

# 50 ans d'occupation du sol parcellaire après abattis-brûlis (forêt ombrophile de l'est malgache)

## Forest conversion in Eastern Malagasy, 50 years of plots use in small watersheds

D. HERVÉ<sup>1</sup>

(1) Institut de Recherche pour le Développement (IRD UMR 220), BP 64501, 34394 Montpellier, France

### Résumé

Pour comprendre le processus de déforestation, nous proposons de le suivre sur 50 ans en reconstituant l'historique cultural annuel d'une population de parcelles limitée par des bassins versants depuis l'usage actuel jusqu'au premier défrichement de la forêt. En lisière de la forêt humide du sud-est malgache, le défrichement des versants est relié à l'aménagement des bas-fonds en rizières. Le premier défrichement pour une mise en culture ouvre la parcelle à des successions culture-jachère jusqu'à l'abandon de culture. Au cours de ces successions d'autres états d'occupation du sol apparaissent : culture pérenne, boisement, herbe. Les défrichements, comme les autres précédents culturels alternatifs à la forêt, sont formalisés dans une dynamique entre six états d'occupation du sol (Forêt, Rizière, Culture, Jachère, Herbe, Plantation). La méthode de reconstitution historique est détaillée, qui combine des enquêtes rétrospectives, des observations de terrain en 2004-2006 et l'analyse de photos aériennes et d'images satellitaires en 1956-2008, afin de jalonner les derniers 50 ans (1956-2006) d'états d'occupation du sol de 235 parcelles suivies dans 3 petits bassins versants. Cette base de données des états annuels d'occupation du sol parcellaire renseigne sur les rythmes d'une déforestation par paquets, suivant les autorisations de défriche, et d'un aménagement continu des bas-fonds ; sur la quantité de forêt restant au bout de 50 ans ; sur le frein aux défrichements grâce au transfert de gestion, et enfin sur l'apparition récente et transitoire d'états herbacés. L'interprétation des dynamiques passées, recueillies dans un tel observatoire de l'occupation du sol, est utile pour anticiper si possible les évolutions futures.

**Mots-clés :** abattis-brûlis, bassin-versant, culture, forêt, herbe, historique de l'occupation du sol, jachère, parcelle

## Abstract

To understand the process of deforestation, we propose to follow 50 years restoring annual cultural historical of a plot population limited by watershed from the current use until the first clearing of the forest. The edge of the rain forest on the south-eastern of Madagascar, clearing of the slopes in connection with the conversion of the shoals into rice-fields. The first clearing for cultivation opens the parcel to crop fallow successions until the abandonment of culture. During these successions other land states appear perennial crop, afforestation, grass. Clearings, like other previous alternative cropping to the forest, are formalized in a dynamic between six land use states (Forest, Rice, Culture, Fallow, Grass, Plantation). The historical reconstitution method is detailed, which combines retrospective surveys, field observations in 2004-2006 and analysis of aerial photographs and satellite images in 1956-2008, in order to stake the last 50 years (from 1956 to 2006) of land cover 235 plots monitored in three small watersheds statements. This plot database of annual land use ground states information on the rythms of deforestation packet according to clearing permits and continuous laying out of shoals, the amount of forest remaining after 50 years, on the brake to clearing through the management transfer, and finally the recent emergence of herbaceous as transient state. The interpretation of past dynamics, collected in such an observatory on land use, is useful to anticipate if possible future developments.

**Keywords:** slash and burn, watershed, crop, forest, herb, land use history, fallow, plot

## Introduction

Les processus de déforestation en forêt tropicale restent difficiles à mesurer, sinon a posteriori. Les tentatives d'expliquer les phénomènes observés en croisant des interprétations d'images satellitaires avec des données statistiques sur les supposés facteurs de déforestation n'apportent pas une compréhension suffisante pour pouvoir agir sur ces facteurs (Sussman *et al.*, 1994 ; Harper *et al.*, 2007 ; Gorenflo *et al.*, 2011). On doit admettre qu'en milieu tropical, et à Madagascar en particulier, les efforts sont dédiés à la mesure de la déforestation plutôt qu'à l'étude de la régénération forestière et les mécanismes réels de conversion d'états de non forêt en forêt sont mal connus. Par ailleurs, des références manquent sur les dynamiques écologiques d'une jachère forestière au-delà de 30 ans d'âge d'abandon.

Pourtant la forêt ombrophile de l'est malgache a été particulièrement étudiée (Pfund, 2000) et des suivis assez longs ont été tentés en datant l'âge des jachères, en général dans un intervalle de 0 à 30 ans (Styger *et al.*, 2007), dans de rares cas jusqu'à 50 ans (Rasolofoharinoro, 2001). Des études similaires ont été menées sur la forêt sèche dans un intervalle de 30 ans dans la forêt de Mikea (Grouzis *et al.*, 2001) ou de 0 à 40 ans à Morondava (Raharimalala *et al.*, 2010). La durée de 50 ans est un maximum atteint dans les bilans de déforestation à l'échelle de Madagascar (Harper *et al.*, 2007).

L'approche exposée ici tente de reconstruire l'occupation du sol, pendant 50 ans, d'une population de parcelles depuis leur premier défrichement, en combinant des enquêtes rétrospectives, l'observation de l'usage des parcelles plusieurs années successives et l'imagerie satellitaire de très haute résolution, depuis les premières photos aériennes disponibles.

Les causes de déforestation classiquement citées à Madagascar sont les feux de forêts, l'exploitation du bois et du charbon, et l'abattis-brûlis, qui incriminent différents types d'usagers (éleveurs, exploitants forestiers, agriculteurs), mais qui n'expliquent qu'une partie de la déforestation totale. L'autre partie

concerne des surfaces détériorées de manière irréversible par l'activité minière, lorsqu'elles ont perdu toute capacité de régénération. Ces perturbations dont l'effet est qualifié de « déforestation » recouvrent donc une grande variété de pratiques dont les effets ne sont pas homogènes sur la régénération des massifs forestiers.

L'évolution à long terme des formations ligneuses ne peut s'analyser sans prendre en compte les logiques agricoles des populations riveraines de la forêt, logiques techniques liées à l'outillage, agro-écologiques liées à la gestion de la fertilité mais sans doute également logiques foncières. En effet le premier défrichement constitue un acte de prise de possession d'un lot initialement couvert de forêt. Le premier défrichement donne donc un droit d'accès qui peut se transmettre même s'il n'y a pas de transaction sur un marché foncier (Muttenger, 2010 ; Bertrand *et al.*, 2008). Le premier défricheur pourra transmettre à ses descendants le droit d'usage de la parcelle qu'il a défrichée ; par contre les bas-fonds aménagés en rizières peuvent avoir leurs casiers titrés et leurs propriétaires au sens plein du terme peuvent alors les vendre à des tiers (Rakoto Ramiarantsoa & Blanc-Pamard, 2014). La composante foncière des transitions post-forestières sera développée dans un autre texte.

À la suite du premier abattis-brûlis et des cultures de maïs-haricot ou de riz pluvial qui le suivent, se met en place une agriculture temporaire alternant cultures et jachères plus ou moins longues. Dans cette logique de culture non continue, on peut concevoir qu'après l'abandon de culture, des recrues arbustives puis arborées puissent se succéder, en l'absence de toute perturbation (défriche, feu, pâturage), et durer suffisamment longtemps pour reconstituer des peuplements forestiers proches des écosystèmes originels.

Il n'y a pas de consensus sur le temps nécessaire pour voir se reconstituer une forêt secondaire proche de la forêt originelle que nous appellerons « forêt mature » et non « forêt primaire » car elle a été déjà visitée par l'homme (Van Germeden *et al.*, 2003 ; Willis *et al.*, 2004 ; Carrière *et al.*, 2007). Des doutes demeurent pour distinguer forêt secondaire et forêt mature (Lubini, 2003) : dans la forêt mature, y a-t-il plusieurs âges de canopées ? Quel est l'âge minimum d'une forêt secondaire pour qu'elle devienne une forêt mature ? Les plus vieilles jachères étudiées à Madagascar ont moins de 50 ans : Rasolofoharinoro (2001) étudie des jachères de 22 et 48 ans. Kassi & Decocq (2008) suggèrent que « l'organisation fonctionnelle et la structure de la forêt tropicale semi-décidue se rétablissent dans un délai de 30 à 40 ans après un épisode cultural ». Cette vitesse de régénération est conditionnée par la courte période de mise en culture, la mise en repos entre les périodes de mise en culture, des champs de petite taille dans une matrice forestière (Kassi *et al.*, 2010).

En forêts sèches du sud-ouest, Grouzis *et al.* (2001) ont comparé des jachères de 2 à 30 ans dans la forêt de Mikea (Toliara) et Raharimalala *et al.* (2010) des jachères de 0 à plus de 40 ans dans le Menabe central (Morondava). Dans les échantillons de jachères de moins de 30 ans, la classe d'âge des 20-30 ans est souvent sous représentée, et lorsqu'elle ne représente qu'une parmi 3 ou 4 classes d'âge, le nombre de points est insuffisant pour établir une courbe que l'on pourrait interpréter en fonction de l'âge d'abandon.

Nous acceptons à titre d'hypothèse que la période de régénération va de 30 à 50 ans, car il faut environ 30 ans pour que se reconstitue une forêt secondaire et de 40 à 50 ans pour une forêt mature. Guarigata & Ostertag (2001) avancent un temps beaucoup plus long pour rétablir la richesse spécifique à sa valeur originale : « Les attributs structurels, comme la richesse spécifique jusqu'à 80 années après l'abandon des cultures pour retrouver leur valeur initiale ».

Pour mesurer la déforestation, on a tenté, non sans certaines limitations, d'évaluer localement le recul spatial d'une frontière forestière en fonction du temps. C'est encore possible sur une surface restreinte lorsqu'on a affaire à un front marqué de déforestation comme en forêt sèche (Blanc-Pamard, 2004 ; Lasry *et al.*, 2004 ; Lasry *et al.*, 2005) ; c'est beaucoup plus difficile dans le cas d'une mosaïque forêt-agriculture, en forêt humide, lorsque les trouées dans la forêt dépendent du défrichement des pentes de bas-fonds parfois isolés à l'intérieur du massif forestier ou de savanes incluses (Hervé *et al.*, 2010), qui ne peuvent donc pas être reliés à une logique de recul homogène de la lisière forestière. Par ailleurs, les

définitions de la catégorie forêt varient suivant les auteurs des cartes, ce qui rend difficile la comparaison de cartes obtenues à des dates différentes (Serpantié *et al.*, 2007).

Dans le cas de la forêt ombrophile, nous proposons une autre approche permettant de dépasser le couple Forêt-Non forêt pour détailler les états non forestiers susceptibles de pouvoir assurer une régénération forestière. Nous reconstituons sur 50 ans l'histoire culturelle de parcelles initialement en forêt, depuis leur premier défrichement. L'espace de référence est un bassin versant, un espace géographique qu'il est possible de borner par la ligne de séparation des eaux, indépendamment des dates de bilans d'occupation du sol. La taille du bassin versant suivi doit être assez réduite pour qu'une observation actuelle couvre le plus grand nombre possible de parcelles et puisse être répétée annuellement. Les parcelles observées sont échantillonnées dans trois petits bassins versants attenants. Nous utilisons ces bassins versants comme des observatoires du changement de l'occupation du sol, avec trois objectifs: (1) l'évaluation de la vitesse de déforestation en lisière forestière (suivi forêt → non forêt) ; (2) la détection de processus actifs de régénération (suivi non forêt → forêt): régénération forestière (jachère arbustive puis arborée) ou bifurcation herbacée (blocage de la régénération dans un état herbacé).

Après avoir rendu compte de l'état de la question, le choix des sites est justifié et la méthode de reconstitution de l'historique culturel est détaillée. La portée et la qualité des données sont discutées en conclusion, pour calibrer un modèle de prédiction du changement de l'occupation du sol, à partir d'un état initial en forêt, qui serait une base de réflexion pour l'ensemble du couloir forestier est malgache.

## Problématique

---

### CONTEXTE HISTORIQUE DE LA DEFORESTATION A MADAGASCAR

Messerli (2004) retrace un bref historique de la déforestation à Madagascar, faite de défrichement, d'exploitation forestière et de feux accidentels. Les militaires français et l'administration coloniale récupèrent les forêts royales dès 1896 et mobilisent les populations locales pour réaliser de grands aménagements dans tout le pays : routes, chemins de fer, plantations sur les pseudo-steppes de pins pour la fabrication de papier, d'eucalyptus pour les madriers et les charpentes et d'acacias pour les tanins. La première interdiction de *tavy* date de 1918, et l'établissement des premières réserves de forêts naturelles date de 1930. Mais l'exploitation forestière coloniale durera jusqu'en 1947. Après l'indépendance, de 1960 à 1975, le service forestier est impliqué à la fois dans un programme national de reboisement et dans les projets d'intensification de l'agriculture : des permis de mise en culture sont délivrés dans des zones forestières devenues « périmètres de culture » (Rakoto Ramiarantsoa & Blanc-Pamard, 2014) ; en contrepartie les populations locales sont mobilisées pour planter des bois de pins et d'eucalyptus. Durant les quinze ans de gouvernement socialiste, durant lequel les feux se généralisent, le commerce des produits forestiers génère alors des revenus financiers pour une part importante de la population appauvrie (Ramamonjisoa, 2004).

Madagascar est le premier pays africain à adopter une stratégie nationale de conservation et de développement en 1984, qui donnera lieu à un programme national environnemental de 15 ans, en trois phases pilotées en grande partie par les bailleurs de fonds internationaux (Bertrand *et al.*, 2014). La loi GELOSE, gestion locale sécurisée, et son décret d'application GCF, gestion contractualisée des forêts, stipulent l'implication effective des populations locales dans la gestion de la forêt et la naissance d'un dispositif de gestion, appelé transfert de gestion, dévolu à une communauté de base appelée COBA. Finalement, l'histoire politique récente est marquée par une instabilité politique cyclique (1992, 2002, 2009), parfois soulignée par des feux de protestation.

Deux programmes de recherche dans le sud de Madagascar ont abordé le fonctionnement des transferts de gestion (GEREM<sup>8</sup>-Fianarantsoa de 2003 à 2007 et MEM<sup>9</sup> de 2007 à 2014). Ce qui reste du bloc forestier de Fianarantsoa, au sud est de Madagascar, après le passage de feux incontrôlés et l'impact de l'abattis-brûlis, est aujourd'hui une bande de forêt variant de 5 à 15 km de large suivant les endroits, qui est représentative du couloir est malgache de forêt humide. L'altitude confère à la zone un régime climatique de type tropical à deux saisons : la saison sèche et fraîche de mai à septembre et la saison chaude et pluvieuse d'octobre à avril, la période la plus sensible aux feux se trouvant entre les deux, entre septembre et octobre. L'agriculture en lisière du corridor combine la riziculture irriguée dans les bas-fonds, avec de plus en plus des cultures de contre-saison, en utilisant les zébus pour piétiner les rizières et leurs déjections comme engrais organique, et la culture sur brûlis sur les versants pour produire en culture pluviale maïs, haricots, puis manioc et patate douce.

## HISTOIRE DE L'AMENAGEMENT AGRICOLE D'UN ESPACE FORESTIER

L'histoire de l'aménagement agricole de l'espace forestier est malgache passe par l'aménagement des bas-fonds (Blanc-Pamard, 2000).

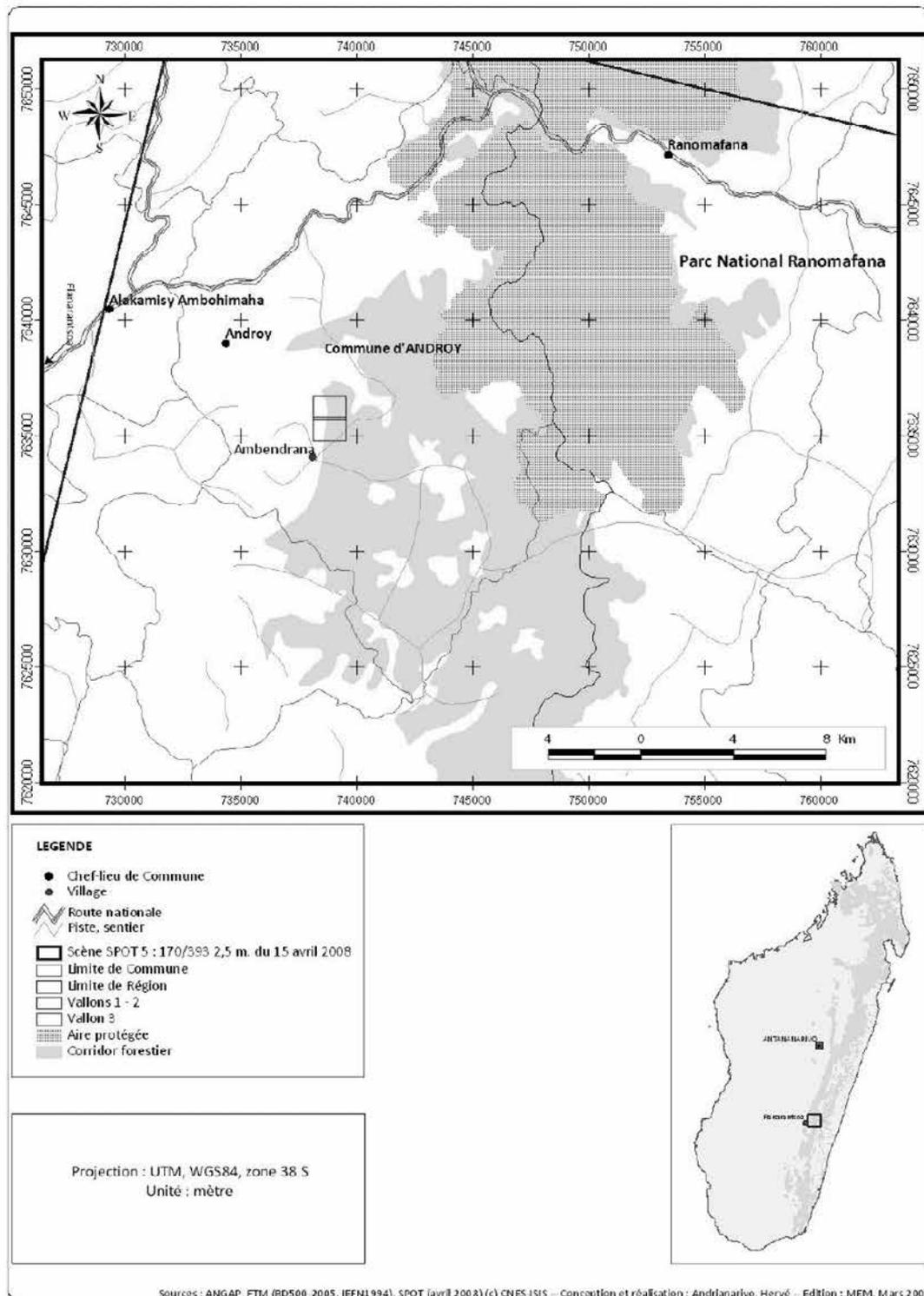
Une certaine proportion des rivières ou cours d'eau présentant des bas-fonds peuvent être aménagés en rizières, que nous appellerons des bas-fonds aménageables. L'aménagement des bas-fonds, lits de cours d'eau ou marais plus ou moins étendus, consiste en une série d'opérations exigeantes en travail, qui sont en général réalisées collectivement : défrichage, épierreage ou dessouchage, creusement de canaux pour l'arrivée d'eau et le drainage, confection des diguettes et aplanissement des casiers (Raunet, 1993). C'est en amenant leurs zébus à la recherche de pâturage que les paysans betsileo ont repéré en forêt la localisation des marais, des sources et des bas-fonds aménageables en rizières (Moreau, 2002). L'aménagement des bas-fonds en rizières les a conduit à défricher les versants, en commençant par le bas, afin d'éclairer les casiers et d'augmenter ainsi la température de l'eau ; la défriche progresse ensuite de bas en haut des versants (Blanc-Pamard & Rakoto Ramiarantsoa, 1993).

Dans le corridor forestier de Fianarantsoa, l'aménagement a commencé par de grands bas-fonds proches des villages en 1933-1940, puis s'est poursuivi après 1954, notamment dans les bassins versants étudiés, une fois que les grandes rizières de villages étaient aménagées à proximité immédiate des hameaux d'Iambara et d'Amindrabe (Toillier, 2009). La progression des aménagements d'ouest en est du couloir forestier (Serpantié *et al.*, 2007) aboutit dans certaines communes du corridor à une saturation des bas-fonds (Rakotoasimbahoaka *et al.*, 2010). Ainsi, après 1991, date à laquelle on dispose d'une couverture de photographies aériennes, l'aménagement ne concerne plus que les tous petits bas-fonds encaissés en forêt à un seul casier de large, que nous appellerons talwegs, mais leur extension se poursuit en amont du réseau hydrographique par l'aménagement progressif d'environ un nouveau casier par an, jusqu'à la saturation du bas-fonds (Blanc-Pamard & Ralaivita, 2004).

Le rythme des défrichements a suivi celui de l'aménagement des bas-fonds en rizières. Les autorisations de défrichage des versants vont des bas des versants qui surplombent les bas-fonds aménagés sur les deux tiers inférieurs du versant puis dans la limite d'une bande de 20 m de part et d'autre du bas-fond autorisée par le cahier des charges de la COBA (Rakoto Ramiarantsoa & Blanc-Pamard, 2014). Après la saturation des bas-fonds, une agriculture à jachère tend à se pérenniser sur les versants, sur lesquels sont tracés des aménagements en rideaux, qui préludent à la construction de terrasses destinées à la production de riz inondé si la captation d'eau d'irrigation supplémentaire le permet. Cette dernière étape de l'aménagement n'a pas encore eu lieu à Ambendrana car elle suppose une pression démographique plus importante, alors que le canton d'Iambara présente une des plus basses densités de population du corridor (Hervé *et al.*, 2011).

<sup>8</sup> GEREM : Gestion des Espaces Ruraux et Environnement à Madagascar.

<sup>9</sup> MEM : Modélisation pour l'Environnement à Madagascar.



Carte 1 : Lisière forestière ouest du corridor en périphérie du parc de Ranomafana

# Méthodologie

## CHOIX DES SITES D'OBSERVATION

Pour traiter de l'abattis-brûlis, nous nous plaçons en lisière ouest du cordon forestier de Fianarantsoa, en pays Betsileo (Centre Est de Madagascar). Ce cordon forestier a reçu une reconnaissance officielle en 1986 avec la délimitation du « corridor forestier Fandriana-Vondrozo, COFAV ». Nous situons la zone d'étude dans la commune d'Androy localisée dans la partie nord-ouest du corridor forestier reliant les Parcs Nationaux de Ranomafana et d'Andringitra, au sud du parc de Ranomafana (Carte 1). Trois petits bassins versants attenants ont été choisis au nord est du territoire villageois d'Ambendrana [21°22'46"S ; 47°18'34E ; Alt. 1132 m] dans le fokontany d'Iambara qui appartient à la commune d'Androy (Carte E1).

En 2006, ces bassins versants sont situés en lisière forestière, d'une part en bordure d'une forêt stable, car protégée par une limite reconnue sous un contrat de gestion forestière (GCF d'Ambendrana), d'autre part à proximité de la forêt brûlée en 2004, actuellement en cours de régénération, ces deux massifs constituant des points de repère jusqu'à la période récente (Carte F1). Ces trois bassins versants sont attenants et dominés par une crête sur laquelle un bois d'eucalyptus a été planté en 1985, une mesure imposée aux villageois à la suite de feux incontrôlés (Carte F1). Ce bois d'eucalyptus nous servira également de point de repère.

Les bassins versants 1 et 2, situés dans la vallée d'Anisarotra, ont une partie en forêt préservée par la frontière forestière du GCF d'Ambendrana. Le bassin versant d'Andranovana (BV1 : 28,7 ha) est situé au dessus du village d'Andranovory. Il contient un chapelet de casiers de rizière dans chacun des deux talwegs qui traversent le fond du vallon et des parcelles défrichées sur les versants de ces rizières, en particulier les deux versants d'orientation opposée. Les parcelles ont été d'abord éclaircies par les premiers défricheurs sur le versant exposé au nord-est puis, plus récemment, sur le versant exposé au sud-ouest. Elles ont été ensuite divisées entre leurs descendants. Le deuxième bassin versant (BV2 : 12,7 ha), qui prolonge le BV1, est centré sur une rizière incluse en forêt, alimentée par deux cours d'eau. Il a été défriché plus récemment.

Le bassin versant d'Apangorinana (BV3 : 53,37 ha), qui comporte 3 versants d'orientations différentes, est situé de l'autre côté de la ligne de crête soulignée par un bois d'eucalyptus, en amont de la rizière du bas-fond d'Ambokibokoa. Ce troisième bassin versant (BV3) est situé dans un périmètre de culture qui a résulté en 1974 d'attributions de terres pour un usage agricole en limite de forêts dans les villages d'Ambaibo, Analalava, Ambendrana, Ambalavao, Andohan'ny Sahambavy ; il est délimité par les versants des rivières Atsivolalana, Amboboka, Ampatsakana à l'est d'Ambaibo (Blanc-Pamard & Ralaivita, 2004). Le défrichement et la régénération de ces versants se sont échelonnés après l'aménagement du bas-fond en rizière, mais, dans ce cas sans relation directe avec cet aménagement, puisqu'une autre famille était propriétaire des rizières. La plupart de ces lots défrichés et cultivés ont été ensuite laissés en friche. Les premières parcelles défrichées se trouvent dans différentes phases de recru. Jusqu'à 2006 ces parcelles n'ont pas été divisées entre les descendants.

## METHODE DE RECONSTRUCTION DE L'USAGE DU SOL PARCELLAIRE

Deux difficultés se présentent pour reconstituer rétrospectivement l'état des parcelles observées en 2006 depuis la première défriche forestière : la profondeur historique qui déborde la capacité de mémoire des agriculteurs, les échelles hétérogènes des sources de données d'occupation du sol. Nous utiliserons pour cela des unités spatiales emboîtées : la parcelle, le bloc de parcelles (talweg ou versant), le lot de défrichement qui a obtenu l'autorisation de défriche, le lot de parcelles repéré sur des images satellitaires.

### Population de parcelles fixée dans les limites du bassin versant

Les parcelles échantillonnées sont localisées dans des bassins versants. En effet, le *bassin versant* étant délimité par la ligne de partage des eaux, en amont, et une hiérarchie dans le point du réseau hydrographique, en aval, sa limite est constante et indépendante de la date à laquelle est dressé un bilan de l'occupation du sol. Le bassin versant délimite des parcelles jointives dont la somme des usages individuels a un sens puisqu'elle constitue une image de ce territoire (Photo E2) ; un bilan de l'occupation du sol peut être établi à cette échelle, à toute date, sur une population de parcelles. Ces parcelles peuvent être rattachées à des talwegs auxquels appartiennent les rizières (numérotées en chiffres arabes) ou à des versants identifiés par leur exposition (numérotés en chiffres romains), dont respectivement le premier aménagement et le premier défrichement sont datés (Tableau I). Ces talwegs et ces versants constituent des blocs de parcelles découpés par l'observateur afin de constituer des unités intermédiaires homogènes d'occupation du sol (Hervé, 2012). Plus étendus que des parcelles individuelles, ils sont plus facilement repérables sur des photos aériennes ou des images satellitaires.

### Temps long

Le temps long de 50 ans correspond à la remontée le plus loin possible dans le passé, compte-tenu des plus anciennes photos aériennes disponibles (1957). Il est rare de disposer d'histoires culturelles de parcelles sur un pas de temps plus long qu'une rotation de culture ; il faut donc construire une méthode d'exploration du passé si l'on veut couvrir la période comprise entre les enquêtes rétrospectives et les premières images de l'occupation du sol. Nous procédons pour cela par une histoire régressive, à partir de l'usage agricole des parcelles en 2006, jusqu'à la date où le bassin versant était entièrement forestier. Nous remontons les 20 premières années par des enquêtes rétrospectives et des observations parcellaires annuelles de 2004 à 2006, et les 30 années suivantes par télédétection jusqu'aux premières défriches reconnaissables en non-forêt sur la plus ancienne photo aérienne disponible qui date de 1957. En remontant ainsi dans le passé, nous sommes confrontés d'une part à des localisations de parcelles de plus en plus imprécises (d'où le recours à des lots de parcelles localisables dans des blocs de parcelles) et d'autre part à des intervalles de plus en plus importants entre les dates d'images satellitaires. La base de données sur l'historique culturel est close en 2006, l'année où l'on dispose du plus grand échantillon de parcelles des bassins versants. La proportion de parcelles en forêt et en non forêt, restantes au bout de plus de 50 ans (1957-2006), sera ensuite calculée en s'aidant d'une image satellitaire de 2008.

### Taille des parcelles

Un maillage de 0,1 ha est appliqué sur chacun des bassins versants dont la surface est ainsi convertie en une population de parcelles. La taille des parcelles paysannes inférieure à un hectare – la taille moyenne d'une parcelle en pente est de l'ordre de 0,1 ha – fait qu'elles échappent à la résolution des images satellitaires d'archive (il faut compter trois fois la résolution au sol annoncée par le satellite) et, dans une moindre mesure, à celle des photos aériennes à l'échelle 1/50 000<sup>ème</sup> (Hervé *et al.*, 2010). Sur les photos aériennes ou les images SPOT dont la résolution est inférieure aux 30 m des images Landsat (SPOT5 2,50 m pour 2008, SPOT5 10 m pour 2004, SPOT4 20 m pour 2000), on ne parvient qu'à repérer des trouées dans la forêt (forêt/non forêt), en parvenant à les localiser grossièrement dans des blocs de

parcelles. Il s'avère que la très haute résolution (THR) est nécessaire pour distinguer des parcelles individuelles de l'ordre de 2 000 m<sup>2</sup> ou, plus généralement, de taille inférieure à 10 000 m<sup>2</sup>. Avec un grossissement, on parvient à discerner des casiers de rizières de taille supérieure à 400 m<sup>2</sup>.

L'observation a montré qu'une parcelle de versant, depuis la rizière de bas-fond jusqu'au chemin de COBA marquant la lisière forestière (Photo E2), couvrait 7 niveaux à talus ou rideaux d'une largeur moyenne de 5 m, soit une longueur de 35 m. La largeur d'une parcelle de versant, facilement mesurable le long du chemin de COBA, mesure de 15 à 80 m (Photo E2), avec une moyenne de 32 m. On en déduit la surface moyenne d'une parcelle de versant, de l'ordre d'un dixième d'hectare ( $32 \times 35 = 1\,120 \text{ m}^2$ ).

Dans le cas des bas-fonds encaissés aménagés en rizières, le seul casier de large a une taille minimum de 20 ares. Comme de nouveaux casiers sont creusés chaque année en amont des rizières de talweg, il faut pouvoir tenir compte de cette dynamique dans le bilan global du nombre de parcelles défrichées. On adoptera par convention un taux de conversion égal à 6, une parcelle de versant (0,1 ha) équivalant en surface à 6 casiers de rizière. Cette convention de calcul permet de traiter la dynamique de tous les types de parcelles dans les limites d'un bassin versant.

### Base de données

Le principe est de regrouper des parcelles d'occupation du sol, issues d'observations directes, d'enquêtes ou d'images satellitaires, dans une même base de données. La localisation et les limites actuelles d'une parcelle servent donc simplement de références, l'important étant de qualifier son usage, rétrospectivement, sur un pas de temps annuel. Ce que nous appellerons « parcelle » peut donc être défini comme l'occurrence d'un état d'occupation du sol.

Dans cette base de données sont regroupées : les parcelles restées en forêt (arbitrairement définies comme des lambeaux forestiers de 0,1 ha potentiellement défrichables), les parcelles défrichées avant 1957 et suivies depuis cette date par télédétection, les parcelles défrichées après 1957 et repérées sur des images datées, les plantations de 1984-1985, finalement les parcelles défrichées et les casiers aménagés après 1986 dont l'usage annuel est reconstitué par enquête rétrospective à partir des parcelles cultivées en 2006. On veille à ce que l'usage des parcelles ainsi reconstitué par observation et par enquête rétrospective soit en cohérence avec les lots identifiés aux mêmes dates sur les images satellitaires. L'exhaustivité des parcelles d'un bassin versant est obtenue pour les casiers de rizières, et pour l'ensemble des lambeaux forestiers et des parcelles observées en herbe, qui sont en très petit nombre. Par contre, seulement un échantillon des parcelles cultivées en 2006 a été caractérisé sur les versants. Le taux d'échantillonnage des parcelles pour lesquelles l'histoire culturelle a pu être reconstituée peut alors être calculé par rapport au nombre total de parcelles dans chacun des 3 bassins versants.

## Résultats

### HISTORIQUE PARCELLAIRE

Pour faciliter la localisation des parcelles et pouvoir suivre leur usage non seulement sur le terrain mais également d'une date à l'autre, sur des images aériennes ou satellitaires passées, des blocs de parcelles ont été définis, qui correspondent à des trajets de reconnaissance dans les bassins versants (Tableau I). Les nouveaux défrichements et les nouveaux casiers de rizières repérés par télédétection sont localisés dans ces blocs. Des objets fixes du paysage servent également de points de repère spatiaux: rizières, maisons, arbres isolés (arbres du voyageur, gros arbres préservés ou arbres calcinés demeurant sur pied).

**Tableau I : Blocs de parcelles, talwegs et versants**

<u>Bassin versant 1 :</u>	<u>Bassin versant 2 :</u>	<u>Bassin versant 3 :</u>
Talweg 1	Rizière 1 = Marais	Rizière 1 Principale de Ravao
Rizière 1 = 30 casiers	Rizière 2 = Rizière incluse dans la forêt = 18 casiers	Rizière 2 Secondaire de Ravao, perpendiculaire à Rizière 1
Talweg 2		Rizière 3 Secondaire du fils de Ravao, Ratovo, perpendiculaire à Rizière 1, en amont de Rizière 2.
Rizière 2 > 23 casiers		
Rizière 3 = 10 casiers		
Rizière 4 = 7 casiers		
Rizière 5 = 7 casiers (après 2006)		
Versant I (O) Rive droite rizière 1	Versant I Versant ouest	Versant I (NO 300°-350) Rapierre (premier défricheur)
Versant II (E) Entre rizières 2 et 3, terrasses Ralaovary sur rive gauche rizière 2	Versant II Versant est	Versant II (NE 10-15) Raly (tombeau)
Versant III (NO) Versant sous bois eucalyptus de la crête et au dessus limite COBA.		Versant III (SO 210) Rapierre
Versant IV (SE) Entre talwegs 1 et 2, versant en dinga dinga de Mô aux pièges à sangliers		Versant IV (SO 264) Versant rizière 2, maison Ravao
Versant V (SO) Sortie chemin aux sangliers et défriche en amont (maiz en 2004)		Versant V (NE) Versant rizière 2 : citadelle au sommet, maison Ravala en bas de versant
Versant VI (NO 300) Haut du vallon (patate douce 2005), avant limite COBA		Versant VI (O) Versants rizière 3, maison Ratovo
Versant VII (NE 30) Haut de versant sous limite de COBA		Versant VII (E) Versant est de la rizière 1, en forêt
Versant VIII (NE 30) Versant de rizière 1 à groupe d'eucalyptus, entrée BV1 par le haut		Versant VIII (O) Versant ouest de la rizière 1, cultivé.
Versant IX (NE 30) Mi-versant sous limite de COBA		
Versant X (E) Bas de versant sous COBA et fond du vallon avec canne à sucre		
Versant XI (O) Nouvelle zone défrichée après 2006 (droite chemin au bois d'eucalyptus de crête)		
Versant XII (O) Versants rizières 2, 3 et 4		
Versant XIII (O) Versant ouest de rizière 2 (rive droite) défrichée après 2006.		

Sous l'effet de diverses pratiques culturales suivant l'abattis-brûlis, le paysage du terroir villageois provenant d'une forêt acquière une hétérogénéité croissante. A des fins de simplification, un usage annuel est attribué à chaque parcelle et l'ensemble des états d'occupation du sol est réduit à 6 états : F pour Forêt, R pour Rizière, C pour Culture, J pour Jachère, H pour Herbe, P pour Plantation (tableau II). Tous les états cultivés infra-annuels, annuels et bisannuels sont regroupés dans le compartiment C. On ne détaille sous l'état Culture ni le type de culture, ni les associations de culture, ni les modalités de travail du sol associées à telle ou telle culture : enfouissement des graines au pieu sur brûlis pour maïs et légumineuses, bouture plantée à l'*angady* pour le manioc et labour de toute la surface de la parcelle pour

la patate douce ou l'arachide. Ces diagnostics agronomiques sont envisageables dans un second temps ; ce qui est priorisé ici c'est l'analyse des changements d'états entre les 6 occupations du sol sélectionnées (photo E3). Nous adoptons pour la parcelle défrichée une analyse en termes de système de culture afin de raisonner les phases successives de culture et de jachère, la durée des « jachères intermédiaires », le défrichement de nouvelles parcelles faisant suite à l'abandon des parcelles trop longtemps cultivées. Une parcelle laissée à l'abandon sans nouveau défrichement sera qualifiée de recrû, un terme partagé par les écologues et pour cette raison préféré à « friche ».

**Tableau II : Regroupements en 6 états d'occupation du sol**

---

Forêt [F]
Culture pluviale annuelle [C]
Maïs, Maïs-Haricot, Haricot-Pois
Manioc, Patate douce
Arachide
Riz pluvial
Jachère ou recrû arbustif [J]
Herbe ou recrû herbacé [H]
Plantation [P]
Boisement : Pin ( <i>Pinus patula</i> ), Eucalyptus ( <i>Eucalyptus globulis</i> , <i>Eucalyptus radiata</i> ), Acacia ( <i>Acacia dealbata</i> )
Culture pérenne : Banane, Canne à sucre, Café, Ananas, Arbre fruitier, Jardin installé
Rizière (bas-fond aménagé en rizière) [R]
Riz inondé en casiers
Culture de contre-saison dans les casiers

---

## RECONSTITUTION CHRONOLOGIQUE DES AMENAGEMENTS ET DES DEFRICHEMENTS

Les trois bassins versants suivis réunissent une large variété de situations d'aménagement des bas-fonds et de défrichement des versants, du fait d'un âge de premier défrichement décalé, 45 ans pour le bassin versant 1 et 20 ans pour le bassin versant 3, qui laisse penser que de nouveaux états pourront émerger durant ces successions plus ou moins longues. Ils diffèrent également dans le processus de transmission des terres entre générations : la transmission observée dans le BV 1 n'est pas encore observée dans le BV 3. Toutes les dates d'aménagement, défrichement et plantation, ainsi que les autorisations de culture dans des périmètres de culture, sont resituées chronologiquement dans le tableau III.

Chaque lot de défrichement peut être relié à un premier défricheur. L'arbre généalogique des premiers défricheurs est donc essentiel pour reconstituer l'histoire de l'aménagement du bassin versant et la transmission des parcelles issues des lots de défrichement initiaux, au décès des premiers défricheurs. Le détail de l'enchaînement entre un lot défriché avec autorisation par un premier défricheur, avec ses ouvriers intra ou extra familiaux, et ce lot divisé entre ses descendants, n'est pas exposé dans cet article.

Sur les 20 dernières années depuis la référence de 2006, l'usage annuel de parcelles sur pente et l'aménagement des bas-fonds en casiers de rizières sont déduits de l'observation des parcelles plusieurs années successives (2004-2006) et des enquêtes rétrospectives sur leur usage annuel, auprès des propriétaires des parcelles, de leurs exploitants et de guides très bons connaisseurs des terroirs. Le principe est de croiser systématiquement ces informations afin d'assurer par des recoupements leur confirmation. Le propriétaire d'une portion de rizière est également le propriétaire des versants défrichés de part et d'autre de cette rizière. Les lots initialement défrichés s'étendent donc de bas en haut des versants.

Sur les 20-50 ans, une période qui remonte dans le passé au-delà de l'âge ou de la mémoire des enquêtés, la généalogie des premiers défricheurs est croisée avec l'interprétation des images aériennes au 1/50 000 et des images SPOT de haute résolution (SPOT5 2,50 m pour 2008, SPOT5 10 m pour 2004, SPOT4 20 m pour 2000). Sur ces dernières images, on ne parvient à repérer que des taches que l'on assimilera à des parcelles, en les localisant dans les blocs (talwegs et versants) et en vérifiant s'ils sont ou non défrichés et cultivés (forêt-non forêt, sur le principe présence-absence). Des dates connues de tous (cyclone, feu accidentel, crise politique) servent de points de repère dans le temps, entre les dates d'images spatiales disponibles (Tableau III).

L'ensemble des parcelles des trois bassins versants, suivies durant ces deux périodes, est regroupé dans la même base de données d'utilisation des parcelles sur 50 ans.

**Tableau III : Reconstitution grâce aux images disponibles (cartes, photos, satellites) des années d'aménagement en rizière (R), défriche (D), plantation (P) et périmètre de culture (PdC) dans les trois bassins versants (1957-2006)**

Années	BV1	BV2	BV3	Périmètres de cultures (PdC)	Plantations Pin/Mimosa et Eucalyptus
<b>1957</b> [photos aériennes 1957 et cartes topographiques au 1/50 000 avec terrain en 1968]					
1957	D				
1960	D		R avant 1960		Pins
1970					Pins
1974				PdC1 (80 ha)	
1985-Incendie	D + forêt brûlée				Eucalyptus
Avant 1986		R			
<b>1986</b> [image SPOT4-20 m : 20/07/1986, nuages]					
1986	R, D		D		
<b>1988</b> [image SPOT4-20 m : 01/08/1998, nuages et ombres des nuages]					
1988	D		D		
<b>1991</b> [photos aériennes : 1176, 1177, 1178]					
1991	D		D	PdC2 (35 ha)	
1992-Incendie volontaire					
1993				PdC3 (61 ha)	
1995		D	D		
1996	D				
1998	R, D				
1999-Incendie	R, D	D			
<b>2000</b> [image SPOT4-20 m : 30/01/2000]					
2000	R, D	D			
2001	D				
2002	R				
2003-Cyclone	R				
<b>2004</b> [image SPOT5-10 m : 26/03/2004]					
2004	R, D	D			
2005	R				
2006	R, D				
2008-Cyclone (17/02/2008)	D, R	D	D, R		
<b>2008</b> [image SPOT5-2,50 m : 15/04/2008]					

### SYNTHESE DES 7 ANNEES D'IMAGES AERIENNES ET SATELLITAIRES

Les 7 dates d'images aériennes et satellitaires (1957, 1986, 1988, 1991, 2000, 2004, 2008) renseignent sur des transitions forêt-non forêt qui peuvent être suivies entre ces dates :

- le suivi de l'occupation du sol des parcelles défrichées avant 1957, repérées comme trouées dans la forêt sur l'image du BV1 en 1957, qui se sont régénérées en forêt depuis ce premier défrichement, mais qui ont été à nouveau défrichées puis cultivées avant 2006 ;
- le suivi des parcelles défrichées après 1957, repérées seulement par présence-absence à partir d'une matrice forestière qui s'ouvre progressivement, et de manière grossière à l'échelle de blocs de parcelles ;
- le repérage et suivi de parcelles boisées en eucalyptus, car elles ont une réponse spectrale distincte de celle de la forêt ;
- le dénombrement des parcelles restées en forêt sans avoir été défrichées depuis la première image de 1957, donc qui sont restées en forêt plus de 50 ans dans chacun des trois bassins versants.

## 5 lots défrichés avant 1957 dans le BV1

Cinq lots apparaissent défrichés dans le BV1 sur la photo aérienne de 1957. Ces trouées dans la forêt ne présagent pas du nombre d'années de culture antérieure. Nous assumerons 1957 comme année de premier défrichement de la forêt.

En assumant que ces lots sont en jachère dès 1958, cette jachère aurait 33 ans en 1991, date à laquelle la photo aérienne indique une défriche à cet emplacement. On peut considérer que deux des parcelles se sont régénérées dans une forêt de 30 ans (J → F au bout de 30 ans). Les trois autres parcelles ont 42 ans de recrû en 2000, autre date à laquelle elles apparaissent défrichées sur les images. Elles se seraient dans ce cas régénérées 12 ans en forêt de 30 ans ou 2 ans en forêt de 40 ans (J → F au bout de 40 ans). Malheureusement, dans aucun de ces deux cas les forêts ainsi reconstituées n'ont été préservées jusqu'en 2006 ; elles n'ont donc pas été observées dans l'état « forêt secondaire proche de la forêt mature ». L'historique cultural de ces parcelles a été complété, respectivement de 1991 et 2000 jusqu'à 2006.

On peut conclure qu'une régénération forestière a bien été observée jusqu'à la forêt mature mais elle n'a touché qu'un très faible pourcentage des parcelles des trois bassins versants initialement en forêt, 5 parcelles sur les 948 parcelles des trois bassins versants, soit 5,3 pour mille, si l'on admet que le stade de forêt mature est atteint au bout de 30 à 40 ans.

## Lots défrichés après 1957 dans les 3 BV

Sur l'image SPOT4-20 m du 20/07/1986, la couverture nuageuse est importante, la forêt brûlée en 1985 se distingue de la forêt non brûlée et la rizière du BV3 apparaît aménagée.

Sur l'image SPOT4-20 m du 01/08/1988, la couverture nuageuse et les ombres des nuages ne permettent de distinguer que la forêt brûlée.

Sur la photo aérienne de 1991 (1176, 1177, 1178) apparaissent :

BV1 - 4 nouveaux lots défrichés dont le bloc VIII. Les rizières 1 et 2 commencent à être aménagées.

BV3 - La rizière est aménagée et les versants I et IV et le bas des versants II et III sont défrichés entre 1985 et 1988.

Le versant I a à peu près son état actuel : couverture de *kilanjy* sous arbres isolés d'*Harungana* ; la zone concave qui le suit semble être arbustive à arborée ; la parcelle en surplomb du chemin, actuellement en recrû forestier, apparaît défrichée en 1991.

Le versant V sur la rive gauche (maison Ravala) qui surplombe la rizière secondaire (citadelle et maison) est par contre déjà défriché.

Sur l'image SPOT4-20 m du 30/01/2000, sans nuages mais avec de l'ombre sur le versant ouest

BV1 - Les rizières après le versant V commencent à être aménagées et les rizières après IV sont déjà aménagées. Tout le versant Est est cultivé et présente une mosaïque culture-jachère. A l'Ouest, de l'autre côté de la rizière 1 (rive droite rizière 1), l'interfluve est cultivé. Deux plages de défriche apparaissent en

2000 sur le versant V et le versant III. Il reste un massif forestier entre le fond du vallon cultivé en 1991 et les parcelles en bout de chemin COBA vers le BV2.

BV2 - Non défriché en 1991, le BV2 est cultivé à trois niveaux entre 1991 et 2000 et mis en jachère depuis comme l'attestent les images de 2000, 2004 et 2008, sauf une portion cultivée en bas de pente en 2008.

BV3 - Les eucalyptus existent sur la crête et les parcelles cultivées en 1991 sont en forêt [probablement forêt et non jachère] en 2009 et donc à exclure des forêts restantes. Tout le versant V (citadelle) est en jachère. La montée sur le versant IV en face du versant de la citadelle est cultivée. La zone en herbe n'existerait pas encore.

Parcelle cultivée sur la crête du petit bassin versant, séparant ce BV de la vallée secondaire.

Sur l'image SPOT5-10 m du 26/03/2004, sans nuages ni ombres

BV1 - Versant Est, rive gauche de rizière 2 en mosaïque culture + jachère. L'autre côté de rizière 1 est en jachère, ainsi que les versants des rizières 2 et 3. Tout le centre resté en forêt en 2000 est en culture + jachère en 2004 ; il ne reste que des lambeaux de forêts dans la partie du BV qui a servi anciennement au passage des sangliers.

BV2 - BV2 est en culture et jachère. La rizière incluse apparaît sur l'image.

BV3 - Les 3 clairières apparaissent en descendant du BV2 au BV3.

La rizière n'est aménagée que dans sa partie supérieure, rizière 3, sur un petit BV secondaire, sur une rivière secondaire. Le versant VI sous la maison de Ratovo est cultivé.

Les parcelles sur bas de versant 1, en jachère en 2004, sont cultivées en 2008.

La montée vers le versant II, côté citadelle, cultivée en 2004, est en jachère en 2008.

Sur l'image SPOT5-2,50 m du 15/04/2008, date postérieure au passage du cyclone Yvon de février-mars 2008, qui a fait des dégâts sur les rizières, des glissements de terrain en bas de versants, et provoqué la destruction de maisons. Des nuages abondants et de l'ombre cachent le fond du BV1.

BV1 - Mosaïque culture-jachère sur les versants VIII et VII, IX. Versant Est avec encoche, cultivée en manioc (visible sur la carte F1).

Reprise récente des parcelles défrichées visibles en 1991, probablement en 2006, et qui se trouvent en 2008 en recrûs forestiers, en particulier derrière les parcelles de Mò.

La résolution du SPOT5 2008 de 2,50 m permet de distinguer dans le vallon 1 certains casiers de talweg d'une dizaine de mètres de large (rizières d'un seul casier de large).

BV2 - Le fond du BV2 est cultivé, les pentes sont en jachère vers le bois d'eucalyptus. Rizière incluse très visible. Sur le chemin du vallon 2 au vallon 3, apparaissent 3 clairières qui se suivent.

BV 3 - Haut de BV secondaire de Ratovo (versant VI) plus étendu qu'en 2004.

### **Lots de boisement en eucalyptus**

Des lots en bois d'eucalyptus se distinguent clairement des canopées forestières naturelles sur les images SPOT par la couleur et le grain (carte F1). Des peuplements sont localisés sur les hauts de versants, d'autres plus réduits étaient cachés dans la forêt, jusqu'à ce que des défrichements les découvrent. Ces boisements sont contemporains de la plantation d'eucalyptus en 1985 sur la crête qui domine les trois bassins versants (Tableau III).

### **Bilan des forêts restantes au bout de 50 ans**

Par différence avec les trouées dans le massif forestier repérées aux dates successives d'images et par l'observation directe, il est possible de compter le nombre des lambeaux forestiers qui n'ont pas été défrichés depuis 1957. On suppose donc que ces lambeaux forestiers localisés dans chacun des bassins versants en avril 2009, et qui apparaissent sur la carte résultant de l'interprétation des images SPOT de

haute résolution (2,5 m) datant d'avril 2008, sont restés en forêt durant la période étudiée de 50 ans. Les 11 lambeaux forestiers restant dans le BV1, 7 dans le BV2 et 22 dans le BV3 sont situés majoritairement sur les hauts de versants et les crêtes, des zones très pentues, rocheuses et moins accessibles.

Durant ces 50 ans, 4 % du total des parcelles initialement en forêt restent donc en forêt ; la forêt ne disparaît donc pas totalement, mais elle est en partie remplacée par des recrûs âgés.

## USAGE DES PARCELLES DEPUIS 1986 PAR ENQUETES RETROSPECTIVES

Les dates du premier défrichement et du premier aménagement de bas-fonds étant connues, l'historique de chaque parcelle est reconstitué jusqu'en 1986 par enquête rétrospective à partir de l'observation d'un état actuel en 2006. Les transitions entre les états : forêt, jachère, culture, herbe et plantation sont ainsi renseignées à partir d'une source de parcelles en forêt qui s'épuise ou reste bloquée dans l'état forêt à la suite de mesures d'interdiction de défriche (mise en place du GCF en 2001 et signature du contrat avec la COBA en 2003).

### BV1

Dans le BV1, les premiers aménagements de bas-fonds en rizières datent de 1960. Dans le vallon 1, l'exploitation des roseaux a précédé le repiquage de riz dans des casiers aménagés. C'est à partir de 1986 que de nouveaux casiers vont être creusés, en même temps que la défriche des versants, puis à partir de 1998, à raison d'un ou plusieurs casiers par an (Tableau IV).

**Tableau IV : Nombre de casiers de rizière aménagés depuis 1986 dans le bassin versant 1**

Année	86	98	99	00	01	02	03	04	05	06	Total
Rizière 1 Ranesy	10	5	5	7				1	1	1	30
Rizière 2 Ralaivao	2	4		5	4	3	3	2	2		25
Rizière 3 Ikoto-Doro			4	3					3		10
Rizière 4 Zai		1	1	1	1				3	7	14
Total	12	10	10	16	5	3	3	3	9	8	79

Les dates de premier défrichement dépendent des autorisations de défrichement de la forêt ; elles donnent lieu ensuite à des défrichements par paquets :

- la première vague en 1986-1988 ;
- la deuxième vague en 1996, 1998, 1999 anticipe les interdictions de défrichement imposés par les GCF (Gestion Contractualisée de Forêt) depuis 2001 et la signature du contrat GCF d'Ambendrana en 2003 ;
- la troisième phase de défrichement (2000-2006), plus réduite et moins visible, concerne des parcelles situées sur le chemin qui monte vers le bois d'eucalyptus, et des parcelles situées au-delà de la limite de COBA. La dernière parcelle en forêt défrichée en 2006 correspondait à un petit amas forestier qualifié de bois sacré, resté intact au milieu des parcelles cultivées jusqu'en 2005.

Aux 3 périodes d'aménagement des rizières (1986, 1998-2000 jusqu'à l'interdiction de défriche, et chaque année depuis 2001) correspondent 3 périodes de défrichement des versants (1986-1988, 1996-1999, 2000-2006). Le défrichement des versants va de pair avec l'aménagement des bas-fonds en rizières. Le versant NE, sec et chaud, est défriché en 2006 jusqu'à la limite de la COBA, marquée par un sentier le

long de la lisière forestière (Photo G2), alors que le versant SO, humide et froid, commence tout juste à être défriché (Photo G3). Les 3 premiers défricheurs, qui ont ainsi acquis des droits de propriété, étaient 3 beaux-frères : Randriamasikoto, Jean-Marie et Randriasamy. A la suite des trois phases de défrichement, leurs parcelles défrichées ont été réparties entre leurs descendants.

Le tableau V montre qu'à partir des deux principales périodes d'aménagement de bas-fonds, 1986 et 1998-2000, de nouveaux casiers sont aménagés tous les ans. On peut considérer que l'aménagement initial est suffisant pour justifier la défriche des versants, et que les creusements de nouveaux casiers remontent ensuite en amont des talwegs ou du côté du versant SO qui reste à cultiver. Les rizières 3 et 4 poursuivent leur extension au-delà de 2006, au rythme de plusieurs casiers par an, faisant apparaître une cinquième rizière sur le recensement de 2009 rendu possible par la très haute résolution disponible en 2008.

**Tableau V : Usage du sol des parcelles du bassin versant 1**

Usage du sol BV1	2006 Parcelles (total)	
Rizière	13	11%
Culture	44	36%
Jachère	33	27%
Herbe	3	2%
Plantation	14	15%
Bois Eucalyptus	4	
Forêt restante	11	9%
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>100%</b>

Les 44 parcelles sur versants observées en culture en 2006 (Tableau VI) se répartissent entre 18 en patate douce, 11 en manioc et 15 en maïs-haricot. Seulement trois parcelles en 2006 ont été vues en herbe et incluses dans l'échantillon. L'image SPOT 2008 montrera qu'à cette date deux des trois parcelles en herbe sont déjà labourées pour une culture de manioc ; l'état Herbe est donc transitoire.

Les 14 parcelles qualifiées de plantations en 2006 (9 en canne à sucre et banane, 5 en jardins et arbres fruitiers) sont réunies dans la même classe d'occupation du sol que les 4 parcelles de boisement d'eucalyptus. La classe Plantation qui regroupe les cultures pérennes et les bois d'eucalyptus, qui représente déjà 15 % des parcelles recensées en 2006, risque de prendre de l'importance avec le développement de la canne à sucre qui apporte aux paysans un revenu, une fois transformée illicitement en alcool.

**Tableau VI : Classification des parcelles du BV3 selon l'exposition des versants et les dates de défrichement**

N° Versant et Orientation	Défricheur	Années défrichement	Parcelles	
I. NO 300-350°	Rapierre, premier défricheur	1985-1988	16	29 %
II. NE 10-45°	Raly et Ravaolahy  Raly	1985-1988 : bas versant. 1999, vu en 2004	16	29 %
III. SO 210	Rapierre  Samuel, René, François et Gilbert.	1985-1988 : bas versant. 1999, après attaque sangliers	9	16 %
IV. SO 264	Ravao (maison)	Entre 1991 et 2000 (cultivé)	8	15 %
V. NE, citadelle	Ravala (maison)	Entre 1991 et 2000 (jachère)	6	11 %
VI. Versant Ouest rizière principale	Ratovo (maison)	Cultivé en 2008		
VII. Versant Est rizière principale				
Total			55	100 %

En récapitulant les parcelles inventoriées dans le bassin versant 1, on décompte 122 parcelles en 2006 (Tableau V). Rapporté au total des 287 parcelles puisque la surface du bassin versant est de 28,7 ha, cela représente un taux d'échantillonnage de 42,5 %.

## BV2

Le BV2 aurait commencé à être exploité par abattis-brûlis vers 1995. Il n'y en a pas de trace sur la photo aérienne de 1991 mais des parcelles défrichées et cultivées apparaissent sur les images satellitaires de 2000 et 2004. Le bas-fond aménagé en rizière, non visible depuis la crête car il est entouré de forêts, était déjà aménagé en 2000 par Razozy. En 2009 cette rizière incluse dans la forêt couvrait avec ses 17 casiers une surface approximative de 2 584 m<sup>2</sup>, soit l'équivalent de 3 parcelles de rizière. La reconstitution de l'occupation du sol en 2009 a également dénombré 2 lots d'eucalyptus, 7 lambeaux forestiers restants, 5 parcelles défrichées détectées par l'imagerie spatiale, soit 17 parcelles sur les 127 du bassin versant (puisque la surface est de 12,7 ha), ce qui équivaut à un taux d'échantillonnage de 13,4 %.

## BV3

Dans le cas du bassin versant 3, la défriche des 3 longs versants d'Ampangorinana n'est pas connectée avec l'aménagement de la rizière en aval, affluente de la rizière d'Ambokibokoa, qui appartient comme toutes les rizières en aval à la même propriétaire, Ravao. L'aménagement des bas-fonds est antérieur aux dates de défriche des versants étudiés. Les élargissements de casiers ultérieurs concernent le lit principal de la rivière, pas l'affluent, plus encaissé, qui n'a plus de possibilités d'agrandissement.

On distingue dans ce bassin versant un défricheur principal et 3 périodes de défrichement, plus anciennes que dans le BV1 (1988, 1995 et 1999), mais les premiers lots de défrichement sont restés indivisés. Le premier versant cultivé depuis 1988, qui est en herbe (*kilanjy*) pâturée par les zébus depuis 2007, commence à se recoloniser en arbustes depuis 2008 (Photo H2). La transition herbacée observée dans le BV3 n'apparaît pas encore dans le BV1, d'où l'intérêt d'étudier dans quelles conditions cette transition herbacée a pu apparaître.

En 2006, l'emprise agricole reste moindre que dans le premier bassin versant ; la forêt restante et les défriches âgées dominant (Photo H3). La distribution des parcelles suivies, entre les versants que l'on distingue par leur exposition, est indiquée dans le tableau VII et le détail des états d'occupation du sol en 2006, dans le tableau VII.

**Tableau VII : Usage du sol des parcelles observées dans le bassin versant 3 en 2006**

Usage du sol 2006	Nombre de parcelles	
Rizière	9	9,9 %
Culture	9	9,9 %
Jachère	34	37,4 %
Herbe	12	13,2 %
Eucalyptus	5	5,5 %
Forêt restante	22	24,1 %
Total	91	100 %

Les 55 parcelles identifiées couvrent les 2/3 du bassin versant. Il faut y ajouter les parcelles dénombrées à partir de l'imagerie satellitaire, les 9 parcelles équivalentes des casiers rizicoles, les 5 lots d'eucalyptus et 22 lambeaux forestiers restants. Le total de 91 parcelles représente 17 % des 534 parcelles du bassin versant (surface de 53,37 ha). Ce taux plus faible que dans le BV1 est cohérent avec un plus faible degré d'emprise sur la forêt.

Des 9 parcelles observées en culture en 2006, 5 sont en manioc, 3 en patate douce, 1 en maïs-haricot (Tableau VII). La proportion de parcelles en herbe montre bien que l'ancienneté de la défriche et l'intensité des cycles de culture se sont traduits, dans ce bassin versant, par une extension des recrûs herbacés plus importante que dans le BV1. Mais comme dans le premier bassin versant, ces états en herbe ne resteront pas longtemps puisqu'une partie de ces parcelles a été labourée et plantée en manioc entre 2008 et 2009. Par ailleurs, les parcelles non labourées se sont repeuplées d'arbustes et de jeunes pieds d'*Harungana*, ce qui revient à une transition vers une jachère arbustive. Tout ceci montre bien que les couvertures en herbe sont colonisées à nouveau, avec le temps, par des arbustes : il ne s'agit donc pas d'une bifurcation herbacée qui ferait de la transition en herbe une transition irréversible. Comme dans le BV 1, on note également des bois d'eucalyptus, mais en moindre proportion, mais pas de culture pérenne. Les plantations de canne à sucre détectées au pied du versant II défriché puis au dessus du tombeau dans le haut du même versant, ne se sont pas étendues comme dans le bassin versant 1. Ce constat correspond bien à la déprise observée.

## Constitution et analyse de la base de données

### Base de données

Le domaine couvert par la base de données est l'échantillon des parcelles qualifiées dans les 3 bassins versants, depuis la première défriche de 1957 jusqu'en 2006, qui inclut l'ensemble des casiers en rizière, les plantations d'eucalyptus de 1985 maintenues en boisements ensuite, les lambeaux forestiers intacts au bout des 50 ans et les séries chronologiques des 6 états d'occupation du sol reconstituées sur un échantillon des parcelles de versant cultivées en 2006.

Sur un extrait du fichier d'historique parcellaire entre 1985 et 2006 (pour une question de taille de fichier, la période 1987-1995 n'est pas présentée), année de clôture de l'usage du sol, on comprend mieux le produit résultant de la reconstitution historique (Figure G1). A l'intersection d'une ligne (parcelle) et d'une colonne (année), on lit l'occupation du sol cette année là parmi les 6 états d'occupation du sol. On assume que les trois bassins versants sont en forêt en 1956 et que les premières trouées observées en 1957 datent de cette année là.

On constate que l'état Forêt occupe une bonne partie du fichier alors que la seule information fournie est la période de chaque « paquet » de défriche. En dehors des lambeaux forestiers qui resteront en forêt jusqu'en 2006, la dernière parcelle défrichée en forêt date de 2000, au moment de l'interdiction. Par contre des casiers rizicoles ont continué d'être creusés chaque année à partir des rizières existantes. Les plantations de canne à sucre dans le fond des vallons ont été un des premiers usages après la mise en culture sur défriche, la couverture forestière cachait à l'époque l'activité illicite de distillation de canne à sucre en alcool.

Dans les séries chronologiques, l'état Plantation est donc apparu après les états Culture et Jachère mais avant l'état Herbe. L'état en herbe est apparu plus tard, dans le premier versant défriché du bassin versant 3, qui avait donc subi le plus grand nombre de cycles culture-jachère. La mise en culture après un retournement à la bêche a été observé sur certaines parcelles en herbe pour une plantation de manioc. Ce que l'on observe sur les données c'est qu'après une mise en culture, le recrû reste herbacé au premier abandon. Il a fallu attendre 2009 pour qu'un recrû herbacé soit colonisé par des arbustes, pour une reprise de jachère arbustive. Cette observation postérieure à notre base de données démontre cependant que la transition culture-herbe ne conduisait pas à une bifurcation herbacée irréversible.

Parmi les 5 trouées dans la forêt observées en 1957, ces parcelles sont restées assez longtemps en recrûs pour passer à un état de Forêt assimilé à une jachère de plus de 30 ans. Nous considérons que ce sont des situations de régénération forestière ; elles sont donc incluses dans la base de données comme des transitions J → F. Ce sera important pour l'utilisation qui pourra en être faite pour calibrer des modèles de transition. Dans le cas contraire, le compartiment forêt n'apparaîtrait que comme un réservoir de défriche, sans possibilités de régénération.

Par contre une transition n'a pas été observée au cours de la période couverte par la base de données : Culture pérenne → Culture annuelle, dont on ne sait toujours pas si elle pourrait avoir lieu. La conjoncture est plutôt à l'augmentation des surfaces en culture pérenne, soit pour marquer la propriété sur des jachères plus ou moins âgées, soit pour répondre au marché rémunérateur de la production d'alcool. L'abandon de ces cultures pérennes est actuellement peu envisageable ; il correspondrait à un vieillissement de la plantation ou bien à une chute du prix de l'alcool dans le cas de la canne à sucre. On en déduira que l'état Culture pérenne est absorbant, au moins à l'échelle de temps de notre base de

données. Il serait donc préférable de le distinguer de l'état Boisement avec lequel il était réuni dans une classe « Plantation » puisque des défrichements de boisements de pins ou d'eucalyptus ont été observés dans d'autres parties du paysage de lisière forestière. L'état Plantation est absorbant à notre échelle de temps mais pas l'état Boisement.

On constate également que l'abattis-brulis a été stoppé après 2003, au moment de son interdiction par les COBA. Des défriches sont encore observées en 2004, mais ont cessé ensuite. Il faut attendre les années 2008-2009 pour observer de nouvelles défriches, qui n'apparaissent donc pas dans la base de données reconstituée. Les informations sur la période plus récente de 2007-2014 pourraient donc modifier quelque peu notre vision des dynamiques d'occupation du sol.

### Schéma de transition

L'analyse précédente nous conduit à définir les transitions observées et les transitions possibles, qui sont reportées sur le schéma de la figure H1, en distinguant les transitions naturelles et les transitions humaines, les transitions réversibles ou non. Les transitions naturelles entre états différents sont indiquées en italique ; la transition naturelle dans un même état, qui correspond à l'incrémentation annuelle de la croissance végétale, est indiquée par une flèche partant et arrivant au même état. Les transitions humaines entre états différents sont dues à une intervention humaine (labour, plantation, semis, etc.) et lorsque l'état reste le même, la flèche indique une nouvelle culture chaque année ; ce qui vaut pour les rizières et les champs cultivés sous pluie. Quelle que soit l'origine de la transition, on parlera de temps de séjour dans un même état. La conversion de Forêt à Rizière est la seule transition irréversible, sur notre pas de temps de 50 ans.

## Discussion

Une base de données parcellaires sur 50 ans apparaît comme un maximum de reconstitution possible, compte-tenu de la date des premières photos aériennes. Limitée spatialement, la base de données que nous avons construite est représentative de la lisière de la forêt humide de Fianarantsoa. Le processus de déforestation peut être suivi dans le temps long sur la base d'une population de parcelles dont on cherche à comprendre les transitions. L'occupation du sol étant caractérisée par une occurrence d'usage du sol, on s'intéresse plus à la probabilité de changement d'états qu'aux limites et localisations exactes des parcelles. En général les évaluations datées de l'occupation du sol à notre portée, comme celles que l'on déduit d'une interprétation d'images SPOT anciennes, ne permettent pas de repérer des parcelles mais des unités spatiales intermédiaires constituées de lots de parcelles en pente ou de casiers de rizières. Il est possible de les localiser, de dater les défrichements ( $F \rightarrow C$ ) et les aménagements ( $F \rightarrow R$ ) en raisonnant par trouées dans une matrice forestière (présence-absence). Pour des transitions plus récentes, le développement de la très haute résolution met à disposition des images de résolution inférieure à 10 m jusqu'à 2,50 m. Cependant ce progrès indéniable ne résoudra sans doute pas nos préoccupations d'analyse multi-dates d'occupation du sol sur de petites parcelles d'agriculture familiale. C'est pourquoi il reste important d'affiner la méthode d'obtention de ces séries chronologiques et faire en sorte qu'elle soit reproductible. Un modèle de dynamique de la déforestation peut être calé sur la base des données constituées à partir d'un tel observatoire de la dynamique annuelle de l'occupation du sol.

Certaines successions d'une ou deux années de mise en culture après défrichement et avant abandon ( $F \rightarrow C \rightarrow J$  ou  $F \rightarrow C \rightarrow C \rightarrow J$ ), observées dans la base de données, sont atypiques car elles n'obéissent pas à des règles agro-écologiques. Ces défriches brèves peuvent être interprétées comme des stratégies

foncières de marquage à nouveau de territoires antérieurement défrichés. La généalogie des premiers défricheurs éclaire comment les lots de parcelles défrichées sont transmis aux ayant droits. Nous retrouvons dans les données une stratégie foncière qui sera développé dans une autre publication.

Nous avons vérifié que les transitions ( $F \rightarrow C \rightarrow J$ ) étaient contemporaines des transitions ( $F \rightarrow R$ ) ou les suivaient. Les défriches de la forêt se poursuivant, il apparaît un état plantation ( $C \rightarrow P$ ). L'état herbe apparaît plus tard ( $C-H$ ) et avant les interdictions effectives de défriche de la forêt. Au cours des 50 ans d'histoire culturelle, l'apparition progressive de nouveaux états d'occupation du sol, Plantation puis Herbe, après Culture et Jachère, et la disparition progressive mais partielle comme nous l'avons vu de l'état Forêt, vont délimiter des périodes de temps homogènes quant à la palette des occupations du sol. Les comparaisons de l'occupation du sol entre deux dates ne pourront se faire qu'au sein de ces périodes homogènes. Par ailleurs, ces périodes ont-elles-mêmes des durées variables. On observe 15 à 20 ans entre deux dates de paquets de défrichement (1965 - 1985 - 2000) et, du fait de la mauvaise qualité des images satellitaires de 1986 et 1988, l'écart de temps est de 35 ans entre les photos aériennes de 1957 et 1991.

Du fait de la résilience des forêts humides, nous avons concentré notre attention sur les temps de séjour en considérant que la dynamique de fond était la reconstitution, après défrichement et mise en culture, d'un couvert forestier. La simplification des catégories « Boisement » et « Herbe » se justifiait alors dans le sens d'un blocage momentané de la régénération forestière. Une culture pérenne (10 ans) et un bois de pins, eucalyptus ou mimosa (20 ans) sont de ce fait considérés comme appartenant à la même catégorie de Plantation, correspondant à une immobilisation longue en dehors de la régénération forestière. Ces états d'occupation du sol retournent à la tendance lourde de la régénération forestière, dès que la couverture végétale est détruite (récolte complète de bois par coupe à blanc de la plantation, brûlis).

Si l'on enchaîne plusieurs cycles de cultures, des jachères « intermédiaires » ou « jachères intercalaires » apparaissent avec des durées variables (en blanc sur la Figure G1). Dans le cas contraire, la « jachère finale » est une friche ou un recrû forestier, et n'est plus à proprement parler une jachère car on ne sait pas quand elle sera défrichée ou même si elle sera défrichée, mais on peut toujours lui attribuer un âge. Il faut cependant avoir à l'esprit que cet âge des jachères finales est un artéfact conditionné par la date de fin d'observation fixée ici à 2006. Les « jachères intercalaires » ont une durée qui peut se raisonner par rapport à une reconstitution de la fertilité. La durée des « jachères finales » se discute par rapport au temps de reconstitution d'un couvert arboré et des âges autorisés pour le défrichement. C'est sur ces durées que se jouent les infractions de défrichement et par conséquent les possibles réglementations définissant les limites de forêt « mature », jachère de 8 ans ou encore d'autres règles.

Le jeu de données couvrant la période 2007-2012 serait dans ce sens utilisable sur les 3 bassins versants pour confirmer l'état Jachère final ou la réversibilité de l'état Herbe et vérifier si de nouvelles dynamiques de défriche n'apparaissent pas dans la période récente.

## Conclusion

Un bilan exhaustif sur un bassin versant borné de l'usage annuel d'une population dénombrable de parcelles constitue une information précieuse pour comprendre la dynamique de la déforestation sur une cinquantaine d'années.

Il est en effet extrêmement difficile, soit par observation directe (végétation, histoire des interventions culturelles, plantes indicatrices), soit par enquête rétrospective (datations dans le passé, contradictions entre les témoignages), de connaître l'âge de la jachère et de reconstituer l'histoire culturelle d'une parcelle depuis la première défriche en forêt. Notre échantillon est de taille réduite (3 petits bassins

versants jointifs) mais représente une diversité de situations, marquée par des périodes de défriche décalées et l'apparition de nouveaux états d'occupation du sol. Le domaine de généralisation d'un modèle de transition entre six états d'occupation du sol, établi sur cette base, tient à la combinaison de l'aménagement des bas-fonds et de la défriche des versants, comme moteur de la déforestation.

Le choix d'une unité de référence indépendante du processus de déforestation, comme le bassin versant, a aidé à reconstituer la chronologie de la déforestation sur une base exhaustive. Le fait de disposer d'un espace borné, initialement en forêt, autorise à évaluer la vitesse de divers processus depuis la première défriche : aménagement des bas-fonds, défriche de la forêt, possibilités de régénération forestière. C'est donc une nouvelle approche de la déforestation, beaucoup plus fine, qui est proposée, et qui conduit à expliquer les phénomènes afin de pouvoir agir sur eux.

Ainsi les lambeaux forestiers restés intacts et non défrichés au bout de 50 ans sur les hauts de versants et les crêtes ont pu être dénombrés, la limite de COBA jouant encore le rôle de frontière du front de défriche. Par ailleurs, le fait qu'on ait pu observer la transition Jachère-Forêt au bout de 30 ans démontre qu'une régénération est possible, même si elle est très peu fréquente. Cette mention des 30 ans montre a posteriori qu'il faut définir cette transition de manière plus précise : au bout de combien d'années considère-t-on qu'une vieille jachère est passée à l'état de Forêt, ou qu'une régénération forestière est acquise ? Tenir compte d'une régénération possible signifie que la transition Jachère-Forêt peut se réaliser avec une probabilité non nulle. L'état forêt n'étant pas dans ce cas absorbant, il peut être maintenu dans un modèle de transition stochastique comme la chaîne de Markov.

Ce dispositif est particulièrement adapté à l'étude locale des transitions et de la dynamique des couverts post-forestiers. Selon l'objectif recherché, on peut s'en tenir au premier niveau développé ici, l'usage simplifié (6 états d'occupation du sol possibles par parcelle et par an), ou détailler deux autres niveaux d'informations : (1) usage détaillé (cultures détaillées ou même associations de cultures, formations végétales de chaque classe d'âge de jachère, travail du sol selon la pente-orientation de la parcelle), (2) propriétaire de chaque parcelle (nom, date).

Si le besoin d'aboutir à des bilans n'est pas posé, les parcelles n'ont plus à être jointives et l'on peut imaginer d'étendre le dispositif à une unité de référence spatiale différente d'un bassin versant comme, par exemple, une fenêtre délimitée le long de la lisière forestière (Ratiarson *et al.*, 2011). On perd alors sans doute la possibilité de détailler la propriété ou la conduite agro-écologique des parcelles mais on se retrouve alors avec un semis de points que l'on peut assimiler à un tirage au sort de parcelles, non jointives, sans exigence d'exhaustivité. Il s'agit alors de comparer des pixels correspondant à chaque parcelle à différentes dates, ces pixels pouvant être interprétés selon la même palette des six états d'occupation du sol.

L'évolution des défrichements accroît la saturation de l'espace, jusqu'à l'interdiction de la COBA ou jusqu'à la prochaine interdiction. Pour contrôler la conservation du domaine forestier, il apparaît nécessaire de simuler la dynamique de ces défrichements. Dans le cas étudié, le moteur provient des décisions des agriculteurs de défricher et d'abandonner des parcelles en fonction des besoins alimentaires de leurs familles, l'agriculture étant essentiellement d'autoconsommation. Avec une base de données sur 20 ans (depuis 1986) ou reconstituée sur 50 ans (depuis 1957), quelles seraient les possibilités de prolonger les tendances observées dans les années à venir pour réfléchir sur les questions de la disparition ou du maintien d'un couvert forestier et des moyens à mettre en œuvre pour parvenir à en conserver une partie ?

## Références bibliographiques

- Bertrand A., Aubert S., Montagne P., Lohanivo A.C., Razafintsalama M.H., 2014 : « Madagascar, politique forestière : Bilan 1990-2013 et propositions ». *Madagascar Conservation & Development*, 9(1) : p. 20-30.
- Bertrand A., Karpe P., Aubert S., 2008 : « Le statut juridique des terres : perspectives historiques et sociales », dans F. Sandron (ed.), *Population rurale et enjeux fonciers à Madagascar*. Antananarivo/Paris: CITE/Karthala: p. 35-57.
- Blanc-Pamard C., 2000 : « Histoire d'un vallon (Hautes terres centrales de Madagascar) », dans M. Barrué-Pastor, G. Bertrand (eds.), *Les temps de l'environnement*. Toulouse: Editions PUM: p. 388-398.
- Blanc-Pamard C., 2004 : « Un jeu foncier de front pionnier en forêt de Mikea ». *Land reforme, Réforme agraire, Reforma agraria*, 2: p. 94-107.
- Blanc-Pamard C., Rakoto Ramiarantsoa H., 1993 : « Les bas-fonds des hautes terres centrales de Madagascar : construction et gestion paysannes », dans M. Raunet (ed.), *Bas-fonds et riziculture*. Antananarivo : Actes du séminaire d'Antananarivo, 9-14 décembre 1991, CIRAD: p. 31-47.
- Blanc-Pamard C., Ralaivita M., 2004 : *Ambendrana : un territoire d'entre-deux. Conversion et conservation de la forêt (corridor betsileo, Madagascar)*. Rapport GEREM IRD-CNRE. Antananarivo/France : CNRS-EHESS CEAf, 86 p. + annexes.
- Carrière S.M., Ratsimisetra L., Edmond R., 2007 : « Le couloir forestier de Fianarantsoa : forêt «primaire» ou forêt des hommes ? », dans G. Serpantié, Rasolofoharino, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation, le «corridor» Ranomafana – Andringitra, Madagascar*. Antananarivo/Marseille: CITE/IRD: p. 39-46.
- Gorenflo L.J., Corson C., Chomitz K.M., Harper G., Honzák M., Ögler B., 2011 : « Exploring the association between people and deforestation in Madagascar », dans R.P. Cincott, L.J. Gorenflo (Eds.), *Human population. Its influence on Biological diversity*. Berlin Germany: Springer-Verlag (Ecological Studies 214): p. 197-218.
- 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-culturale dans la région d'Analabo », dans S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo, C. Aubry (eds.), *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. Antananarivo : Actes de l'atelier CNRE/IRD, 8-10 novembre 1999 : p. 327-337.
- Guariguata M.R., Ostertag R., 2001 : « Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics ». *Forest Ecol. Manage.*, 148: p. 185-206.
- Harper G., Steininger M., Tucker C., John D., Hawkins F., 2007 : « Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar ». *Environmental Conservation*, 34: p. 325-333.
- Hervé D., 2012 : « Chapitre 6 : Des unités de paysage intermédiaires pour comprendre les dynamiques de l'occupation du sol », dans S. Lardon (ed.), *Géoaquonomie, paysage et projets de territoire. Sur les traces de Jean-Pierre Deffontaines*. France: Editions Quae (Coll. Indisciplines): p. 105-119.
- Hervé D., Andrianarivo A., Randrianarison A., Ratovonirina G., Rakotoarimanana V., Razanaka S., 2010 : « Dynamiques spatio-temporelles des savanes incluses en forêt (Madagascar) ». *Revue Télédetection*, 9(3-4) : p. 182-194.
- Hervé D., Hajalalaina A.R., Ramanandraibe H.L., Rahaingo Rafanomezantiana T., Randrianantenaina M.T., 2011 : *Aménagement des bas-fonds et population dans les communes du corridor forestier de Fandriana – Vondrozo (COFAV)*. Rapport de recherche MEM (Modélisation pour l'environnement à Madagascar). Fianarantsoa Madagascar : IRD/ Université de Fianarantsoa, 54 p.

Kassi N'Dja J., Ake-Assi E., Tiebre M.-S., 2010 : « Biodiversité végétale et vitesse de régénération de la forêt classée de Sanaimbo (Côte d'Ivoire) ». *Sciences & Nature*, 7(2) : p. 195-206.

Kassi N.J., Decocq G., 2008 : « Spatio-temporal patterns of plant species and community diversity in a semi-deciduous tropical forest under shifting cultivation ». *J. Veg. Sci.*, 9(6) : p. 809-820.

Lasry F., Blanc-Pamard C., Milleville P., Razanaka S., Grouzis M., 2005 : *Environnement et pratiques paysannes à Madagascar*. Atlas Cédérom IRD-CNRE. Paris : IRD Editions.

Lasry F., Grouzis M., Milleville P., Razanaka S., 2004 : « Dynamique de la déforestation et agriculture pionnière dans une région semi-aride du sud-ouest de Madagascar : exploitation diachronique de l'imagerie satellitale haute résolution ». *Photo-Interprétation*, 1 : p. 26-33.

Lubini A., 2003 : *La gestion des forêts tropicales secondaires en Afrique*. Atelier FAO/EC - LNV/GTZ, IUCN-ICRAF-CIFOR. Cameroun, Douala, 17-21/11/2003 (document thématique N°1).

Messerli P., 2004 : *Alternatives à la culture sur brûlis sur la falaise est de Madagascar: Stratégies en vue d'une gestion plus durable des terres*. Berne : Geographica Bernensia (African Studies Series A17), 348 p.

Moreau S., 2002 : *Les gens de la lisière. La forêt, l'arbre et la construction d'une civilisation paysanne Sud-Betsileo, Madagascar*. Thèse de géographie, Université de Paris X (France), 667 p.

Mutzenzer F., 2010 : *Déforestation et droits coutumiers à Madagascar*. Paris : Karthala, 360 p.

Pfund J.L., 2000. *Culture sur brûlis et gestion des ressources naturelles : évolution et perspectives de trois terroirs ruraux du versant est de Madagascar*. Thèse doctorat ès Sciences naturelles, Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich (Suisse), 323 p.

Raharimalala O., Buttler A., Dirac Ramohavelo C., Razanaka S., Sorg J.-P., Gobat J.-M., 2010 : « Soil-vegetation patterns in secondary slash and burn successions in Central Menabe, Madagascar ». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(1-2) : p. 150-158.

Rakoto Ramiarantsoa H., Blanc-Pamard C., 2014 : *Biodiversités en partage. Reconfigurations de ruralités dans le corridor forestier betsileo tanàla (Madagascar)*. Marseille : Editions IRD (Coll. A travers champs), 276 p.

Rakotoasimbahoaka C., Ratiarson V., Ramamonjisoa B., Hervé D., 2010 : « Modélisation de la dynamique d'aménagement des bas-fonds rizicoles en forêt », dans A. Sbihi, E. Badouel, I. Lokpo (eds.), *Actes du 10<sup>ème</sup> Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées*, Rubrique Modélisation des Systèmes Complexes. CARI 2010. Côte d'Ivoire : Yamoussoukro, 18-21 octobre 2010, INRIA-Hope Connexion : p. 293-300.

Ramamonjisoa B., 2004 : « Origines et impacts des politiques de gestion des ressources naturelles à Madagascar ». *Schwiez. Z. Fortswes.*, 155(11) : p. 467-475.

Rasolofoharinoro, 2001 : « Successions végétales post-culturelles dans la région d'Andasibe-Pernet », dans S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo, C. Aubry (eds.), *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. Antananarivo : Actes de l'atelier CNRE/IRD, 8-10 novembre 1999 : p. 315-326.

Ratiarson V., Hervé D., Müller J.P., 2011 : « Calibration et validation d'un modèle de dynamique d'occupation du sol post-forestière à base d'automate temporisé à l'aide d'un modèle markovien. Application à la transition forêt-agriculture à Madagascar ». *Cahiers Agricultures*, 20(4) : p. 274-279.

Raunet M. (ed.), 1993 : *Bas-fonds et riziculture*. Antananarivo : Actes du séminaire d'Antananarivo, 9-14 décembre 1991, CIRAD, 517 p.

Serpantié G., Toillier A., Carrière S., Razanaka S., 2007 : « Déforestation à Fianarantsoa au XX<sup>ème</sup> siècle : un corridor en sursis », dans G. Serpantié, Rasolofoharinoro, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation, le «corridor» Ranomafana - Andringitra, Madagascar*. Antananarivo/Marseille : CITE/IRD : p. 47-56.

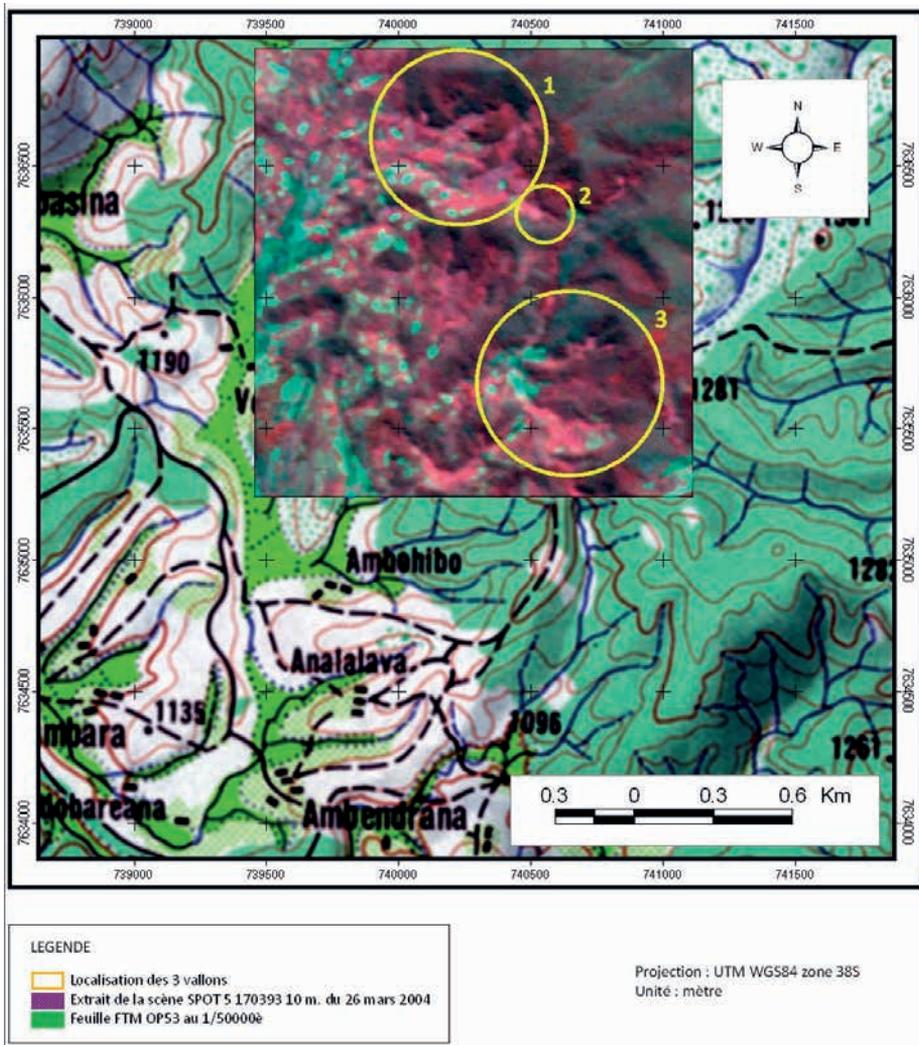
Styger E., Rakotondramasy H., Pfeffer M.J., Fernandes E.C.M., Bates D.M., 2007 : « Influence of slash-and-burn farming practices on fallow succession and land degradation in the rainforest region of Madagascar ». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119 : p. 257-269.

Sussman R.W., Green G.M., Sussman L.K., 1994 : « Satellite imagery, human ecology, anthropology and deforestation in Madagascar ». *Human Ecology*, 22 : p. 333-354.

Toillier A., 2009 : *Capacités d'adaptation des agriculteurs à la conservation des forêts dans le corridor Ranomafana-Andringitra (Madagascar). Perspectives pour un aménagement intégré des territoires*. Thèse de Doctorat spécialité Sciences agronomiques, AgroParisTech (France), 537 p.

Van Germeden B., Olf H., Parren M.P.E., Bongers F., 2003 : « The pristine rain forest? Remnants of historical human impacts on current tree species composition and diversity ». *J. Biogeogr.*, 30 : p. 1331-1390.

Willis K.J., Gillson L., Brncic T.M., 2004 : « How "virgin" is virgin rainforest? ». *Science*, 304 : p. 402-403.



Carte E1 : Localisation des 3 bassins versants dans le terroir d'Ambendrana



Photo E2 : Parcelle de versant sous le chemin marquant la limite de COBA

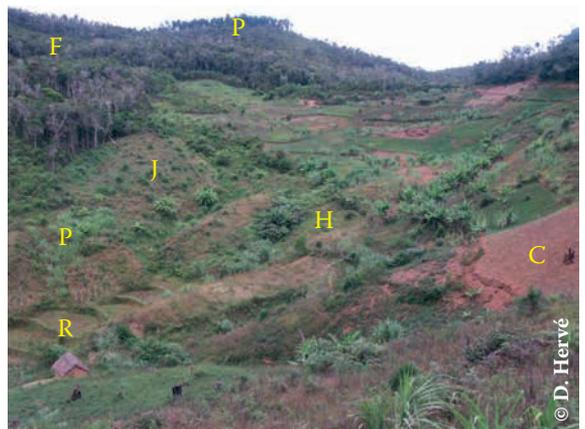
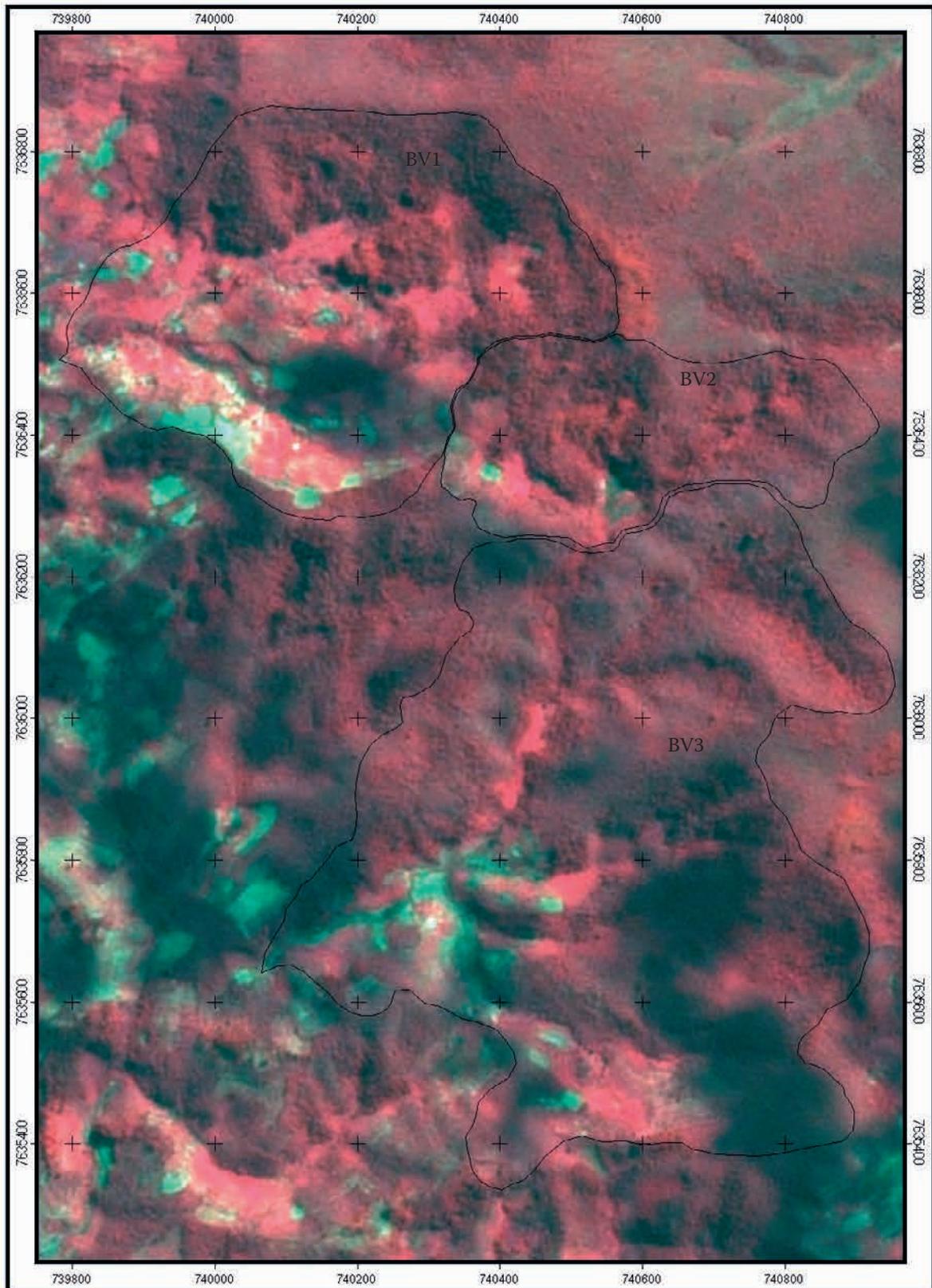


Photo E3 : Mosaïque paysagère à 6 états d'occupation du sol



Carte F1 : Limites des 3 bassins versants sur fond SPOT 2008

1985	1986	87-95	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
F	R		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
F	F		F	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R
F	F		F	F	F	R	R	R	R	R	R	R	R
F	F		F	F	F	F	C	C	J	J	J	C	C
F	F		F	F	F	F	F	C	C	C	C	P	P
F	F		F	F	F	C	C	C	C	C	C	J	C
F	F		F	F	F	C	C	C	C	P	P	P	P
F	F		F	F	C	C	C	J	J	C	C	C	C
F	F		F	F	F	F	C	C	J	J	J	J	J
F	F		F	F	F	F	C	C	C	J	J	J	J
F	F		F	C	C	C	C	J	J	C	C	C	J
F	F		F	F	F	F	C	C	C	C	C	J	C
F	F		F	F	F	F	C	C	C	C	C	C	C
F	C		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
F	F		J	J	C	C	H	H	H	H	H	C	H
F	F			J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
F	F		C	C	J	J	J	J	J	J	J	J	J
F	F		C	C	H	H	H	H	H	H	H	C	H
F	F		F	F	F	C	C	J	J	J	J	J	J
F	F		F	F	F	C	C	C	C	C	C	C	C

Une ligne représente une parcelle, une colonne une année ; au croisement l'état annuel de la parcelle parmi 6 états.

F : Forêt (vert), C : Culture annuelle (blanc), J : Jachère (jachère intercalaire en bleu ciel et jachère finale en bleu marine), H : Herbe (orangé), P : Plantation (culture pérenne et boisement en jaune), R : Rizière (mauve).

Figure G1 : Extrait de l'histoire culturelle depuis 1985 des parcelles inventoriées en 2006



Photo G2 : Versant défriché au Nord-Est du bassin versant 1



Photo G3 : Versant à peine défriché au Sud-Ouest du bassin versant 1

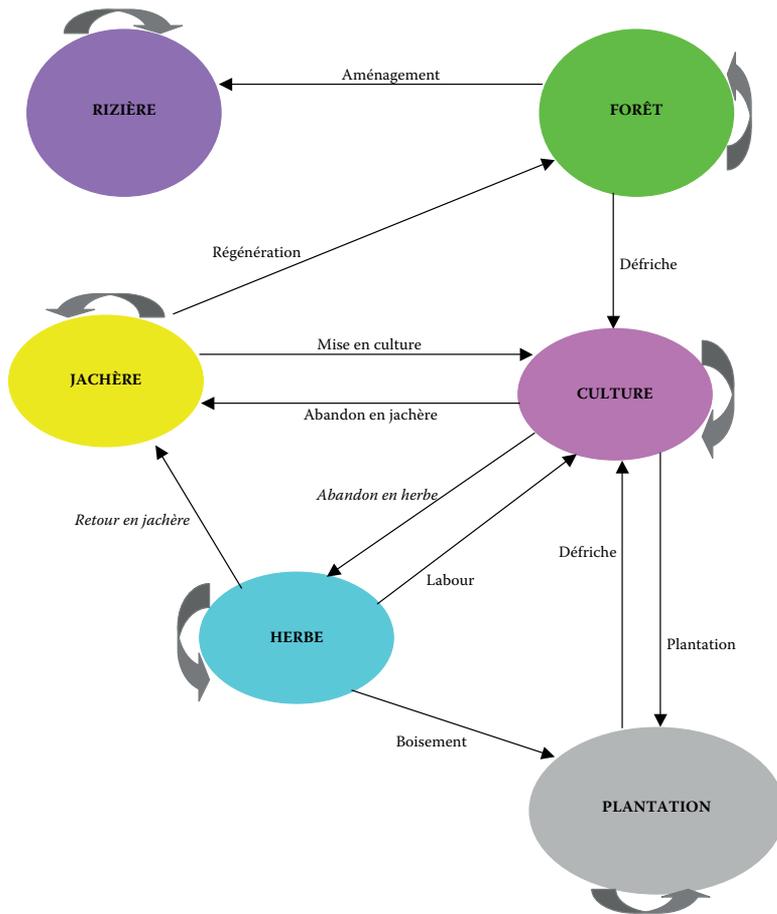


Figure H1 : Schéma de transition entre 6 états d'occupation du sol (forêt ombrophile)



Photo H2 : Jachère herbacée (*Kilanjy*)



Photo H3 : Défriche récente dans une forêt longtemps préservée (bassin versant 3)

# Transitions agraires

## au sud de Madagascar



# Résilience et viabilité

## deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**



Institut de recherche  
pour le développement



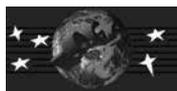
# Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**

**Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM :  
«Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar»  
Antananarivo, 10-11 juin 2013**

**Antananarivo 2015**



## **Mise au point des manuscrits et mise aux normes de la collection PARRUR**

Noly Razanajaonarijery

## **Traduction des titres, résumés et mots clés en anglais**

Domoina Rakotomalala

## **Conception de la couverture**

François Adoré Razafilahy, MYE

## **Auteurs des photos de couverture**

En recto de couverture, photo de Stéphanie Carrière

En dos de couverture, photo de Dominique Hervé

## **Référence de l'ouvrage pour citation**

Hervé D., Razanaka S., Rakotondraompiana S., Rafamantanantsoa F., Carrière S. (eds.), 2015. Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation. Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM «Forêts, Parcs, Pauvreté au sud de Madagascar», 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-SCAC/PARRUR, Ed. MYE, 366 p.