

DYNAMIQUE DE LA DÉFORESTATION ET AGRICULTURE PIONNIÈRE DANS LE SUD-OUEST DE MADAGASCAR : EXPLOITATION DIACHRONIQUE DE L'IMAGERIE SATELLITALE HAUTE RÉOLUTION

Florent LASRY

European Commission, DG JRC/IPSC/Mars Unit - TP 266, I- 21 020 Ispra (VA), Italy

Michel GROUZIS, Pierre MILLEVILLE

IRD, BP 434, Antananarivo 101, Madagascar

Samuel RAZANAKA

CNRE, BP 1739, Antananarivo 101, Madagascar

RÉSUMÉ

La dynamique de la déforestation de la forêt des Mikea (sud-ouest malgache) est étudiée à partir de l'analyse diachronique d'images satellites (1986, 1997, 1999 et 2001) associée à une étude de terrain et à une reconnaissance aérienne à basse altitude.

Près de 55 % de la forêt primaire a été défrichée entre 1971 et 2001 avec un rythme moyen de 12,5 km².an⁻¹. Ce rythme s'est considérablement accéléré au cours du temps. Entre 1999-2001 il a sextuplé par rapport à celle des années 1971/86. L'analyse au pas de temps court confirme la progression globale du front de défrichement d'est en ouest, précise les modalités de son extension et révèle le développement des reprises de friches par la culture de manioc au cours de la période 1997-2001. Ces évolutions sont mises en relation avec les dynamiques agraires de la région caractérisées notamment par la pratique de la culture du maïs sur abattis-brûlis.

La comparaison des résultats à ceux obtenus dans les forêts plus humides de l'est et du nord-ouest, permet de mettre en exergue d'une part les similarités (même système de culture sur abattis-brûlis, spectaculaire accélération de la vitesse de déforestation au cours de la dernière décennie, épuisement de l'espace cultivable), et d'autre part les spécificités de cette zone semi-aride du sud-ouest (caractère de culture de rente du maïs, mise en œuvre plus récente de la culture, et surtout très faible résilience des forêts). La dynamique post-culturale se caractérise donc par un processus de savanisation qui n'autorise pas la reproductibilité du système de culture dans sa forme actuelle.

MOTS CLÉS

Culture sur brûlis, déforestation, analyse diachronique, Forêt des Mikea, télédétection

Article soumis en novembre 2003, accepté définitivement en mars 2004.

INTRODUCTION

À Madagascar, les formations forestières couvrent actuellement 12 à 13 millions d'hectares soit un peu plus de 21 % du territoire. Elles sont notamment caractérisées par une répartition très inégale, une grande diversité en relation avec la variété des bioclimats (Cornet et Guillaumet, 1976) et un haut degré d'endémicité des différents groupes taxonomiques (Langrand et Wilmé, 1997).

Cependant, les forêts malgaches sont menacées en raison principalement de la culture sur abattis-brûlis. La déforestation qui atteindrait 100 à 300 000 ha.an⁻¹ est l'une des plus alarmantes du monde tropical. Sur le versant est du pays, les études plus fines réalisées par Green et Sussman (1990) et Sussman *et al.*, (1994) rapportent que la vitesse de déforestation entre 1950 et 1985 est de 110 000 ha.an⁻¹, ce qui conduirait dans les 2 à 3 prochaines décennies à une destruction totale de la forêt primaire orientale, si ce rythme se maintenait. Pour les zones du sud-ouest, Razanaka (1995) rapporte que le rythme de la déforestation y a triplé entre 1970 et 1980. C'est notamment le cas de la forêt des Mikea qui est soumise à une dégradation effrénée depuis les années 1970.

Ce travail a donc pour objectifs l'analyse de la dynamique de la déforestation de la forêt des Mikea à l'aide d'une étude diachronique réalisée sur des images à haute résolution (SPOT), et la caractérisation des spécificités de cette zone semi-aride par rapport à celles d'autres zones bioclimatiques de Madagascar où le phénomène est plus ancien.

ZONE D'ÉTUDE ET MILIEU

La région étudiée (**Planche 1, page 45**) se situe à une centaine de km au nord de Tuléar, à l'ouest du village d'Analabo (22°31'50''S ; 43°33'50''E).

Conditions édapho-climatiques

Les valeurs moyennes (1998 – 2000) des paramètres climatiques relevés à la station d'Ampasikibo (**Tableau 1**) permettent de distinguer une saison des pluies (novembre – mars) et une saison sèche (avril – octobre), au cours de laquelle les précipitations mensuelles sont inférieures à 50 mm.

La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée pendant la période 1998 à 2000 est de 1151 mm répartie en 131 jours de pluie. Cette valeur est plus élevée que celle correspondante à la moyenne estimée sur le long terme (832 mm entre 1956 – 2001). La variabilité inter-annuelle est élevée (coefficient de variation = 28,3 %). A titre d'exemple, la pluviométrie enregistrée en 2000 (1 500,2 mm) est 2,3 fois plus importante que celle observée en 1998 (665,6 mm).

La saison des pluies est caractérisée par de hautes températures, des vents forts, un rayonnement global élevé, une humidité relative de l'air importante et des pluies abondantes (97 % du total annuel en 98 jours de pluies, **Tableau 1**).

La saison sèche est caractérisée par des températures plus fraîches, des vitesses du vent de 2,05 m.s⁻¹ et un rayonnement global moins élevé. L'humidité relative de l'air reste élevée (63 %) en raison de phénomènes de rosée particulièrement importants.

Ces données caractérisent un climat tropical sec de type semi-aride avec un régime pluviométrique présentant un maximum unique de saison chaude.

Leprun (1998) a décrit dans la région deux grands types de sols. Les sols ferrugineux non lessivés, correspondent aux formations dunaires de l'Erg ancien (Post-Karimbolien I : Battistini, 1964). Le modelé est largement convexo-concave, aplani, d'orientation NE-SO. Les sols (sables roux

rouges) contiennent 10 à 15 % d'argiles. Les sols intergrades entre les sols ferrugineux non lessivés et les sols bruns sub-arides, correspondent aux formations dunaires de l'Erg récent (Karimbolien II : Battistini, 1964), en alignement ondulé, d'orientation NNE-SSO. Ces sols (sables roux foncés) renferment 5 à 10 % d'argiles.

Les formations végétales

Les formations végétales originelles, aux dépens desquelles s'établissent les cultures, correspondent à la série des forêts denses sèches à *Dalbergia*, *Commiphora* et *Hildegardia* définie par Humbert et Cours-Darne (1965). Le peuplement pluristratifié se compose d'une strate arborescente inférieure continue dense d'une dizaine de mètres de haut, dominée par une strate arborescente supérieure discontinue d'arbres pouvant atteindre 20 m. Le sous-bois arbustif est assez clair. La strate herbacée est inexistante. À proximité s'étendent des savanes, caractérisées par une strate graminéenne largement dominée par *Heteropogon contortus* et une strate ligneuse à *Poupartia caffra*, *Stereospermum variable*, *Tamarindus indica*...

Systèmes d'exploitation

Sur la bordure orientale de la forêt des Mikea, la culture du maïs sur abattis-brûlis constitue, depuis 25 ans environ, la cause quasi exclusive des défrichements forestiers. Ressource vivrière de base pour les populations locales, le maïs est devenu aussi une culture commerciale, dont la production est stimulée par les débouchés qui lui sont assurés dans l'Océan Indien (Ile de la Réunion) et par une demande nationale en forte progression. Le maïs constitue de ce fait le moteur d'une agriculture pionnière spéculative, qui s'éloigne singulièrement des modèles habituels de la culture sur abattis-brû-

Paramètres	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Moyenne ou totale annuelle
Température (°C)	20,1	21,3	23,1	25,1	26,7	26,8	26,4	26,4	26,5	23,7	21,6	19,9	24,1
Humidité relative (%)	61	60,3	58,8	59,1	62,4	69	75,9	78,6	74,2	68	69,3	65,8	67,2
Rayonnement (global W,m ²)	4 608	5 245	6 201	7 265	6 976	6 918	6 276	6 097	6 584	5 779	4 636	4 349	5 883
Vitesse vent (m.s ⁻¹)	1,93	2,07	2,50	3,03	2,73	2,5	2,07	1,73	1,37	1,53	1,73	1,53	2,2
Pluviométrie (mm)	1,3	1,4	8,1	3,9	69,6	214,7	406,7	312,9	108,6	7,3	8,9	7,9	1 151,3
Nb jours de pluies	4	4	3	1	9	20	28	22	19	4	7	10	131

Tableau 1. Moyennes mensuelles des paramètres climatiques à la station climatologique d'Ampasikibo (S 22°31'28" – E 43°38'12") (1998 – 2000).

Source : Grouzis et Rakotondramana (1999, 2000).

lis, fondés sur l'autosubsistance. Son impact sur l'environnement s'en trouve bien entendu exacerbé.

Dans ce milieu semi-aride, le système de culture sur abattis-brûlis (*hatsaky*¹) repose sur des principes techniques assez proches de ceux mis en œuvre sur le versant oriental pluvieux de Madagascar (*tavy*) (Milleville et Blanc-Pamard, 2001). Le brûlis de la biomasse ligneuse suit de peu le défrichement, et laisse à la surface du sol une quantité de cendres très importante. Durant les deux premières années, la parcelle est quasiment dépourvue d'adventices herbacées, et l'agriculteur se contente de couper les repousses ligneuses les plus gênantes. À partir de la troisième campagne, l'enherbement devient une contrainte réelle, qui s'amplifie d'année en année. Les agriculteurs tentent de le contrôler, soit en pratiquant le sarclage, soit, plus généralement, en brûlant les pailles d'adventices avec les chaumes de maïs en fin de saison sèche. Cette agriculture repose sur des techniques manuelles, et sur l'absence de tout apport d'engrais minéraux et de fumure animale. Durant les trois premières années, les rendements en grain sont de l'ordre de 1 500 kgMS.ha⁻¹ en bonnes conditions pluviométriques. Ils décroissent ensuite rapidement, sous les effets conjugués de la concurrence croissante des adventices et de la dégradation des paramètres édaphiques (Milleville et al., 2000). Après 5 à 8 ans (parfois plus) de culture ininterrompue la parcelle est abandonnée au profit de nouveaux espaces défrichés. Les friches qui résultent de l'abandon cultural sont exploitées à d'autres titres, en particulier par l'élevage, et font depuis peu de temps l'objet de tentatives de remise en culture.

MÉTHODES ET OUTILS

Cette étude a porté sur l'ensemble du front pionnier actif de la forêt des Mikea, soit une distance nord-sud d'une quarantaine de kilomètres. La zone de référence (751 km²) est définie à l'est par la limite forestière avant défrichement déduite de la carte topographique du FTM² (E 43°37'), à l'ouest par la limite de la forêt considérée comme exploitable pour l'agriculture (E 43°23'). Les limites nord et sud correspondent à la totalité du front de défrichement actif (S 22°41' et S 22°19').

La méthodologie utilisée a nécessité deux traitements successifs, d'une part la cartographie des différents types de faciès de végétation et, d'autre part la quantification des surfaces et des vitesses de déforestation, par des études multidates réalisées sur des pas de temps longs (15 ans) et courts (2 ans).

Données

Les images utilisées ont été des SPOT HRV Xs (KJ 163-395), multidates (image de 2001 en programmation et les autres en archive), toutes acquises en fin de saison des pluies (mi-mars, pour l'optimum de végétation).

Les données de terrain correspondent aux observations réalisées sur les segments d'enquête, (principalement types de végétation, couleur et type de sol, recouvrement (sol nu, strates herbacée et ligneuse) et degré d'artificialisation, couplées à des relevés GPS.

Parallèlement, une mission de photographies aériennes de haute définition a été conduite (clichés pris d'un paramoteur avec un appareil photo numérique de 4 mégapixels, couverture au sol entre 0,25 et 0,5 km²). Chaque image dispose d'un point GPS en vol et de quatre points de repères au sol.

Identification des faciès

Dès réception de l'image en programmation, et après corrections radiométriques (transcodage isopopulation), et géométriques (grâce à des relevés GPS préalables), une trichromie substituant le canal panchromatique au canal XS2 (très faible dynamique) a été effectuée, pour permettre la stratification (4 strates) et le choix des segments d'enquêtes (six segments par strate en moyenne).

L'édition des documents de terrain (imassettes au 1/15 000^e, carroyage WGS84 de 250 mètres, fiches végétation et culture), puis la phase d'enquête ont suivi, en respectant un délai de moins de 15 jours entre prise de vue et réalité-terrain.

Les observations obtenues, après croisement avec les images aériennes numériques, ont finalement été intégrées par numérisation des parcelles d'apprentissage et classification supervisée (méthode du maximum de vraisemblance), pour l'obtention d'une cartographie précise de l'occupation du sol et de la limite forestière pour l'année 2001.

Analyses diachroniques

Ces résultats ont servi de base au traitement des scènes de 1986, 1997 et 1999 (mêmes parcelles d'apprentissage sur les strates n'ayant subi qu'une faible évolution, et mise en parallèle des valeurs de réflectance pour les autres zones), qui ont ensuite été exportées pour être calées sous SIG (projection Laborde Madagascar). La numérisation des limites

1 Le terme hatsaky désigne à la fois le système de culture et la parcelle cultivée

2 Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara (IGN de Madagascar)

a alors été effectuée (échelle de numérisation de 1/5 000^e) pour chaque image classée, et les valeurs des surfaces défrichées ont été déduites pour le pas de temps court de 2 ans (images de 1997, 1999 et 2001) et pour le pas de temps long de 15 ans (images de 1986 et 2001) ; la limite de 1971 correspondant à celle de la carte topographique de 1951, puisqu'on sait que le phénomène de déforestation n'a réellement débuté que tardivement dans cette zone (carte de végétation de Humbert et Cours-Darne (1965) et images Landsat de 1974).

Pour ce qui est des modes de déforestation, une analyse détaillée des images de 1997 à 2001 a été nécessaire, en s'appuyant sur les photographies aériennes numériques et sur des travaux de terrain ciblés.

RÉSULTATS

Évaluation de la déforestation

L'évolution du front de défrichement entre 1971 et 2001 est représentée sur la **planche 2, page 46**. Les surfaces défrichées et les vitesses de déforestation pour les différentes périodes prises en considération sont consignées dans le **tableau 2**.

Il apparaît tout d'abord un front de défrichement globalement orienté d'est en ouest. L'examen du tableau 2 montre que près de 55 % de la forêt primaire a été défrichée entre 1971 et 2001 avec un rythme moyen de 12.5 km².an. Ce rythme s'est considérablement accéléré au cours du temps, puisque estimé à 0,56 km².an⁻¹ avant 1970 (Razanaka, 1995) il est passé à 5,9 km².an⁻¹ entre 1971 et 1986, puis à près de 20 km².an⁻¹ entre 1986 et 2001.

Sur le pas de temps court, la vitesse de déforestation de 1997 à 1999 égale celle des quinze dernières années (20 km².an⁻¹), mais elle s'est fortement accélérée entre 1999-2001 pour atteindre

35 km².an⁻¹. Elle a donc sextuplé par rapport à celle des années 1971/86. Si l'on retient le taux de déforestation de la période 1986/2001, la forêt des Mikea sera donc entièrement détruite dans deux décennies et, dans dix ans seulement si l'on considère celui des deux dernières années

Modalités de la déforestation

La **planche 3, page 47** représente la dynamique biennale de l'occupation des sols centrée sur le front pionnier d'*Anjabetronga*. Ces scènes permettent d'une part de reconnaître la diversité des types et des faciès de végétation et d'autre part de préciser les modalités de l'extension des défrichements.

Les types de végétation

Les systèmes forestiers (F1 et F2, scène 1999), bien qu'ayant une composition floristique voisine (**Tableau 3**, coefficient de similitude de Sørensen = 85 %) diffèrent par leur structure. Les forêts de type F1 sont dominées par des ligneux hauts à couvert dense (recouvrement global, Rg = 90 %). La proportion de sol nu est faible (2 %) à cause d'une épaisse couche de litière au sol. Elles colonisent les sols les plus aptes à la culture, constitués de sables roux foncés contenant 10 à 15 % d'argiles. Les forêts de type F2 sont largement dominées par des ligneux bas (6 à 8 m) parsemés de quelques émergents (10-12 m). Le Rg est plus faible (70 %). Le sol nu est peu visible à cause de la litière, sauf dans certains faciès plus ou moins dégradés. Le sol nu y représente alors 5 à 10 % du sol. Dans les zones forestières plus ouvertes une strate graminéenne (*Brachiaria reptans*) couvre le sol par plaques. Ces forêts correspondent aux sables roux clairs de l'erg récent (5 à 10 % d'argiles). Ces sols sont moins compacts et plus perméables.

Les *hatsaky* récents (H1, scène 1999, **planche 3, page 47** représentent les cultures sur abattis-brûlis de durée inférieure ou égale à 3 ans. Le recouvrement du sol atteint 30 %. La densité des arbres

Année	Surface forestière (km ²)	Période de défrichement	Surface défrichée (km ²)	%	Vitesse annuelle de défrichement (km ²)
1971	752,7				
	Pas de 15 ans	1971-1986	88,07	11,7	5,87
1986	664,6				
		1986-2001	289,5	43,6	19,3
1997	486,3				
	Pas de 2 ans	1997-1999	41,39	8,5	20,69
1999	444,9				
		1999-2001	69,72	15,7	34,86
2001	375,2				

Tableau 2. Surfaces forestières, surfaces défrichées et vitesse annuelle de déforestation au cours des différentes périodes retenues.

Espèces dominantes de F1	(%)
<i>Gyrocarpus americanus</i> Jacq.	6,8
<i>Croton elaeagni</i> Baillon	6,4
<i>Diospyros manampetsae</i> H.Perr.	6,4
<i>Baudouinia fluggeiformis</i> Baillon	6,1
<i>Euphorbia laro</i> Drake	4,7
<i>Pemphis madagascariensis</i> (Baker) H.Perrier	4,6
<i>Alchornea humbertii</i> Leandri	3,8
<i>Noronhia seyrigii</i> H.Perr.	2,9
<i>Alchornea alnifolia</i> (Baill.) Pax et Hoffman	2,6
<i>Commiphora grandifolia</i> Engler.	2,3
Espèces dominantes de F2	(%)
<i>Diospyros humbertii</i> H. Perrier	8,3
<i>Croton elaeagni</i> Baillon	6,7
<i>Alchornea humbertii</i> Leandri	5,5
<i>Baudouinia fluggeiformis</i> Baillon	5,1
<i>Euphorbia laro</i> Drake	4,5
<i>Gelonium boivinianum</i> Mull.	3,8
<i>Calodectarya</i> sp.	3,7
<i>Pemphis madagascariensis</i> (Baker) H. Perrier	3,6
<i>Securinega perrieri</i> J. Leandri	3,4
<i>Dichrostachys</i> sp	2,6

Tableau 3. Fréquence des principales espèces de la forêt sur sables foncés (F1) et sables roux clairs (F2)

morts plus ou moins calcinés sur pied est forte alors que celle des arbres vivants est faible. Le recouvrement du maïs est élevé. Le recouvrement des adventices varie entre 10 et 20 % pour des phytomasses épiquées maximum de 100 kg.ha⁻¹. Dans les *hatsaky* anciens (H2) le sol nu est peu apparent. Les densités des arbres morts et vivants sont faibles à nulle. Il en est de même de la densité du maïs. Par contre le recouvrement de la strate herbacée atteint 60 à 80 % ce qui représente des phytomasses de 2 000 kg.ha⁻¹, voire plus en cas d'année favorable (Grouzis et Razanaka, 2001).

Sur la scène 2001 de la **planche 3, page 47** apparaissent nettement les zones d'abandons cultureux. Quel que soit le critère prise en considération (indicateurs biotiques ou édaphiques) les abandons récents (A1 < 10 ans) se distinguent aisément des abandons anciens (A2 > 10 ans) (Grouzis *et al.*, 2001). Les abandons récents se présentent comme des formations à ligneux bas, buissonnants, à stratification horizontale régulière. La richesse floristique et la densité des ligneux sont plus élevées que dans les abandons anciens. Par contre la phytomasse sur pied au maximum de végétation est largement plus élevée dans les abandons anciens (30 000 kg. ha⁻¹ contre 14 100 kg. ha⁻¹). Cette différence est imputable à la végétation ligneuse, plus haute, répartie en agrégats et donnant au paysage

un aspect discontinu bi stratifié. Pour ce qui concerne les caractéristiques du sol, les abandons anciens ont une perméabilité de surface plus faible en raison notamment de son induration par le passage récurrent des feux.

Dynamiques spatiales de déforestation

Sur le plan des dynamiques spatiales de déforestation et de mise en valeur agricole, on relèvera notamment sur la **planche 3, page 47** que :

- le front de défrichement ne progresse pas de façon linéaire : des agriculteurs anticipent ainsi sur cette avancée, en ouvrant des champs à l'intérieur de l'espace forestier, afin d'être les premiers à s'attribuer des lots de terre de grande taille qui ne pourront ultérieurement leur être contestés ; ces îlots se trouvent par la suite inclus dans la zone uniformément cultivée ;
- les défrichements épousent très finement les limites des deux types de forêt, en évitant soigneusement la forêt basse, dont les sols sont jugés d'une aptitude culturale médiocre ; il apparaît néanmoins que ces espaces forestiers de « deuxième choix » sont progressivement défrichés par la suite, à mesure que progresse le front de défrichement et que toute la forêt haute s'amenuise, voire disparaît ;
- la quasi totalité de ce qui était cultivé en 1997 ne l'est plus en 2001 et a fait place à des abandons cultureux qui se différencient nettement sur la scène 2001. On y distingue des parcelles de manioc ouvertes dans les abandons anciens. La mise en culture des abandons concerne des surfaces encore limitées, mais traduit la nécessité ressentie par les agriculteurs, face à la disparition rapide des espaces forestiers « utiles », de mettre en place des systèmes de culture d'un autre type que le *hatsaky*, faisant appel au travail du sol pour lutter contre les adventices. En effet, la pression croissante de l'enherbement, liée à l'allongement de la phase culturale, requiert des techniques de contrôle plus efficaces que la simple mise à feu en fin de saison sèche, et susceptibles de réduire le travail de sarclage au cours du cycle culturel. Le travail du sol avant semis ou plantation, qui permet de limiter l'infestation ultérieure des adventices, est de ce fait perçu comme une nécessité par les agriculteurs, dès lors qu'ils envisagent de procéder à la mise en culture des abandons. Cette préparation du sol peut être réalisée manuellement à l'aide de l'angady (~ bêche), en particulier lorsqu'il s'agit d'implanter des boutures de manioc. Elle fait appel de plus en plus fréquemment à la charrue attelée, utilisée depuis longtemps déjà pour le labour des terres de *baiboho* (terres lourdes).

- l'emprise spatiale des cultures a considérablement augmenté au cours de ces quatre années, traduisant la densification de l'occupation humaine sur les fronts pionniers .

DISCUSSION - CONCLUSION

Les spécificités du sud-ouest

La comparaison de ces résultats à ceux réalisés dans d'autres zones bioclimatiques de Madagascar (Falaise de l'est : Brand et Zurbrechen, 1997 ; Brand, 1999 ; Rasolofoharino *et al.*, 1997 et Massif de *Manongarivo* au N-W : Gautier *et al.*, 1999) laisse apparaître quelques similarités et des différences.

Parmi les similarités relevons les trois points suivants : même système de culture sur abattis-brûlis, spectaculaire accélération de la vitesse de déforestation au cours de la dernière décennie par rapport aux périodes antérieures, épuisement de l'espace cultivable.

Les profondes divergences se situent au niveau :

- du statut de culture d'autosubsistance du riz à l'est et au nord-ouest par rapport au caractère de culture commerciale du maïs dans le sud-ouest ;
- de l'ancienneté du *tavy* à l'est (60 à 250 ans selon les terroirs) et au nord-ouest (50 ans) qui s'oppose au caractère récent de sa mise en œuvre dans le sud-ouest (20 à 30 ans) ; en conséquence la déforestation ne s'adresse qu'à la forêt primaire dans le sud-ouest alors qu'elle concerne les forêts primaires et surtout secondaires dans les deux autres zones. Cette caractéristique est d'ailleurs à mettre en relation avec la pratique de la jachère [culture (2 ans) / jachères (5 à 10 ans)] dans les zones humides par opposition à la zone sub-aride du sud-ouest ;
- ces systèmes de culture s'exercent dans des milieux écologiquement contrastés : climat sub-aride caractérisé par la faiblesse et la forte variabilité des précipitations (800 mm/an ; CV # 30 %) et la longueur de la saison sèche (7 à 8 mois) dans le sud-ouest ; climat hyper-humide avec des précipitations annuelles atteignant 2 000 à 3 500 mm, période de déficit limitée à 1 - 2 mois dans les deux autres zones ;
- la plus grosse différence réside enfin dans la forte résilience des systèmes forestiers de l'est et du nord-ouest : jeune forêt secondaire après 8 à 10 ans d'abandon, forêt secondaire mûre de 10 à 15 m de hauteur après 22 ans (Rasolofoharino

et al., 1997 ; Gautier *et al.*, 1999). À cela s'oppose très nettement la très faible résilience des forêts du sud-ouest. En effet quel que soit l'indicateur d'état pris en considération, Grouzis *et al.*, (2001) ont montré que l'évolution de la végétation et du milieu après abandon conduit à une formation mixte ligneux-herbacée, ouverte à caractère savanicole. La dynamique post-culturelle se caractérise donc par un processus de savanisation conséquence de l'intensité et de la durée de la perturbation (phase culturelle) et des conditions climatiques et édaphiques plus drastiques.

La non reproductibilité du système de culture

Cette dynamique de savanisation qui affecte la phase post-culturelle a pour conséquence que les friches, même anciennes, ne peuvent être remises en culture à l'aide du même système de culture, puisqu'il faut alors impérativement contrôler l'enherbement. La culture de *hatsaky* ne peut dès lors se reproduire sur le même schéma technique aux dépens des formations végétales secondaires, comme c'est le cas général pour le *tavy*. Elle ne peut constituer que la phase pionnière d'exploitation agricole de la forêt primaire, et doit laisser la place à d'autres systèmes de culture afin de pérenniser ultérieurement la mise en valeur agricole. Ces derniers ne font actuellement l'objet que de tentatives limitées et encore mal maîtrisées. On comprend donc que le *hatsaky* soit resté jusqu'à présent aussi dévoreur d'espace forestier. Le changement de statut économique du maïs ne peut bien entendu qu'accentuer cette tendance.

Plusieurs facteurs interfèrent, qui concourent à l'accélération de la déforestation : saturation progressive des terres d'origine alluviale situées à l'est, faibles exigences en travail à l'unité de surface, émergence d'une catégorie de gros producteurs ayant systématiquement recours au salariat, objectif d'acquiescer un revenu monétaire élevé ainsi que d'assurer pour l'avenir son emprise sur un vaste domaine foncier, relâchement des dispositifs de contrôle étatique sur les défrichements, perception d'une limitation prochaine de l'espace forestier apte à la mise en culture.

S'il est possible, grâce à l'imagerie satellitale, de reconstituer au cours du temps, à l'échelle de la forêt des Mikea, la progression vers l'ouest d'un front de défrichement, on notera qu'à l'échelle locale cette dynamique apparaît beaucoup plus fractionnée, car relevant de stratégies individuelles et collectives particulières ainsi que d'une adaptation fine des acteurs aux conditions (atouts et contraintes) du milieu forestier.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme « Gestion des Espaces ruraux et environnement à Madagascar », conjointement mené par l'UR « Transitions agraires et dynamiques écologiques » de l'IRD et le Centre National de Recherche sur l'Environnement (CNRE). Il a bénéficié de facilités accordées par le CNES à travers son programme d'incitation à l'utilisation scientifique des images SPOT (ISIS).

BIBLIOGRAPHIE

- BATTISTINI R., 1964 - *L'extrême Sud de Madagascar*. Thèse de doctorat, Cujas Ed., 2 tomes, 636p.
- BRAND J. et ZURBRECHEN J., 1997 - La déforestation et le changement du couvert végétal. *Cahiers Terre-Tany*, 6, 59-67.
- BRAND J., 1999 - La dégradation des ressources naturelles sous culture sur brûlis : étude de cas de la région de Beforona, falaise Est de Madagascar, In *African Mountain Development in a changing world*, edited by H. Hurni and J. Ramamonjisoa, African Mountains Associations, 141-158.
- CORNET A. et GUILLAUMET J.L., 1976 - Divisions floristiques et étages de végétation à Madagascar. *Cahier ORSTOM, série Biologie*, 9, 35-42.
- GAUTIER L., CHATELAIN C., SPICHIGER R., 1999 - Déforestation, altitude, pente et aires protégées : une analyse diachronique des défrichements sur le pourtour de la réserve spéciale de Manongarivo (NW de Madagascar). In *African Mountain Development in a changing world*, edited by H. Hurni and J. Ramamonjisoa, African Mountains Associations, 255-279.
- GREEN G.M. and SUSSMAN W.S., 1990 - Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellite images. *Sciences*, 248, 212-215.
- GROUZIS M. et RAKOTONDRAMANANA M., 1999 - *Station Ampasikibo : données météorologiques n°2 (mai 1998-avril 1999)*. Programme GEREM, CNRE/IRD, Antananarivo, 15p.
- GROUZIS M. et RAKOTONDRAMANANA M., 2000 - *Station Ampasikibo : données météorologiques n°3 (mai 1999-avril 2000)*. Programme GEREM, CNRE/IRD, Antananarivo, 15p.
- GROUZIS M. et RAZANAKA S., 2001- Aspects qualitatifs et quantitatifs de l'évolution des adventices en fonction de la durée de la mise en culture dans les systèmes de culture sur abattis-brûlis d'Analabo, In *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-ouest de Madagascar*, édité par S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo et C. Aubry, Actes de l'Atelier CNRE/IRD, 8-10 novembre 1999, Antananarivo, 269-279.
- GROUZIS M., RAZANAKA S., LE FLOC'H E., LEPRUN, J-C., 2001- Evolution de la végétation et de quelques paramètres édaphiques au cours de la phase post-culturelle dans la région d'Analabo, In *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-ouest de Madagascar*, édité par S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo et C. Aubry, Actes de l'Atelier CNRE/IRD, 8-10 novembre 1999, Antananarivo, 327-337.
- HUMBERT H. et COURSDARNE G., 1965 - Notice de la carte de Madagascar. *Travaux sect. Sci. Et Techn., Institut Français de Pondichery*, h.s., 6, 46-78.
- LANGRAND O. and WILMÉ L., 1997 - Effects of forests fragmentation on extinction patterns of the endemic avifauna on the central high plateau of Madagascar, In *Natural change and human impact in Madagascar*, edited by S. M. Goodman and B. Patterson, Smithsonian Institution Press, Washington, 280-305.
- LEPRUN J-C., 1998- *Compte rendu de mission à Madagascar (projet GEREM 30/04 - 16/05/1998)*. ORSTOM/CNRE, Antananarivo, multigr., 11p.
- MILLEVILLE P. et BLANC-PAMARD C., 2001 - La culture pionnière de maïs sur abattis-brûlis (*hatsaky*) dans le sud-ouest de Madagascar. I. Conduite du système de culture, In *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-ouest de Madagascar*, édité par S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo et C. Aubry, Actes de l'Atelier CNRE/IRD, 8-10 novembre 1999, Antananarivo, 243-254.
- MILLEVILLE P., GROUZIS M., RAZANAKA S., RAZAFINDRANDIMBY J., 2000 - Systèmes de culture sur abattis-brûlis et déterminisme de l'abandon cultural dans une zone semi-aride du sud-ouest de Madagascar. In *La jachère en Afrique Tropicale. Rôles, aménagement, alternatives*, édité par Ch. Floret et Pontonnier R. (eds.), vol. 1. Actes du Séminaire International, Dakar (Sénégal), 13-16 avril 1999, John Libbey Eurotext, 59-72.
- RASOLOFOHARINORO M., BELLAN M.F., BLASCO F., 1997 - La reconstitution végétale après l'agriculture itinérante à Andasibe-Périnet (Madagascar), *Ecologie*, 28(2), 149-165.
- RAZANAKA S., 1995 - *Délimitation des zones de contact des aires semi-aride et sub-aride de la*

végétation du sud-ouest de Madagascar. Thèse de Doctorat, Département de Biologie et d'Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 266p.

SUSSMAN R.W., GREEN G.M., SUSSMAN L.K., 1994 - Satellite imagery, human ecology, anthropology and deforestation in Madagascar. *Human Ecology*, 22(3), 333-354.

BULLETIN D'ABONNEMENT

Photo Interprétation

Retourner à :

Éditions ESKA, 12, rue du Quatre Septembre, 75002 PARIS - FRANCE

Tél. 01 42 86 55 73 - FAX 01 42 60 45 35 - site web : <http://www.eska.fr>

OFFRE PROMOTIONNELLE VALABLE JUSQU'AU 30 SEPTEMBRE 2004
(réservée aux enseignants du secondaire et du supérieur
ainsi qu'aux anciens abonnés)

OUI, je désire souscrire un abonnement promotionnel à la revue PHOTO-INTERPRÉTATION
(1 an - 4 numéros)
(Frais de port par avion en sus)

Pour l'année 2004 FRANCE institutions 140 € au lieu de 281 € - individuel 225 €
 ÉTRANGER institutions 182 € au lieu de 323 € - individuel 269 €

Ci-joint mon règlement

Nom :

Société :

Adresse :

Ville : Code postal : État : Pays :

Prix de vente au numéro	Année 1993 : .. 44,21 €	Année 1989 : . 28,20 €
	Année 91-92 : . 38,11 €	Année 1988 : . 26,68 €
	Année 1990 : .. 28,97 €	Année 1987 : . 25,15 €

DEFORESTATION DYNAMICS AND PIONEER SLASH-AND-BURN CULTIVATION IN SOUTHWESTERN MADAGASCAR : DIACHRONIC EVALUATION FROM HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Florent LASRY

European Commission, DG JRC/IPSC/Mars Unit - TP 266, I- 21 020 Ispra (VA), Italy

Michel GROUZIS, Pierre MILLEVILLE

IRD, BP. 434, Antananarivo 101, Madagascar

Samuel RAZANAKA

CNRE, BP 1739, Antananarivo 101, Madagascar

KEYWORDS

Slash and burn cultivation, deforestation, diachronic analysis, Mikea forest, remote sensing

SUMMARY

INTRODUCTION

In Madagascar, the forests are threatened mainly because of slash-and-burn cultivation: the deforestation at a rate of 100,000 - 300,000 ha.yr⁻¹ is one of the most alarming in the tropical world. On the eastern side of the country, deforestation is well-known with the studies carried out by Green and Sussman (1990) and Sussman *et al.*, (1994), but until now there has been little investigation in the South-West of the country.

Consequently, this work aims to determine deforestation dynamics in the Mikea forest (**plate 1, page 45**) and to highlight the specific features of this semi-arid area compared with those in other bioclimatic regions of Madagascar (**Table 1**).

METHODS

The study relates to the diachronic analysis of satellite images (1986, 1997, 1999 archives and 2001 programming, KJ 163-395), a field study and low-altitude air charting. These satellite images

correspond to the optimum standing crop (around March 15) in order to better differentiate the vegetation units in the reference zone extending over 751 km². The methodology comprises of two stages:

- Identification and interpretation of various vegetation facies (forests, clearing and crops, abandoned fields, savanna) from a SPOT Xi image (15/03/2001) classified after stratification and segmentation and ground-truth mapping which integrates GPS co-ordinates, soil colour, bare land coverage, vegetation type and stratification, plus high digital images taken at the same period at low altitude from a paramoteur.
- Diachronic analyses at 15-year intervals (1971, 1986, 2001) and two-year intervals (1997, 1999, 2001), achieved after integrating the inputs from other archive SPOT scenes at similar dates and downloaded into a GIS for computation (areas, clearing speed).

RESULTS

The global progression of the clearing which is extending from the East to the West is shown in **plate 2, page 46**.

About 55 % of the primary forest was cleared between 1971 to 2001 with an average rate of 12.5 km².yr⁻¹ (**Table 2**). This rate has substantially increased over time, since it has risen from

5.9 km².yr⁻¹ between 1971 and 1986 to about 20 km².yr⁻¹ between 1986 and 2001. From 1997 to 1999 deforestation rate equalled that of the past fifteen years (20 km².yr⁻¹), but it has increased six-fold compared with the 1971/1986 rate (**Table 2**).

The results of the diachronic short-interval analysis in front of *Anjabetronga* were mapped in **plate 3, page 47**. Different types of land use could be observed:

- F1 and F2 (**plate 3, page 47, 1999 scene**) correspond to close canopy dry forest developed respectively on dark and light red sands;
- H1 and H2 (**plate 3, page 47, 1999 scene**) represent young (<3 years) and old (> 3 years) maize slash and burn cropping;
- A1 and A2 (**plate 3, page 47, 2001 scene**) correspond to recent (<10 years) and old abandoned fields.

Short-interval analysis (**Figure 3**) corroborates the global east-west progression of the clearing front, pinpoints its extension modes (non-linearity of the deforestation, juxtaposition of the clearing with the area of F1 and F2 dry forests) and reveals the development of cassava crop (**RC, Figure 3, 2001 scene**) on abandoned fields over the 1997-2001 period.

These evolutions are correlated with the agrarian dynamics in the region. Maize, partly a cash crop, partly a space consumer, has taken up a primary place through the slash-and-burn system. After 3 years' development, the yields rapidly drop; under the joint effect of competition from weeds and the degradation of soil parameters, cultivation areas are abandoned 5 to 8 years after the first cultivation. The rush for land intensifies as forest areas suitable for cultivation grow scarcer. Several factors work to accelerate deforestation. For a number of years, farmers have locally been attempting to re-cultivate previously fallow lands, but such attempts are still rare and poorly controlled.

Comparison of our results with those achieved in the eastern rain forests and high-altitude north-

western forests highlights the characteristics of this semi-arid area.

Different similarities such as the same slash and burn cultivation system, accelerating deforestation during the last decade compared with previous periods and regression of arable lands can be retained. The typical feature of the semi-arid area is the low level of resilience of the dry forest: vegetation succession over 30 years of fallow does not lead to closed-canopy forest but rather to tree savannah with open mixed woody-herbaceous vegetation, and consequently the non-sustainability of the current system.

BIBLIOGRAPHY

See French text

LIST OF PLATES AND TABLES

Plate 1: Location of the study area

Plate 2: Deforestation between 1971-2001

Plate 3: Changes in land use between 1997-2001 on the Anjabetronga deforestation front.

F1, F2: dark red and light red sands dry forests; H1: young slash-and-burn system cropping <3 years (hatsaky); H2: old slash-and-burn system cropping >3 years (hatsaky); A1: recent abandoned field (< 10 years); A2: old abandoned field; Db: Basaltic dome; C: clearing; RC: Mannihot crops

Table 1: Monthly means of weather data from the Ampasikibo weather station (22°31'28"S - 43°38'12"E) (1998-2000). From Grouzis & Rakotondramanana (1999, 2000).

Table 2: Forest areas, cleared areas and annual rate of deforestation during the different studied periods.

Table 3: Floristic composition of the forests FI and FII.

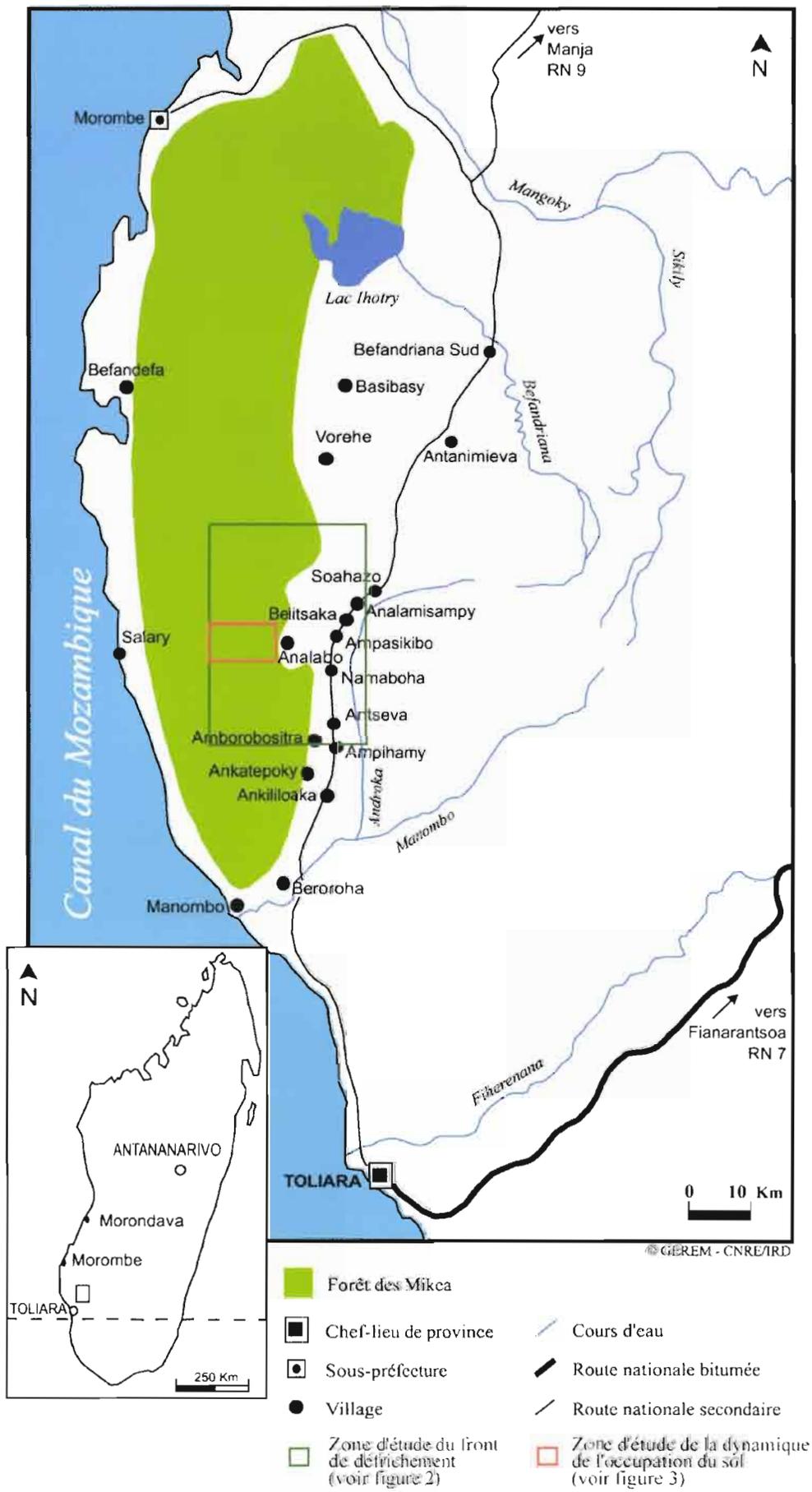


Planche 1 : Localisation de la région d'étude
 Plate 1 : Location of the study area

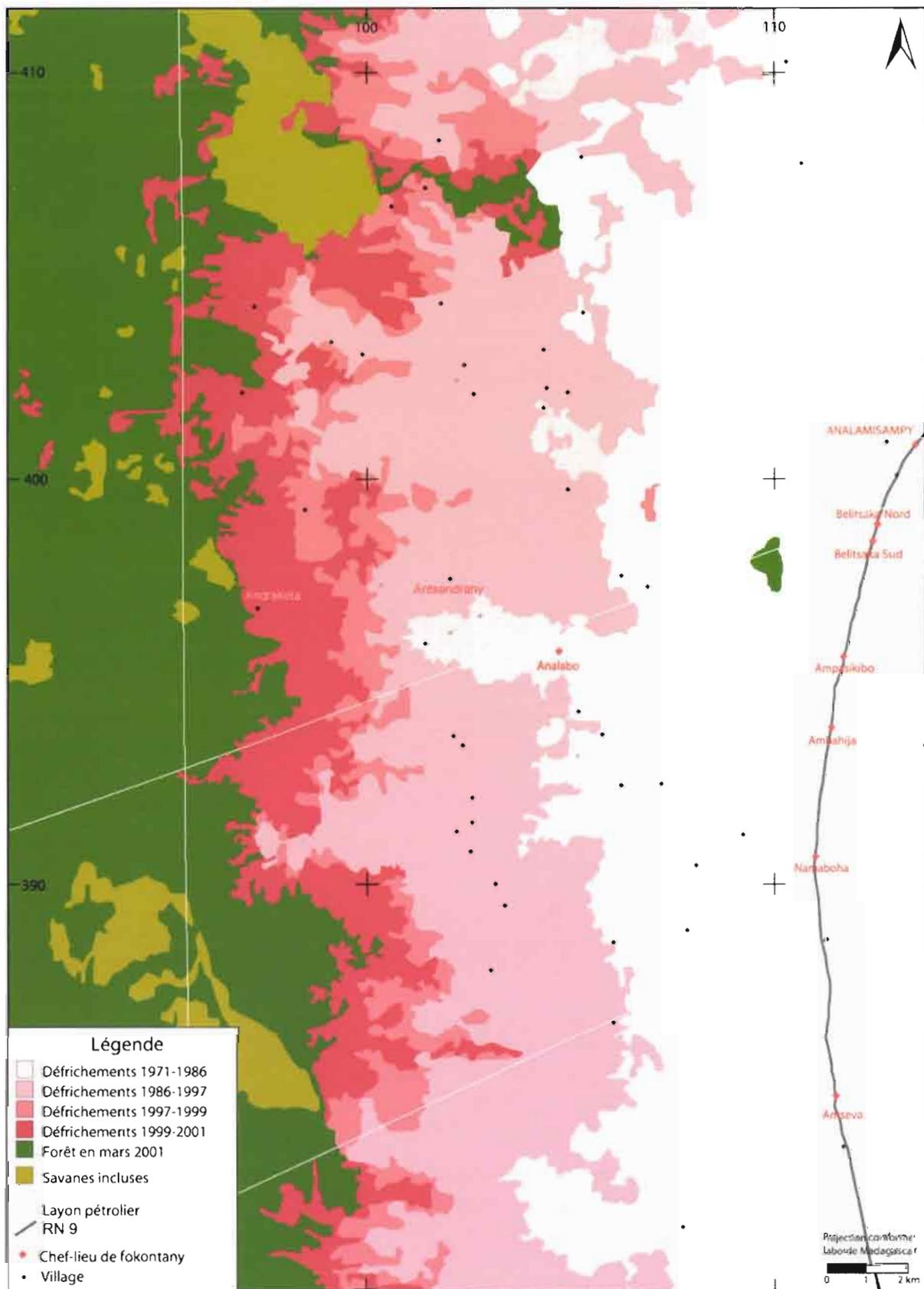
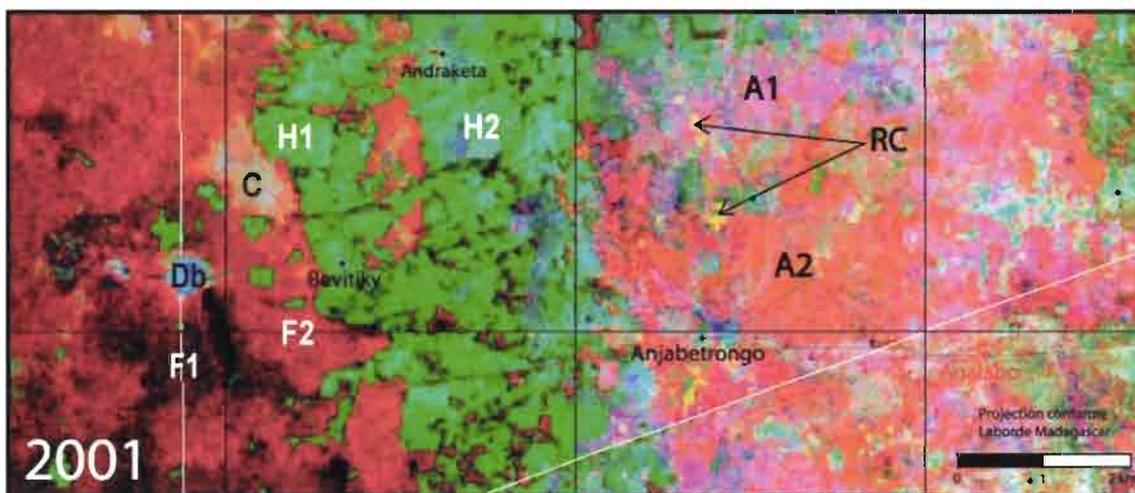
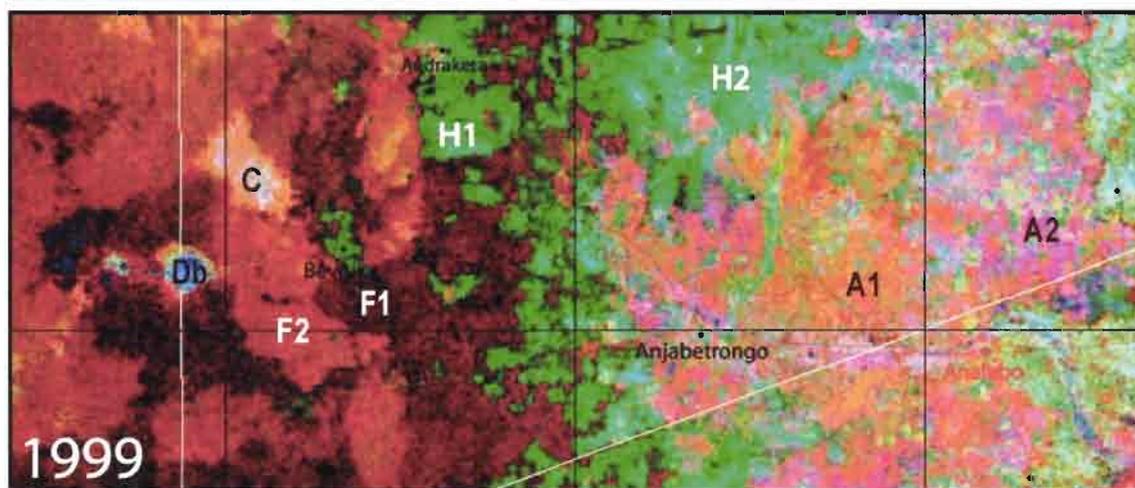
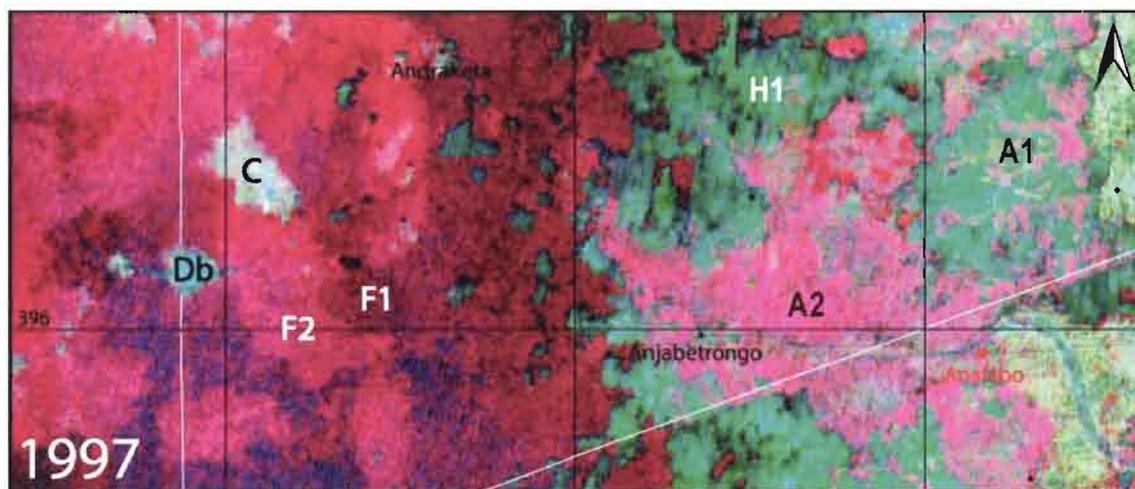


Planche 2 : Évolution de la déforestation entre 1971 et 2001.
Plate 2: Deforestation between 1971-2001



F1 : forêt de l'Erg I F2 : forêt de l'Erg II Db : Dôme basaltique
 H1 : hatsaky < 3 ans H2 : hatsaky > 3 ans C : Clairière
 A1 : abandons ≤ 10 ans A2 : abandons > 10 ans RC : reprises en culture de manioc

Planche 3 : Dynamique de l'occupation des sols sur le front pionnier d'Anjabetrongo.

F1 : forêt dense sèche caducifoliée, dominée par des ligneux hauts à convert dense, sur sables roux foncé de l'Erg ancien. F2 : forêt dense sèche caducifoliée, dominée par des ligneux bas parsemés de quelques émergents, sur sables roux clair de l'Erg récent. H1 : cultures de maïs sur abattis-brûlis de durée inférieure à 3 ans ; recouvrement du sol faible (# 30 %) ; densité des arbres morts forte ; densité des arbres vivants faible ; H2 : cultures de maïs plus anciennes sur abattis-brûlis ; sol nu peu apparent, en raison d'un recouvrement herbacé élevé (# 80 %), densité des arbres morts et vivants faible à nulle. A1 : abandons culturaux récents (<10 ans) ; végétation de ligneux bas, buissonnants, à stratification horizontale régulière A2 : abandons culturaux plus anciens ; végétation ligneuse plus haute, discontinue, répartie en agrégats. Db : dôme basaltique ; C : clairière ; RC : reprise culturale (manioc)

Plate 3: Changes in land use between 1997-2001 on the Anjabetrongo deforestation front

F1, F2: dark red and light red sands dry forests; H1: young slash-and-burn system cropping <3 years (hatsaky); H2: old slash-and-burn system cropping >3 years (hatsaky); A1: recent abandoned field (< 10 years); A2: old abandoned field ; Db: Basaltic dome; C: clearing; RC: Manihot crops.