agronomique de la cuvette d'Ankazomanga. Agronomie tropicale, série 2 : agronomie générale, études techniques, 21 (5) : 659-691.

IRAM, 1970. Note de synthèse sur les résultats obtenus à Ankazoabo par le service d'agronomie. Doc. IRAM, nº 230, 44 p.

Jenny F., 1975. Synthèse des essais menés sur les sables roux d'Andranovory et d'Ambovombé (1967-74). CENRADERU-DRA.

Jenny F., 1975. Note concernant la recherche "système de production" dans le Sud Malagasy (Androy maritime et Fiherenana). CENRADERU, 9 p.

Séguy L., 1992. Mission d'appui technique, IRAT/CIRAD à l'opération "fermes mécanisées" de la KOBAMA du 2 au 10 avril 1992. 35 p.

Séguy L., 1993. Mission d'appui technique CIRAD-CA à l'opération "fermes mécanisées" de la KOBAMA. 27 p. + annexes.

Séguy L., 1994. Rapport de mission à Madagascar du 24 mars au 9 avril 1994. Doc. IRAT, 79 p.

Séguy L., 1995. Rapport de mission à Madagascar du 13 au 31 mars 1994. CIRAD, 128 p.

Séguy L., 1996. Rapport de mission à Madagascar du 17 au 31 mars 1996. CIRAD, programme APAFP, n° 38, 55 p.

Région: Morondava, Mahabo, Manja

Baran, 1982. Mémoire de travaux. Synthèse de l'expérimentation agronomique conduite dans le cadre du développement de la région de Morondava, Madagascar, 1973-1978. GERDAT-IRAT, 260 p.

Bouchard L., Treyer M., Casabianca M. de, Andriamihaingo, Roche P., 1964. Etude pédologique de la plaine de Mahabo (préfecture de Morondava). Echelle 1/5 000. Agronomie tropicale, agronomie générale, études scientifiques, 19 (3): 227-252.

Celton J., Marquette J., 1972. Plaine de Morondava. Synthèse de trois années d'études et essais agronomiques. Documentation IRAM, nº 319, 24 p.

Dubois B., Roche P., 1959. Evolution des sables roux de la région de Befasy (Morondava). Bulletin de la section DRS, 6 p.

Haut de Sigy G. de, 1965. Problèmes agronomiques posés par la mise en valeur du périmètre de Morondava-Mahabo. IRAM, doc. nº 52, 2 t. p. 1-47 et 48-93.

LRI

Moureaux C., Riquier J., 1953. Notice de la carte pédologique au 1/200 000 de Manja-Mahbo-Monrondava. Mémoires IRSM, série D 5, p. 93-172.

SODEMO, 1973. Station de recherches agronomiques d'Analaiva. Synthèse de l'expérimentation agronomique. Période de 1973 à 1978. Doc. nº 1. Rapport GERDAT-IRAT, 151 p.

SODEMO, 1982. Synthèse de l'expérimentation agronomique de 1973 à 1978. Analaiva, Madagascar, station de recherches agronomiques d'Analaiva, 96 p. + annexes.

436

BIBLIOGRAPHIE

- J. Arrivets, 1977. Bassins versants de Madagascar. Etude des pertes minérales par lixiviation sous prairies naturelles et artificielles. Compte rendu final résumé. CENRADERU/IRAT.
- J. Arrivets, J. Rakotoandriamihamina, J. Raoliarivelo, A. Rabetrano, 1978. Compte rendu d'expérimentation 1976-1977 avec première synthèse des résultats 1974-77. Fertilisation des tanety de la région de Tananarive. CENRADERU.
- J. Arrivets, JB Razafindramonjy, M. Randrianasolo, 1981. Etude du fractionnement de la fumure azotée du maïs sur les Hautes Terres Malgaches Ampangabe, essais "au champ" et en lysimétrie 1979-80 et 80-81 CENRADERU, Tananarive.
- J. Arrivets, 1985. Restitution des résidus de récolte et économie de la fumure potassique du maïs ; bilans hydriques et minéraux expérimentation, 1974-1979, IRAT.
- J. Arrivets, A. Rabetrano, J. Rakotoandriamihemina, 1989. Fertilisation organominérale des sols ferrallitiques des Hauts-plateaux malgaches, Economie des engrais importés et valorisation des ressources locales -CIRAD-IRAT.

Buresi et J.Celton, 1971. La fertilisation des terres sèches sur les Hauts Plateaux. Conférence débat au CITE-SATEC.

- J. Carré, 1961. Régénération et mise en valeur des sols de tanety, doc. IRAM nº 19.
- J. Celton, 1968. Fumure de redressement sur collines ferrallitiques à Madagascar. Orientation future des travaux. La fertilité des sols tropicaux, IRAT pages 2175-2177.
- J. Celton, 1968. Orientation générale des recherches appliquées en matière de fertilisation à Madagascar La fertilité des sols tropicaux IRAT, Tananarive.
- J. Celton, P. Roche, J. Velly. 1973. Acidité du sol et chaulage Agronomie Tropicale, Série 2 : Agronomie Générale, Etudes Techniques, 1973, Vel. 28, n° 2 pages 123-130.
- J. Gillain, 1968. Les facteurs "espace" et "temps" dans les actions de développement agricole. Terre Malgache n° 4.
- C. Malvos, JM. Sarrailh. 1978. Bassins versants à Madagascar. Bilan de l'eau sous prairies naturelles et artifielles. Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée par la DGRST, Paris, CTFT.
- P. Roche, R. Dufournet, R. Rabetrano, 1967. Fertilisation minérale en rizière et en culture sèche à Madagascar. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, pages 1109-1121.

- P. Roche, 1967. Contribution à l'étude du statut phosphorique des sols de Madagascar. Incidences sur les problèmes de fertilité. L'Agronomie Tropicale série 3, vol. 22, n° 3 pages 249-308.
- P. Roche, J. Velly, J. Celton, 1967. Cheminement expérimental : méthode de suivi pour l'étude du redressement de fertilité en rizière et en culture sèche à Madagascar. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive, pages 391-396.
- P. Roche, J. Velly, J. Celton. 1971. Fertilisation de redressement et entretien de la fertilité; expérimentation de 1964 à 1969. L'Agronomie Tropicale, 26 (10) pages 1066-1089.
- J.M. Sarrailh, 1977. Parcelles élémentaires d'Ambatomainty et de Manankazo. Mise au point après la campagne 1975-1976. Antananarivo, FOFIFA-DRFP, 25 p.
- J. Velly, 1967. Les exportations de quelques plantes cultivées à Madagascar comme guide de la fertilistion d'entretien IRAM, Tananarive 1967, 24 pages, 6 tableaux, doc. IRAM, n° 129.
- J. Velly, J. Celton, P. Roche, 1967. Fertilisation de redressement après diagnostic des carences minérales sur sols de culture sèche à Madagascar. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, pp. 874-915.
- J. Velly, 1974. Observations sur l'acidification de quelques sols de Madagascar. Agronomie Tropicale. Série 3 : Agronomie Générale, Etudes Scientifiques, vol. 29, n° 12, pages 1249-1262. 12 tableaux, 7 graphiques.
- J. Velly, P. Roche, 1974. Arrière-action des fumures de redressement phosphatées sur divers types de sols de Madagascar Agronomie Tropicale. Série 2 : Agronomie Générale, Etudes Techniques, vol. 29,n° 5, pages 593-606.
- J. Velly, 1974. Essai de dynamique de l'azote d'Ampangabe. Sol ferrallitique sur gneiss. Résultats agronomiques GERDAT-IRAT., Nogent-sur-Marne, 13 p. Réunion d'Agronomie de l'IRAT, Paris.
- J. Velly, 1974. Expérimentation sur le rôle spécifique de la matière organique à Madagascar GERDAT-IRAT, Nogent-sur-Marne, 20 p. Réunion d'agronomie de l'IRAT, Paris.
- J. Velly, 1974. Fertilisation d'entretien en phosphore sur un sol du Moyen-Ouest de Madagascar GERDAT-IRAT, Nogent-sur-Marne, 11 p.
- J. Velly, 1974. Observation sur l'acidification de quelques sols de Madagascar. GERDAT-IRAT, Nogent-sur-Marne, 19 pages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES TYPE : Rapport d'activité

: RAKOTOARISOA Jacqueline

: Mars 1991 ANNEE

: Aménagement et exploitations rationnels TITRE

des sols ferrallitiques - convention

IBSRAM/Coopération Suisse.

REFERENCES TYPE : Rapport d'activité annuel

: DEPARTEMENT DE RECHERCHE RIZICOLE/FOFIFA AUTEUR

: Campagne 1989/90 ANNEE

: Rapport d'activité Programme Riz TITRE

Hauts-Plateaux

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : DEPARTEMENT DE RECHERCHE RIZICOLE/FOFIFA

: Février 1992

TITRE : Bilan de la Recherche Rizicole 1984-1991

REFERENCES TYPE : Rapport-Note de parcours

AUTEURS : FELBER Ruedi, RAJOHARISON Jemisa
ANNEE : Novembre 1995

ANNEE TITRE : Gestion des sols et cultures avec des

couvertures végétales permanentes. Premières expériences du Centre

FAFIALA.

REFERENCES TYPE : Rapport d'activité

: DEPARTEMENT DE RECHERCHE RIZICOLE/FOFIFA AUTEUR

: Campagne 1990/91 ANNEE

: Rapport d'activité Programme Riz TITRE

Hauts-Plateaux

REFERENCES TYPE : Rapport d'activité

: DEPARTEMENT DE RECHERÇHE RIZICOLE/FOFIFA AUTEUR

: Campagne 1991/92 ANNEE

: Rapport d'activité Programme Riz TITRE

Hauts-Plateaux

REFERENCES TYPE : Rapport

: RAZAKAMIARAMANANA AUTÈUR

: Novembre 1994 ANNEE

: Rapport de fin de campagne 1993/94 TITRE

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUF : J. Arrivets et coll.

ANNEE : 1973

TITRE : Expérimentation sur les systèmes de fumure dans

le Moyen-Ouest

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : J. Arrivets et R. Werts

ANNEE :

TITRE : Etude de la fertilisation des binômes culturaux

dans le Moyen-Ouest de Tananarive

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : J. Arrivets et coll.

ANNEE : Mars 1981

TITRE : Compte rendu d'expérimentation sur maïs

1979 - 80 à Kianjasoa

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : Département de Recherche Rizicole FOFIFA

ANNEE : Avril 1992

TITRE : Bilan de la Recherche Rizicole 1984-1991

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : Département de Recherche Rizicole FOFIFA

ANNEE : -

TITRE : Rapport d'Activités 1991/92

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : Département de Recherche Rizicole FOFIFA

ANNEE :

TITRE : Rapport d'Activités 1992/93

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : RANDRIANAMPY Joseph

ANNEE :

TITRE : Rapport d'Activités Campagne 1993/94

REFERENCES TYPE : Rapport

AUTEUR : RANDRIANAMPY Joseph

ANNEE : Juillet 96

TITRE : Rapport d'Activités Campagne 1994/94

440

BILAN ET EVALUATION DES TRAVAUX ET REALISATIONS EN MATIERE DE CONSERVATION DES SOLS A MADAGASCAR

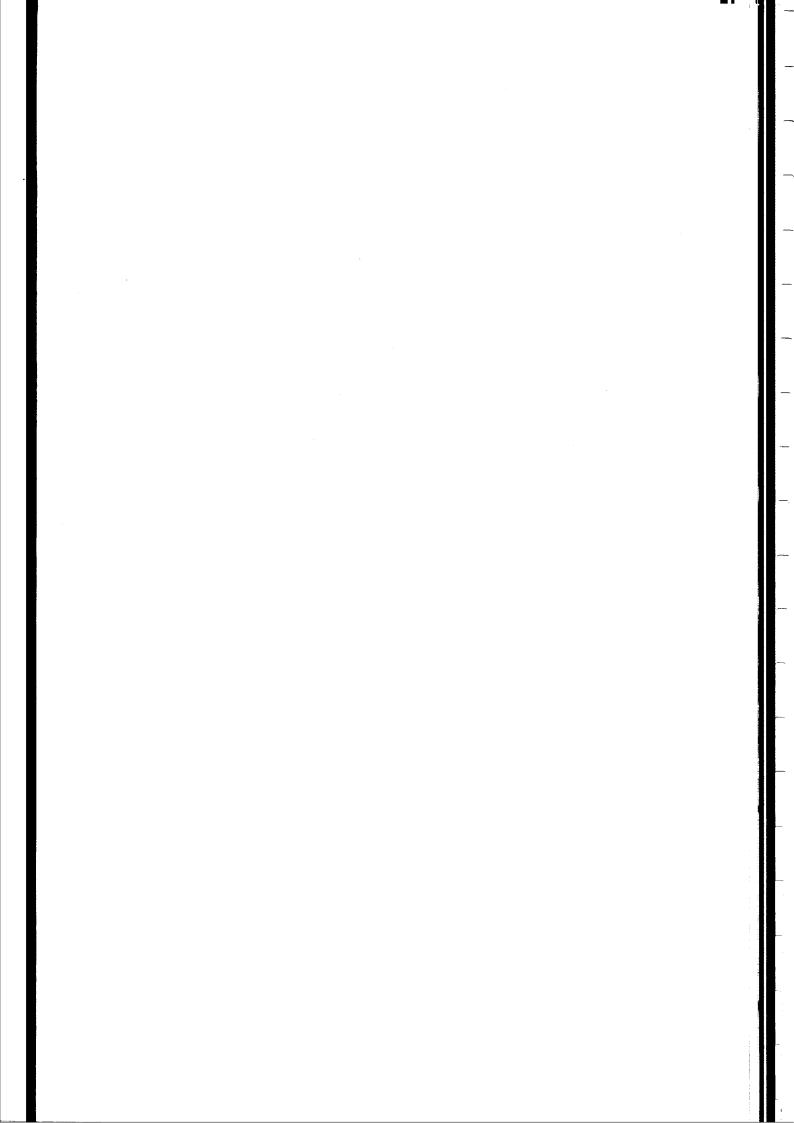




PRATIQUES AGROPASTORALES

par Jhon RASAMBAINARIVO FOFIFA / DRRV

Mars 1997



3.6. LES PRATIQUES AGROPASTORALES

INTRODUCTION

Les pâturages couvrent dans le monde une surface d'environ 7 milliards d'hectares sur les 13 milliards d'hectares de terres émergées. Les animaux domestiques et sauvages qui vivent sur ces pâturages fournissent à l'homme une quantité inestimable de biens et de services vitaux tels que les aliments, les fertilisants, les forces de traction, les vêtements, le tourisme, etc...

Pour certaines populations, ces animaux sont les sources exclusives de revenus et de survie.

Au cours des quatre dernières décennies, les terres de parcours ont attiré l'attention des média des dirigeants politiques, de la communauté scientifique et d'autres entités, à la suite des phénomènes de « désertification » qui ce sont produits dans le Sahel. Les pratiques pastorales ont été ainsi montrées du doigt pour être un des facteurs majeurs de la dégradation de l'environnement et en particulier de la baisse de la fertilité des sols de savane.

A Madagascar, les pâturages couvrent une surface de plus de 350 000 km² soit environ 55% de la surface totale de l'Ile. Ces pâturages sont souvent les seules sources d'aliments pour les ruminants. Or, les bovins occupent une place socio-culturelle et économique importante pour la population malgache. L'éleveur se trouve donc, actuellement confronté à plusieurs problèmes dont les plus importants sont les restrictions des surfaces pâturables du fait de l'extension des cultures et de la pression démographique. Les surfaces pastorales font aussi l'objet d'intenses phénomènes érosifs.

Cette revue bibliographique se propose de présenter les données disponibles sur les pâturages et les pratiques pastorales quant à leurs effets sur les sols.

3.6.1. PHYSIONOMIE

A Madagascar comme en Afrique, les pâturages naturels sont constitués par les savanes. Il s'agit d'étendues herbeuses dont la physionomie diffère en fonction de la présence et de l'abondance d'arbustes et d'arbres parmi les graminées.

On distingue ainsi::

- les savanes herbeuses qui par définition sont presque exclusivement composées d'herbes. Les meilleurs exemples sont celles de l'Horombe, du Tampoketsa du Beveromay,
 - (Granier et Bigot 1971),
- et <u>les savanes arbustives</u> qui présentent une association d'herbes et de ligneux dont la densité et la taille sont très variables.

3.6.1.1. La flore pastorale

La flore des pâturages naturels malgaches est dominée par les Graminées (Poacées). Les études sur les graminées ont été initiées dès 1924 par Camus (citée par Bosser 1969). Plus tard Bosser (1954,1966,1969), Morat (1969,1972) ont amélioré les connaissances de cette famille végétale d'importance capitale pour l'élevage. Les auteurs s'accordent cependant pour souligner la pauvreté floristique des savanes et en particulier des savanes de l'Ouest malgache. Dandoy (1980) a analysé les travaux de Morat (1973), et confirme que ce dernier n'a pu identifié que 250 espèces sur 1 800 000 ha de savane. Selon Bosser (1969), il existe environ 450 espèces différentes de Graminées. Lui-même en a décrit dans son ouvrage 102 genres et 302 espèces dont 70 environ sont endémiques. Les genres les plus connus sont Brachiaria, Digitaria, Eragrostis, Setaria, Digitaria, Eragrostis, Hyparrhenia, Panicum, Setaria.

Au niveau des strates arbustives et arborées on note dans l'ouest la dominance de deux palmiers non fourragères: Hyphaene shatan « Satrana » et Medemia nobilis « Satrambe ». Parmi les arbustes appétibles on peut citer Tamarindus indica « Kily », Albizia lebbeck « Bonara » etc...

3.6.1.2. Les graminées de pâturages et la protection du sol.

Les tiges des graminées présentent une succession de noeuds et d'entre-noeuds de longueur variable sur une même plante. Les ramifications et les enracinements prennent naissance exclusivement, à partir des noeuds. Les graminées présentent ainsi 3 types morphologiques de tiges, qui interviennent différemment en matière de protection contre l'érosion des sols.

Le premier type est le <u>chaume</u>, c'est le plus fréquent parmi les graminées malgaches. La tige est dressée et se ramifie intensément à la base de la plante par le phénomène du tallage. Les espèces plus représentatives de ce type sont *Hyparrhenia rufa*, *Heteropogon contortus*....). Dans les savanes, les touffes d'herbes sont séparées entre elles par des espaces de sols nus plus ou moins grands. En matière de protection des sols, c'est le système le moins efficace particulièrement au niveau des pentes, car les eaux ruissellent bien sur ces espaces dénudés laissés entre les touffes de graminées.

Le deuxième type de tige est le <u>stolon</u>. Il croit horizontalement au dessus du niveau du sol. Les graminées qui présentent ce type de tige, couvrent entièrement la surface du sol et constituent des gazons. Elles participent d'une façon très positive à la protection contre l'érosion. *Cynodon dactylon*... est le plus représentatif de cette catégorie.

Enfin, le troisième type de tige est le <u>rhizome</u>. C'est une tige souterraine qui se développe aussi d'une façon horizontale (*Imperata cylindrica*). Les nombreuses ramifications et enracinements aux niveau des noeuds contribuent favorablement au maintien du sol et préviennent les pertes en terres massives.

Les stolons et les rhizomes sont moins fréquents sur les pentes et les zones sèches des plateaux, par contre, ils sont plus nombreux dans les bas de pente et les bas fonds qui restent humides une grande partie de l'année.

Les graminées sont généralement bien appétits par les ruminants. Elles servent aussi à d'autres fins tels que la fabrication des toits de maison, de balai. Certaines d'entre elles sont aussi utilisées pour leur capacité anti-érosive, en bordure de courbes de niveaux.

3.6.1.3. Couverture herbacée et érosion

L'érosion des sols est un phénomène naturel normal. Elle se manifeste à une vitesse plus lente que celle de la formation des sols. Mais pour diverses raisons, cette érosion est accélérée et on assiste à une réduction de la qualité agronomique des sols et une diminution des rendements des plantes.

La couverture végétale des terres de parcours joue un rôle majeur dans la protection contre les actions érosives de l'eau et du vent. Elle augmente la capacité de rétention de l'eau et améliore le taux d'infiltration de l'eau dans le sol. La matière organique produite par la végétation herbacée se décompose pour donner de l'humus qui agit comme un liant pour les particules du sol et améliore ainsi la structure de celui-ci. Le système racinaire fasciculé des graminées aide au maintien du sol et à la réduction de l'érosion. La base des graminées cespiteuses et surtout des gazonnantes ralentissent le ruissellement. De ce fait, elles favorisent l'infiltration et le dépôt des particules en suspension dans l'eau de ruissellement. Enfin, la couverture végétale herbacée réduit considérablement l'énergie d'impact de chaque goutte de pluie sur le sol.

Il a été déjà mentionné plus haut que les différentes espèces graminéennes se comportent différemment quant à leur taux de recouvrement des sols. Les graminées cespiteuses laissent entre elles des surfaces de sol nu, plus ou moins importantes entre les touffes. Au contraire les graminées stolonifères et rhizomateuses couvent bien le sol. D'où la notion de recouvrement qui est « la proportion de la surface du sol qui est recouverte par la projection verticale des organes aériens de cette espèce » (Daget et Godron 1995). La mesure de ce taux de recouvrement utilise la technique de relevés avec des baïonnettes ou tiges qui permettent de donner une « image matricielle de la végétation » (Descoings 1976, Daget, Poissonnet 1969, Godron 1968).

L'application de cette méthode dans une étude détaillée de la végétation permet d'avancer de taux de recouvrement au sol (entre 0 et 20 cm du niveau du sol) à environ 30% -40% dans des Stations des Hautes -Terres (Bigot 1977). Ce recouvrement est de 20% à 80% dans le Sud-Ouest (Morat 1972). Les touffes d'herbes laissent entre elles plus de 50% de surfaces de sols nus. Cela est visible au sol après le passage des feux de brousse. A plus de 20 cm du sol le taux de recouvrement est nettement plus élevé car les tiges et les feuilles des graminées s'entremêlent et donnent l'impression d'une couverture herbacée totale.

3.6.1.4. Cartographie des pâturages.

Les groupements végétaux des pâturages varient dans l'espace d'une façon progressive. On passe insensiblement d'un groupement à un autre sans une limite bien tranchée. De ce fait et dans plusieurs cas la cartographie des pâturages et des tapis herbacés est plus ou moins approximative en fonction de l'échelle de la carte. Les cartes des pâturages peuvent être dressées en vue de représenter les surfaces occupées par les différents groupements végétaux et estimer d'une part une valeur pastorale des terres de parcours et d'autre part, pour avoir une photographie à un instant déterminé de l'importance relative des groupements végétaux et de leur évolution dans le temps. Une cartographie détaillée des pâturages a été réalisée dans le Moyen-Ouest en vue de l'implantation de la Ferme d'Etat Omby (SATEC 1969).

3.6.1.5. La Biomasse

Elle se définit par « la masse végétale qui peut être coupée et pesée sur une unité de surface déterminée ». Dans les pâturages cette biomasse représente la perte potentiellement consommable par les animaux herbivores. Elle est constituée par la biomasse d'origine herbacée et celle d'origine ligneuse. La majorité des fourrages sont des plantes pérennes . Elles repoussent après chaque coupe. Ainsi la biomasse annuelle d'une aire de pâturage est la somme de la masse végétale récoltée à chaque repousse au cours des douze mois.

Cette biomasse est en fonction de plusieurs facteurs dont les plus importantes sont les espèces végétales, la fertilité du sol, la pluviométrie, les modes d'exploitation de la couverture herbacée et des arbustes.

<u>Tableau 1</u>: La Biomasse (tonnes MS/ha) de quelques types de fourrages en fonction des localisations topographiques

Types de fourrages	Tanety	bas-fonds
petites graminées	3-10	6-13
Grandes graminées	7-15	22-36
Arbustes	600-800 g/pied	

La biomasse pastorale est-elle suffisante au cheptel herbivore de Madagascar? Globalement, la réponse est positive dans le mesure où une grande quantité d'herbe est laissée faner à la fin de chaque saison des pluies. C'est la biomasse qui devient le combustible pour les feux de savane tout au long de la saison sèche. Néanmoins, il existe des diversités locales qui font que la quantité de fourrage disponible est nettement inférieure par rapport aux besoins des animaux.

3.6.2. LE CHEPTEL RUMINANT ACTUEL

3.6.2.1. La Productivité des ruminants

La dernière enquête sur le cheptel malgache a été réalisée entre les années 1984 et 1986 par La Société d'études pour le Développement Economique et Social (SEDES) pour le compte du Ministère de la Production Animale et des Eaux et Forêts. Plus récemment, dans le cadre du Programme Sectoriel Elevage deux estimations ont été faites l'une en vue la Privatisation de la Profession Vétérinaire(CIRAD-EMVT 1993) et l'autre pour l'Evaluation à Mi-Parcours du Volet « Production Bovine Extensive » (Van Lanker 1995).

Nous reprenons ici les données publiées dans ce dernier rapport(Van Lancker 1995).

Ainsi en 1995 le cheptel de ruminants ainsi que leur productivité.

Tableau 2 : Productivité des ruminants élevés à Madagascar en 1995.

Espèces	nombres de têtes	taux de croissance	-	Observations
Bovins	9 969 000	- 2.46%	158 901	4000 dont 1 000 bovins de traction; 569 963 de bovins « malia » (semi- sauvages) et 315 000 animaux croisés laitiers
Petits Ruminants	1 663 780	+ 3.00%	5 530	dont 2/3 de caprins et 1/3 d'ovins 93% des petits ruminants vivent dans la Province de Tulear
Total des Ruminants	11 632 780		164 431	

Ces données résultent en fait de l'application, sur les résultats de 1984-1987, de divers taux de croissance estimés par les auteurs. Ces derniers ont tenu compte de l'impact sur le cheptel de divers facteurs tels que les maladies enzootiques, les catastrophes naturelles, la conjoncture socio-économique, etc...Il apparaît ainsi une tendance globale à la stagnation du cheptel bovin(-2,46%) et par contre une augmentation significative de celui des petits ruminants (+3%).

Les dernières estimations du cheptel ont donné quelques indications globales sur la composition des troupeaux de ruminants.

Ainsi pour les bovins la répartition est la suivante: Vaches 32,2%, Mâles entiers et castrés 24,2%; Jeunes bovins (1-3ans) 27,3%; et très jeunes bovins (0-1an) 16,3%. (Van Lncker 1995).

La répartition des petits ruminants est plus simplifiée en adultes (58%) et jeunes (42%) (SEDES 1987).

L'ensemble de ces données permet d'estimer la charge globale du pâture malgache. Ainsi la totalité des ruminants représente environ 9 309 500 UBT*(Unité Bovin Tropical).

Si les surfaces nationales de pâturages sont estimées à 35 millions d'hectares, (Groupe Interministériel ,1980), la charge serait de 3,8 ha/UBT et la productivité globale des animaux élevés sur ces pâturages, exprimée en quantité de viande de ruminants ,s'élève en 1995, à 4,7 kg/ha/an.

Les auteurs s'accordent aussi pour affirmer qu'au cours de ces dernières décennies, le cheptel bovin extensif montre une tendance générale à la baisse. Par contre, la part des animaux de traction et laitiers est en hausse constante. La SEDES en 1987 a expliqué cette tendance par le fait que « les éleveurs ont intérêt à produire du riz avec des bovins convertis à la traction et au piétinage, plutôt que de produire de la viande avec des bovins d'élevage et d'embouche dont le prix a baissé en termes réels de près de 40% ». On assiste donc actuellement à la conjonction de plusieurs tendances divergentes. Dans un sens il y a une réduction de l'effectif bovin élevé selon le système extensif traditionnel, dans l'autre sens, le nombre de petits ruminants et de bovins élevés selon une modalité moins extensive augmente.

3.6.2.2.Les impacts du bétail sur les pâturages

Le bétail intervient de plusieurs manières sur la végétation et le sol des pâturages. Les animaux ont d'abord des actions positives qui contribuent efficacement à l'amélioration des sols et de la végétation. C'est le cas en particulier pour les déjections solides (bouses) et liquides (urines). Elles sont toutes riches en azote et contribuent efficacement à la restitution au sols de plusieurs éléments organiques et minéraux qui ont été prélevés par l'herbivore au cours de son broutage. Pour les animaux en stabulation permanente ou partielle, l'épandage artificielle du fumier et du purin est aussi très bénéfique. Il faut cependant noter que dans ce dernier cas les sols qui bénéficient de cet épandage sont les plus souvent les sols de cultures vivrières et très rarement ceux des pâturages.

Les herbivores par leurs dents et leurs pieds ont d'autre part des effets négatifs sur les pâturages. Par le phénomène du broutage sélectif les animaux choisissent les herbes à brouter et laissent d'autres touffes. Dans le cas du Moyen-Ouest malgache Granier et al (1971) a montré que l'Hyparrhenia rufa est plus appété que Aristida. Ainsi au sein d'une association végétale les espèces les plus appétées sont très souvent broutées et épuisent facilement leurs réserves racinaires et cela peut aboutir à la disparition de l'espèce. Par contre les espèces peu appréciées par les animaux poursuivent normalement leur cycle végétatif ,produisent des semences et se multiplient. Et c'est ainsi que la flore pastorale surpâturée évolue dans un sens négatif par rapport aux intérêts des animaux et des éleveurs.

D'une façon générale les ruminants broutent en coupant l'herbe. Dans certains cas il arrive que ces animaux arrachent l'herbe jusqu'aux racines et annule ainsi toute possibilité de repousse de la plante.

Dans ce dernier cas les actions les dents des herbivores sont accentuées par les effets du piétinement d'un nombre élevé d'animaux qui restent sur les mêmes surfaces pendant un durée relativement longue ou encore l passage fréquent au même endroit d'un nombre suffisant d'animaux pour détruire la végétation herbacée en place et laisser un sol nu sur des surfaces variables (Granier 1975).

Le sous pâturage et la mise en défens d'un pâturage et le surpâturage sont deux phénomènes qui évoluent de deux façons diamétralement opposées mais ils aboutissent à la longue à un même résultat, qui est la perte du pâturage.

3.6.3. FERTILITÉ DU SOL ET VALEUR ALIMENTAIRE DES PLANTES FOURRAGÈRES

Il est reconnu que la qualité du sol conditionne, en partie la composition floristique du pâturage. Les sols les meilleurs sont les lieux de développement des bonnes plantes fourragères. Par contre, si le sol est de mauvaise qualité et fait l'objet de phénomènes érosifs, la végétation qui s'y développe à une faible valeur alimentaire (Aristida sp., Loudetia sp.)....

La composition chimique et la valeur nutritive des fourrages sont aussi largement influencées par la teneur en éléments chimiques des sols où poussent ces plantes.

3.6.4. LES PRATIQUES PASTORALES

3.6.4.1. Les pratiques pastorales dans le système d'élevage extensif

L'élevage extensif se pratique logiquement dans les zônes rurales peu peuplées. Dans ce système, le pâturage naturel assure pendant toute l'année la majeure partie, sinon la totalité de la ration des bovins. En fait il existe plusieurs systèmes d'élevage extensif. Il est présenté ici le cas des régions du Sud-Ouest et du Moyen-Ouest.

3.6.4.2. Les systèmes extensifs du sud-ouest.

Plusieurs études ont été réalisées dans le Sud malgache en vue de mieux comprendre les modes de gestion des animaux et des pâturages. Les résultats de ces travaux qui constituent la base des informations disponibles sur l'élevage extensif de ruminants (bovins, caprins, ovins) est d'une importance capitale tant du point de vue bioéconomique que socioculturel. Par rapport au système d'élevage extensif Africain, le

système malgache se caractérise par la forte association avec l'agriculture et plus particulièrement la riziculture et d'autre part la faible importance de la « transhumance ».

3.6.4.3. L'objectif de l'élevage

La stratégie globale n'a pas un objectif de commercialisation des animaux. L'élevage bovin ne vise pas une recherche prioritaire du gain financier, mais à constituer le plus beau troupeau possible qui permettra à son propriétaire de se placer favorablement dans la compétition pour le prestige social et la richesse. Dans cette optique, le but est de disposer du nombre le plus élevé possible de têtes d'animaux qui ont des robes conformes aux critères esthétiques de la communauté. Les considérations de poids vifs (gains ou pertes pondéraux) n'ont qu'une faible importance pour le propriétaire et le bouvier. L'éleveur est donc plus tenté d'acheter des animaux pour augmenter son troupeau, que d'en vendre. Les cessions d'animaux se passent à des occasions exceptionnelles et d'extrême nécessité (maladie grave, cérémonies...).

3.6.4.4. La division des troupeaux : cas dans la région du sud-ouest

Pour l'éleveur du Sud les meilleurs animaux sont regroupés dans un troupeau destiné exclusivement aux cérémonies. Les propriétaires visent donc à disposer d'un nombre élevé d'animaux esthétiquement beaux (robes et formes des cornes les plus recherchées). Dans ce cas, l'élevage a pour objectif d'avoir un nombre suffisant d'animaux qui constituent « un véritable capital, économique et moral, un compte bloqué, en quelque sorte ». Ces animaux ne sont jamais commercialisés.

L'autre groupe d'animaux appartenant à la même personne, est constituée par un nombre plus réduit de bovins. Ils ont des robes et des aspects extérieurs de moindre qualité. Ces animaux sont là comme une réserve monétaire facile à utiliser, comme une sorte de compte courant bancaire, dont on use au fur et à mesure des besoins »(Fauroux et al, 1987).

3.6.4.5. Division des espaces pastorales (Rakotomalala ,1987)

Toujours dans la région du Sud malgache, il est possible de distinguer au moins deux types de pâturages:

- un premier type de pâturage est situé à l'intérieur des surfaces agricoles, donc peu éloigné du village. Le troupeau qui l'exploite, est généralement de petite taille (moins de cinquante têtes par propriétaire). Les animaux y sont gardés par un bouvier chargé de les ramener au parc tous les soirs.
- l'autre surface pastorale est nettement plus éloignée par rapport au village. Elle est située dans des espaces exclusivement réservés à l'élevage et les champs de cultures y sont rares. Les animaux disposent de lieux d'abreuvement et ils sont plus ou moins gardés, mais dans tous les cas ils sont visités périodiquement « tous les deux ou trois jours »

(Fauroux et al 1987). Cette surface appartient à une personne bien identifiée, mais « il n'existe, dans la pratique, aucune loi interdisant l'accès des pâturages et des points d'eau à d'autres troupeaux du même village ou des villages voisins » (Fauroux et al 1987)

3.6.4.6. La technique du « dabok'andro » dans le Moyen Ouest

Si dans le Sud de l'Île, l'élevage à objectif commercial est très rare ,sur les Hautes-Terres et dans le Moyen-Ouest l'embouche bovine en vue de la commercialisation est une pratique traditionnelle (SEDES-IEMVT 1969). Ainsi dans ces dernières régions, il coexiste un troupeau naisseur et un troupeau d'embouche. Ce dernier est constitué par des jeunes mâles âgés d'un an et demi, deux ans et qui seront confiés pendant environ deux années, à un bouvier chargé de leur assurer la meilleure croissance pondérale possible avec une alimentation exclusive d'herbe de pâturage. La technique est fondée sur la connaissance empirique et l'observation des animaux qui pâturent intensivement au cours de la nuit surtout en saisons chaudes. Ces animaux sont surveillés en permanence même la nuit. Ainsi, les bouviers se reposent le jour d'où le nom de technique « dabok'andro » qui signifie littéralement, « couché le jour ».

A la fin de la période d'embouche les bovins sont vendus soit à la boucherie classique, soit à des organisateurs de festivités, telles que l'exhumation. Cette technique traditionnelle qui générait des bénéfices substantiels, a attiré dès les années 20, quelques Européens à titre individuel, ou des Sociétés commerciales telles que la SICE, la Rochefortaise. Dans le Moyen-Ouest il y avait aussi une répartition assez précise de l'espace entre les pâturages et les terres cultivables. « Sur les pâturages, nul ne pouvait cultiver, sinon à ses risques et périls, les dégâts causés par les troupeaux n'étant pas remboursés » (Raison, 1984).

Les deux systèmes d'élevage extensif qui viennent d'être rapidement décrits présentent donc certaines ressemblances quant à leur mode de gestion de l'espace pastoral.

En effet, pour une grande partie des éleveurs malgaches, l'objectif principal est de disposer d'un grand nombre d'animaux dont la commercialisation ne se fera qu'en de rares occasions. Le poids vif de ces bovins, importe peu. De plus, il n'est pas dans les habitudes de procéder à des réformes des animaux pour des motifs de baisse de performances.

La gestion de ces animaux est laissé à deux catégories de personnes: d'une part, les enfants ou des salariés, pour le troupeaux « compte courant » et d'autre part des salariés ou des membres de la famille pour le troupeau « compte bloqué ».

3.6.5. LES FEUX DE BROUSSE

Tous les ans partout dans la monde tropical (Afrique, Amérique latine, Austral Asie...), les feux parcourent des immenses étendues de savanes. Les feux de brousse ne sont donc pas des phénomènes exclusivement malgaches. C'est une réalité mondiale qui dure depuis des temps immémoriaux.

3.6.5.1. Les feux de brousses existaient avant l'arrivée des hommes à Madagascar

Les observations actuelles attribuent à l'homme l'origine de la majorité des feux. En effet celui-ci pour une multitude de raisons allume des feux de végétation qu'il n'arrive pas à maîtriser. Souvent donc ces feux prennent une ampleur considérable en terme de surfaces et de dégâts.

De récentes études faites dans le domaine de la paléoécologie, confirment que les feux de brousse ont existé, à Madagascar avant l'arrivée de l'homme sur l'Île (Burney,1996). Les régions les plus touchées par ces feux anté-anthropiques ont été les régions des Hautes-Terres et de l'Ouest. L'auteur confirme qu'avec l'arrivée de l'homme, les feux ont été plus fréquents et ont pris sur des étendues plus larges même dans des régions plus humides ou protégées par des barrières naturelles et qui ne pouvaient être atteintes par les feux naturels.

Les feux constituent de tout temps un des principaux instruments utilisé par l'homme pour ouvrir une végétation boisée, créer un terrain de culture ou de pâturage. En effet selon Perrier de la Bathie (1921) la végétation initiale de l'Île était totalement sylvestre. Les plantes herbacées ou annuelles étaient nombreuses, mais toutes sylvicoles et ne croissaient qu'à l'ombre des arbres et des arbustes. Et il n'y avait place, dans cet ensemble, pour la prairie ou les formations analogues, que sur quelques vastes marécages.

Les feux de brousse sont d'origine multiple mais leurs résultats sont dans l'ensemble identiques. Dans un premier temps il se produit une carbonisation de la végétation herbacée en place et de la litière, la destruction de la matière organique superficielle du sol. Le plateau de tallage des graminées résiste à ce phénomène et peut engendrer des repousses au bout de quelques semaines.

D'autre part, au niveau du sol, il se produit aussi une élévation de température de la couche superficielle du sol. Cette hausse de température est de courte durée (quelques minutes) et n'atteint pas les profondeurs supérieurs à 10 cm. Ainsi l'effet immédiat dû au passage des feux de brousse n'affecte que la couche superficielle du sol et que pour une courte durée.

Mais les feux de brousses ont des impacts différés sur le sol et la végétation. En effet la disparition de la couverture herbacée va entraîner une intensification de l'impact des gouttes de pluie sur le sol, ainsi qu'une augmentation du taux de ruissellement (et des pertes en terres). La matière minérale issue de la carbonisation de la biomasse est entraînée par les vents et les pluies. En 1978, la commission interministérielle sur les feux de brousse avait évalué les surfaces brûlées à 1750000 ha. Les expériences réalisées ont montré que les pertes en terre sur les surfaces brûlées étaient de 147 à 680 kg/ha. Ce qui revient à une perte en terre annuelle de a 1 190 000 T. Il a été aussi estimé que pour régénérer 1 ha de sol dégradé il fallait y mettre 40 T de fumier, 2 T d'amendement et 1 T de fertilisant chimique qui revenaient en ce moment à 320 milliards de FMG pour restaurer les 1 190 000 T de terre perdue (Anonyme 1980).

3.6.5.2. Les surfaces brûlées: situation récente

L'on sait que chaque année de grandes surfaces de savanes sont brûlées sur toute l'Ile. Les estimations des surfaces brûlées sont très différentes d'un auteur à l'autre. En effet, « Le rapport du Groupe Interministériel d'Etudes sur les Feux de Brousse Anonyme 1980» avance que de 1976 à 1979 et pour l'ensemble de l'Île, les surfaces brûlées variant de 1,4 millions d'hectares à 2,2 millions d'hectares/an. Une étude plus récente estime (Rambeloarisoa 1996) que les surfaces brûlées au cours de la dernière décennies étaient aux environs de 525.700 ha. Une utilisation plus fréquente des photos satellites mérite d'être entreprise en vue de disposer d'informations plus objectives.

3.6.5.3. Les différents types de feux

En fait, il est possible de distinguer au moins 3 types de feux.

* les feux précoces. Ils sont allumés très tôt au début de la saison sèche (Mai -Juin). Ils sont rares, mais peuvent contribuer efficacement à l'amélioration de l'alimentation des animaux tout au long de la saison sèche, car la biomasse des repousses est importante à cause de l'humidité relative du sol.

* les feux de contre-saison. Par définition ils se pratiquent en pleine saison des

pluies

En effet, au cours de la saison des pluies il existe quelques jours secs (entre Février et Mars, dans le Moyen-Ouest) qui permettent à la litière d'être sèche et de brûler. Ces feux nécessitent une surveillance car leur propagation est fréquemment entravée par des parties de végétation humide qui éteignent les feux et de ce fait il est indispensable de rallumer les feux un peu plus loin.

L'impact des ces deux types de feux sur la végétation et les sols, n'a pas encore fait l'objet d'études approfondies.

* les feux de saison sèche. Ce sont les feux les plus fréquents. Ils parcourent les savanes malgaches entre les mois de Juillet et Novembre. A la faveur de la sécheresse de la végétation herbacée ces feux se propagent facilement et deviennent très rapidement incontrôlables sur de très grandes surfaces créant même quelques fois des incendies de villages.

3.6.5.4. Feux de brousse et gestion des pâturages naturels

Pour le pastoraliste, les feux sont des instruments indispensables de gestion des espaces de savanes. En effet, la mise en défens permanente dans certaines conditions écologiques conduit inéluctablement à la disparition de pâturages et des plantes herbacées base de l'alimentation des herbivores. Au profit des arbustes et broussailles qui n'ont généralement que peu de valeur fourragère (Granier 1967). Il est cependant nécessaire de nuancer ces affirmations car une trop grande fréquence des feux, entraîne une réduction de certaines espèces fourragères intéressantes et l'augmentation de l'érosion des sols aboutit aussi à la perte des pâturages.

Ces informations sur les modes de gestion des bovins et des espaces pastorales laissent supposer que les aspects de la conservation des sols ne sont pas perçus comme étant une préoccupation importante. L'accroissement démographique (naturelle ou migration) entraîne une augmentation des surfaces cultivées. Ces deux facteurs entraînent une réduction des surfaces de pâturages à proximité des villages. La solution généralement adoptée est une division du troupeau en deux. Le premier reste près du village et est rentré au parc tous les soirs. L'autre est mis sur un pâturage plus éloigné sous la garde d'un bouvier ou non, mais qui est visiter périodiquement en vue d'un dénombrement et constatation des naissances, mortalités et disparitions. Le choix de ce pâturage éloigné est prioritairement guidé par l'existence d'un point d'eau permanent exploitable pour l'abreuvement des animaux.

3.6.6. LES PRATIQUES PASTORALES ET L'ÉROSION DES TERRES DE PARCOURS

Quels sont les impacts des pratiques pastorales sur l'évolution des sols des savanes?

Pour répondre à cette question les données disponibles sont exclusivement celles qui ont été obtenues dans des stations expérimentales, milieux entièrement contrôlés. En effet, à notre connaissance les informations bien documentées relevées dans les conditions réelles des pâturages naturels et du système extensif pratiqué par la majorité des éleveurs

Ces études ont été faites au cours de plusieurs années successives par le CTFT et le FOFIFA-DRFP et les résultats obtenus à Manankazo, à 93 km au Nord-Ouest d'Antananarivo; alt 1600 m), à Ambatomainty à 65 km au sud-est d'Antananarivo; alt 1700 m) et à Kianjasoa, à 120 km à l'Ouest d'Antananarivo; alt 1000 m) sont présentés dans les tableaux 1 et 2.

3.6.6.1. Le ruissellement

Le ruissellement est un des facteurs qui permet d'évaluer les phénomènes érosifs. Il est étroitement relié à la pluviométrie et son mode d'expression se fait en pourcentage de la quantité de pluies mesurée dans la zone considérée. CTFT et DRFP avaient mesuraient les ruissellements dans des bassins versants et des parcelles élémentaires situées dans 3 Stations différentes, Manakazo, Ambatomainty et Kianjasoa. Les résultats sont présentés dans les tableaux (3,4,5,6)

<u>Tableau 3</u>: Le ruissellement sur les différentes parcelles élémentaires de Manankazo (en % par rapport à la pluviométrie)

Années	Mises en défens (pente 16%)	Fauchées (pente 15,5%)	Brûlées (pente 16%)	Brûlées et Pâturées (pente 17%)	Pâturage artificiel
1973- 1974	12.3	13.5	12.0	13.3	
1974- 1975	11.3	10.3	11.2	12.1	
1975- 1976	16.6	13.7	15.9	16.3	
1977- 1978	12.6	13.8	13.2	14.1	5.6

<u>Tableau 4</u>: Le ruissellement sur les parcelles élémentaires d' Ambatomainty (en % par rapport à la pluviométrie)

Années	Mises en défens (pente 12,7%)	Fauchées (pente 12,8%)	Brûlées (pente 13,5%)	
1973-1974	1.1	1.0	0.9	
1974-1975	2.0	1.6	3.4	
1975-1976	1.3	0.5	4.6	

<u>Tableau 5</u>: Le ruissellement sue les parcelles élémentaires de Kianjasoa (pente moyenne 7%)

(en % par rapport à la pluviométrie).

Années	Mises en défens	Fauchées	Brûlées	Pâturage artificiel (Stylosanthes guyanensis)	
1967-1968	11.4	4.2	8.8	2.2	
1968-1969	5.4	2.8	3.9	0.3	
1969-1970	7.9	4.3	8.5	0.2	
1970-1971	12.2	10.2	15.5	2.5	
1971-1972	4.3	2.0	6.7	1.2	
1972-1973	5.9	3.8	8.0	0.1	
Moyenne	7.8	4.5	8.5	0.9	

<u>Tableau 6:</u> Ruissellement sur les bassins versants de Manankazo (Moyenne des ruissellement entre 1962 et 1977, en % par rapport à la pluviométrie).

Pâturage naturel mis en défens (3,18ha)	Cultures diverses en courbes isohypses avec des dispositifs anti-érosifs (4,77 ha)	Pâturage naturel brûlé et pâturé (3,17 ha)	Reboisement en Pins (3,90 ha)
6.8	2.6	13.1	1.9

- 1- L'ensemble de ces tableaux montre que les taux de ruissellement sont très variables d'une station à une autre: la pluviométrie annuelle, l'importance des pentes et la nature des sols sont parmi les principaux facteurs de pertes en terre.
- 2- Sur les parcelles élémentaires des trois stations, les feux ne semblent pas entraîner une augmentation très importante du pourcentage de ruissellement. Par contre sur les bassins versants le pâturage naturel brûlé et pâturé présente un taux deux fois plus élevé par rapport à la parcelle témoin laissée en défens.
 - 3- La pratique de la fauche semble réduire le taux de ruissellement.
- 4- La mise en défens d'une surface herbacée n'entraîne pas systématiquement dans toutes les stations une diminution des ruissellements par rapport aux zones exploitées selon un système d'élevage extensif.
- 5- Les mesures faites sur les pâturages artificiels ont montré un très faible taux de ruissellement par rapport aux autres traitement appliqués.
- 6- L'effet combiné des feux et du pâturage, ce qui simule les pratiques pastorales réelles, n'entraîne pas à Manankazo une augmentation notable du ruissellement sur les petites parcelles élémentaires (200m²). Mais par contre ses effets sont nettement plus visibles au niveau des bassins versants (3 ha).
- 7- La culture fourragère et l'aménagement de courbes de niveau réduisent sensiblement les ruissellements.

3.6.6.2. Les pertes en terres

Les pertes en terres constituent un des indicateurs majeurs de l'intensité des phénomènes érosifs. Les données disponibles proviennent de mesures sur des parcelles expérimentales installées à Manankazo et Kianjasoa. Dans l'ensemble il apparaît que les pertes en terres sont négligeables sous les formations herbacées en défens, ou fauchées, par contre elles sont importantes après les feux .(tab 7,8)

<u>Tableau 7</u>: Les Pertes en terres sur les parcelles élémentaires de Kianjasoa (tonnes/ha/an) (DRFP-CTFT,1975)

Années	Mise en défens	Fauchée	Brûlée	Pâturage artificiel (Stylosanthes guyanensis)
1967-1968	2.41	0.05	0.90	3.39
1968-1969	0.00	0.00	0.00	0.13
1969-1970	0.00	0.00	0.34	0.11
1970-1971	0.00	0.00	1.20	0.00
1971-1972	0.00	0.00	0.37	0.00
1972-1973	0.00	0.00	0.19	0.00
Total	2.41	0.05	3.00	3.63

Les données de Kianjasoa et de Manankazo montrent que les pertes en terres sont importantes après chaque feu. La fauche et la mise en défens se révèlent être des moyens efficaces pour arrêter les pertes en terres. Mais dans les pratiques pastorales ces deux techniques s'avèrent difficiles à appliquer d'une part vu les moyens financiers et matériels à la dispositions des éleveurs pour la fauche et la fabrication du foin. D'autre part, le système de pâturage communautaire rend difficile le respect de la mise en défens sans la mise en place de clôtures et d'un gardiennage plus vigilant des animaux.

Bigot et Razafindratsita (1975) rapportent qu'à Manankazo, les feux ont entraîné des pertes en terres nettement plus importantes en première année par rapport à l'année suivante :

<u>Tableau 8:</u> Effets des feux et du pâturages sur les pertes en terre (en Kg/ha) des pâturages naturels de Manankazo.

Traitements appliqués aux pâturages	1973 - 1974	1974 - 1975
Feu	390	51
Feu + Pâturage	350	48

Les pratiques agro-pastorales.

Une enquête réalisée en 1994 confirme que la production laitière est principalement entreprise au niveau de petites exploitations mixtes qui associent intimement la culture vivrière et la production laitière. Ces fermes disposent d'une ou de deux vaches. Tous les éleveurs laissent leurs animaux sur un pâturage naturel communautaire situé à proximité du village et ils les rentrent à l'étable le soir avant la

traite. En plus de ce pâturage naturel seul 23% des éleveurs cultivent des fourrages et de surcroît sur de petites surfaces de moins de 0,5 ha par exploitation.

•Les courbes de niveaux

Les plantes fourragères les plus cultivées sont *Pennisetum purpureum*, *Setaria anceps*. Ces graminées sont généralement cultivée sur les collines et participent efficacement à la protection des sols. En effet les fourrages sont installés sur des courbes de niveaux et ont ainsi un double fin fourrage et maintien des courbes de niveau. L'efficacité de cette pratique pour la conservation des sols n'a pas fait l'objet de nombreuses publications. Néanmoins (Razafimandimby 1991) signale dans la région du Lac Alaotra, un baisse progressive de la fertilité des sols de pente malgré la mise en place de ces courbes de niveaux cultivés.

Ces pâturages généralement ne sont pas pâturés sur place mais sont coupés manuellement et distribués aux animaux à l'étable. De ce fait les effets du tassement des sols par le passage des animaux n'intervient que sur les lieux de passage des bovins .

•Les légumineuses fourragères sur Tanety

Au cours des années 60-70 plusieurs légumineuses fourragères tropicales ont été introduites et expérimentées et vulgarisées à Madagascar, en vue d'améliorer la productivité des pâturages. Stylosanthes guyanensis a été incontestablement la plante qui a été la plus diffusée surtout dans la région du Moyen-ouest. Des mesures effectuées sur des parcelles élémentaires (200m²) ont montré que cette plante réduisait d'une façon notable les ruissellements et les pertes en terres des zones où elle est implantée. D'autre part les légumineuses fourragères ont montré une réelle capacité d'amélioration des sols et d'augmentation des rendements des cultures avec lesquelles elle est en association (Granier 1970; Berger, Bertrand 1967)

•Les fourrages de contre saison et les sols des rizières.

Traditionnellement les fourrages sont cultivés sur des zones de collines. Mais au cours des dix dernières années, beaucoup d'éleveurs pratiquent la culture fourragère de contre-saison après la récolte du riz. Ainsi il est estimé que 13% des éleveurs laitiers des Hautes- Terres ont adoptés cette culture fourragère de contre-saison (Rasambainarivo et al.1995). L'avoine et le ray-grass sont les graminées les plus cultivées dans ce cas. Ces plantes sont quelques fois fertilisées avec du fumier de ferme et rarement avec engrais minéraux rare actuellement. Les arrières-effets positifs de ces fertilisations se répercutent sur la production rizicole de la saison suivante. Cela constitue un des cas les plus pratiques de transfert de fertilité entre les pâturages et les terres de cultures vivrières (FOFIFA-DRD).

•Les cultures en couloir

La culture des arbustes fourragères est une pratique relativement récente et on ne dispose pas encore de données objectives sur leurs effets sur les sols. La littérature tropicale internationale montre les bienfaits de l'introduction des arbustes sur la qualité des sols.

456

Conclusion

A l'issue de cette revue bibliographique force est de constater que les informations sur la végétation pastorale et les ruminants domestiques sont bien documentées. Les aspects socioculturels de l'élevage bovin et de l'espace pastorale dans le sud-ouest ont été ces derniers temps, l'objet d'études pertinentes. Les interrelations entre le sol, l'herbe et l'animal a retenu l'attention de quelques chercheurs dans les années 60 et 70 dans des Stations de recherches des Hautes-Terres. Le fait est qu'actuellement l'élevage de ruminants se pratique de plus en plus selon deux systèmes bien différenciés: d'une part un élevage extensif traditionnel d'autosubsistance et d'autre part un élevage intensif, mixte, orienté vers la commercialisation du lait, de la viande, des forces de traction etc....Les connaissances acquises sur les interrelations en système extensif sont très peu transposables vers le système intensif. Il apparaît donc opportun d'acquérir des données plus actualisées relatives à ces deux sytèmes. Si dans le temps les informations techniques étaient primordiales il s'avère qu'actuellement les données économiques et socioculturelles sont tout aussi importantes en vue d'une meilleure adoption des techniques pour une gestion plus rationnelle des terres de parcours et les pâturages cultivés.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME (1980)

Rapport du groupe Interministériel d'études sur les feux de brousse

BERTRAND, BERGER (1967)

Action de Dolichos Lablab (Antaka) sur la fertilité des sables roux du Delta du Mangoky (P.1472-1488).

BIGOT .A. (1977)

Etude du Dynamisme de couverts graminées denses en zone tropicale d'altitude Madagascar, MémD.E.A d'écologie terrestre.

BIGOT, RAZAFINDRATSITA (1975)

Rapport Annuel FOFIFA / DRZV

BOSSER .J. (1954)

Les Pâturages naturels de Madagascar Tananarive, Mém. I.R.S.N, série B, t.V, pp. 65-77.

BOSSER .J. (1966)

Note sur les graminées de Madagscar Adansonia, 2ème sére.G(2), pp. 247-250

BOSSER .J. (1969)

Graminées des pâturages et des cultures à MadagascarParis, mém.ORSTOM n°35, 425p

BURNEY .D.A 1996

Climate and Fire ecology as factors in the Quaternary biogeography of Madagascar P.49

DAGET .Ph GODRON.M (1995)

Pastoralisme (Troupeau, Espaces et Sociétés) Ed. Hatier Aupelf/Uref510p

DAGET Ph.J POISSONET (1969)

Analyse phytologique des prairies, Document n°48 C.N.R.S-CEPE MONTPELLIER, 67p

DANDOY.G. 1980

Potentialités Pastorale et exploitation du troupeau Bovin dans le Sud-Ouest Malgache in Changements sociaux dans l'Ouest Malgache R. WAAST E FAUROUT B. SCHLEMMER F.LE BOURDIEC J.P Raison G.DANDOY.

DESCOINGS B.M (1976)

Approche des formations herbeuses tropicales par la structure de la végétation Thèse d'Etat C.N.R.S CEPE MOTPELLIER, 221p

FIELOUX, RAKOTOMALALA.L

(1987) Développement Agricole et transformation des Territoires Pastoraux P 61-84 in AOMBE 1 ELEVAGE ET SOCIETE Etude des transformations socio-économiques dans le Sud-ouest Malgache L'exemple du couloir D'ANTSEVA.

GODRON.M (1968)

Quelques applications de la notion de fréquence en écologie Oecol Plant, 3, 185-212.

GRANIER (1967)

Le Rôle écologique de l'elevage dans la dynamique des savanes à Madagascar

GRANIER .P BIGOT.A (1971)

Les zones D'élevage de Tampoketsa du Nord-Ouest Rapport de mission

GRANIER (1974)

Synthèse des travaux du service d'Agrostologie

I.E.M.V.T (1968)

Etude de pâturages naturels de madagascar en vue de l'aménagement de zones d'embouche pour bovins

LETENNEUR, LOBRY M, MARTIN A. (1993)

Privatisation de la Profession Vétérinaire à Madagascar.75 P.

MORAT .Ph. (1969)

Esquisse du milieu et de la végétation du plateau de l'Horombe Cahiers ORSTOM, série Biol. N°8, pp.3-28

MORAT .Ph. 1972

pour Grade de Contribution à l'Etude des Savanes du Sud-Ouest de Madagascar Thèse **Docteur ES-SCIENCES NATURELLES**

ONE 1994

Rapport sur l'état d'environnement à Madagascar (ONE INSTAT) Edit PNUD UNDDSMS/MAG/91/007-

PERRIER DE LA BATHIE H. (1921)

La végétation Malgache

Paris, Annales du Mus.Col.de Marseille, 3éme série, Vol.9, 268p.

RAISON J.P (1984)

Les Hautes-terres de Madagascar (Tome 1 et II)

RAKOTOMALALA (1987)

Réflexion sur la notion d'Espace Pastoral dans les Sud-Ouest de Madagascar P.43-51

RAMBELOARISOA .G. (1994)

Etude des feux de brousse dans trois Firaisampokontany d'Antananarivo- Atsimondrano Concernes par le Reboisement Villageois (Révue AKON'I ALA)

RASAMBAINARIVO J.H (1980)

Recherche sur l'alimentation fourragère des Bovins dans le Faritany deMahajanga

RASAMBAINARIVO J.H (1994)

Rapport sur : La situation actuelle de l'élevage laitier sur les Hautes-terres et le Moyenouest

S.E.D.E.S (1969)

L'Embouche Bovine sur le plateaux Malgaches

S.E.D.E.S (1987)

Recensement et caractéristiques du Cheptel, enquêtes 1984 et 1986Premiers Résultats

VAN LANKER S.A (1995)

Production Bovine extensive