

(page misy sary)

CHAPITRE 4 : SOL

4.1. INTRODUCTION

Le sol est la couche superficielle de l'écorce terrestre exposée aux altérations atmosphériques. En termes environnemental, le sol est un thème transversal essentiel de la « politique environnementale ». Il est toujours concerné dans presque toutes les activités de l'homme. Il joue des fonctions fondamentales dans la vie de l'homme.

Madagascar se trouve en zone intertropicale entre 12° et 25° de latitude Sud et entre 43° et 50° longitude Est. Cette appartenance géographique lui confère des climats tropicaux variés, de roches différentes et divers types de sols. En effet les sols malgaches sont extrêmement diversifiés.

4.2. CLASSIFICATION ET TYPE DES SOLS DE MADAGASCAR

La classification française des sols de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS) de 1967 était le système de classification utilisé par les pédologues de l'ORSTOM pour les sols de Madagascar, lequel a été repris ici. Ce système est basé sur la description de la pédogenèse et les caractères des profils (Duchaufour, 1998).

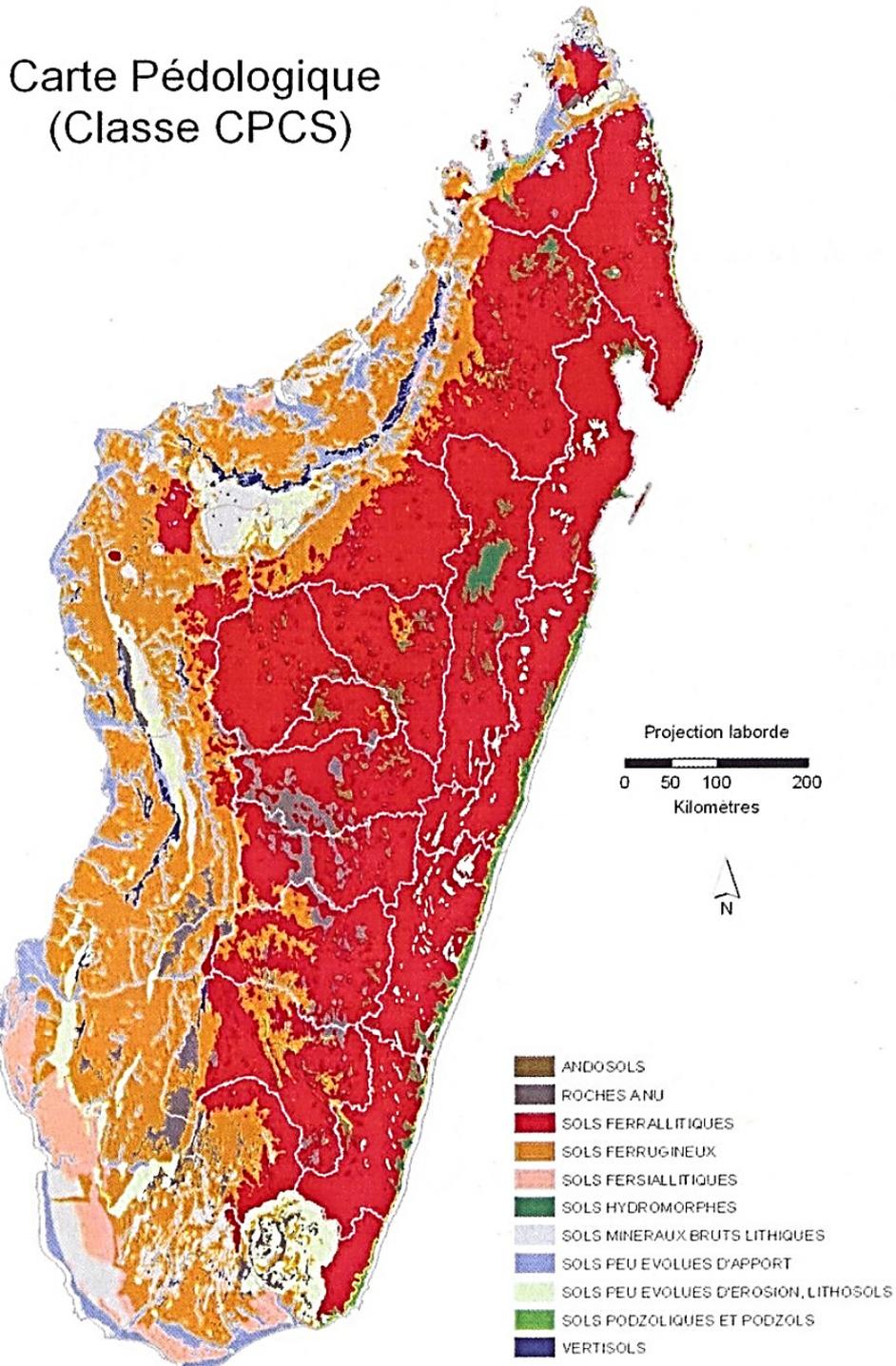
Comme dans le monde entier, les caractéristiques des sols malgaches sont déterminées par des facteurs climatiques et géologiques. Pour ces derniers, les formations pédologiques malgaches peuvent être regroupées en 3 grands ensembles : les sols issus du socle cristallin, ceux des formations géologiques sédimentaires et les sols issus des roches volcaniques

Tableau 4.1 : Proportion des différentes classes de sol de Madagascar selon la carte de Delenne et Pelletioer, 1981 (*in* Grinand *et al.* 2009).

Classes	Superficie (km ²)	Aire relative (%)
Sols ferrallitiques	274 561	46,5
Sols ferrugineux	164 375	27,8
Sols fersiallitiques	16 375	2,8
Sols peu évolués d'apport	37 752	6,4
Sols peu évolués d'érosion	24 824	4,2
Sols minéraux bruts	20 252	3,4
Sols hydromorphes	15 172	2,6
Sols podzolisés	5 598	0,9
Vertisols	5 341	0,9
Andosols	542	0,1
Sols calimagnésiques	n.c.*	-
Sols sodiques	n.c.*	-
Roche à nu	26 097	4,4

Source : Razafimahatratra, 2010.

Ces données du tableau 4.1 montrent qu'environ 75% de la superficie totale sont occupées par les sols ferrallitiques et ferrugineux. Les sols ferrallitiques évoluent sur la partie orientale et sur les Hautes Terres. Les sols ferrugineux longent la côte Ouest, le Nord-ouest et le Sud-ouest. Par leur importance, les commentaires suivants sont apportés sur leur fertilité selon l'approche pédomorphologique (Randriamboavonjy, 1996).



source : Unité Géomorphologique de Madagascar, Delenne et al, ORSTOM, 1981

Carte 4.1 : Carte pédologique de Madagascar.

4.3 FERTILITE ET QUALITE DES SOLS

4.3.1. LES SOLS FERRALITIQUES DES HAUTES TERRES DU SOCLE CRISTALLIN

Les sols ferrallitiques anciens, les plus compacts, les plus déstructurés s'observent sur les zones planes du socle cristallin. C'est aussi là que l'on observe les déficiences les plus marquées en éléments minéraux.

Sur les glacis conservés et les replats associés aux reliefs de croupes et collines, la somme des bases échangeables S est faible et se situe entre 0,1 et 0,55 me/100 g de sol dans l'horizon de surface. Dans ces unités, sur les versants de raccord aux thalwegs, les sols ferrallitiques à structure polyédrique (rajeunis) dominants sont un peu mieux pourvus en cations, S atteint 0,49-0,83 me/100 g de sol.

Sur les collines et croupes disséquées dérivés des niveaux II (meso-tertiaire) et III (finitertiaire), les sols typiques (ou anciens) ont des propriétés physiques relativement satisfaisantes et S se situe aux environs de 1 me%.

Sur les reliefs dominants, les pentes raides sont couvertes de sols peu profonds dont la richesse chimique dépend de la roche-mère. Sur migmatite granitoïde (roche leucocrate) on note de très fortes carences minérales, S est égal à 0,38 me% alors que sur granite d'Ambatomiranty (roche mésocrate), la teneur en éléments échangeables avoisine 2 me%. Sur les reliefs de dissection, les sols sont très poreux, limoneux, peu structurés prédominent. S peut atteindre 2 me%.

Aussi les sols qui ont les meilleures propriétés physiques et qui sont les moins carencés chimiquement s'observent sur les pentes les plus marquées (sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis). Il est à signaler que des carences chimiques ou des phénomènes de toxicité sont à craindre dans les sols formés sur les modelés bien conservés où des résidus d'altération gibbsitiques et ferruginisés peuvent être observés en surface.

Mais pour l'ensemble du socle, les zones de départ anciennes et profondément altérées issues de roches métamorphiques facilement décomposables ont perdu la plupart de leurs cations et sont fortement lixiviés et les sols sont désaturés.

Les sols des vallées sont en général moyennement acides (pH 5,5 à 6) et les taux de saturation sont faibles à moyens. Les sols plus organiques (sols organiques à Gley) s'observent en contrebas des reliefs plats les mieux conservés. Ici peuvent se poser les problèmes de minéralisation de la matière organique et ces sols sont chimiquement très carencés.

4.3.2 LES SOLS DE LA COTE EST

Le relief est plus accentué que sur les Hautes Terres. Des sols ferrallitiques anciens déstructurés peuvent être observés sur des témoins conservés à topographie plane

rarement rencontrés dans la zone. Des sols ferrallitiques anciens et rajeunis s'observent sur les basses et moyennes collines dérivées des aplanissements II et III et sur les reliefs de dissection. Les propriétés physiques des sols sont satisfaisantes. Par contre les caractéristiques chimiques sont plus défavorables que leurs équivalents des Hautes Terres, le phénomène de lessivage ou lixivitation étant plus accentué. Comme sur les Hautes Terres, c'est sur les pentes les plus fortes que l'on observe les sols ferrallitiques rajeunis et fortement rajeunis, les plus limoneux, les plus poreux et les moins carencés, même bien pourvus en réserves.

Dans les vallées, les sols sont peu ou moyennement organiques plus rares que sur les Hautes Terres. On observe essentiellement des sols à gley et des sols tourbeux riches en matière organique et à C/N supérieur à 20 et où l'on peut observer des carences en N voire en Si sur les sols tourbeux.

4.3.3 LES SOLS DU MOYEN OUEST

Les sols ferrallitiques à horizon friable sur glacis ont des propriétés physiques relativement satisfaisantes et ils sont bien explorés par les racines. Ces sols à faibles réserves ont une teneur en éléments échangeables qui peut se situer entre 2 et 4 me %. Ils sont nettement plus riches que leurs équivalents des Hautes Terres.

Sur les versants des glacis et la zone des collines disséqués, les réserves sont plus importantes, néanmoins s'agissant de sols ferrallitiques rajeunis, limoneux à faible cohésion, ils sont sujets à l'érosion.

Dans les bas-fonds du Moyen-Ouest, en contrebas des *lavaka*, on observe des sols peu évolués d'apport, pauvres en matière organique, à pH faiblement acides (6 à 6,5) et riches en éléments minéraux. Lorsque à l'amont, les pentes des versants sont plus modérées et stabilisés, on observe dans les bas-fonds des sols organiques à gley voire des sols semi-tourbeux où la minéralisation de la matière organique pose problèmes.

4.3.4 LES SOLS FERRUGINEUX DE LA ZONE SEDIMENTAIRE

Les sols ferrugineux rouges et jaunes non ou peu lessivés peuvent être observés sur la zone Ouest de Madagascar. Les sols rouges occupent généralement les positions surélevées et les sols jaunes les zones légèrement déprimées. Ce sont des sols à propriétés physiques assez bonnes seulement ils sont sableux et résistent peu à la sécheresse. Chimiquement ces sols à réserves faibles, sont acides, très déficients en P, pauvres en bases échangeables, à faibles CEC (10 me / 100 g de sol) mais la désaturation du sol ne descend pas en dessous de 30-40%.

Les sols ferrugineux lessivés avec un horizon B enrichi en argile se développent sur les pentes faibles des versants. Les sols ferrugineux enrichis en argile (avec les vertisols et les sols peu évolués d'apport) ont une faible extension et se développent dans les positions

les plus basses. Ce sont des sols riches chimiquement, leur pH est neutre ou basique. Ils ont de bonnes réserves et des teneurs élevées en matière organique et en éléments minéraux.



Figure 4.1 : A gauche : sol ferrallitique rajeuni. A droite : Sol ferrallitique fortement rajeuni. Source : Randriamboavony J.C., comm. pers.



Figure 4.2 : A gauche : sol ferrallitique ancien. A droite : Sol ferrugineux tropical jaune. Source : Randriamboavony J.C., comm. pers.

4.3.5 FERTILITE DES SOLS

Concernant la fertilité naturelle des sols de Madagascar, à part les sols formés sur roches volcaniques récentes un gradient de fertilité allant de l'est de l'île vers l'ouest a été observé, après évaluation de leurs paramètres physico chimiques caractéristiques. Il relève principalement des facteurs climatiques : les sols en régions plus arrosées sont plus désaturés. Le gradient de fertilité des sols malgaches est présenté dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Gradient de fertilité des sols malgaches.

Domaine	Niveau de fertilité naturelle des sols
Cote Est	Moins fertile
Hautes Terres	Peu fertile
Moyen-Ouest	Moyennement fertile
Cote Ouest	Fertilité moyenne
Région volcanique	Fertile

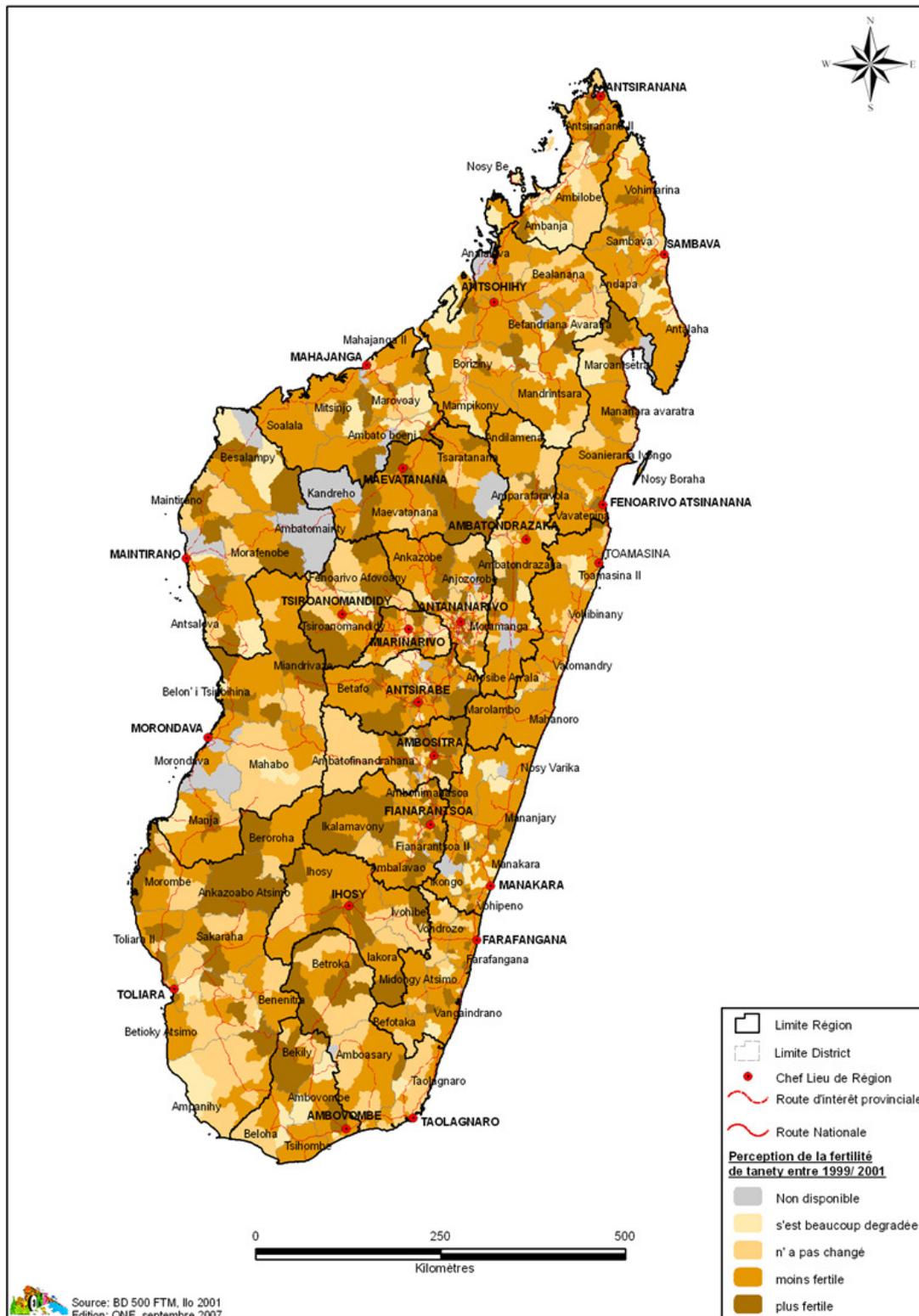
Un apport de fertilisants minéraux, organiques ou mixtes permet d'ajuster le niveau de fertilité des sols. A Madagascar, il n'y a pas de formule fixe de fertilisation mais la dose apportée dépend de plusieurs facteurs : disponibilité sur le marché, pouvoir d'achat, type de culture, type de sol, etc.

Tableau 4.3 : Répartition de la superficie physique cultivée par région selon le mode de fertilisation.

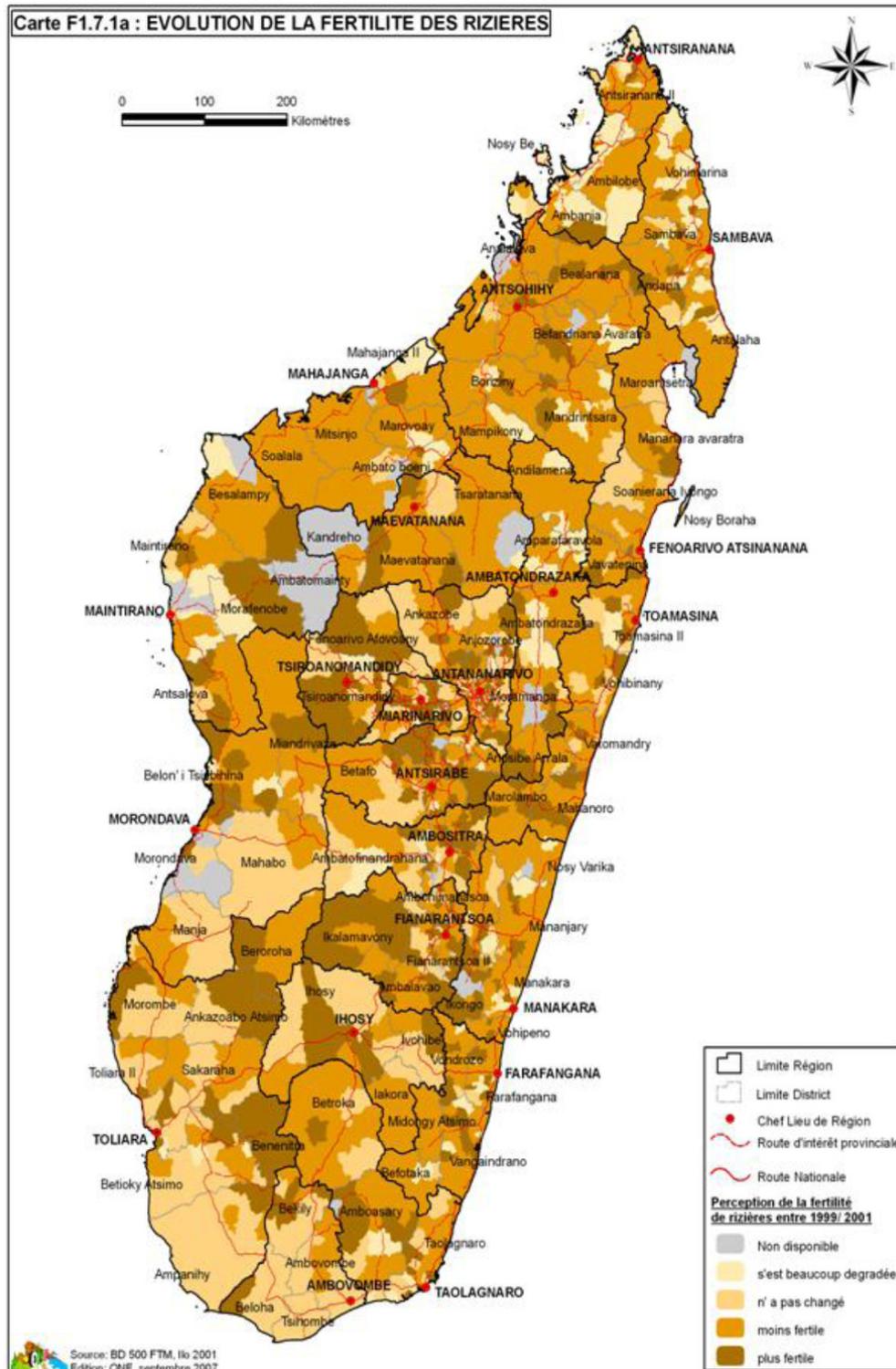
Régions	Organique	Minéral	Mixte	Aucune	Total
Analamanga	44 734	1 402	5 224	44 737	96 097
Vakinankaratra	70 847	1 211	11 830	39 987	123 875
Itasy	31 064	806	1 383	51 385	84 638
Bongolava	10 415	369	342	79 474	90 600
Haute Matsiatra	32 349	1 759	5 797	48 790	88 695
Aoron'i Mania	32 812	358	723	41 054	74 947
Vatovavy Fitovinany	1 716	313	422	179 746	182 197
Ihorombe	269	24	11	24 874	25 178
Atsimo Atsinanana	618	837	87	86 267	87 809
Atsinanana	761	105	72	126 490	127 428
Analanjirofo	487	443	238	111 281	112 449
Alaotra Mangoro	18 897	8 484	4 946	73 991	106 318
Boeni	948	1 247	417	83 543	86 155
Sofia	889	1 026	79	144 943	146 937
Betsiboka	1 002	111	176	42 925	44 214
Melaky	91	2	40	40 069	40 202
Atsimo Andrefana	833	5 578	731	133 258	140 400
Androy	265	89	94	59 438	59 886
Anosy	2 830	93	112	52 877	55 912
Menabe	1 257	658	169	85 147	87 231
Diana	788	809	241	70 465	72 303
Sava	585	442	288	112 727	114 042
MADAGASCAR	254 457	26 166	33 422	1 733 468	2 047 513

Source : DSEC, Ministère de l'Agriculture.

La tendance de l'évolution de la fertilité des sols des *tanety* et des rizières entre 1999 et 2001 nous renseigne sur ce que pourrait être le niveau de fertilité actuel des sols sur ces deux toposéquences.

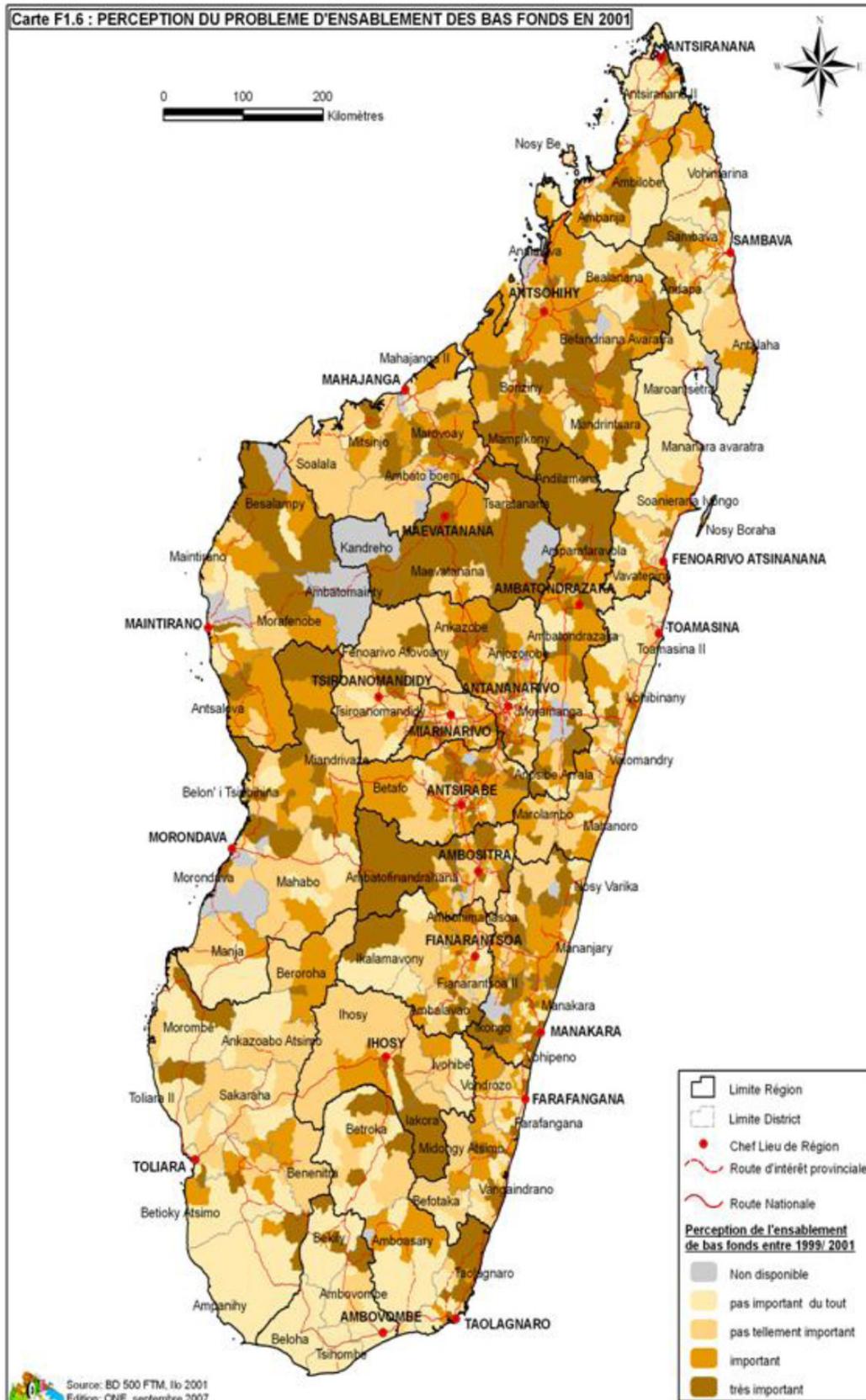


Carte 4.2 : Perception de la fertilité des sols de *tanety*. Source : ONE.



Carte 4.3 : Evolution de la fertilité des sols des rizières. Source : ONE.

C'est au niveau des bas-fonds que s'accumulent les matériaux provenant de l'érosion des *tanety*. Pour l'ensemble de l'île, aucun dispositif permanent de mesure réelle de perte en terre et en sédiments n'a été mis en place ; mais la perception paysanne du problème d'ensablement des bas-fonds (étude effectuée de 1999 à 2001) reflète l'importance des dépôts et l'ampleur des dégâts.



Carte 4.4 : Perception du problème d'ensablement des bas-fonds en 2001. Source : ONE.

4.3.6 ERODIBILITE DES SOLS

Le facteur K, érodibilité des sols, détermine la vulnérabilité des sols à l'érosion plus particulièrement à l'érosion hydrique. Il définit la résistance des sols à la battance des gouttes de pluie. La valeur de K varie suivant le type de sols, la région, le climat etc. En effet, pour Madagascar, les valeurs de K moyenne de chaque région agro-écologique sont très variées. Le tableau 4.4 ci-dessous présente les valeurs du facteur K dans les subdivisions écologique et pédologique de l'île.

Tableau 4.4 : Erodibilité des sols malgaches.

Zone agro-écologique	Domaine pédologique	K	Erodibilité
Hautes Terres	Sols ferrallitiques faiblement rajeunis à fortement rajeunis	0,20	Moyenne
Ouest	Sols ferrugineux tropicaux	0,16	Moyenne
Nord et Ouest		0,23	Forte
Moyen Ouest	Sols ferrallitiques rouges souvent indurés	0,41	Forte
Sud	Sols peu épais sur altérites sableuses à « erg »	0,20	Moyenne
Est	Sols ferrallitiques jaunes/rouges	0,02	Très faible

Source : CTFT 1974.

4.4 PRESSIONS SUR LE SOL

Madagascar est un pays à vocation agricole. Environ 85% de l'ensemble de la population vit dans les zones rurales, dont 80% pratique les activités agricoles. Cependant ces activités engendrent des coûts environnementaux difficiles à quantifier. En effet, l'agriculture entretient des relations étroites avec l'environnement puisqu'elle touche directement le vivant et le sol. « Dès qu'on touche le sol, on le transforme ».

4.4.1. AGRICULTURE

Pour Madagascar, les terres cultivables représentent 6 776 859 ha soit 11,50% de la surface totale du territoire. En 2008, selon la statistique agricole, la superficie des exploitations agricoles à Madagascar est estimée à 2 575 054 ha soit 38 % de la terre cultivable et est constituée par des parcelles et des petites et moyennes exploitations.

Cependant, des projets de plantations de grande envergure sont actuellement mis en oeuvre. « Les activités du projet BBI (Biomasse Biocarburant Ihorombe à Satrokala Andiolava s'étend déjà sur près de 7.000ha » (*ndrl :Midi Madagascar du lundi 02 avril 2012*) et d'après l'étude faite en 2010 par l'observatoire du foncier Madagascar (dans Etat des lieux et perspectives des appropriations foncières à grande échelle à Madagascar pour les projets

de production des plantes pour la production de biocarburants) « les superficies réellement cultivées à l'heure actuelle ne s'élèvent qu'à 22 000 ha ».

Tableau 4.5 : Evolution de superficie des principales cultures (en ha) de 2005 à 2008.

Culture	2005	2006	2007	2008
Riz	1 249 413	1 260 660	1 272 030	1 283 560
Mais	252 838	255 070	257 400	259 730
Haricot	74 389	75 290	75 960	77 340
Pois du Cap	13 419	13 235	13 610	13 710
Manioc	469 396	392 250	394 875	393 815
Patate douce	123 836	124 950	122 855	126 669
Pomme de terre	36 654	36 990	36 510	36 830
Arachide	54 487	54 995	55 200	55 630
Canne à sucre	40 771	31 670	25 750	23 515
Café	114 978	116 035	111 685	117 955
Poivre	10 313	10 410	10 490	10 595
Girofle	36 757	37 080	37 415	36 865
Vanille	37 226	37 590	37 840	38 160
Cacao	7 340	7 410	7 470	7 530
Tabac	91 637	92 490	93 215	93 150
TOTAL	2 613 454	2 546 125	2 552 305	2 575 054
Taux d'accroissement		-2,64%	0,24%	0,88%

Source : DSEC, Ministère de l'Agriculture.

Plus de la moitié (54,11% de la superficie cultivable) est effectivement exploitée d'après le recensement agricole faite en 2004. Madagascar dispose encore plus de terrain exploitable en agriculture.

Les taux d'accroissement annuel de la superficie cultivée enregistrés, au cours des années 2006, 2007 et 2008 sont relativement faibles (inférieur à 1%). Entre 2005 et 2006 la superficie utilisée en agriculture a reculé de 2,64%, mais au-delà de 2007 une légère augmentation a été constatée (statistique agricole). La baisse est plus marquée pour la superficie cultivée avec de la canne à sucre.

Cette situation moyennement stagnante de surface cultivée est accentuée par la difficulté des paysans à faire des intensifications de leurs cultures surtout la fertilisation. La consommation d'engrais minéraux (NPK) à Madagascar est nettement inférieure à 10 kg/ha/an alors que 5 à 10 fois plus serait nécessaire pour une productivité correcte pour les besoins alimentaires annuels humains (Feller, 2007). Les paysans utilisent beaucoup plus de fertilisant chimique que organique.

Tableau 4.6 : Superficie cultivée (ha) par rapport à superficie cultivable.

Région	Superficie rurale	Superficie cultivable	Superficie cultivée	% superficie cultivée / superficie cultivable
Analamanga	1105 911	448541	146783	32,72
Itasy	515056	172709	101581	58,82
Vakinankaratra	1196435	432078	215202	49,81
Bongolava	204266	1475944	105225	7,13
Haute Matsiatra	625475		116480	
Aoron'i Mania	472119		99340	
Ihorombe	101154	151191	103788	68,65
Vatovavy Fitovinany	637590		293016	
Atsimo Atsinanana	224945		212262	
Diana	252501	1322639	188181	14,23
Sava	527901	1311395	181412	13,83
Menabe	176391	404300	60310	14,92
Atsimo Andrefana	565830		808532	
Androy	259234	65203	64915	99,56
Anosy	232713	70493	67310	95,48
Atsinanana	618090		190905	
Alaotra Mangoro	347031	259833	180775	69,57
Analanjirifo	489315		223370	
Boeny	233438		73330	
Sofia	615211	424483	163269	38,46
Betsiboka	144868		30365	
Melaky	129810	238050	40641	17,07
MADAGASCAR	9675284	6776859	3666992	54,11%

Source : DSEC Min Agri 2004



A gauche : Récolte de haricots dans un village près d'Ifanadiana, SE Madagascar. **A droite** : Labour d'une parcelle de rizière, sol de type ferrallitique rajeuni à Antenina-Antanifotsy, Hautes Terres Centrales. Photo : Hery A. Rakotondravony.

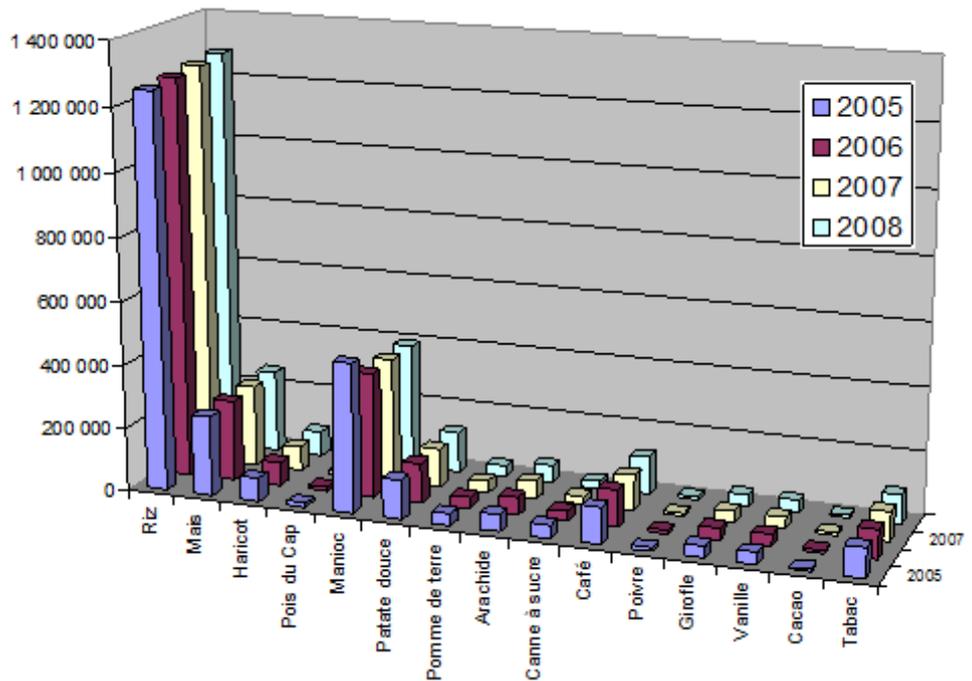


Figure 4.3 : Evolution de la superficie cultivée par spéculation. Source : DSEC Ministère de l'Agriculture.

Tableau 4.7 : Evolution du mode de fertilisation dans cinq régions (biologique et chimique).

Régions	Année	Nom du fertilisant	Quantité (tonnes)	Type de culture
Atsinanana	2009	Guanomad ; Taroka	2 000	Riziculture et cultures maraîchères
	2010	Guanomad ; NPK		Riziculture ; maïs et cultures maraîchères
	2011	Guanomad		Riziculture, maïs et cultures maraîchères
Melaky	2008	Urée	2,75	
	2009	Engrais biologique	9	
		Engrais	11,35	
Vakinankaratra	Chaque année	Fumier organique		Pour toute culture
Sofia	2009	Guanomad	513	Riz
		Urée 46%	240	
Menabe	2009	Urée ; NPK ; Guanomad	6,43	Riz ; culture maraîchère
	2010	Urée ; NPK ; Guanomad	6,8	Riz ; culture maraîchère
	2011	Urée ; NPK ; Guanomad	7	Riz ; culture maraîchère

Source : DRDR, Ministère de l'Agriculture.

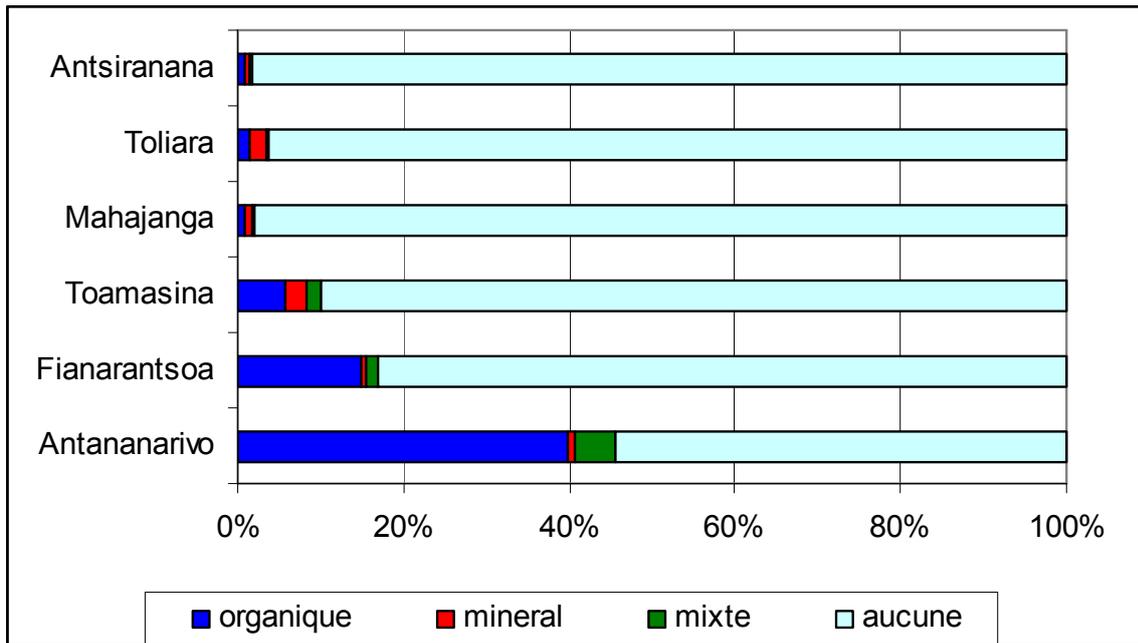


Figure 4.4 : Répartition de la superficie physique selon le mode de fertilisation (%).
 Source : DSEC, Ministère de l'Agriculture.

La pauvreté pousse les agriculteurs à rechercher l'accroissement de la production, par la mise en culture de plus en plus fréquente et de plus en plus importante de nouveaux terrains situés sur des zones écologiquement sensibles (e.g. les versants des collines, les *tanety* qui se dégradent facilement) et à défricher les forêts ou les jachères. Pour la région de Melaky, la superficie défrichée augmente significativement en 2011. Cette pratique persiste toujours.

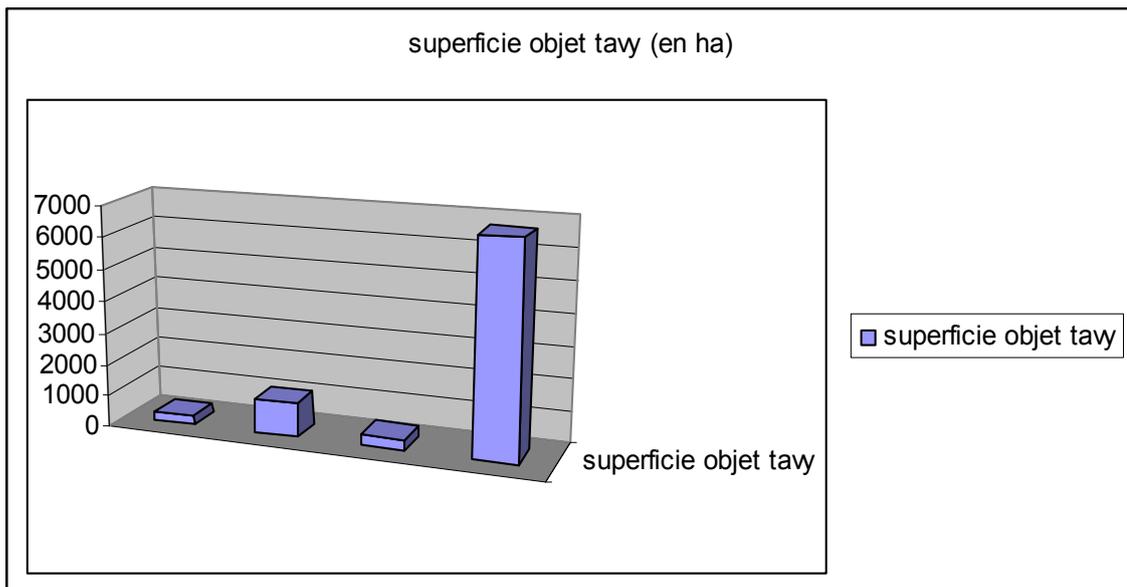


Figure 4.5 : Superficie transformée en tavy dans la Région Melaky. Source : Direction Régionale de l'Environnement et des Forêts de la Région Melaky.

Tableau 4.8 : Incidence de tavy dans les zones en dehors des Aires Protégées.

Nom	Superficie forêt 1993 en ha (t0)	Superficie forêt 2000 en ha (t1)	Defrichage en ha (t0-t1)	Taux de defrichage (t0-t1)/t0	Taux annuel de defrichage
Forêt dense sèche					
Anjamangirana	40984	32918	8066	19,68%	2,46%
Bongolava	61024	47518	13506	22,13%	3,69%
Tsimembo	29749	22401	7348	24,70%	3,69%
Ankoadava	23803	20301	3502	14,71%	2,94%
Mikea	296196	286363	9833	3,32%	0,55%
Sakaraha	14478	12549	1929	13,32%	2,66%
Sept Lacs	8382	7756	626	7,47%	1,49%
Tsimanapetsotsa	149725	127755	21970	14,67%	2,93%
TOTAL	624341	557561	66780	15,00%	2,61%
Forêt classées dans les forêts dense sèche					
Anjamangirana	13156	11930	1226	2,99%	0,37%
Bongolava	28520	26219	2301	3,77%	0,63%
Tsimembo	7724	7420	304	1,02%	0,17%
Ankoadava	18141	15313	2828	11,88%	2,38%
TOTAL	67541	60882	6659	4,92%	0,89%
Forêts classées dans les forêts dense humides					
Tsitongambarika	34452	28828	5624	11,57%	2,33%

Source : ONE, comparaison des images satellitaires Landsat 5 (1993) et Landsat 7 (2000).

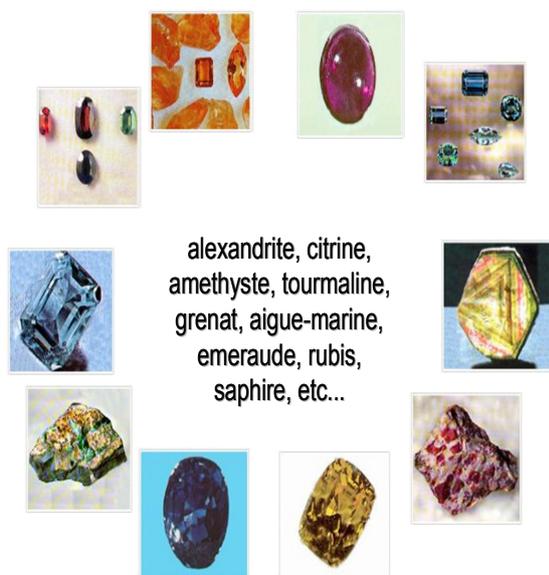
4.4.2 ELEVAGE

A Madagascar, « l'élevage de ruminants se pratique selon deux systèmes. Le premier est le système extensif surtout important en milieu rural. Le second est plus intensif, il prédomine en régions périurbaines. Le système d'exploitation extensive domine largement l'élevage des zébus et des petits ruminants ».

Selon Faramala (1988) « les surfaces actuelles de savane étaient de 397 404 km², soit 68% de la surface de l'île. La majorité des savanes (62 %) est située dans les régions de l'ouest et du sud. Il est estimé qu'en moyenne, 435 000 ha des savanes sont brûlées tous les ans ».

Les estimations à partir du Recensement Agricole révèlent les données suivantes : « L'élevage bovin avec 7 473 412 tête de bétail en 2005, 8 594 426 en 2008 et 9 881 130 en 2010, en général de type extensif, est le plus important dans les parties Sud et Ouest de Madagascar, comprenant les *faritany* de Toliara (3 951 350) et de Mahajanga (2 087 740) avec 60% de l'effectif national. Les provinces les moins importantes en matière d'élevage bovin sont celles d'Antsiranana (781 360) et de Toamasina (233 640). Les femelles sont plus dominantes selon l'analyse effectuée de l'ordre de 53%. Le cheptel caprin est estimé à

4.4.3 EXPLOITATION MINIERE



alexandrite, citrine,
amethyste, tourmaline,
grenat, aigue-marine,
emeraude, rubis,
saphire, etc...

Quelques échantillons de pierres précieuses de Madagascar. Photo : Randriamboavonjy J.C., comm. pers.

Le sous-sol de Madagascar recèle de précieuse matière première : mica, ilménite, fer, graphite, or, nickel, cobalt, pierres précieuses etc. L'exploitation de ces ressources, surtout à ciel ouvert, constitue l'une des grandes pressions pour le sol. Elle est toujours accompagnée de grand mouvement de masse de terre, plusieurs éléments partent et le paysage est complètement modifié.

4.5. DEGRADATION DES SOLS

Les Hautes Terres Centrales de Madagascar sont très vulnérables à diverses formes d'érosion. Les principaux facteurs de leur développement tel que le climat, la morphologie, le type de sol et la végétation dominante y sont favorables.

L'érosion est aussi en étroite relation avec le système de culture. Quantitativement, « Les pertes en terre suivent les mêmes tendances que les ruissellements, mais les différences entre systèmes sont plus importantes (tableau ci-dessous). Pour une campagne, on mesure ainsi de 1,1 à 15,3 t/ha pour les systèmes en labour, contre 0.1 à 0.4 t/ha pour les systèmes en SCV ; alors que le témoin toujours enherbé perd moins de 100 kg/ha par an, le témoin toujours propre subit des pertes en terre allant de 11,4 à 37,8 t/ha ».

« Rappelons que 1 t/ha correspond à 0.1 mm de couche de sol, avec une densité du sol de 1 : les labours ont donc perdu de 4 à 6 mm de sol en 7 ans ».

Tableau 4.9 : Cumuls annuels des pertes en terre (t/ha) sur sept campagnes de mesure.

	Système de culture	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	Moyenne
Lb exp	S1	21,40	9,58	2,70	3,37	15,29	5,05	6,91	9,18
Lb rest	S4		9,44	1,06	4,09	15,25	6,78	5,80	7,07
Lb	Tp		14,85	23,78	11,40	37,81	13,63	28,51	21,66
Lb/SCV	S2	27,23	0,19	0,12	0,13	0,28	0,13	0,08	0,15
SCV	S3	0,43	0,07	0,12	0,20	0,08	0,08	0,06	0,15
SCV brach	S5		0,08	0,06	0,07	0,10	0,10	0,06	0,08
SCV	Te		0,08	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03
Pluie campagne (mm)		1177	1069,50	1540	1059	1520	904,40	1216,50	1212,34

Sources : AFD Document de travail n° 31 Réduction par les SCV du ruissellement et de l'érosion sur les Hautes Terres de Madagascar 2012.

Qualitativement, «avec les résultats tirés de la thèse de Norsoa Christine (Razafindramanana, 2011), en moyenne, sur 4 campagnes (2005-06 à 2008-09), les pertes en Carbone « C » par les sédiments varient de 335 kg C /ha /an pour les labours à 6 kg C /ha /an pour les SCV, en Azote « N », les pertes sont respectivement de 25 à 0.6 kg N /ha /an, et en Phosphore « P » les pertes sont de 6,6 à 0,1 kg P /ha /an. Les stocks de C augmenteraient de 0,6 à 1 t/ha/an avec les SCV, alors qu'ils resteraient constants avec labour (Razafindramanana, 2011). Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Razafimbelo et al. (2006) ».

A Madagascar, les milieux les plus érodés par les *lavaka* sont le Moyen-ouest (provinces d'Antananarivo et de Fianarantsoa), les régions riveraines du Lac Alaotra (province de Toamasina) et la zone de Londokomanana (province de Mahajanga).

L'analyse quantitative de l'érosion en nappe et des *lavaka*, deux types d'érosion très répandus des HTC, dans les bassins versants du Lac Alaotra et de l'Itasy, permettront de mesurer l'ampleur du phénomène.

4.5.1 EROSION EN NAPPE

Les pertes en terres sont situées entre 0 à 275 T/ha pour la région d'Alaotra (carte 4.8) et s'élèvent jusqu'à 2690 T/ha pour la région d'Itasy (carte 4.9). Les niveaux de dégradation reflètent les différents modes de gestion des ressources naturelles et l'hétérogénéité dans le système d'exploitation agricole. Sur le terrain, la différence s'explique par les diverses stratégies de maintien de la fertilité du sol, les charges à l'hectare en bétail sur les petites exploitations.



Figure 4.6 : Erosion en nappe. Photo : Randriamboavonjy J.C.

4.5.2 LES LAVAKA

Les *lavaka* constituent les risques environnementaux pour Madagascar. Ils détruisent les infrastructures importantes : routes, ponts, et les terres agricoles. Les événements climatiques extrêmes comme les cyclones, les activités humaines : feu, cultures, pâturage des bestiaux constituent les principales origines connues des *lavaka*, mais selon Fety Michel Amos RAKOTONDRAZAFY « Certaines études antérieures ont fait valoir que les feux de brousse responsables de la dénudation de certaines régions du pays sont un facteur principal de l'origine des *lavaka* », mais nous sommes en désaccord parce que nous pouvons trouver de nombreux domaines où les gens brûlent (parfois deux ou trois fois sur une année) sur les flancs des montagnes avant la culture du riz ou d'une autre plante, mais il n'y a peu ou presque pas de *lavaka*. Par contre, certaines régions où les gens qui y vivent ne brûlent pas, et pourtant il y a de nombreuses ravines. Nous savons qu'une mauvaise conception et étude dans la construction de routes, canaux hydrauliques, et de drainage peuvent provoquer ou favoriser la formation des *lavaka*. La géologie et la pétrographie pourraient être d'une part, l'origine des *lavaka*. L'hétérogénéité de la pétrographie des roches mères (variation de la proportion de quartz de la surface vers la profondeur) peut être un facteur important de l'origine et de l'évolution des *lavaka*. Les *lavaka* sont formés sur les couches saprolitiques épaisses qui se sont développées sur le socle cristallin. D'une autre part, « l'analyse SIG révèle aussi une corrélation spatiale entre l'abondance des *lavaka* et la fréquence des événements sismiques: la plupart des *lavakas* se produit dans ou près des zones où les séismes (magnitude 0,5 à 5,6) sont les plus fréquentes. Ce fait explique l'inégalité de la répartition des *lavaka* des Hautes Terres malgaches. L'activité sismique semble conditionner la formation des *lavaka*, bien que le mécanisme par lequel cela se produit reste encore inconnu ».

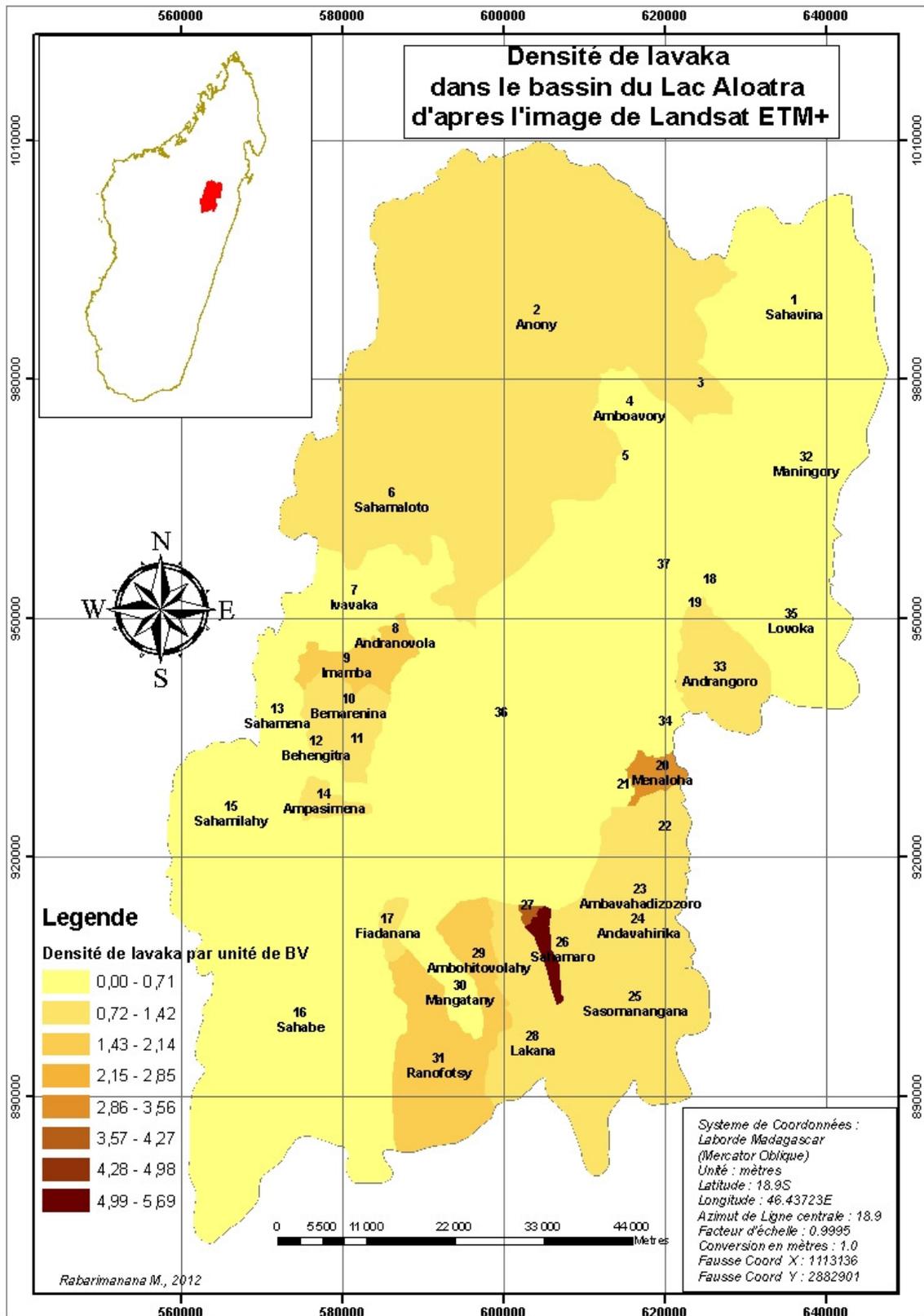
Quelques cas concrets d'étude de *lavaka* fait par Mamy RABARIMANANA sont présentés ici : cas des bassins versants du Lac Alaotra et du Lac Itasy.

Dans la région d'Alaotra (carte 4.6), les images satellitaires *Landsat* ont permis d'identifier environ 5.000 *lavaka* dont 13% seulement se trouvent à l'état stable. La superficie totale de l'ensemble des espaces occupés s'élève à 16 000 ha soit plus de 2% de l'ensemble du bassin versant.

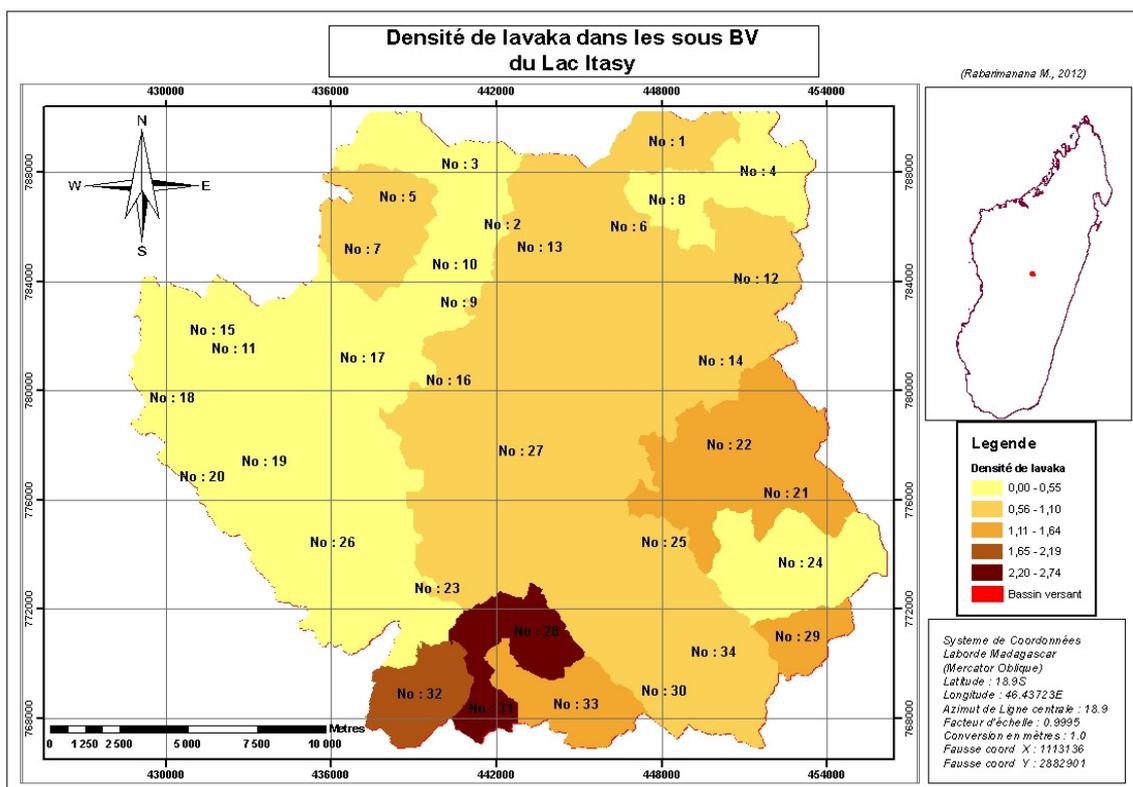
Dans la région de l'Itasy, sur les 400 *lavaka* recensés, 2% seulement sont complètement stabilisés. La taille moyenne est de 3 ha et pouvant atteindre 15 ha. L'occupation de l'ensemble des *lavaka* atteint une superficie de 1 100 ha soit plus de 2% également de la superficie totale du bassin versant (carte 4.7).



A gauche : *Lavaka* près d'Andriba, le long de la RN 4. Photo : Hery A. Rakotondravony. **A droite** : Les feux de brousse aggravent la fragilité des sols érodés des Hautes Terres Centrales. Photo : www.wildmadagascar.org.



Carte 4.6 : Densité de lavaka dans les bassins versants du Lac Alaotra. Source : Rabarimanana, 2012.



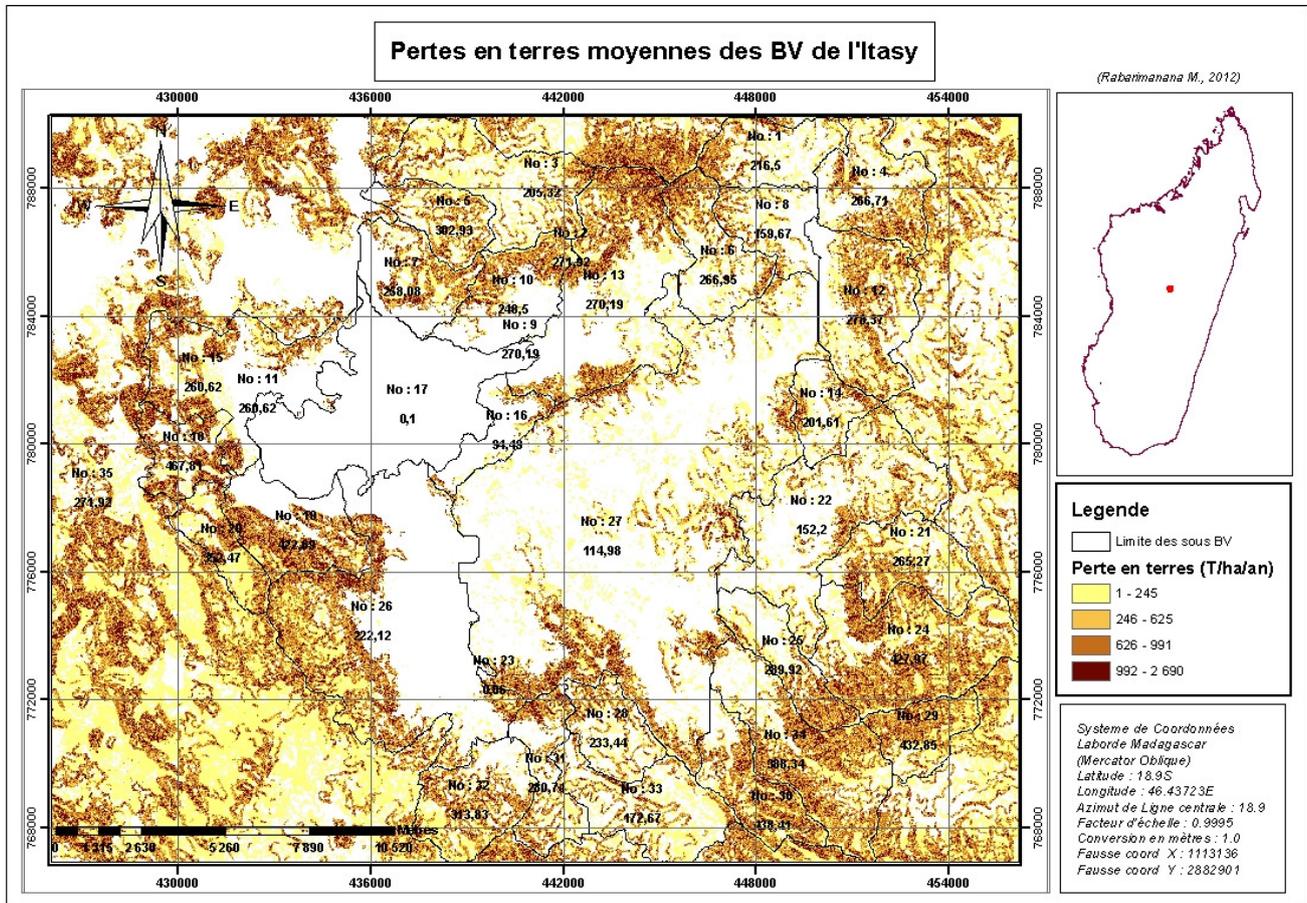
Carte 4.7 : Densité de lavaka dans les bassins versants du Lac Itasy. Source : Rabarimanana, 2012.

Tableau 4.10 : Estimation de la proportion de lavaka dans les communes des Régions Menabe et Vatovavy Fitovinany.

Région	District	Nombre de communes			
		Pas de lavaka	Moins de 10 lavaka	10 à 50 lavaka	Plus de 50 lavaka
Menabe	Belo sur Tsiribihina	0	1	10	3
	Mahabo	3	4	4	0
	Manja	1	3	1	1
	Miandrivazo	0	5	2	8
	Morondava	3	2	0	0
Vatovavy Fitovinany	Ifanadiana	2	1	7	3
	Nosy Varika	4	2	4	2
	Mananjary	11	9	4	1
	Manakara	15	19	8	0
	Ikongo	1	0	6	6
	Vohipeno	10	7	0	0
	TOTAL	50	53	49	24
	MADAGASCAR	4490	395	253	247

Source : FOFIFA/INSTAT/Cornell, 2001.

Dans la région d'Itasy, les sources de sédiment affectant les bas-fonds sont les terres découpées des *lavaka* et les pertes en terre issues de l'érosion en nappe.



Carte 4.9 : Perte en terre moyenne des bassins versants du Lac Itasy. Source : Rabarimanana, 2012.

A l'issu de cette étude, les *lavaka* devraient être considérés comme le principal facteur engendrant le bouleversement de l'environnement lacustre de la région d'Itasy et d'Alaotra. La situation s'est aggravée par la destruction de la couverture végétale par le fréquent passage des feux de brousse et l'intensification de l'agriculture en amont favorisant le ruissellement et la dégradation de la structure du sol.

4.5.4 EROSION HYDRIQUE

A Madagascar, les phénomènes d'érosion hydrique qui, sont en général les conséquences directes de la culture sur brûlis et des feux de brousse, entraînent d'énormes volumes de matériaux qui sont charriés à chaque période de pluie et provoquent l'ensablement de tout ce qui se trouve en aval.

Selon Jean Noel Salomon «La dissymétrie est-ouest de l'île fait que le versant occidental, le plus important en superficie, se situe à la retombée de l'alizé qui déverse son humidité et a tendance, par subsidence, à se réchauffer. Il en résulte pour la végétation des conditions moins favorables que sur la côte Est : la végétation est donc souvent dégradée et

fait place à de vastes savanes qui représentent aujourd'hui plus de 80% de la superficie de la région occidentale. Comme les savanes connaissent également des problèmes de dégradation, la protection qu'elles offrent au sol n'est pas toujours efficace. Surtout, la déforestation récente à Madagascar a été considérable et continue à être redoutable. Donc il existe un potentiel considérable de matériaux relativement fins (prédominance de l'érosion chimique), généralement meubles et soumis à des ruissellements sporadiques mais intensifs. Dans ce contexte, sables, limons et argiles constituent l'essentiel des charges sédimentaires véhiculées par les fleuves : sables fins et limons représentent plus des 2/3 de la charge ». L'auteur indique que « les taux



de dégradation spécifique sont t/km²/an. Les pertes totales mesurées chiffres suivants : 142 pour la le Mangoky, neuf pour le Fiheranana et certainement celui de la Betsiboka, exutoire du plus grand fleuve de la Grande Île. Les pertes estimées sont de 35 km³/an sur l'ensemble du bassin versant, avec des érosions de 250 t à 400 t/ha/an, ce qui constitue l'un des records mondiaux d'érosion».

absolument énormes : entre 3 000 et 5 000 en millions de tonnes par an, donnent les Tsiribihina, 11 pour la Morondava, 98 pour 17 pour l'Onilahy. Le plus fort tonnage est

Quand le sol est dépourvu de sa protection végétale, il est exposé aux divers types de dégradation. L'érosion du sol peut entraîner des pertes économiques importantes.

4.5.5 EROSION EOLIENNE



L'érosion éolienne fragilise la couche arable. Les sols à texture sableuse sont les plus sensibles. La région du sud de l'île est la plus exposée à ce type d'érosion. Les conséquences de cette forme d'érosion sont : disparition de la couche superficielle des sols qui provoque la baisse de la fertilité ; recul ou avancement des dunes, ensevelissement des cuvettes, mares, champ de culture etc.

Figure 4.7 : Envahissement de la forêt des Mikea par les dunes à Manombo Sud.

Sources : Drynet No. 8, Juillet 2011.

4.6 REPONSES

Des mesures ont été prises par les différents responsables pour lutter contre la dégradation des sols. Elles présentent deux aspects : les aspects administratifs et les aspects techniques.

4.6.1. ASPECTS ADMINISTRATIFS ET LEGISLATIFS

Dans le cadre de la promotion de la gestion et de l'utilisation durable des terres, les pouvoirs publics ont adopté des mesures juridiques et institutionnelles.

Sur le plan juridique, les mesures prises concernent pour l'essentiel, les textes législatifs et réglementaires ci-dessous :

La loi n°95-017 du 25 août 1995 portant code du tourisme définit les zones d'intérêt touristique comme des étendues de terrains délimitées destinées à l'implantation des entreprises touristiques. Les RFT constituent ainsi les zones d'intérêts touristiques importants et définissent le plan d'occupation de sol :

- Occupation Locale foncière ;
- Gestion foncière décentralisée ;
- Réserves Foncières Touristiques ;
- Réserves Foncières pour le Reboisement.

4.6.2. ASPECTS TECHNIQUES : TECHNIQUES DE CONSERVATION DES SOLS

Plusieurs techniques de conservation des sols sont déjà mise au point par les organismes et institutions de recherches (FOFIFA / Université / CIRAD pour la recherche thématique ; TAFE pour la recherche appliquée et adaptation des systèmes de cultures) et mise en œuvres et diffusées par diverses organismes (TAFE, FAFIALA, et autres opérateurs de formation, ANAE, FIFAMANOR, BRL, BIMTT, RTM autres opérateurs de diffusion et les projets de développement rural). Ces techniques peuvent être catégorisées en deux : les mesures antiérosives comprenant les techniques et les ouvrages permettant de réduire l'érosion et la dégradation des sols et, les techniques agroécologiques de gestion des sols.

4.6.2.1. LES MESURES DE LUTTE ANTI-EROSIVE

Mise en œuvre par le PLAE deux principaux types de mesures sont développés :

- Les ouvrages dits « mécaniques » ;
- La végétalisation, elle permet de réaliser des haies et des plantations du genre agroforesteries.

Depuis le début de l'année 2008, le programme de lutte anti érosive intervient dans cinq régions : Boeny, Amoron'i Mania, Atsimo Andrefana, SAVA et DIANA. Les deux nouvelles antennes, Andapa et Ambanja, sont opérationnelles depuis le second trimestre de cette année.

a. Ouvrages mécaniques

Les ouvrages dits mécanique comprennent :

- *Cordon de paille* : le cordon de paille est une rangée de paille fixée par des piquets suivant les courbes de niveau.
- *Diguette en pierres* : la diguette en pierres est un dispositif filtrant construit avec des cailloux.
- *Haies antiérosives* : elles sont installées suivant les courbes de niveau et plus particulièrement sur la zone en amont de la ravine ou du *lavaka* à traiter mais également pour fixer l'accumulation de sable en aval des ravines.
- *Fossé de protection cloisonné* : est un dispositif servant à réduire la vitesse de ruissellement de l'eau et de favoriser l'infiltration.
- *Fascines* : c'est un ouvrage construit à l'aide des piquets, des branches et de paille pour réduire la vitesse d'écoulement de l'eau dans les ravines. On distingue trois types de fascine : une fascine simple, une fascine double et une fascine double renforcée par une murette de pierre.
- *Empierrement* : L'objectif est de supprimer le développement de la ravine que ce soit en profondeur ainsi qu'en largeur.
- *Le gabion* : La chute d'eau provoque un creusement au fond du *lavaka*, ce qui entraîne un effondrement de la paroi justifiant la progression régressive.
- *Terrassement* : La paroi du *lavaka* est terrassée, toujours dans l'objectif de réduire les effets de la chute d'eau. Cette tête est aménagée en terrasse suivant les courbes de niveau et les déblais issus de ces travaux de terrassement sont compactés, tous les 10 cm puis fixés par un barrage en pieux.
- *Caisson et barrage en pieu* : Le caisson est un dispositif de protection et de renforcement des points très sensibles à l'érosion.

b. Végétalisation

La végétalisation comprend le reboisement et l'embroussaillage. Pour la lutte antiérosive, le mode de plantation le mieux adapté est :

- La plantation suivant les courbes de niveau et en quinconce ;
- Le mélange d'espèces et peuplement assez clairsemé entre les bandes pour laisser développer la couverture herbeuse ;
- La création des bandes d'arrêt par l'installation des espèces d'accompagnement ou des plantes d'embroussaillage en bande. Un peuplement fermé et à plusieurs strates est alors formé pour jouer le rôle d'une barrière biologique ;
- La création d'une demi-lune ou d'une cuvette par plante est aussi importante outre l'application du paillage pour stocker de l'eau. La demi-lune et la cuvette sont des ouvrages antiérosifs à vocation sylvicole et agricole. Elles favorisent l'infiltration de l'eau de ruissellement dans les sols dégradés.

4.6.2.2. LES TECHNIQUES AGROECOLOGIQUES

L'association des principaux acteurs en matière d'agroécologie au sein du Groupement Semis Direct Madagascar (GSDM) constitue une des réponses les plus crédibles pour garantir le développement durable de la production agricole du pays. Ces acteurs sont les principales metteurs d'œuvres de ces techniques. Parmi ces techniques on distingue :

- a. Les systèmes de semis directs sous couverture vive** (SDCV) sur colline, bas de pente et *baibo*, comprenant les techniques suivantes :
- Légumineuses volubiles en couverture vive ;
 - Maïs, légumineuses volubiles ;
 - Cultures sur des parcelles de *Brachiaria* spp. en culture pure. Deux espèces ont été diffusées en milieu paysan cette année : *Brachiaria ruziziensis* et *Brachiaria brizantha*.
- b. Les systèmes à base de paillage** (semis directs sous couverture morte) comprenant les techniques de :
- Riz pluvial sur couverture morte : Cet itinéraire est préférentiellement préconisé sur les bas de pente, les *tanety* dont les sols présentent un bon niveau de fertilité, les *baibo* et les rizières hautes. Quatre variétés ont été diffusées cette année : le B22, le 2366, le FOFIFA 154 (sur les parties basses, la variété tolérant l'hydromorphie) et la variété Espadon (d'origine SEBOTA, présentant un grain long et fin exceptionnel, valorisable à l'export).
 - Maïs, légumineuse érigée sur paillage ;
 - *Voanjobory* et arachide sur paillage ;
 - Maraîchage sur paillage.
- c. Les systèmes à base d'herbicides** comprenant les techniques de :
- Le riz sur labour avec herbicide de pré-levée ;
 - Légumineuses sur *Cynodon dactylon* desséchées au *round-up*.
- d. Le SDA « semis direct amélioré »** : Déjà très répandue en milieu paysan au Lac Alaotra, elle consiste à mettre en place des graines pré-germée sur boue. Les variétés utilisées sont le F154 sur les rizières hautes, les SEBOTA 41 et 65 sur les rizières de plaines et les vallées.
- e. Le SRI (système de riziculture intensive)** : Selon le groupement SRI, « la superficie concernée, déclarée inconnue en 2008, passe à 10 000 ha en 2009 puis à 106 000 ha en 2010, soit 9% de la surface totale des rizières estimée à 1 060 000 ha. En ce qui concerne le nombre de pratiquants, il est passé de 65 000 à 159 000 entre 2009 et 2010. Cette avancée timide s'explique par diverses raisons. Il s'agit dans un premier temps de la méconnaissance des principes de la technique par les principaux acteurs concernés à savoir les producteurs ».

Bibliographie

- Andriamaniraka, J.H. 2009. *Etude et modélisation de la biodisponibilité du phosphore dans les sols cultivés de Madagascar : effets des pratiques culturales*. Thèse de doctorat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Antananarivo.
- Andrianirina Ratsialonana, R. Ramarojohn, L., Burnod, P. & Teyssier, A. 2010. *Après Daewoo? Etat des lieux et perspectives des appropriations foncières à grande échelle à Madagascar*. Observatoire du Foncier Madagascar International Land Coalition. Antananarivo.

- Comby, J. 2011, Evaluation de la réforme foncière à Madagascar. Rapport final synthétique. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de la Décentralisation. Antananarivo.
- Jean Marie Douzet, J.M. 2012. Réduction par les SCV du ruissellement et de l'érosion sur les Hautes Terres de Madagascar. Document de travail n°31. Collection BVPI/SCRID/FOFIFA/TAFA. Antananarivo.
- Ministère de l'Agriculture. 2008. *Annuaire des statistiques Agricoles 2005 à 2008*. DSEC, Ministère de l'Agriculture. Antananarivo.
- Ministère de l'Elevage. 2011. *Document de référence de l'élevage, Madagascar*. DSV, Ministère de l'Elevage. Antananarivo.
- Ministère de l'Environnement, des Forêts et du Tourisme. 2007. Madagascar: Rapport sur l'Etat de l'Environnement. Antananarivo.
- Missions Economique de Tananarive. 2007. Le secteur minier : actualisation janvier 2007. Ambassade de France. Fiche de synthèse MINEFI/ DGTPE.
- Office National pour l'Environnement. 2008. Tableau de bord environnemental national. Ministère de l'Environnement des Forêts et du Tourisme. Antananarivo.
- Rabarimanana, M.H. 2002. Madagascar : Erosion des Hautes Terres Centrales.
- Rabary, B. 2011 *Impact du semis direct sur couverture végétale sur la microfaune et microflore des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar*. Thèse de doctorat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Antananarivo.
- Rabezandrina, R. 2000. *Manuel de pédologie malagasy*. Madagascar.
- Raharinaivo, S.2008. Les techniques de correction des ravines et de stabilisation des lavaka à Madagascar. PLAE. Antananarivo.
- Randriamboavonjy, J.C 1996. Etude des pédopaysages dans quatre zone-tests de Madagascar (côte Est, Hautes Terres Centrales, Moyen-Ouest et côte Ouest). Département des Eaux et Forêts, Madagascar.
- Razafimahatratra, H.M. 2010. *Sols malgaches et spectroscopie dans le moyen infra-rouge: classification, caractérisation et sensibilité au climat*. Thèse de doctorat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Antananarivo.
- Razanatseheno, M.O., Rakotondrazafy, A.F.M. & Cox, R. 2009. Investigating lavaka (gully) erosion in Madagascar: Lithologic controls.
- Salomon, J.-N. 2009. L'accrétion littorale sur la côte Ouest de Madagascar. *Physio-Géo* 3 : 14-19.