

Conduite de recherches interdisciplinaires sur les transitions post-forestières. L'exemple du Collectif Sud Madagascar

Interdisciplinary research management on post-forest transitions: the case of South Madagascar network

D. HERVÉ¹

S. RAZANAKA²

S. RAKOTONDRAOMPIANA³

F. RAFAMANTANANTSOA⁴

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

(2) Centre National de Recherche sur l'Environnement (CNRE), BP 1739, Antananarivo 101, Madagascar

(3) Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et Télédétection (LGET), Institut & Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo. Antananarivo (Madagascar)

(4) Ecole Nationale d'Informatique, Université de Fianarantsoa, BP 1484, Fianarantsoa 301, Madagascar

Résumé

La dynamique de la couverture forestière fait maintenant l'objet à Madagascar d'un suivi par télédétection tous les 10 ans, échéance que l'on voudrait ramener à 5 ans et si possible jusqu'à un an. L'évaluation de la déforestation se fait donc toujours a posteriori. Afin de réfléchir en termes de prospective, sur la base de scénarios, des modèles de simulation sont élaborés à partir de séries chronologiques de longue durée sur l'occupation du sol. Pour recueillir et traiter ces données, un dispositif de recherche pluridisciplinaire a été mis en place qui combine trois axes, agronomie-écologie, géographie-télédétection et modélisation mathématique-informatique. Nous analysons les conditions de construction à Madagascar de ce collectif pluridisciplinaire à travers les chroniques des programmes GEREM (« Gestion des Espaces Ruraux et Environnement à Madagascar »), MEM (« Modélisation pour l'Environnement à Madagascar ») puis du projet FPPSM (« Forêts, Parcs, Pauvreté dans le Sud de Madagascar »), en dégagant deux aspects essentiels : une interdisciplinarité nécessaire (vocabulaire et traduction, terrains partagés, échanges organisés) et une thématique complexe, la gestion des ressources naturelles, abordée par les dynamiques de transition, selon un diptyque conservation et développement. Ce dispositif mis en place progressivement depuis 20 ans au Sud de Madagascar, sur un axe Fianarantsoa-Toliara, a vocation à se pérenniser au sein d'un réseau interdisciplinaire de recherche sur la conservation des forêts et le développement rural à Madagascar.

Mots clés : conservation, développement, dynamique de l'occupation du sol, interdisciplinarité, modélisation, transition

Abstract

The dynamics of forest cover in Madagascar has been monitored by remote sensing every 10 years, aiming to reduce this path to five years and possibly up to one year. But the deforestation assessment is always a posteriori evaluation. At reverse, to think with images of the future, we propose to build scenarios with simulation models based on land use long-term time series. To collect and analyse these data, a multidisciplinary research is conducted, which combines environmental studies based on agronomy, ecology and geography, and modeling studies using mathematics, computer science and remote sensing. We analyze the conditions of such network building in Madagascar through the chronicles of multidisciplinary researches : GEREM (Rural Spaces Management and Environment in Madagascar) and MEM (Environmental Modeling in Madagascar) programs, and the FPPSM project (Forests, Parks, Poverty in South Madagascar), by identifying two main aspects: a necessary interdisciplinary (vocabulary and translation, shared land, organized exchanges) and a complex subject that addresses the diptych conservation and development by the dynamics of land use transitions. This device has been developed since 20 years in southern Madagascar, above the line Fianarantsoa-Toliara. It aims to sustainable research on forest conservation and rural development in Madagascar.

Mots clés: conservation, development, land use dynamics, interdisciplinarity, modeling, transition

Introduction

« Changer pour durer », était le titre d'un colloque de Cerisy en 2009¹². Les constructions interdisciplinaires concernant l'environnement prennent du temps, elles sont souvent innovatrices mais le mot d'ordre est d'abord de durer.

Notre intention est de reconstituer comment des étapes de recherche se sont enchaînées dans le Sud de Madagascar depuis 20 ans (GEREM, Gestion des espaces ruraux et environnement à Madagascar ; puis MEM Modélisation pour l'environnement à Madagascar), pour arriver à la configuration du projet FPPSM (Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar). Entre mi-2011 et mi-2014, un collectif inter-institutionnel s'est constitué à Madagascar, a appris à travailler en interactions entre disciplines de l'environnement et disciplines de la communication, pour à présent se présenter groupé dans des appels d'offres ou des choix stratégiques de priorités de recherche pour le développement.

Depuis une vingtaine d'années donc, des écologues, agronomes et géographes travaillent ensemble sur la gestion des forêts du Sud de Madagascar. Deux programmes GEREM ont étudié successivement des forêts sèches puis des forêts humides au sud de Madagascar, puis le programme MEM a introduit un volet de modélisation.

GEREM 1-Toliara (1996—2002) - Forêts sèches. Razanaka *et al.* (2001) rendent compte de l'ensemble de ce programme GEREM dans le sud-ouest de Madagascar et Lasry *et al.* (2005) traduisent dans un SIG les cartes et bases de données collectées dans la commune d'Analamisampy en lisière de la forêt sèche des Mikea. Blanc-Pamard *et al.* (2005) relatent cette expérience d'interdisciplinarité pour traiter de l'environnement, entre agronomie, écologie et géographie.

GEREM 2-Fianarantsoa (2003-2006) - Forêts humides. Serpantié *et al.* (2007) synthétisent une partie des résultats du programme GEREM dans le corridor Ranomafana-Andringitra, acquis par des chercheurs, une doctorante et de nombreux étudiants en DEA ou diplômes d'ingénieurs de l'Université d'Antananarivo.

MEM (2007-2014) – Modélisation. Avec le projet ANR DEDUCTION, sont venus se joindre aux écologues, agronomes et géographes déjà constitués en équipe, d'autres compétences, en modélisation et en télédétection (Hervé *et al.*, 2009). Trois enseignants chercheurs en informatique de l'Université de Fianarantsoa ont interagit avec ces disciplines de l'environnement et soutenu leurs thèses (2011, 2013). Des géophysiciens et des géographes

¹² Colloque IRSTEA

de l'Université d'Antananarivo se sont formés à la télédétection depuis 2008, date à laquelle se sont réunis pour la première fois tous les utilisateurs malgaches de SIG et d'imagerie satellitaire, puis avec la création en 2009 du CNT (Comité national de télédétection).

Tous les écologues formés par l'IRD ont pu être ensuite réunis au sein du projet FPPSM (FSP/PARRUR du MAE) entre 2011 et 2014. C'est dans ce projet qu'ont été comparées les forêts humides et sèches du Sud de Madagascar en actualisant les couvertures de l'occupation du sol après 10 ans. Les résultats des recherches menées par le collectif d'institutions malgaches en charge du projet FPPSM (collectif Sud Madagascar) sont restitués dans Hervé *et al.* (2015). Nous en tirons plusieurs réflexions, sur la construction de l'interdisciplinarité, et sur l'intérêt d'observatoires.

Nous retraçons tout d'abord l'enchaînement de ces trois opérations de recherche qui se sont déroulées dans le Sud de Madagascar pour comprendre la genèse des trois axes du projet FPPSM : Ecologie et agronomie, Géographie et télédétection, Modélisation. L'interdisciplinarité interne aux deux premiers axes, que nous appellerons thématiques, est illustrée par trois exemples : (1) le dialogue entre agronome et écologue sur jachère et recru, (2) la relation entre la géophysique de l'imagerie satellitaire et l'observation directe de l'occupation du sol, la « vérité terrain », (3) l'apport de l'agro-économie aux typologies d'exploitations. Enfin sont abordées les interactions entre thématiciens et informaticiens qui ont produit une modélisation de la dynamique de l'occupation du sol. Finalement l'interdisciplinarité entre les trois axes a été développée sur la base des deux concepts de résilience et de viabilité.

Chroniques

GEREM TOLIARA ET FIANARANTSOA

La dynamique rapide d'explosion du marché du maïs, puis du coton, en front de défriche d'une forêt sèche révèle un contexte d'agriculture de vente à proximité d'une aire protégée, le nouveau parc national de Mikea. Des circuits de collecte de maïs ont été organisés pour l'exportation à destination de l'élevage porcin à La Réunion. Les mêmes filières ont pu être valorisées pour un autre produit industriel, le coton. A cette fin s'est réalisée une concentration foncière au profit de très gros producteurs sur des centaines d'hectares.

Le contraste entre les terres argileuses à coton à l'est de la RN9 et la défriche de la forêt sur des terres sableuses à l'ouest de la RN9, avait été souligné par Razanaka *et al.* (2001). Pour la forêt de Mikea, Lasry *et al.* (2004) ont évalué une surface défrichée de 69,72 km² entre 1999 et 2001 soit une vitesse de recul de la forêt d'approximativement 35 km².an⁻¹, beaucoup plus rapide que celle qu'avaient observé entre 1990 et 1999 Blanc-Pamard & Rebara (2001). Ce recul forestier a été confirmé dans la forêt de Mikea, entre 2005 et 2008, avec un taux de déforestation annuel de 6,7 %, et entre 2008 et 2013, avec un taux réduit à 1,6 % (Ravonjimalala *et al.*, 2014). Ce ralentissement est à mettre en relation avec la création du parc de Mikea en 2007. Le programme GEREM-Toliara a caractérisé cette forêt sèche de peu résiliente et sensible à un processus de savanisation (Grouzis *et al.*, 2001 ; Leprun *et al.*, 2009). Elle offre encore des habitats à des ignames sauvages collectées par les plus pauvres.

Des solutions techniques ont été identifiées : extension de la culture d'arachide pour la transformation en huile et pour l'approvisionnement en grains des marchés, organisation des filières d'autres légumineuses (pois, haricots et lentilles), prêt ou vente de l'équipement en charrue et paire de zébus qui manque aux ménages pour pouvoir mettre en culture toutes leurs terres disponibles. Ces solutions ont pour principale finalité d'augmenter la fourniture d'aliments afin de contrecarrer les famines, plus au Sud, qui sont à l'origine d'un flux migratoire vers le Nord.

Durant ces 6 ans de 1996 à 2002 ont été formés de nombreux étudiants en DEA et diplômés d'ingénieurs des universités d'Antananarivo (DBEV, ESSA) et de Toliara (géographie) et deux doctorants ont soutenu leur thèse, en géographie et en écologie.

Le choix, à partir de 2002, de passer des forêts sèches de l'ouest aux forêts humides de l'est malgache, correspondait à une nouvelle étape de recherche sur les transitions agraires, à partir de formations forestières plus résilientes (GEREM-Fianarantsoa en 2003-2006). Ce choix des forêts humides de Fianarantsoa a conduit les mêmes partenaires, CNRE et UA, à engager des contacts avec des informaticiens de l'Université de Fianarantsoa.

MEM

C'est au cours du programme MEM, basé cette fois-ci à Fianarantsoa, que la thématique s'est ouverte, de 2007 à 2011, sur la modélisation et que le partenariat s'est élargi aux mathématiciens et informaticiens de l'Université de Fianarantsoa. Cette nouvelle coopération entre l'IRD et l'Université de Fianarantsoa s'est appuyée sur le projet ANR DEDUCTION (2007-2010) qui traitait, par la modélisation, de l'ingénierie du développement durable.

Enfin, un projet du FSP/PARRUR dénommé FPPSM pour « Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar » a permis pendant 3 ans (2011-2014) d'étendre les terrains de recherche dans une visée comparative et d'actualiser des résultats acquis sur un terrain déjà travaillé, la forêt de Mikea, sur un pas de temps de 10 ans. Les partenaires se sont alors diversifiés pour constituer un Collectif dédié au Sud de Madagascar. Avec ce projet FSP/PARRUR, 6 partenaires se sont fédérés à l'initiative de l'IRD, dans le Collectif Sud Madagascar et en particulier trois universités : Université d'Antananarivo (IOGA, DBEV, ESSA-Forêts), Université de Fianarantsoa (ENI) et Université de Toliara. Les deux universités du Sud ont donc travaillé ensemble, et en lien avec l'université d'Antananarivo.

CHRONIQUE D'UNE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE FPPSM

FPPSM, un dispositif multi-sites

Un défi du projet FPPSM a été de réunir plusieurs institutions malgaches dans une plateforme de recherche à vocation régionale et pluridisciplinaire. La conservation de la forêt ne peut en effet être envisagée sans traiter également des situations hors forêt et sans en traiter la dynamique. La comparaison de l'occupation du sol entre plusieurs dates était envisageable, soit en disposant de séries les plus longues possibles d'états annuels d'occupation du sol, soit en ayant recours à la télédétection, avec moins de dates de comparaison mais des zones de référence plus étendues. L'objectif dans les deux cas est d'analyser ces évolutions passées pour en déduire des tendances futures, avec des outils de modélisation.

Un axe horizontal a été choisi, qui traverse la grande île d'ouest en est, afin de recouper la principale diversité climatique : l'opposition entre le versant soumis aux alizés à l'est et le versant plus sec orienté vers le canal de Mozambique à l'ouest. Cet axe transversal devait traverser les principaux écosystèmes de l'île, allongés selon une orientation Nord-Sud. Cet axe Ouest-Est pourrait être placé au Nord, au niveau de Mahajanga, entre le parc d'Ankarafantsika (région Boeny au nord ouest) et la région Analanjirofo (au nord est), qui prolonge le parc Zahamena-Matadia à l'Est¹³. Deux sites à l'extrême nord et à l'extrême sud du pays ont aussi un intérêt particulier, celui de réunir sur de courtes distances ces deux écosystèmes secs et humides, au Nord à Antsiranana et au Sud à Toloanara. Nous avons décidé de faire passer cet axe transversal dans le Sud de Madagascar, globalement au Sud d'un axe Fianarantsoa-Toliara.

Les 5 sites de terrain du projet FPPSM étaient conçus pour être articulés en réseau : forêt littorale et savanes du sud-est (entre Vangaindrano et Farafangana, sur le site du MBG, Manambo) ; forêt humide de l'Est et ses bifurcations herbacées (corridor forestier COFAV, Fianarantsoa) ; forêt sèche (Mikea) et fourrés épineux (Betioky) du sud-ouest et les savanes associées (arrière pays de Toliara) ; transect forêt humide - forêt sèche à Fort-Dauphin (Andohahela). Cependant, ce dernier site a dû être abandonné du fait du coût des déplacements depuis Antananarivo, et malgré des collaborations intéressantes entre le WWF, des ONGs en partie financées sur le marché du carbone, Good Planet liée à Air France et l'ONG « Ecterra » qui travaille sur le stockage du carbone aérien et souterrain avec le CIRAD.

¹³ Cet axe avait d'ailleurs été proposé pour le projet « Pegase », soumis à l'ANR avec le CIRAD en 2013, mais non retenu.

Notre proposition s'appuie donc principalement sur deux sites dans lesquels nous disposons de séries temporelles longues, Toliara (GEREM de 1996 à 2002 puis actualisation dans le projet FPPSM de 2011 à 2014) et Fianarantsoa (programme GEREM de 2003 à 2007, programme MEM et projet Dédution de 2007 à 2011, projet FPPSM de 2011 à 2014). Sur cette base, une analyse comparée a été menée entre forêts humides à l'est et forêts sèches à l'ouest, qui pourrait être généralisée à l'ensemble du Sud de Madagascar. Le principe est de valoriser des accumulations longues de données, tant en forêts humides qu'en forêts sèches, qui pourraient servir de référence et de supports de modélisation dédiés à ces deux écosystèmes. En coordination avec des écologues (CNRE, DBEV et ESSA-Forêt de l'université d'Antananarivo, EPFL Lausanne), des géographes (UMR GRED de l'IRD-UPV, UMR ADESS du CNRS-Bordeaux 3) et des forestiers du CIRAD à Madagascar (DP-Forêt), ces axes traversant horizontalement la grande île pourraient constituer l'ossature d'un dispositif national de suivi et pilotage des forêts à Madagascar, à la condition que les différentes institutions acceptent de coordonner leurs efforts.

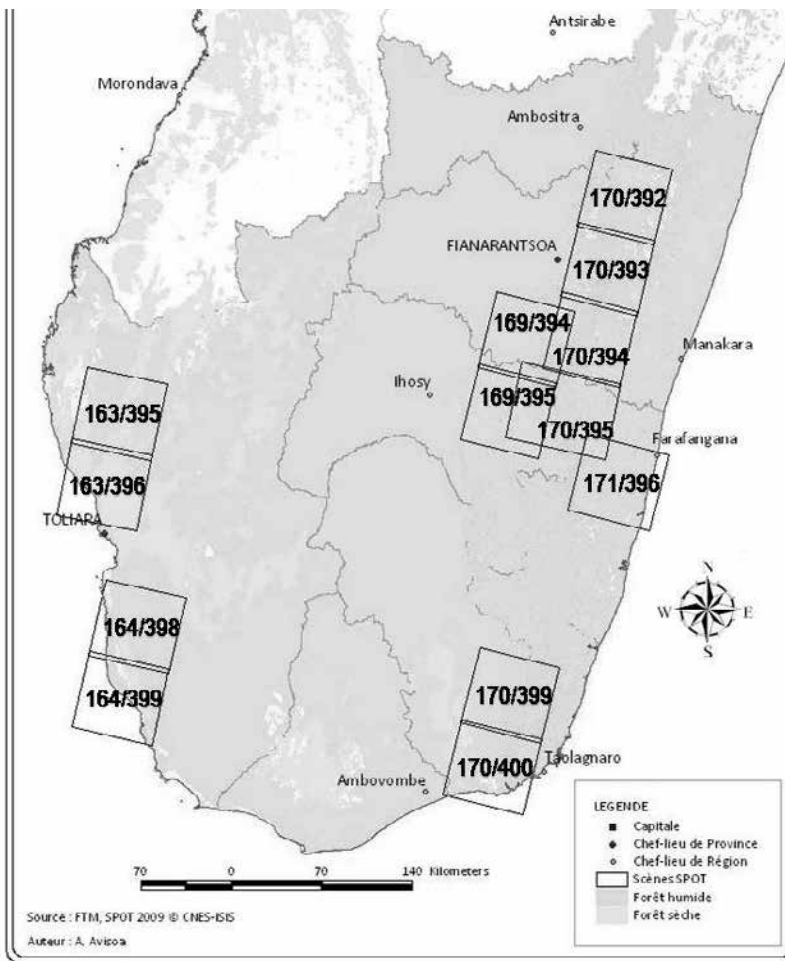


Figure 1 : Couverture Spot des 5 sites du projet FPPSM

[d'Est en Ouest: COFAV (Fianarantsoa), Manombo (Farafangana), Andohahela (Taolagnaro),
Betioky (Sud Toliara), Mikea (Nord Toliara)]

Objectif et hypothèses

L'objectif est de mieux comprendre le processus qui suit la première défriche d'une surface forestière, pour prédire le devenir des couverts forestiers, et les conséquences pour les populations rurales du Sud de Madagascar. Processus signifie dynamique, mais avec ici la particularité de n'être pas limité aux processus biologiques de la croissance d'une biomasse végétale mais d'aborder également la gestion des espaces post et péri-forestiers puisque ces forêts sont habitées. Dans ce cadre d'analyse, entre nature et société, la conservation des forêts est un processus actif et dynamique dans lequel l'acteur central est l'agriculteur défricheur. Deux concepts sont mis en avant comme supports de cette conservation, la résilience et la viabilité.

Les forêts ne sont pas toutes résilientes au même niveau. La viabilité économique des peuples forestiers reste-t-elle assurée lorsque l'accès à la forêt ou aux ressources forestières est interdit ? A quel niveau de dégradation du couvert forestier et de fragmentation, cette forêt sera-t-elle menacée ?

Deux hypothèses sont discutées :

- (1) les modalités de conservation des forêts dépendent de leur capacité de résilience ;
- (2) un accès durable aux ressources forestières et fourragères serait un moyen efficace de lutter contre la pauvreté.

Mise en place et résultats d'une capacité de traitement de l'imagerie satellitaire

Une approche spatiale est priorisée, afin de détecter les changements d'occupation du sol entre deux dates, les transitions forêt-non forêt et le potentiel de régénération forestière des états non forêt. Nous avons pris l'option de rechercher un accès gratuit aux images satellitaires et de former un potentiel malgache à l'utilisation de ces images.

Le potentiel malgache reposait essentiellement sur la génération CFSIGE, comme l'avait montré la réunion organisée par l'IRD en 2008 des utilisateurs de SIG et télédétection. D'où l'incitation à la création en 2009 d'un réseau, le « Comité national de télédétection » (CNT), dont le secrétariat a été assuré depuis le début par l'IOGA basé à l'Université d'Antananarivo. Ce renforcement du potentiel malgache était programmé dans un document de travail du CNT qui a été proposé en 2012 à un financement européen (MATIS-OI/ACP EuropAid STD2, 2013-2016), en y associant les Comores, mais ce projet n'a pas été retenu.

IMAGES

L'inauguration de la station SEAS-OI à Saint-Pierre de la Réunion en 2012, et les contacts entre partenaires malgaches (CNRE, IOGA) et comoriens (CNDRS) la même année (grâce au projet IRD/PAREGO PAPAPRA), ont ouvert des possibilités d'accès gratuit à des images SPOT récentes de haute résolution, qui prenaient la relève des images d'archives payantes à un tarif subventionné pour la recherche (CNES-ISIS¹⁴). Les projets successifs, GEREM puis MEM, se sont ainsi pourvus en images multi-dates au Sud de Madagascar.

Des reconnaissances de terrain ont pu être programmées aux mêmes dates ou à des dates voisines des images SPOT 5 obtenues de la station SEAS-OI. Cet accès gratuit à des images SPOT 5 a cessé en mars 2015 avec la fin annoncée des émissions du satellite, mais doit être relayé par de nouvelles modalités d'accès aux images SPOT 6 et 7¹⁵. Ces nouveaux satellites combinent la haute résolution (1,50 m) et une couverture large utile à l'échelle

¹⁴ Le programme ISIS du CNES offre des images à un tarif préférentiel à des utilisateurs chercheurs de l'hexagone, à la condition de satisfaire aux critères de sélection des dossiers et de transmettre les publications résultantes du traitement des images commandées.

¹⁵ SPOT 6 et SPOT 7 délivrent des produits avec une résolution de 1,50m avec 5 bandes spectrales (Panchromatique PAN/ Rouge/Vert/Bleu/Proche Infra Rouge PIR), qui se superposent totalement car les acquisitions sont simultanées.

nationale d'un pays (fauchée de 60 km). D'autres satellites de la famille SPOT offrent des résolutions encore plus élevées, comme Pléiades¹⁶ qui offre une résolution de 50 cm en panchromatique et 2 m en multispectral, sur un balayage de 20 km et avec une fréquence de passage journalière.

Pour les 4 sites du projet FPPSM, d'autres commandes ont été réalisées au CNES-ISIS en novembre 2011 (début de projet, sur financement PARRUR), et dans le site de Mikea en avril-juin 2014 (fin de projet, sur financement IRD). Afin de compléter des séries temporelles d'images, ce qui est indispensable à la construction de modèles de transition, d'autres sources d'images d'archives sont maintenant prospectées à la MTD de Montpellier : GEOSUD et THEIA, pour des images SPOT d'archives de plus de 5 ans d'âge et postérieures à 1986 (programme World Heritage).

Par ailleurs, le satellite Landsat 8 prend la suite de Landsat 7, avec une résolution à 10 m en panchromatique mais toujours 30 m en multispectral, qui améliore la performance de 15 m en panchromatique qu'offrait Landsat 7. Les deux nouveaux canaux de Landsat 8 devraient améliorer les corrections atmosphériques. Mais Sentinelle-2 concurrence Landsat 8 avec une résolution de 10 m en panchromatique et 20 m en multispectral, et une fréquence de passage de 5 jours.

Pour nos modèles de transition, cet afflux de données satellitaires doit être confronté à des objectifs de traitement précis, afin d'en vérifier l'utilité. On comprend bien qu'il devient indispensable de s'organiser collectivement, d'une part pour bénéficier d'une veille technologique sur l'usage de ces outils et, d'autre part, pour suivre les modalités changeantes d'accès gratuit aux nouvelles images disponibles pour la recherche. Cette veille est actuellement assurée par le CNT (Comité national de télédétection), à l'Université d'Antananarivo. Par ailleurs, l'augmentation de la quantité d'images à traiter, leur très haute résolution et la multiplicité des nouveaux capteurs, imposent une capacité de gestion importante et évolutive des bases de données (Hajalalaina *et al.*, 2015).

TRAITEMENTS

Le traitement d'une image satellitaire requiert bien sur l'image elle-même mais ce n'est plus, à présent, le principal goulet d'étranglement. Il faut réunir également un ordinateur de mémoire suffisante et connecté à internet, avec les logiciels de traitement d'images correspondants. Il faut bien sur compter sur une personne formée en télédétection. L'effort de formation doit donc être continu, le long de toute la filière LMD, et surtout, pour la télédétection, en master et doctorat.

C'est dans cet esprit qu'un doctorant, Aimé Richard Hajalalaina, a été formé à la méthode Orfeo Tool Box (OTB), ce qui a donné lieu à une publication (Hajalalaina *et al.*, 2013), avec le collègue de l'IGN Manuel Grizonnet. D'autres formations OTB ont été organisées à Madagascar ou depuis La Réunion. Un doctorant du CNRE, Hibrahim Rijaso Ravnjimalala, travaille sur des images Landsat et SPOT de la forêt sèche des Mikea, avec le logiciel ENVI et sous MTV (classification-objet). Un doctorant du département de géographie de l'UA, Avisoa Andrianarivo, travaille sur des images SPOT avec ENVI sans recourir au langage objet. Différentes méthodes de traitement sont donc testées, combinaison (Andrianarivo *et al.*, 2015) ou fusion (Hajalalaina *et al.*, 2015), afin d'explicitier toutes les procédures et les chaînes de traitements, suivant les questions traitées.

Dans cette évolution permanente, notre objectif reste celui de constituer des séries chronologiques qui puissent alimenter des modèles de dynamique d'occupation du sol. La facilité de télécharger les images Landsat donne pratiquement accès à des images annuelles particulièrement intéressantes pour des suivis diachroniques de l'occupation du sol. La résolution de 30 m qu'offrait Landsat peut être affinée sur certaines zones bien ciblées par des images Spot 5, en combinant l'imagerie multispectrale à 10 m (T) qui restitue les contrastes et l'imagerie panchromatique à 2,50 m (J) qui permet de gagner en résolution.

¹⁶ La constellation Pléiades produit des images couleur à 50 cm de résolution les mêmes 5 bandes spectrales (Panchromatique PAN/Rouge/Vert/Bleu/Proche Infra Rouge PIR).

RESULTATS DU VOLET TELEDETECTION

Le principe était de mettre à l'épreuve les produits des satellites captés pour rendre compte d'un large spectre de couverture végétale (dense-clairsemé, arboré-arbustif-herbacé, humide-sec). Des images satellitaires combinant Landsat 7 (30 m) et Landsat 8, Spot 1 à Spot 4 (20 m) et Spot 5 (10 m - 2,50 m), suivant les dates, sont traitées pour suivre l'occupation du sol dans des zones forestières et péri-forestières (Hervé *et al.*, 2010). Dans le cas de la forêt humide, nous avons pu remonter aux premières photos aériennes datant de 1957 (Hervé, 2015). Dans chacune des formations, forêts humides et forêts sèches, sont évalués la capacité de résilience des différents types de forêts, les facteurs de déclenchement et les caractéristiques de la transition forêt-savane (Randrianarison *et al.*, 2015 ; Rakotoarisoa *et al.*, 2015). Les données permettant de comprendre ces transitions sont intégrées dans des modèles prospectifs de la dynamique de l'occupation du sol (Ratiarson *et al.*, 2011 ; Hervé *et al.*, 2013).

Nous avons constitué des jeux d'images multi-dates pouvant être traitées par des télédéTECTEURS formés, en poste dans des institutions, ou suffisamment stables afin de ne pas perdre ce capital acquis, d'où le choix de doctorants en thèse. Le démarrage s'est fait progressivement sur des images du CNES-ISIS (avant 2012), pour apprendre à sélectionner, puis à traiter ces images, enfin à les interpréter en les combinant à des vérités terrain. Les commandes se sont accélérées à partir de 2012 dès l'ouverture de la station SEAS-OI (SEAS-OI 2012-2013, CNES-ISIS 2013, SEAS-OI 2014-2015), en aboutissant à une banque d'images SPOT sur les forêts humides (Tableau I) et une autre dédiée aux forêts sèches (Tableau II).

Tableau I : Acquisition d'images satellitaires en forêts humides du sud est de Madagascar

Capteur	Date jj/mm/aaa	Numéro de scène KJ	Résolution	Remarque et Observation	Source
Spot 4	1986	170-192	20 m	Ranomafana N	Images GEREM du COFAV
	1989	170-392/8			
	1999	170-393		Ranomafana S-Androy	
	1999	170-394		Sahabe	
	2000	170-392			
	26/03/2004	170-392	20 m C et 10 m NB		Images GEREM
	26/03/2004	170-393			
Spot 5	14/06/2005	170-392	J = 2.50 m et T = 10 m		CNES-ISIS
		170-393			
		170-394			
Spot 5	2009	170-392	2.50 et 10m		CNES-ISIS
		170-393			
		170-394			
Spot 5	23/08/2012	170-392	2.50 et 10 m		SEAS-OI (thèse A. Andrianarivo)
		170-393			
		170-394			
	13/10/2013	170-393	2.50 et 10 m	Nuages COFAV	SEAS-OI (DH – 03/12/2014)
		170-392		Nuages COFAV	SEAS-OI (DH – 03/12/2014)
		170-393			
	14/10/2013	170-394	J = 2.50 m et A = 10 m		SEAS-OI (DH – 03/12/2014)
		170-392			
		170-393			
Spot 5	05/06/2014	170-392	J = 2.50 m et T = 10 m	COFAV	SEAS-OI (DH – 03/12/2014)
		170-393			
		170-394			
Spot 5	2009	171-396		Mahabo-MBG	SEAS-OI (thèse M.Rakotoarisoa)
Landsat 7	2012		30 m		
Landsat 8	2013		15 et 30 m		
Landsat 8	2014		15 et 30 m		

Dans la forêt humide de l'Est, plusieurs sites ont été couverts : le COFAV dans la zone périphérique du parc de Ranomafana (Ranomafana Nord, au Nord Est Fianarantsoa, scène 170-392 ; Ranomafana Sud, à l'Est de Fianarantsoa, scène 170-393 ; Ambalavao, scène 170-394) ; le corridor Andringitra-Ivohibe (scènes 160-394 et 160-395) et la zone littorale au Sud de Farafangana, qui correspond au Mahabo, MBG (scène 171-396). Le jeu d'images sur les forêts humides du COFAV est traité par Avisoa Andrianarivo (Andrianarivo *et al.*, 2013), et sur la transition forêt-savane du sud-est côtier par Marino Falitina Rakotoarisoa.

Dans la forêt sèche du sud-ouest, le Nord de Toliara est consacré à la Forêt de Mikea, Parc de Mikea : 163/395 au Nord, 163/396 au Sud, et le Sud de Toliara à la zone de Betioky et Soalara : 164/398 au Nord, 164/399 au Sud. Le Parc de Andohahela à Taolagnaro est couvert par les scènes de 170/399 au Nord et 170/400 au Sud. Le jeu d'images sur les forêts sèches du sud-ouest est traité par Hibrahim Rijaso Ravanjimalala (Ravanjimalala *et al.*, 2014). Par ailleurs, un sujet de master TRN (Télédétection et Risques Naturels) concernant la dynamique des biotopes du criquet migrateur dans les fourrés du sud-ouest a été traité par Voloso Rakotova (Rakotova, 2013), avec un pilotage de la télédétection par l'IOGA et des travaux sur le terrain par le CNRE.

L'objectif d'un transect Est-Ouest est donc atteint : forêt dense ombrophile, forêt ombrophile dégradée, forêt dense sèche, fourré xérophile, savane. Les outils de télédétection (Landsat, Spot, Google Earth, GPS) sont donc testés avec une variabilité maximum des couverts végétaux. Les difficultés particulières d'application de la télédétection aux forêts sèches sont abordées par Rakotondraompiana *et al.* (2015).

L'intervalle de temps entre deux images traitées oscille entre 5 et 10 ans et entre 1989 et 2014 suivant les lieux. Une période commune à la forêt humide et la forêt sèche est la dizaine d'années qui s'écoule entre 1999 et 2009. Cette fréquence de 10 ans est suffisante pour comparer avant et après la mise en place d'une aire protégée (Hervé *et al.*, 2010). L'objectif de reconstitution de la couverture végétale tous les 5 ans est plus difficile à atteindre. Par contre le suivi des dynamiques de fragmentation paysagère justifie un pas de temps plus serré, inférieur à 5 ans, si possible même annuel. C'est pourquoi nous recherchons pour la forêt de Mikea une fréquence quasi-mensuelle pour suivre l'étendue spatiale de feux de grande ampleur qui ont marqué les années 2014 et 2015.

Tableau II: Acquisition d'images satellitaires en forêts sèches du sud-ouest de Madagascar

Capteur	Date jj/mm/aaaa	Numéro de scène KJ	Résolution	Remarque et Observation	Source
Spot 4	05/03/1997	163-395	20 m	Analamisampy (Nord Mikea)	Image GEREM Tuléar
	03/07/1997	163-395		Analamisampy (Nord Mikea)	
	05/05/1997	164-395			
	07/03/1999	164-395			
	13/03/1999	163-394		Nord de Basibasy	
	13/03/1999	163-395		Analamisampy (Nord Mikea)	
	13/03/1999	163-396		Analamisampy (Sud Mikea)	
	15/03/2001	163-394		Nord de Basibasy	
	15/03/2001	163-395		Analamisampy (Nord Mikea)	
Spot 5	19/03/2008	162-395	2.50 et 10 m	Analamisampy (Nord-Ouest Mikea)	CNT
	19/03/2008	162-396		Analamisampy (sud-ouest Mikea)	
	15/02/2009	163-395	2.50 et 10 m	Analamisampy (Nord Mikea)	CNT (thèse HR Ravonjimalala)
	15/02/2009	163-396		Analamisampy (Sud Mikea)	
	2011	162-395	2.50 et 10 m	Nord Mikea	Espace DEV SEAS-OI
		162-396		Sud Mikea	
		163-397		Soalara	
	17/08/2012	163-395	2.50 et 10 m	Analamisampy (Nord Mikea)	SEAS-OI (thèse HR Ravonjimalala)
	17/08/2012	163-396		Analamisampy (Sud Mikea)	
	04/03/2013	163-396		Analamisampy (Sud Mikea)	
Spot 5	12/03/2014	162-395	J, T	Analamisampy (Nord ouest)	SEAS-OI (thèse HR Ravonjimalala RAMI)
	12/03/2014	162-394	J, T		
	12/03/2014	163-395	J, T	Analamisampy (Nord Mikea)	
	12/03/2014	163-394	J, T		
Spot 5	12/11/2013	162-395	J = 2.50 et T = 10 m	Nord Mikea	SEAS-OI (DH - 03/12/2014)
	03/06/2014	162-395	J = 2.50 et T = 10 m	Nord Mikea	
	28/10/2014	162-395	J = 2.50 m	Nord Mikea	
	11/11/2014	162-395	J = 2.50 m	Nord Mikea	
Spot5	28/11/2014	162-395	J = 2.50 m	Nord Mikea	SEAS-OI (DH – 03/2015)
	07/12/2014	162-395	J = 2.50 m	Nord Mikea	
Landsat 7	21/04/1990	161-075	30 m	Nord Analamisampy	USGS (thèse HR Ravonjimalala)
	15/04/1999	161-075			
	30/04/2002	161-075			
	22/04/2005	161-075			
	05/03/2008	161-075			
	14/05/2010	161-075			
	24/04/1991	161-076	30 m	Sud Analamisampy	USGS (thèse HR Ravonjimalala)
	15/04/1999	161-076			
	30/04/2002	161-076			
	22/04/2005	161-076			
	06/04/2008	161-076			
	14/05/2010	161-076			
Landsat 8	20/04/2013	161-075	15 et 30 m	Nord Analamisampy	USGS (thèse HR Ravonjimalala)
	26/08/2013				
	20/04/2013	161-076	15 et 30 m	Sud Analamisampy	
	26/08/2013				

Exemples d'interdisciplinarités

EXEMPLE 1 – DIALOGUE ENTRE ECOLOGIE ET AGRONOMIE A PROPOS DU CONCEPT DE RESILIENCE

L'intention est d'adapter le dispositif de conservation des forêts à leur degré de résilience, qui diffère entre forêts humides, forêts sèches et fourrés à épineux, en évaluant leurs capacités de régénération. Un objectif spécifique est de comprendre les déterminants des transitions forêts-savanes et d'évaluer les disponibilités fourragères des savanes issues de forêts ou voisines des forêts restantes. Ces objectifs, qui paraissent à premier abord relever de l'écologie, en abordant la dynamique des formations forestières, doivent intégrer les successions culturelles qui ont donné lieu, une fois abandonnée la culture, aux recrûs forestiers, d'où un dialogue nécessaire entre écologie et agronomie.

Les forêts humides dites « originelles » sont très rarement « primaires » (Carrière *et al.*, 2007), elles sont plus ou moins matures ou secondarisées ; en effet on y trouve des vestiges humains, habitat, tombeaux, datant d'un cycle passé ou ré-initié récemment d'exploitation aurifère. Comment passer d'un qualificatif « forêt » à un terme « forêts » qu'il faudrait alors pouvoir classer en types de forêts ? En effet, ces forêts ne sont ni homogènes, ni monolithiques (Randrianarivo *et al.*, 2014). La taille des massifs est réduite par rapport aux grands bassins forestiers de l'Amazonie ou d'Afrique centrale, et les paysages sont des mosaïques dominées par des lambeaux forestiers. Par ailleurs, l'effet de l'historique culturel se marque, dans la parcelle abandonnée, même très longtemps après l'abandon de culture, sur la composition et la structure des forêts secondaires.

Des études récentes ont montré qu'à la différence des forêts sèches du sud-ouest (Razanaka *et al.*, 2001), non résilientes, les forêts humides de moyenne altitude pouvaient se régénérer après l'exploitation (Randriamalala, 2009 ; Randriambanona, 2008), à la condition que leur mise en culture après l'abattis-brûlis ne soit pas suivie d'autres perturbations (défrichement, feux, pâturage, plantation). La capacité de résilience varie donc selon les types de forêts ; élevée en forêt humide, elle est faible mais non nulle en forêt sèche (Randriambanona *et al.*, 2015).

Pour les forêts humides, la thèse d'Andry Randrianarison pose l'hypothèse d'une importance des espèces pionnières dans la régénération des forêts humides et dans le stockage du carbone (Randrianarison *et al.*, 2014). Les possibilités de régénération apparaissent plus élevées dans la forêt ombrophile de l'est que dans la forêt xérophile de l'ouest. 2 % des parcelles suivies dans 3 bassins-versants d'Ambendrana (en forêt humide) durant 50 ans sont passées par une étape de régénération à plus de 30 ans, et parmi ces 4 parcelles, deux parcelles à plus de 40 ans (Hervé, 2015). Ce pourcentage peut paraître faible, mais il est significatif que la régénération s'observe bien, même dans des bassins versants amplement aménagés et cultivés.

La réduction de la durée de régénération des jachères à des forêts secondaires, en passant de 50 ans à moins de 30 ans, permettrait d'envisager des cycles de rotation plus courts en faisant appel aux recrûs âgés, à la place de la forêt mature, pour les mises en culture par défrichement. Il manque cependant des références pour comprendre comment se comporte une formation végétale forestière entre 20 et 50 ans. Les parcelles pouvant être datées sur de telles durées sont rares, ou elles sont rarement étudiées, si bien que l'on manque de références pour définir des rotations longues incluant des jachères forestières entre 10 et 20 ans d'âge (Hervé, 2015).

Par ailleurs, en zone de forêt sèche, une des 7 parcelles suivies depuis 20 ans présentait un faciès de régénération forestière (Randriambanona *et al.*, 2015). La régénération est plus lente mais elle n'est pas nulle ni impossible en forêt sèche. Des formes de régénération existent donc mais elles sont rares et plus difficiles ou lentes en forêt sèche qu'en forêt humide. Les composantes de cette régénération, qui reste mal connue, sont à l'étude : banque de graines (Randriamalala *et al.*, 2012), degré de connectivité entre les fragments forestiers (Ravonjimalala *et al.*, 2014). Le diagnostic d'une faible résilience des fourrés xérophiles débouche sur des recommandations en

matière de fabrication de charbon de bois et de conduite au pâturage des caprins (Radosy & Randriamalala, 2015).

EXEMPLE 2 - UNE INTERDISCIPLINARITE NECESSAIRE POUR INTERPRETER DES IMAGES SATELLITAIRES

Nous proposons de revisiter une expérience concrète d'interprétation d'images satellitaires pour l'analyse multi-dates d'une couverture forestière hétérogène, la forêt ombrophile de l'est malgache. Notre propos s'appuie sur un terrain partagé, parcouru à l'est de Fianarantsoa en 2011 (Hervé *et al.*, 2012a) et 2012 (Hervé *et al.*, 2012b) par une équipe pluridisciplinaire, suivant les voies accessibles par voiture et à pied, dans deux communes en contact avec la forêt ombrophile, Androy et Ambohimahamasina (région de la Haute-Matsiatra).

Pour identifier des paysages en commun entre plusieurs disciplines, dont on pourra extraire des mesures, des objets d'étude sont construits sur le terrain par le croisement de différents points de vue, avant de cerner s'ils sont reconnaissables sur les images satellitaires prises à des dates les plus proches possibles, une fois qu'elles sont traitées pour aboutir à des classifications. La situation particulière qui nous intéresse est une mosaïque paysagère des massifs forestiers et leurs marges, dans la forêt ombrophile du sud-est de Madagascar, plus précisément dans le corridor forestier situé à l'est des villes de Fianarantsoa et d'Ambalavao, qui relie les parcs nationaux de Ranomafana et d'Andringitra. Ce type de mosaïque est représentatif des pressions exercées sur la couverture forestière résiduelle.

Trois représentants des disciplines de géographie, agronomie et écologie, ont dialogués entre eux, puis sous le contrôle d'un géomaticien spécialiste en télédétection, pour élaborer une typologie commune des paysages qui se repèrent ensuite sur des images satellitaires. Face à une fusion peu vraisemblable entre le point de vue de l'agronome exprimé par des « états d'occupation du sol entre lesquels on peut faire apparaître des transitions », le point de vue de l'écologue exprimé par « des habitats définis à partir de la structure de la végétation », le point de vue du géographe « qui nomme ce qui se voit à travers les usages », un point de vue commun aux thématiciens ne peut résulter que d'une négociation. La difficulté d'aboutir à une représentation commune tient à la place donnée d'une part à l'exhaustivité de ce qu'on voit et d'autre part aux changements d'occupation du sol pour comprendre les dynamiques spatiales. Le traitement d'images s'invite alors dans ce dialogue en mettant dans la balance les résultats des classifications de la télédétection : que parvient-on à discriminer, avec quel degré de confusion ? Quelles catégories utilisées par les thématiciens sont reconnaissables donc validées, et quelles catégories sont rejetées ? Quelles classes pourraient être regroupées, et à quel niveau hiérarchique ? Une fois accordée une typologie des paysages à une date récente, qui autorise une reconnaissance de terrain, quelles dynamiques peuvent être reconstruites entre des occupations du sol comparables entre cette date et d'autres dates antérieures ?

Tableau III: Lexique des concepts utilisés dans le projet FPPSM**CONCEPTS GENERAUX**

Viabilité, Résilience, Adaptation, Transition, Pauvreté

ECOLOGIE

Formation végétale, Succession végétale

Habitat écologique

Forêt, Déforestation

Savanisation

Arbre (A), Amas forestier (AF), Lambeau forestier (LF), Massif forestier (MF)

Forêt (F), Forêt dense (Fd), Forêt claire ou dégradée (Fc) ; Forêt humide (FH), Forêt sèche (FS)

Fourré (f) : fourré xérophile, fourré à épineux, fourré dense... le fourré est toujours bas et continu.

Arbuste (a), Amas arbustif (aa), Arbustif discontinu (ad) : couverture arbustive discontinue, Arbustif continu (ac) : couverture arbustive continue.

Steppe (St)

Savane (Sa), savane herbacée (Sh), savane arbustive (Sr), savane arborée (SR)

Herbacé, Graminée = Herbe (H)

Recrû, recrû jeune, recrû âgé, sans présager d'une remise en culture ultérieure ; c'est pourquoi nous le distinguons de la jachère. Recrû herbacé, recrû forestier.

AGRONOMIE

Succession de culture, Système de culture, Jachère

Jachère (J) = recrû, non-culture, dont on attend qu'il soit remis en culture ultérieurement.

Jachère jeune, Jachère âgée ; Jachère herbacée, Jachère forestière

Jachère intermédiaire ou inter-cultures ; Jachère finale ou post-cultures

Cycle de culture, cycle cultural : du semis ou plantation jusqu'à la récolte, puis jachère d'inter-cultures ; un cycle = C + J

Labour, Semis, Sarclage, Récolte

Zone de production, Zone intermédiaire, Echelle intermédiaire

Système de production, Unité de production familiale

Typologie de systèmes de production

Abattis-brûlis : $F \rightarrow C$ ou $P \rightarrow C$, avec feu, l'abattis (coupe à la hache) précédant le brûlis, réalisé une fois le bois sec.

Défriche-brûlis : $J \rightarrow C$, avec feu, défriche sans grands arbres à couper à la hache, suivie de brûlis, réalisé une fois les arbustes secs.

GEOGRAPHIE

Paysage, Type de paysage, Macro-paysage, Dynamique de paysage

Composant paysager, Unité paysagère, Facette paysagère

Petite région

Matrice, Tache, Fragmentation, Connectivité.

Le travail autour des images et les choix nécessaires de traitements pour identifier les objets puis séparer des classes (confusion radiométrique) obligent à structurer les objets d'analyse par rapport à une typologie forcément plus simple que celle préalablement définie par chaque discipline. Ces choix simplificateurs, proposés par le géomaticien, sont argumentés par des mesures propres de pertinence et d'incertitude. Un dialogue fait donc son chemin entre des portions d'espace vues mais qu'il s'agit de qualifier, à plusieurs, par une occupation

du sol homogène, en explicitant puis en dépassant les différences lexicales entre disciplines (Tableau III), et des résultats de classifications visant à discriminer sur une base spectrale des amas de pixels différents avec toute une chaîne de traitements. Il faut dans ces allers et retours se résoudre à des simplifications, négocier des regroupements de classes, pour parvenir à une légende commune, partagée, nécessaire à l'établissement de cartes ou à la comparaison de l'occupation du sol entre deux dates.

EXEMPLE 3 – UN DIALOGUE NECESSAIRE ENTRE AGRONOMIE ET ECONOMIE A PROPOS DU CONCEPT DE VIABILITE

L'objectif affiché dans le projet FPPSM était de prospecter des alternatives économiques et des pratiques innovantes des populations vivant des forêts, en tenant compte des aspects démographiques et de la disponibilité des ressources naturelles. Il faut en effet trouver un équilibre entre la dynamique des ressources forestières et les conditions de survie des familles riveraines de ces formations forestières.

Suite au projet ANR DEDUCTION (2007-2010), dont l'université de Fianarantsoa était l'un des partenaires avec un chantier dans le COFAV, des résultats d'analyses de viabilité avaient été publiés en forêt humide (Bernard, 2009 ; Bernard & Martin, 2012), et dans l'extrême sud malgache (Fanakoa, 2010 ; Andrés-Domenech *et al.*, 2014). Leurs auteurs étaient des économistes et des mathématiciens. Dans le projet FPPSM qui a suivi (2011-2014), nous avons appliqué ce concept de viabilité au sud-ouest malgache, dans un contexte de forêts sèches, en alimentant un modèle de viabilité par des résultats d'enquêtes socio-économiques.

Une approche agronomique de la survie des ménages passe par l'analyse du fonctionnement des exploitations agricoles et de leur diversité, par le moyen de typologies. Une mise en perspective de ces typologies sur un temps long supérieur au cycle de vie d'un ménage permet de reconstituer des trajectoires entre des types d'exploitations agricoles. Ces trajectoires prennent du sens lorsqu'elles sont calées avant et après la création d'aires protégées. Un moyen d'y parvenir est de comparer des typologies d'exploitations agricoles à dix ans d'intervalle. Avec des typologies à dix ans d'intervalle, on se donne les moyens de tracer les trajectoires qu'ont suivies les types d'exploitation identifiés au départ.

En forêt sèche, nous disposons de deux typologies élaborées à 10 ans d'intervalle dans la même commune d'Anamisampy, forêt de Mikea. En 2001, des enquêtes exhaustives à Andraketa, sur le front de défriche de la forêt, et des enquêtes par sondage dans la partie de la commune d'Analamisampy concernée par le *hatsaka* (semis de maïs sur brûlis), ont donné lieu à une typologie des exploitations familiales (Aubry & Ramaromisy, 2003). Des observations complémentaires en économie datant des années 2005 ont été ensuite publiées en 2007 (Aknin *et al.*, 2007). Dix ans plus tard, des enquêtes socio-économiques ont été réalisées sur un transect allant de la lisière forestière à l'Ouest (ancienne zone de *hatsaka*), jusqu'à l'Est de la RN9, la zone traditionnellement cotonnière, dans le cadre de deux DEA soutenus à l'ESSA Agromanagement (Randrianomanana, 2013 ; Andrianantenaina, 2013).

En forêt humide, une typologie a été élaborée par Aurélie Toillier en 2004, ans la commune d'Androy, puis publiée dans sa thèse en 2009. Une actualisation avait été envisagée dans le cadre du projet PARRUR 3 en 2012, mais le projet n'a pas été accepté. Il reste donc à en faire une actualisation. Ces typologies répétées et l'analyse des trajectoires qui en découlent se trouvent limitées par le pas de temps. Pour aller au-delà de 10 ans et fouiller les relations entre exploitations agricoles, vulnérabilité des ménages et variations de la consommation alimentaire, des suivis plus longs doivent être entrepris. C'est ce qui est fait dans le réseau des observatoires ruraux (ROR¹⁷) et, pour ce qui nous intéresse, dans les observatoires situés dans la même région des Hauts Plateaux et bordures forestières à l'Est. Andrianantoandro & Bélières (2015) ont traité les données de l'observatoire d'Ambohimahaso en 2008, et les ont complétées par des entretiens en 2010 et 2011, avec une hypothèse d'impact de la structure

¹⁷ Le Réseau des Observatoires Ruraux ou ROR dépendant de la primature a fonctionné de 1999 à 2009 (<http://www.padr.gov.mg/index.php/le-reseau-des-observatoires-ruraux-orl2/>). En 2008, le réseau comportait 13 observatoires de 500 ménages en moyenne dans chaque observatoire. A la suite des la crise de 2009, il en est resté 4. D'autres observatoires de la vulnérabilité des ménages ont démarré en 2012 dans le Sud de Madagascar sous l'égide de la FAO.

démographique sur la vulnérabilité des ménages, en l'absence de capitaux financiers. C'est une étude statique. Les éléments de comparaison utilisés dans cet article, qui datent de 2003 (Minten & Razafindraibe, 2003), ne permettent pas de retracer des trajectoires, le délai de 2003 à 2008 étant trop court. Pour estimer l'évolution de la diversité des exploitations sur un pas de temps de 10 ans, des alliances sont probablement à envisager avec les observatoires ROR (Réseau d'observatoires ruraux) qui ont fonctionné jusqu'à 2009, les dispositifs d'enquêtes de l'INSTAT et les nouveaux observatoires mis en place par la FAO sur la vulnérabilité des ménages dans tout le Sud de Madagascar. Ces données de population et de revenus des ménages permettraient de mettre en perspectives nos analyses de la viabilité des ménages, tant en forêt sèche (travail amorcé) qu'en forêt humide (travail qui resterait à actualiser)¹⁸.

Dans le cadre des recherches sur la vulnérabilité des familles du Sud de Madagascar, initiées par le CITE et l'UMR Résiliences de l'IRD en 2012 et poursuivies à présent par la FAO, des indicateurs sont suivis annuellement chez un grand nombre de familles dans toutes les villes du pourtour Sud de Madagascar, depuis Manakara jusqu'à Toliara. L'évolution de la vulnérabilité des familles pourra ainsi être reliée à la pression de déforestation exercée sur les forêts littorales du sud-est et sur les forêts sèches du sud-ouest. Dans ces relations, des données de démographie localisées font défaut. Les taux de croissance démographique ont été estimés en ville, mais les données sont beaucoup plus rares dans les communes rurales, et surtout sur les franges forestières. C'est pourquoi une recherche fouillée avait été menée à Ambondrana et Amindrabe (Hervé *et al.*, 2011) sur les sources disponibles de données démographiques afin d'en dégager une méthode applicable à une plus vaste échelle. Les deux principales difficultés rencontrées sont d'une part la dynamique des frontières des unités de recensement, avec des divisions de communes lorsqu'elles deviennent trop peuplées, et d'autre part l'absence de références chiffrées sur les migrations (émigrations et immigrations), surtout en zones forestières.

Il s'agit de relier l'évolution des surfaces défrichées (forêt – surface cultivée) en fonction des capacités d'investissement en travail, soit pour l'aménagement de casiers rizicoles, soit pour la défriche de forêts ou de vieilles jachères forestières. Dans chaque cas, quel est le moteur de l'accumulation de capital dans la famille élargie et comment se différencient les petits exploitants pauvres et les gros exploitants ?

Contrairement à ce qu'on pense communément, ce ne sont pas les plus pauvres qui défrichent mais ceux qui ont une capacité d'investir en payant des défricheurs. Face aux grands défricheurs du sud-ouest, l'aire protégée serait un moyen efficace de protection de la forêt, mais les moyens financiers sont insuffisants pour organiser des patrouilles. Ce sont les ONG, parfois confessionnelles, qui en restant sur place, ont un rôle de surveillance. La participation des communautés de base à la gestion des forêts est analysée dans la durée ; tout la chaîne des institutions doit fonctionner pour que la conservation soit assurée (Ganomanana *et al.*, 2015).

Une population, globalement pauvre mais intérieurement très disparate, et dont la pression démographique reste positive (les seules régulations en œuvre semblent être les migrations), exploite des zones forestières, sources de terrains pour la culture (rizières en priorité) ou pour l'herbe (élevage de zébus). Chaque famille constitue un capital commun qu'elle transmet à ses descendants, tout en assurant sa survie sur un pas de temps annuel, souvent de manière précaire puisque le recours à la soudure est généralisé¹⁹. La raréfaction des ressources, ou l'insécurité d'accès à ces ressources qui empêche une gestion durable, mettent en péril cette survie d'une part et la transmission d'un certain capital, d'autre part.

Les anciens perçoivent-ils cette situation ? Sont-ils inquiets pour leurs descendants ? Envisagent-ils des alternatives au capital acquis par le foncier (forêt humide) ou par les zébus (forêt sèche) ? Les stocks de terres gagnées sur la forêt ombrophile par un premier défrichement donnent droit d'accès aux descendants, ce défrichement sert à nettoyer les versants des bas-fonds aménageables en rizières. Un premier signal d'alarme de cette dynamique de fond est donné par la saturation des bas-fonds aménageables (Rakotohasimbahoaka *et al.*, 2010).

¹⁸ Des collaborations sont envisageables avec des économistes, d'une part du C3EDM de l'Université d'Antananarivo, avec lequel l'UMR GRED est associée, d'autre part de l'UMI Résiliences de l'IRD.

¹⁹ Il s'agit d'une soudure relative consistant en plusieurs mois par an sans riz. Soit l'alimentation journalière est complétée avec des tubercules, soit la ration de riz est réduite à deux repas ou même un seul repas par jour.

Les stocks de zébus maintenus sur des parcours extensifs avec un gardiennage minimum, en valorisant un taux de reproduction naturel, qui même avec des aléas, rivalise avec un taux de prêt bancaire si celui-ci était octroyé aux éleveurs, maintenaient la trésorerie anti-risque des gros exploitants dans les savanes issues des forêts sèches (Randrianomanana, 2013). Un signal d'alarme est donné par la baisse des effectifs bovins du fait de l'insécurité et la tentative d'élaborer une alternative d'élevage caprin adapté aux ressources fourragères des fourrés xérophiles (Randriamalala *et al.*, 2015).

Est-ce que la détérioration récente des conditions de vie remet en cause la constitution de ce capital que lèguera le plus ancien après sa mort, ou remet en cause sa transmission « comme avant », les ayants-droits étant devenus trop nombreux ? Peut-on continuer comme avant ou bien les ménages doivent-ils inventer de nouvelles formes de constitution et transmission de ce capital ?

Construction d'une interdisciplinarité par la modélisation

Des écologues formés à l'IRD depuis 1996 ont acquis une bonne expérience des forêts humides et des forêts sèches du Sud de Madagascar. La jonction est en train de se faire (par binômes ou double formation) avec des télédéTECTEURS formés au Comité National de TélédéTECTION (CNT) depuis 2008 en collaboration avec l'UMR 228 de l'IRD Montpellier, le Cnes de Toulouse et l'Unesco, et plus récemment grâce au master international TRN. Le recrutement d'un géophysicien, géomaticien en télédéTECTION au CNRE pour travailler avec des écologues terrestres, est un bon signe qui va dans ce sens.

Dans d'autres domaines que l'écologie ou la télédéTECTION, des outils de formalisation ont été testés également en sciences humaines et sociales pour traiter de la gouvernance, à l'Université de Fianarantsoa. La thèse en informatique de Thierry Ganomanana aborde la modélisation des transferts de gestion (Ganomanana *et al.*, 2011 ; Ganomanana *et al.*, 2015). L'autre thèse en informatique, de Jean-Hyacinthe Ramarason, traite de l'interprétation paysanne des cartes produites pour gérer les transferts de gestion (Ramarason *et al.*, 2012a ; Ramarason *et al.*, 2012b) et de l'apport de leur formalisation pour l'obtention d'un consensus (Ramarason *et al.*, 2013 ; Hervé *et al.*, 2014). Ces deux recherches, complémentaires, apportent des connaissances originales sur les transferts de gestion utiles pour la définition d'une nouvelle politique environnementale à Madagascar.

Depuis 2004, des mathématiciens et informaticiens de l'Université de Fianarantsoa ont donc pratiqué la modélisation de questions environnementales, comme le prouvent les thèses terminées et en cours à la suite du projet ANR Deduction (2007-2011) et de l'école Cimpa 2008 à Fianarantsoa : « Méthodes mathématiques et informatiques pour la modélisation des paysages » (Hervé & Treuil, 2008) qui trouve comme dernier prolongement la thèse de H.R. Ravonjimalala sur la fragmentation des paysages forestiers (Ravonjimalala *et al.*, 2014).

Des modèles de transition issus du programme MEM (Modélisation pour l'Environnement à Madagascar) pour les forêts humides et du projet FPPSM (Forêts, Parcs, Pauvreté dans le Sud de Madagascar) pour les forêts sèches sont combinés à des modèles de viabilité issus du projet ANR DEDUCTION (Bernard, 2009 et 2011 ; Bernard & Martin, 2012 ; Hervé *et al.*, 2009 ; Hervé, 2012 ; Durand *et al.*, 2012) pour tester des scénarii et des modalités d'interventions. Dans chaque cas, l'évaluation de la viabilité économique des familles vivant de la forêt et le suivi des densités de population permettent de dégager des pistes de développement.

Comme éléments de réflexion pour répondre à ces questions de développement, des modèles de transition et des modèles de viabilité sont ajustés pour chacun des écosystèmes humides et secs étudiés.

En forêts humides : Pour la population du corridor COFAV mobilisée dans des migrations internes (Betsileo-Tanala), le moteur des défrichements est l'aménagement des bas-fonds en rizières, un capital se constitue donc en rizières ; le signal d'alarme est la saturation des bas-fonds en rizières dont l'extension rencontre des limites, le

basculement dans un autre système est à anticiper ; il dépend de la transition forêt-savane.

En forêts sèches : Pour la population autochtone et migrante (venus du Sud), le capital s'accumule sous la forme d'animaux sur pieds, les zébus, dont les pâturages s'étendent sur les savanes issues de la dégradation des forêts sèches et des steppes à épineux. Le moteur des défrichements est la culture commerciale de maïs, puis de coton ; le signal d'alarme est l'insécurité qui rend trop risqué le stockage de zébus sur pied et, sur un autre plan, la généralisation des attaques de criquets favorisées par l'ouverture des couvertures arbustive et arborée à la savane. Les conditions de survie ne sont plus assurées.

Une thèse en informatique a été consacrée au modèle de transition en forêt humide (Ratiarson *et al.*, 2011), en le calibrant et le validant sur deux jeux d'historique culturels de parcelles, dans le COFAV. Une base de données d'usage annuel d'une population de parcelles sur 50 ans (1956-2006), a été constituée en 6 ans, avec des observations qui s'échelonnent de 2004 à 2008. La valorisation de la seconde période d'observation de 2006 à 2011 reste à faire. Ce premier modèle a été adapté et modifié pour les forêts sèches. Le second modèle sera traité avec des pixels issus des analyses d'images satellitaires, en valorisant la série multi-dates obtenue à partir de l'actualisation des recherches sur la forêt de Mikea. Les scénarios envisagés concernent l'évolution du couvert forestier et les relations entre les états post-forestiers Culture, Jachère et Herbe, en regard des densités de population. Sur le COFAV, la population des communes a été suivie entre plusieurs dates, en ayant soin de corriger les limites de ces communes qui sont modifiées par les fusions ou les divisions ou encore le passage de communes à districts (Hervé *et al.*, 2011) ; ce travail resterait à faire en forêt sèche.

Les deux modèles de viabilité élaborés par des mathématiciens économistes dans le cadre du projet ANR DEDUCTION (2007-2010) respectivement pour les forêts humides du COFAV et les forêts à épineux de l'Androy, sont appliqués aux contextes, différents dans les deux cas, de la constitution et transmission d'un capital familial, sur la base d'enquêtes sur l'économie familiale, dans les sites connus et revisités du COFAV (en projet) et de la forêt de Mikea (travaux d'étudiants valorisés en DEA). Ces deux études s'appuient sur des typologies passées datant d'une dizaine d'années, ce pas de temps permet d'apprécier déjà des tendances dans les trajectoires d'adaptation des familles.

Discussion

Pour atteindre ses objectifs, le dispositif pluridisciplinaire qui a fait ses preuves doit être pérennisé et consolidé : agronomie-écologie (à Tana, UA, DBEV et ESSA, et CNRE et à Toliara, UT Biodiversité et environnement), géographie-géomatique (à Tana, IOGA-CNT et département de géographie de l'UA), math-informatique (à Fianarantsoa, dept. Mathématiques et ENI). Un dialogue est nécessaire entre thématiciens entre eux et entre thématiciens et modélisateurs pour parvenir à des concepts partagés. Il faut donc aussi que ces possibilités de dialogue soient accueillies et fomentées par des institutions et qu'un cadre pérennisé et financé facilite des échanges périodiques entre Antananarivo et Fianarantsoa. Nous suggérons que le CNRE et l'Ecole doctorale « Modélisation – Informatique » de l'Université de Fianarantsoa poursuivent dans cette voie.

Après avoir expérimenté des échanges entre agronomes, écologues et modélisateurs, entre Antananarivo et Fianarantsoa, nous sommes parvenus à présent à une logique de renforcement des trois pôles : environnement, télédétection et modélisation.

Ainsi, à l'initiative du CNRE, un réseau d'écologues de différentes institutions (CNRE, DBEV, ESSA-Forêt) est en cours de consolidation et, dans cet esprit, un projet de « jeune équipe associée » (JEA) a été soumis à l'IRD.

Une proposition serait d'adosser un laboratoire de modélisation des transitions agraires à l'école doctorale « Modélisation-Informatique » de l'Université de Fianarantsoa et d'ouvrir des ponts vers d'autres foyers de recrutement de futurs modélisateurs ; les filières de math-info appliqués (MISA), les ingénieurs sortis de polytechnique ou de l'ESSA à Antananarivo (ESSA-Forêt, ESSA-Agromanagement), qui auraient acquis une

formation plus poussée en informatique. Afin de disposer de temps pour des échanges inter-disciplinaires, l'idée est de pérenniser un laboratoire de recherche sur les approches markoviennes et bayésiennes des transitions post-forestières, basé à Fianarantsoa mais qui maintienne des relations avec les thématiciens à Antananarivo. Il apparaît donc possible de structurer une équipe de recherche dédiée à la modélisation des transitions agraires, qui serait adossée à l'Ecole doctorale Modélisation – Informatique de l'Université de Fianarantsoa²⁰.

Conclusion

Nous retenons de cette expérience l'apprentissage d'un collectif avec une dimension qui peut peser sur les réponses à des appels d'offre et la construction d'une plateforme pérenne qui pourrait prendre la forme d'un observatoire. Des compétences ont été réunies et un apprentissage est en cours pour répondre à la question : Comment relier les changements de paysage, la résilience des écosystèmes, et la lutte contre la pauvreté ? Nous avons montré que la question qui en découle concerne l'organisation de la recherche : Comment faire travailler ensemble des écologues, des agro-économistes, des géographes, des géomaticiens, des modélisateurs dans des structures de recherche pérennes ?

La discussion reste ouverte en ce qui concerne les modélisateurs. Est-il envisageable d'attirer les thématiciens dans des équipes de math-informatique, en maintenant des thématiques d'application attractives (agronomes ou agro-économistes se formant en informatique) ? Une autre option est d'envoyer des informaticiens et mathématiciens pour aller travailler dans des équipes de thématiciens, le temps du développement d'une application.

Des collaborations scientifiques entre institutions de recherche malgaches, entre universités centrale et de province, entre centres de recherche et universités sont fructueuses ; elles peuvent se développer grâce à des plateformes plus larges comme l'a démontré le collectif Sud Madagascar. Un retour sur résultats pourrait être organisé auprès des signataires de la mise en place du Collectif Sud Madagascar ou du collectif élargi à l'issue du projet au 15 juin 2014, pour les convaincre de l'intérêt de pérenniser ce collectif. Cette pépinière d'initiatives est en tout cas un gage pour de futurs montages de projets.

Des ponts sont également envisagés avec d'autres équipes et collectifs à Madagascar: C3EDM (UA), CNT (UA), UPR GREEN (CIRAD), Réseau DP Forêts (CIRAD), INSTAT Madagascar. Ces acquis sont à valoriser de manière à poursuivre des analyses comparées entre forêts humides et forêts sèches et une projection prospective des dispositifs de conservation à l'échelle nationale de Madagascar. C'est possible en renforçant des réseaux existants afin qu'ils fonctionnent réellement en réseau. C'est la condition pour s'ouvrir à l'international dans la direction de l'Océan indien et, pourquoi pas, jusqu'en l'Afrique de l'Est.

²⁰ Le noyau existant se compose de : Ratiarson Venot (ENI – Markov, SMA), Rakotsimbahoaka Cyprien (ENI – Automate cellulaire), Raheiririna Angelo (ENS – Analyse bayésienne), Ganomanana Thierry (Faculté des sciences, logique floue, catégories).

Références bibliographiques

- Aknin A., Aubry C., Méral P., 2007 : « Risques et stratégies paysannes dans la forêt de Mikea », dans Chaboud C., Froger G., Méral P. (sous dir.), *Madagascar face aux enjeux du développement durable. Des politiques environnementales à l'action collective locale*. Paris : Karthala, coll. Economie et Développement, p. 203-226.
- Andrés-Domenech P., Saint-Pierre P., Smala-Fanakoa P., Zaccour G., 2014 : « Sustainability of the dry forest in Androy. A viability analysis ». *Ecological Economics*, 104C : p. 33-49.
- Andrianantenaina N.O., 2013 : *Conséquences des évolutions socio-économiques et environnementales dans le sud-ouest de Madagascar sur les exploitations agricoles en bordure du parc national Mikea*. DEA en Agro-Management, Département Agro-Management, ESSA Université d'Antananarivo, 52 p. + annexes.
- Andrianantoandro V.T., Béliers J.F., 2015 : « L'agriculture familiale malgache entre survie et développement : organisation des activités, diversification et différenciation des ménages agricoles de la région des Hautes Terres ». *Agricultures familiales, Revue Tiers Monde – IEDES*, Numéro spécial, 1 (1) : p. 69-88.
- Andrianarivo A., Delaître E., Laques A.-E., Carrière S., Hervé D., 2015 : « Détection de changement de l'occupation du sol dans une commune à la périphérie de la forêt humide de Fianarantsoa », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*. Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD – FSP/PARRUR : p. 31-43.
- Aubry C., Ramaromisy A., 2003 : « Typologie d'exploitations agricoles dans un village du front pionnier de la forêt de Mikea (sud-ouest de Madagascar) ». *Cahiers Agricultures*, 12 : p. 153-65.
- Bernard C., 2009 : « Mathematical modelling of sustainable development: an application to the case of the rain-forest of Madagascar », dans *BIOMAT 2009*. 9th International Symposium on Mathematical and Computational Biology, 1-6 August, Brasilia, Brasil, Mondaini RP, p. 152-166.
- Bernard C., 2011 : *La théorie de la viabilité au service de la modélisation mathématique du développement durable. Application au cas de la forêt humide de Madagascar*. Thèse doctorat en mathématiques appliquées. Ecole doctorale sciences fondamentales, laboratoire d'ingénierie des systèmes complexes LISC-Cemagref, Univ. Blaise-Pascal, Clermont II, 153 p.
- Bernard C., Martin S., 2012 : « Comparing the sustainability of different action policy possibilities. Applications to the issue of both household survival and forest preservation in the corridor of Fianarantsoa ». *Mathematical Biosciences*, 245(2) : p. 322-30.
- Blanc-Pamard C., Milleville P., Grouzis M., Lasry F., Razanaka S., 2005 : « Une alliance de disciplines sur une question environnementale : la déforestation en forêt de Mikea (sud-ouest de Madagascar) ». *Natures Sciences Sociétés*, 13 (1) : p. 7-20.
- Blanc-Pamard C., Rebara F., 2001 : « L'école de la forêt : dynamique pionnière et construction du territoire », dans Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B., Aubry A. (eds.), *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*, CNRE/IRD, Antananarivo, pp. 117-137.
- Carrière S.M., Ratsimisetra L., Roger E., 2007 : « Le couloir forestier de Fianarantsoa : forêt « primaire » ou forêt des hommes ? », dans Serpantié G., Rasolofoharinoro, Carrière S. (eds.), *Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation : le « corridor » Ranomafana-Andringitra, Madagascar*. Antananarivo, Actes du séminaire GEREM, 9-11 novembre 2006, p. 39-47.
- Durand M.H., Martin S., Saint-Pierre P., 2012 : « Viabilité et développement durable ». *Natures Sciences Sociétés*, 20 : p. 271-285.

Fanakoa P.S., 2010 : *Understanding environmental issues using system dynamics methods. Pressure on natural resources in Southern Madagascar*. Les Cahiers du GERAD, G-2010-45, 08/2010 (ISSN: 0711-2440), 15 p.

Ganomanana T., Hervé D., Randriamahaleo S., 2011 : « Dynamique institutionnelle des transferts de gestion dans le corridor Fandriana-Vondrozo (COFAV) ». *Madagascar Conservation & Development*, 6(1) : p. 31-37.

Ganomanana T., Hervé D., Rasoazananera M., Randriamahaleo S., 2015 : « Modélisation de la régulation institutionnelle de la gestion forestière communautaire au Sud de Madagascar », dans Hervé D., Razanaka S., Rakotondraompiana S., Rafamantanantsoa F., Carrière S. (eds.), « », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 251-266.

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 Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B., Aubry C. (dir.), *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*, Actes de l'atelier CNRE-IRD, 8-10 novembre 1999, Antananarivo, pp. 327-337.

Hajalalaina A.R., Grizonnet M., Delaître E., Rakotondraompiana S., Hervé D., 2013 : « Discrimination des zones humides en forêt malgache, proposition d'une méthodologie multirésolution et multisource utilisant Orfeo ToolBox ». *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 201 : p. 37-48.

Hajalalaina A.R., Hervé D., Razafimandimby J.P., Delaître E., Desconnets J.C., Libourel T., 2015 : « Formalisation des chaînes de traitements de données spatiales satellitaires sur la forêt à Madagascar », « », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 237-250.

Hervé D., 2012 : « La modélisation environnementale, un outil du politique? », dans Rakoto Ramiarantsoa H., Blanc-Pamard C., Pinton F. (eds.), *Géopolitique et environnement. Les leçons de l'expérience malgache*. Marseille : IRD Editions, coll. Objectifs Suds, Chapitre 5, p. 155-185.

Hervé D., 2015 : « 50 ans d'occupation du sol parcellaire après abattis-brûlis (forêt ombrophile de l'est malgache) », « », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 45-70.

Hervé D., Andrianarivo A., Razanaka S., Batti A., Dadu L., Delaître E., Huynh F., 2010 : « Evolution estimated by remote sensing of forest boundaries in two parks in the rainforest of Madagascar », *labeled UNESCO, 30th ERASeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Natural and Cultural Heritage*. 31 May – 3 June 2010, UNESCO, Paris, Abstract Book, p. 47-48.

Hervé D., Carrière S., Andrianarivo A., Laques A.E., Delaître E., 2012b : *Rapport de mission FPPSM en forêt humide : Relevés de terrain pour l'interprétation d'images satellites et typologie des paysages (Fianarantsoa) dans les communes d'Ambohimahamasina et Androy (25/06-1/07/2012)*. Atelier pluridisciplinaire sur la télédétection à Antananarivo (2/07/2012) ; Formation à l'usage de GPS au CNT, Antananarivo (5/07/12), Rapport FPPSM N° 9, Novembre 2012, 10 p.

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), août 2011, IRD-Université de Fianarantsoa, Fianarantsoa, Madagascar, 54 p.

Hervé D., Laques A.E., Delaître E., Andrianarivo A., Carrière S., 2012a : *Relevés de terrain, images satellites et typologie des paysages en forêt humide, Ambendrana-Amindrabé, commune d'Androy (25/11-01/12/2011)*. Rapport FPPSM N° 3, Projet FPPSM (FSP-PARRUR), Montpellier, 5 p. + 3 annexes.

- Hervé D., Müller J.P., Ratiarson V., Ramamonjisoa B., 2013 : « Validation of agent-based land use model by Markovian model. Application to forest agriculture transitions in Madagascar ». *Studia Informatica Universalis*, 10 (3) : p. 33-61.
- Hervé D., Rakotozafy R., Ratiarson V., Rakotoasimbahoaka C., Raherinina A., Ramaroson J.-H., Ganomanana T., Randriamahaleo S., 2009 : *Changer de paradigme pour conserver durablement les forêts à Madagascar. Contributions de la modélisation*. Projet DEDUCTION, Colloque Cerisy « Changer pour durer », 19-26/09/2009, 8 p.
- Hervé D., Ramaroson J.H., Randrianarison A., Le Ber F., 2014 : « Comment les paysans du corridor forestier de Fianarantsoa (Madagascar) dessinent-ils leur territoire ? Des cartes individuelles pour confronter les points de vue ». *Cybergeogeo : European Journal of Geography* [en ligne] - Disponible sur internet : <http://cybergeogeo.tevues.org/26387>; DOI: 10.4000/cybergeogeo 26387, consulté le 23 juillet 2014.
- 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.
- Leprun J.-C., Grouzis M., Randriambanona H.A., 2009 : « Post-cropping change and dynamics in soil and vegetation properties after forest clearing: exemple of the semi-arid Mikea region (southwestern Madagascar) ». *C.R. Geoscience*, 341 : p. 526-537.
- Minten B., Razafindralaibe R., 2003 : « Relations terres agricoles – pauvreté », dans Minten D., Randrianarison J.-C., Randrianarison L. (eds.), *Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar*. USAID/Cornell University/INSTAT/FOFIFA, p. 10-15.
- Radosy H.O., Randriamalala J.R., 2015 : « Résilience des fourrés xérophiles au pâturage des petits ruminants et à la fabrication de charbon de bois dans la commune rurale de Soalara-Sud », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 123-137.
- Rakoto Ramiarantsoa H., Blanc-Pamard C., 2014. Biodiversités en partage. Reconfigurations de ruralités dans le corridor forestier betsileo tanala (Madagascar). Marseille, IRD Editions, A travers Champs, 263 p.
- Rakotoarisoa M., Rakotoarimanana V., Razanaka S., Ludovic R., 2015 : « Influence du feu et du pâturage sur la richesse et la diversité floristiques des savanes du sud-est de Madagascar », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 147-156.
- Rakotoasimbahoaka C., Ratiarson V., Ramamonjisoa B., Hervé D., 2010 : « Modélisation de la dynamique d'aménagement des bas-fonds rizicoles en forêt », dans Sbihi A., Badouel E., Lokpo I. (eds.), *Actes du Xème Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées*. 18-21/10/10, INRIA-Hope Connexion. CARI 2010, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, Rubrique Modélisation des Systèmes Complexes, p. 293-300.
- Rakotondraompiana S., Hervé D., Razanaka S., Rafamantanantsoa F., 2015 : « La télédétection pour le suivi de l'environnement en milieu sec », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 315-321.
- Rakotovo V., 2013: *Evolution du biotope du criquet migrateur dans les communes de Soalara et le district de Betioky, sud-ouest de Madagascar*. Master 2 International « Télédétection et Risques Naturels », Filière Géosciences, Université de La Réunion, Faculté des sciences et technologies, 52 p.

Ramaroson J.H., Hervé D., Ramamonjisoa B.O., Le Ber F., 2012a : « Organisation spatiale dessinée par les paysans du corridor forestier de Fianarantsoa ». Communication présentée lors de la 4ème édition *Forum de la Recherche 2012*, 10-12 juillet 2012, *Innovations scientifiques et technologiques – Valorisation de la recherche*. Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, Antananarivo, Madagascar, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00764152>.

Ramaroson J.H., Le Ber F., Hervé D., 2012b : *Formalisation et comparaison de cartes paysannes malgaches par des graphes conceptuels*. Journées Fouille de données JIGOT 2012, Nancy, France [en ligne] - Disponible sur internet : http://newlsit.ustrasbg.fr/gdri3_fdd/images/4/42/RJH_JIGOT12_221112.pdf.

Ramaroson J.H., Le Ber F., Ramamonjisoa B., Hervé D., 2013 : « Treillis de Galois pour la fusion de connaissances spatiales sur des territoires villageois malgaches ». *Revue de l'Intelligence Artificielle*, 4-5(27) : p. 595-617.

Randriamalala R.J., 2009 : *Influence des pratiques agricoles et du milieu sur les dynamiques forestières post-culturelles dans le corridor Ranomafana-Andringitra*. Thèse doctorat, ESSA, Université d'Antananarivo, 207 p.

Randriamalala R.J., Hervé D., Letourmy P., Carrière S., 2015 : « The effects of slash and burn practices on soil seed banks in secondary forest successions in Madagascar ». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199 : p. 312-319.

Randriamalala R.J., Hervé D., Randriamboavonjy J.C., Carrière S., 2012. Effects of tillage regime, cropping duration and fallow age on diversity and structure of secondary vegetation in Madagascar. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 155 : p. 182-193.

Randriambanona H.A., 2008 : *Succession écologique dans les plantations de Pinus, d'acacia et dans les forêts naturelles de la région nord-ouest du corridor de Fianarantsoa (Madagascar)*. Thèse de doctorat en sciences de la vie, Faculté des sciences, Université d'Antananarivo, 100 p.

Randriambanona H.A., Bemaheva S.N.M., Alame M., Rejo-Fienena F., Ranaivo J., Razanaka S., Ravonjimalala H.R., Hervé D., 2015 : « Etude des successions végétales entre 1997 et 2012 dans la forêt de Mikea (sud-ouest de Madagascar) », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 95-112.

Randrianarison A., Ganomanana T., Hervé D., 2010 : « Conservation paysanne des forêts humides à Madagascar ». *Le Flamboyant*, 66/67 : p. 14-17.

Randrianarison A., Ratovonirina G., Razanaka S., Rakotoarimanana V., Hervé D., 2014 : « Eléments de typologie des forêts humides de moyenne altitude », dans Roger Edmond, Rajeriarison Charlotte, Rakouth Bakolimalala (eds.), *Recueil de documents pour le suivi écologique du programme environnemental*, FSP Parrur – partenariat et recherche dans le secteur rural, DBEV, Faculté des sciences, Université d'Antananarivo, *Tohiravina*, 3 : 193-208.

Randrianarison A., Razanaka S., Rakotoarimanana V., Buttler A., Carrière S., Hervé D., 2015 : « Succession floristique de forêts secondaires humides du sud-est de Madagascar », dans D. Hervé, S. Razanaka, S. Rakotondraompiana, F. Rafamantanantsoa, S. Carrière (eds.), *Transitions agraires au sud de Madagascar, résilience et viabilité deux facettes de la conservation*, Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM, 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-FSP/PARRUR : p. 15-30.

Randrianomanana M., 2013 : *Diversification des activités et viabilité des systèmes d'exploitation agricole en bordure de la forêt Mikea*. DEA en Agro-Management, Département Agro-Management, ESSA Université d'Antananarivo, 53 p. + annexes.

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.

Ravonjimalala H.R., Razanaka S., Hervé D., Bogaert J., Randriambanona H., Paegelow M., Rakotondraompiana S., 2014 : « Multitemporal spatial analysis of the Mikea dry forest landscape (Southern Madagascar) », dans Proceedings of 10th International Conference of the African Association of Remote Sensing of the Environment, *Space technology for societal benefits in Africa*. 27-31/10/2014, University of Johannesburg, South Africa, Plenary Sessions Abstracts, Peer-Reviewed Paper (submission ID 131), p. 88.

Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B., Aubry C. (eds.), 2001 : *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. Actes de l'atelier CNRE-IRD, 8-10/11/1999, Antananarivo, IRD-CNRE, 400 p.

Serpantié G., Rasolofoharinoro, Carrière S. (eds.), 2007 : *Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation. Le « corridor » Ranomafana-Andringitra, Madagascar*. Actes du séminaire GEREM, 9-10/11/2006, Antananarivo, IRD-CITE, 278 p.

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 spécialisé Sciences agronomiques, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 495 p.

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.