

# Evolution des biotopes du criquet migrateur dans la commune de Soalara et le district de Betioky Sud, sud-ouest de Madagascar.

## Evolution of locust habitats in the South West region of Madagascar (Soalara and South-Betioky areas).

V. RAKOTOVAO<sup>1,2</sup>

S. RAKOTONDRAOMPIANA<sup>1</sup>

H. R. RAVONJIMALALA<sup>4,1</sup>

J. R. RANDRIAMALALA<sup>3</sup>

S. RAZANAKA<sup>4</sup>

D. HERVÉ<sup>5</sup>

(1) Laboratoire de géophysique de l'environnement et télédétection (LGET), Institut & Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, Madagascar

(2) Master Télédétection et Risques Naturels, Université de la Réunion

(3) Département des Eaux et Forêts, École Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar

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

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

### Résumé

L'occupation du sol est un facteur important dans l'étude des biotopes du criquet migrateur, *Locusta migratoria capito* (Saussure 1884), car il conditionne leur extension géographique. Les changements de l'occupation du sol sont détectés dans les zones de Betioky sud et Soalara du sud-ouest de Madagascar aux deux périodes, 2001 - 2006, et 2006 - 2010, délimitées par trois dates d'images du satellite LANDSAT 7 ETM+. Le potentiel écologique des acridiens à l'optimum pluviométrique a été évalué pour ces périodes. Les résultats obtenus montrent un accroissement de ce potentiel écologique en lien direct avec la dynamique de l'occupation du sol durant ces 10 dernières années.

**Mots clés:** Biotope, LANDSAT 7 ETM+, criquet migrateur, changement de l'occupation du sol, fourré, savane

## Abstract

Landuse is an important factor in the study of habitats of migratory locust. Change detection method of landuse is applied in the areas of South-Betioky and Soalara between 2001 and 2006 and between 2006 and 2010 using multitemporal LANDSAT 7 ETM+ images. The ecological potential at optimum rainfall was followed for these periods. The results show an increase of the ecological potential directly linked to the deforestation dynamics of the landuse over the past 10 years.

**Keywords:** Habitats, LANDSAT 7 ETM+, migratory locust, land use dynamics, thicket, savana

## Introduction

La partie sud-ouest de Madagascar a subi un rapide changement d'occupation du sol durant les dernières décennies marquées par une forte diminution de la forêt sèche. Ce changement a pour conséquence, entre autres, de fausser tous les raisonnements spatiaux sur le développement, l'aménagement régional ou la gestion des risques naturels. Parmi les risques auxquels sont soumis cette partie de l'île, l'invasion acridienne est l'une des plus destructrices (Schulten *et al.*, 1999). Le Centre National Antiacridien (CNA), organisme malgache gérant la lutte antiacridienne, cherche à mettre à jour ses stratégies de lutte contre le criquet migrateur (*Locusta migratoria capito*, Saussure 1884) en actualisant ses stations acridiennes. Ces stations d'observation sont essentielles pour détecter la phase du criquet alors qu'il est encore marcheur (Photo O1), qui est la seule sur laquelle une prévention est encore possible. Une fois achevés les regroupements, les populations devenues grégaires causent des dégâts (Photo O2) et ne sont plus contrôlables une fois de la taille d'un nuage (Photo O3) sinon par des moyens aéroportés très coûteux. L'occupation du sol est un des indicateurs de la localisation adéquate ou non d'une station d'observation acridienne. C'est pourquoi le CNA a voulu refaire la cartographie de l'occupation des sols dans la zone du sud-ouest de Madagascar en utilisant les données spatiales d'observation de la terre postérieures à 2000. En effet, le CNA doit modifier la répartition géographique et/ou la densité des stations acridiennes afin d'adapter le dispositif d'observation à l'évolution constatée de l'occupation du sol.

Le sud-ouest malgache fait partie de l'aire grégarigène (Tableau I) du criquet migrateur. La commune de Soalara et le district de Betioky Sud (Carte O1) sont deux zones au Sud de la ville de Toliara situées respectivement dans la zone de transformation phasaire (aire de densation) et la zone de passage des acridiens (aire transitoire de multiplication) où le criquet commence à devenir grégaire. Le CNA dispose dans ces deux zones de 12 stations acridiennes fixes parmi les 168 du réseau de stations acridiennes au Sud de Madagascar. Cette zonification et les indicateurs opérationnels pour la lutte anti-acridienne sont définis dans le tableau 1. Le Potentiel écologique d'un biotope élémentaire à l'optimum pluviométrique, compris entre 10 mm et 50 mm sur une décade ou entre 50 mm et 150 mm sur un mois (Launois, 1974 ; Lecoq, 1975), est appelé POT. C'est un indicateur des interactions entre le sol et l'occupation du sol, les données de pluviométrie étant bornées.

**Tableau I : Définition des termes utilisés dans la lutte anti-acridienne**

Nom	Définitions
<b>Aire grégarigène</b>	Territoire écologique permettant le maintien et le développement du criquet.
<b>Aire de densation (AD)</b>	Zone de formation des essaims et de transformation des phases larvaires aux phases adultes.
<b>Aire transitoire de multiplication (ATM)</b>	Zone de passage des acridiens. Cette aire est colonisée en début et en fin de saison de pluie.
<b>Station acridienne</b>	Lieu d'observation périodique et de suivi des populations acridiennes dans leur aire grégarigène, utilisé pour déclencher les différentes étapes de la lutte antiacridienne.
<b>Biotope acridien</b>	Lieu de vie, conditionné par le type de sol, l'occupation du sol et la pluviométrie, permettant le développement du criquet dans son aire grégarigène.
<b>Potentiel acridien d'un biotope</b>	Répartition de la densité du criquet dans un biotope acridien.

L'objectif étant d'étudier l'évolution des biotopes par rapport au changement de l'occupation du sol, on a choisi une échelle temporelle d'environ cinq ans (2001 à 2006 et 2006 à 2010), et des images satellitaires LANDSAT 7 ETM+ des trois années 2001, 2006 et 2010. Le potentiel écologique (POT) est cartographié pour les 134 biotopes élémentaires regroupés en 22 types de biotopes synthétiques, définis par leur couverture végétale (Franc *et al.*, 2004). Une carte d'évolution du POT a été établie pour mesurer l'évolution des biotopes du criquet en relation avec le changement de l'occupation du sol.

## Données

### PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

Le site d'étude est localisé géographiquement entre les latitudes -23°00'et -24°05' et les longitudes 43°30' et 44°30'. Il est formé par la commune de Soalara (District de Toliara II) et le District de Betioky-Sud (Figure 1).

La Figure 1 montre la localisation de Betioky Sud et de Soalara par rapport aux quatre aires grégarigènes et la couverture au sol des scènes LANDSAT 7 ETM+ (maille noire surimposée). Les agglomérations de Betioky et Soalara sont encadrées sur la figure 1. La zone en grisé correspond à la zone couverte en priorité par le CNA basé à Betioky Sud. Les quatre aires grégarigènes réparties du sud-ouest au Nord-est sont AD aire de densation, ATM aire transitoire de multiplication, AMI aire transitoire de multiplication initiale, AGT aire grégarigène transitoire (Tableau 1).

### DONNEES SATELLITAIRES

La figure 1 montre les limites des deux scènes Landsat 7 ETM+ utilisées : 160-076 (Betioky Sud) et 160-077 (Soalara). Elles ont 30 m de résolution au sol et couvrent environ 453 527 ha. Les images ont été prises à trois dates différentes : 06 mai 2001, 17 mars 2006 et 07 mai 2010. Ces images sont en projection

UTM (Universel Transversal Mercator), zone 38 Sud. Le tableau II montre les longueurs d'onde des différentes bandes spectrales des images Landsat 7 ETM+.

**Tableau II : Caractéristiques des bandes spectrales des images LANDSAT 7**

Bande	Largeur de la bande	Résolution spatiale
TM1	0,45 - 0,515 $\mu\text{m}$ (bleu)	30 m x 30 m
TM2	0,525 - 0,605 (vert)	30 m x 30 m
TM3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (rouge)	30 m x 30 m
TM4	0,75 - 0,90 $\mu\text{m}$ (PIR)	30 m x 30 m
TM5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$ (MIR)	30 m x 30 m
TM6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$ (IRT)	60 m x 60 m
TM7	2,09 - 2,35 $\mu\text{m}$ (MIR)	30 m x 30 m
PAN	0,50 - 0,90 $\mu\text{m}$ (panchromatique)	15 m x 15 m

PIR : Proche infrarouge, MIR : Moyen infrarouge, IRT : Infrarouge thermique.

## DONNEES DE TERRAIN

Des zones d'entraînement et de contrôle ont été d'abord tracées à partir d'un fond d'image Google Earth. Elles ont été par la suite visitées lors de la mission de terrain effectuée en mars 2012. Les résultats de la classification ont été vérifiés sur le terrain au cours d'une deuxième mission en mai 2013. Les données recueillies sur le terrain concernent les caractéristiques écologiques des formations végétales rencontrées et la nature du sol.

## LE POTENTIEL ECOLOGIQUE A L'OPTIMUM PLUVIOMETRIQUE (POT)

Le POT est un paramètre acridien exprimé en fonction du potentiel écologique d'un biotope élémentaire en supposant que la pluviométrie soit optimale. A chaque POT, on associe une valeur entre 0 et 5 mesurant la sensibilité de la population acridienne à l'humidité du sol et à la couverture végétale :

- ◆ 0 : situation sublétale
- ◆ 1 : situation très défavorable
- ◆ 2 : situation défavorable
- ◆ 3 : situation favorable
- ◆ 4 : situation très favorable
- ◆ 5 : situation optimale.

Les biotopes synthétiques sont alors regroupés en 5 classes selon la valeur de leur POT (Franc *et al.*, 2004), comme l'indique le tableau III.

Tableau III : Valeur de POT des regroupements de biotopes synthétiques

Biotopes synthétiques	Valeur de POT
Les hauts fourrés(HF) et les bas fourrés (BF)	1 : situation très défavorable
Les bas fourrés dégradés (BFD)	3 : situation favorable
Les zones agricoles (ZA) sont des mosaïques de sol nu, cultures et jachères récentes	de 2 : situation défavorable à 5: situation optimale
La savane (SV) : englobe la pseudo steppe et la savane proprement dite (savane herbeuse)	de 4 : situation très favorable à 5: situation optimale

## Méthodologie

### CLASSIFICATION DES IMAGES SATELLITAIRES

Les classes ont été choisies de telle manière qu'elles soient en cohérence avec les classes de biotopes prédéfinies (Franc *et al.*, 2004). Après application des prétraitements habituels sur les images, on a procédé à deux étapes de classification, la première pour le sol et la seconde pour l'occupation du sol. Avec ces deux classifications, on obtient la couche de l'occupation du sol et du type du sol qui nous est nécessaire pour l'étude du changement et de l'évolution du biotope.

#### Prétraitement de l'image

Nous avons appliqué le processus de mosaïquage sur les deux scènes de Landsat7 (160-076 et 160-077) utilisées de manière à couvrir la totalité de la zone d'intérêt, soit une image de 3325\*1516 pixels (Carte O1).

Les images ont été acquises sous différentes conditions atmosphériques. Dans ce cas, une correction atmosphérique a été appliquée sur toutes les images afin d'enlever les interférences liées à la traversée de l'atmosphère par le rayonnement électromagnétique. Nous avons opté pour le modèle QUAC décrit par Bernstein *et al.* (2005) et qui permet de récupérer la profondeur optique de la longueur d'onde en fonction de l'aérosol et ainsi de déterminer directement les paramètres compensateurs atmosphériques de l'information contenu dans la scène en utilisant les spectres observés par pixel. La correction géométrique a été faite par l'application d'une transformation suivant un polynôme du premier degré avec ré-échantillonnage au plus proche voisin (Richards & Jia, 1999).

#### Analyse en composantes principales (ACP)

Les bandes de classification de l'occupation du sol sont différenciées par composante principale de l'ACP. L'ACP est une transformation linéaire orthogonale transformant les données de dimension n vers un nouvel espace, de même dimension, défini par les directions des maxima et minima de la variance (axes principaux). Le but de l'ACP est de condenser les données originelles en de nouveaux groupements de façon à ce qu'ils présentent le moins de corrélation possible entre elles (Caloz & Collet, 2001). Cette transformation a la propriété de rassembler le maximum d'information sur les premiers néo-canaux. Ainsi, la première composante principale contient le plus d'information en termes de variance.

## Indices

On peut également calculer des combinaisons particulières des canaux spectraux afin de mettre en évidence la réponse d'objets particuliers sur l'image. L'indice de rougeur (Redness Index) ou indice de fer ferrique (Madeira-Netto, 1993) a été utilisé avec les canaux spectraux lors de la classification afin de différencier les différents types de sol. Cet indice s'écrit  $(R-V)/(R+V)$ , avec R= canal rouge, V= canal vert.

## Classification supervisée des images

La méthode de classification que nous avons adoptée dans cette étude est la méthode du Séparateur à Vaste Marge ou SVM (Cortes & Vapnik, 1995). C'est une méthode de classification supervisée et non paramétrique. L'algorithme SVM cherche à séparer les données en trouvant le séparateur dont la marge est la plus grande possible.

Les échantillons utilisés lors de la phase d'apprentissage et de la phase de contrôle de la classification sont sélectionnés en se basant sur des observations faites sur le terrain dans des parcelles jugées comme représentatives de chaque classe d'objets. Idéalement, la date d'observation sur le terrain ne devrait pas être trop éloignée de celle de la prise de vue. A ces réalités-terrain, on peut ajouter les connaissances des experts sur le phénomène. Richards & Jia (1999) suggèrent de choisir un nombre de pixels par classe au moins 30 fois le nombre total de bandes utilisées. Lors de cette étude, les parcelles ont été sélectionnées en utilisant la méthode de sélection par bloc (Rakotoniaina, 2009).

Après l'application de l'algorithme de classification, on évalue la pertinence de l'image classifiée à l'aide d'une matrice de confusion en reportant les pixels issus d'un ensemble de parcelles dont la nature est connue (appelées parcelles de validation) par rapport aux classes dans lesquelles ils ont été effectivement affectés par le classificateur (Caloz & Collet, 2001). Pour constituer les parcelles de validation, on va identifier un deuxième jeu de parcelles assez homogènes sur l'image pour représenter les différentes classes d'objets. On peut alors y lire les taux de pixels bien classés et mal classés pour chaque classe et obtenir les erreurs d'omission et de commission (Congalton, 1988). L'erreur d'omission d'une classe indique le pourcentage de pixels dont la classe d'origine est connue mais qui ont quand même été mis dans une autre classe par le classificateur. L'erreur de commission, indique quant à elle le taux de pixels affectés à une classe alors qu'ils proviennent en réalité de classes différentes.

## Détection des changements

La détection des changements est le processus qui permet d'identifier l'évolution temporelle de l'état d'une surface en effectuant des observations à plusieurs dates (Jensen, 2004). De nombreuses méthodes ont été développées pour la détection des changements de l'occupation des terres. Pour ce travail, la méthode de comparaison post-classificatoire a été choisie (Mas, 2000). La méthode repose sur l'analyse statistique des superficies occupées pour chaque classe d'occupation du sol entre les deux époques. Cette méthode permet également de fournir rapidement et simplement une carte des changements d'occupation du sol ainsi que la carte d'évolution du POT.

## CLASSES D'OCCUPATION DU SOL ET TYPES DE SOL

Le tableau IV montre les classes d'occupation de sol adoptées avec leurs POT respectifs et le nombre de pixels d'apprentissage et de contrôle pour chacune de ces classes. Pour le choix des zones d'entraînement des années 2001 et 2006, on s'est basé sur les zones d'entraînement de l'année 2010.

**Tableau IV : Nombre de pixels d'apprentissage et de contrôle pour chaque classe d'occupation du sol**

Année	2001		2006		2010	
	Nombre pixels des zones d'entraînement	Nombre pixels des zones test	POT			
Bas fourré (BF)	2 512	2 460	2 373	2 360	1	
Bas fourré dégradé (BFD)	1 063	1 229	1 061	1 199	3	
Haut fourré (HF)	2 188	3 585	3 463	2 302	1	
Savane (SV)	2 062	1 746	1 619	2 062	5	
Zone agricole (ZA)	3 384	9 684	5 083	3 384	4	

Etant donnée la résolution spatiale des images utilisée dans cette étude (30 m), les sols nus, dont le POT est égal à 2, et les zones de culture, de POT égal à 5, ont été mis dans une même classe « zone agricole » avec une valeur de POT fixée à 4, en tenant compte de la proportion des surfaces couvertes par chacun des usages des sols. Il en est de même pour la savane (POT égal à 5) et la pseudo steppe (POT égal à 4) qui ont été classées comme 'savane' avec une valeur de POT fixée à 5. On s'est basé sur les observations de terrain pour fixer ces valeurs.

On rencontre 4 types de sol dans la zone d'étude : les dalles calcaires, les sols ferrugineux, les sables beiges et les sables roux (Besairie, 1971 ; Koecklin & Guillaumet, 1974). Le tableau V représente le nombre de pixels de chacune des parcelles d'entraînement et de contrôle.

**Tableau V : Nombre de pixels des parcelles d'entraînement et de contrôle par type de sol (2010)**

Type de sol	Zone entraînement	Zone test
Dalle calcaire (DC)	13387	5611
Sol ferrugineux (SF)	4029	2827
Sable beige (SB)	8340	2541
Sable roux (SR)	2543	1772

## BANDES UTILISEES POUR LA CLASSIFICATION

Les bandes spectrales utilisées pour le traitement des images avec un objectif de classification sont indiquées dans le tableau VI.

**Tableau VI : Bandes spectrales utilisées pour chaque classification**

Classification	Nombre de bandes	Année	Bandes spectrales
Occupation du sol	8	2001, 2006, 2010	Bleu, vert, rouge, proche IR, Moyen IR, IR thermique, Panchromatique, ACP1
Type du sol	8	2010	Bleu, vert, rouge, proche IR, Moyen IR, IR thermique, Panchromatique, et indice de fer ferrigue.

On a ajouté le premier canal de l'ACP aux canaux originaux de l'image LANDSAT afin d'améliorer et de différencier les signatures spectrales des classes de « bas fourré » et de « bas fourré dégradé » pour la classification de l'occupation du sol.

Pour les types de sol, on utilise les bandes originales de l'image LANDSAT en ajoutant l'indice de fer pour mieux différencier la classe « sol ferrugineux » des autres types de sol.

## Résultats

### MATRICES DE CONFUSION

Tous les résultats de la classification sont évalués par deux matrices de confusion, correspondantes à l'occupation du sol (Tableau VII) et au type de sol (Tableau VIII).

**Tableau VII : Matrice de confusion de la classification selon l'occupation du sol à Betioky Sud et Soalara en 2010**

Classes	BF%	BFD%	HF%	SV%	ZA%	EO%	EC%
BF%	93,31	7,76	1,82	0	0,06	6,69	5.86
BFD%	3,72	91,74	0	0	0,5	8,26	8.71
HF%	0	0	93,01	0	0	6,99	0.00
SV%	0	0	0	100	1,09	0	1.76
ZA%	2,97	0,5	5,17	0	98,35	1,65	5.54
Total%	100	100	100	100	100		

Précision globale =  $(10833/11307)=95.81\%$

Coefficient Kappa=0,9462

EO : Erreur d'omission, EC : Erreur de commission

BF : Bas fourré, BFD: Bas fourré dégradé

HF : Haut fourré

SV : Savane

ZA : Zone agricole

La matrice de confusion du tableau VII correspond à la classification faite sur l'image de 2010. La précision globale de cette classification, proche de 96%, indique une bonne classification de l'image. La classe « savane » a été bien classifiée (erreurs d'omission autour de 1 %), alors que les classes de fourrés sont relativement moins bien classifiées car il y a une certaine confusion entre elles (erreurs d'omission supérieures à 6%). Par ailleurs, on relève certaines lacunes dues à l'existence de confusion entre certaines catégories d'occupation du sol : entre les classes « Bas fourré dégradé » et « Bas fourré », d'une part, et entre les classes « Zone agricole » et « Haut fourré » d'autre part. Les réponses spectrales de ces classes sont en effet assez proches au moment de l'acquisition des images. Même si la dégradation n'est pas discernée clairement sur les images avec des pixels de 30 m, on distingue les états BF et BFD car le pourcentage de bien classé reste supérieur à 90%. Le tableau VIII présente la matrice de confusion obtenue après la classification des sols en pourcentage.

**Tableau VIII : Matrice de confusion de la classification selon le type de sol à Betioky Sud et à Soalara en 2010**

Classes	DC%	SR%	SF%	SB%	EO%	EC%
DC%	95,42	0	9,59	0	4,58	4,82
SR%	1,21	100	0	0	0	2,6
SF%	3,37	0	90,41	0	9,59	6,89
SB%	0	0	0	100	0	0
Total	100	100	100	100		

Précision globale =  $(11226/11754)=94.8840\%$

Coefficient Kappa=0,9322

EO : Erreur d'omission, EC : Erreur de commission,

DC : Dalle calcaire,

SR : Sable roux,

SF : Sol ferrugineux,

SB : Sable beige.

Pour les types de sol, il est assez difficile de séparer le « sol ferrugineux » par sa signature spectrale malgré l'utilisation de l'indice de fer ferrique. Il reste toujours une certaine confusion entre cette classe et les classes « sable roux » et « dalle calcaire ». Ainsi, les erreurs les plus élevées (6,89% d'erreur de commission et 9,59% d'erreur d'omission) concernent le sol ferrugineux. Toutefois, le coefficient Kappa de 93% et la précision globale de 95% sont satisfaisants. La classe « sol ferrugineux » sera maintenue car le pourcentage de bien classé est de 90%.

## CARTES D'OCCUPATION DU SOL

Les cartes P1a, P1b, P1c montrent la répartition des différents types d'occupation des sols pour les années 2001, 2006 et 2010 respectivement. Les cartes Q1 et Q2 montrent les changements d'occupation des sols pour les périodes 2001-2006 et 2006-2010 respectivement et les cartes R1 et R2 représentent l'évolution du POT pour les deux périodes.

En 2001, les superficies occupées par les hauts fourrés et bas fourrés (POT égal à 1) sont de 221 988 ha (soit 49% de la superficie totale), la zone agricole (POT égal à 4) a occupé une superficie de 194 672 ha (43%), la classe bas fourré dégradé (POT égal à 3) a occupé une superficie de 17 080 ha (4%), tandis que la savane (POT égal à 5) occupe une superficie d'environ 19187 ha (4%) . En 2001, la superficie de la classe des fourrés couvre la moitié de la zone alors que le pourcentage de la classe « fourré dégradé » ne dépasse pas 4% (Carte P1a).

La carte d'occupation du sol en 2006 (Carte P1b) indique une superficie de 19 0381ha (soit 42% de la superficie totale) pour les classes « haut fourré » et « bas fourré ». Les zones agricoles occupent 213 652 ha (soit 47% de la superficie totale), la classe « bas fourré dégradé » occupe 16 835 ha (4% de la superficie totale) et la savane 32658 ha (7%). En 2006, la superficie des fourrés a diminué tandis que celle des zones

agricoles a augmenté. Il en est de même pour la classe « savane ». Par contre, le pourcentage de fourré dégradé reste stable dans la zone d'étude.

La carte d'occupation du sol en 2010 (Carte P1c) indique que les « haut fourré » et « bas fourré » représentent 39% de la superficie totale (177873 ha). Les zones agricoles occupent 224 419 ha (49% de la superficie totale). La classe « bas fourré dégradé » occupe 17.034 ha (4%) tandis que la savane couvre 34.196 ha (8%). La superficie des fourrés continue de diminuer et les zones agricoles continuent d'augmenter jusqu'à couvrir la moitié de la zone d'étude en 2010.

## CARTE DE CHANGEMENT DE L'OCCUPATION DU SOL SELON LE TYPE DU SOL

La comparaison entre les cartes des figures 2 et 3 avec le croisement du couche du type du sol permet d'établir une carte de changement de l'occupation du sol entre 2001 et 2006 (Carte Q1). Dans cette figure, la classe fourré représente le haut fourré, le bas fourré et le bas fourré dégradé.

Au cours de cette période, on observe plusieurs changements d'occupation de sol : le changement de fourré à zone agricole se trouve en général sur la partie sable beige, sable roux de Soalara et sol ferrugineux de Betioky Sud. Les changements de fourré à savane et de savane à zone agricole ne se trouvent que sur la partie sol ferrugineux du côté de Betioky. Sur la partie dalle calcaire, il y a peu de changement au niveau de l'occupation du sol surtout du côté de Soalara. En effet, 13 % de la superficie couverte en fourrés en 2001 a subi un changement ; 6% a été changé en savane et 7% en zone agricole. 7% de la superficie de la savane en 2001 est devenue zone agricole en 2006.

La carte Q2 montre la carte des changements observés entre 2006 et 2010. Durant cette dernière période, on observe des changements de zones de fourrés (haut fourré, bas fourré et bas fourré dégradé) en zones agricoles sur la partie de sable roux et sur dalle calcaire du côté de Soalara et sur sol ferrugineux à Betioky Sud. Les changements des zones de fourrés en savanes et des surfaces occupées initialement par la savane en zone agricole s'observent sur le sol ferrugineux. Dans ce cas, 2% de la superficie en fourrés en 2006 est devenue savane en 2010 et 4% est devenue zone agricole. Pour la savane, 8% de sa superficie de 2006 est devenue zone agricole en 2010.

## CARTE D'EVOLUTION DU POT

Puisqu'à l'occupation du sol est associé un POT, la carte R1 montre l'évolution du POT entre 2001 et 2006 en lien direct avec la dynamique de l'occupation du sol, et la carte R2 entre 2006 et 2010.

Dans cette période, 3,7% de la surface totale passe d'une situation très défavorable et favorable à une situation très favorable. Ce type de changement se focalise au nord-est d'Andranotohoka et au sud-ouest d'Antsirafaly, du côté de Soalara. Sur la partie de Betioky Sud, il se trouve au nord-ouest d'Ambinjo, aux environs d'Ankazomateila, et au sud-ouest d'Ankazomateila.

3,2% de la surface totale passe d'une situation très défavorable à une situation optimale. Ce type de changement est observé à Betioky Sud notamment aux environs des stations acridiennes d'Antoby, de Besatra et de Besakoa et à l'ouest d'Ankazomateila, 0,3% de la surface totale passe d'une situation optimale à une situation très favorable. Cette situation se trouve aux environs d'Ambinjo. En effet, les zones à situation optimale et très favorable augmentent respectivement 3% et 4% de la surface totale. Les zones à situation très défavorable et favorable diminuent de 7%.

Dans cette période, 2% de la surface totale passe de situation très défavorable et favorable à une situation très favorable. Cette situation se concentre aux environs de la limite des communes qui sépare Soalara à Betioky Sud. 1% de la surface totale passe d'une situation très défavorable à une situation optimale. Ce type de changement se situe entre Ankazomateila et Besakoa ainsi qu'aux environs d'Ambinjy. 0,3% de la surface totale passe d'une situation optimale à une situation très favorable. Cette situation se trouve à l'ouest d'Ankazomateila et aux environs d'Antoby, d'Ankilarivo et de Besatra. En effet, les zones à situation optimale et à situation très favorable augmentent respectivement 1% et 2% de la surface totale contre la diminution de 3% des zones à situation très défavorable et favorable.

## Discussion

À l'Ouest de Soalara, la zone agricole se regroupe sur la partie occupée par du sable beige. La dalle calcaire, tout comme le sable roux, est occupée par du bas fourré et du bas fourré dégradé. Mais sur le sable roux, on observe un changement de l'occupation du sol du fait de la fabrication de charbon de bois. L'occupation du sol à POT très favorable comme la zone agricole se généralise sur ce type de sol.

Pour la zone de Betioky Sud, on constate que la majeure partie de la savane et des zones agricoles se trouvent sur le sol ferrugineux. Le haut fourré s'observe à la fois sur dalle calcaire et sur sol ferrugineux. À Betioky Sud, le changement de l'occupation du sol se concentre plutôt là où le sol est ferrugineux. C'est dans cette partie que les habitants exercent leurs activités économiques comme la culture, l'élevage, ou la fabrication du charbon de bois, à proximité des zones d'habitation. Dans ce cas, la forêt est plus exploitée et le POT devient ainsi de plus en plus favorable au développement du criquet.

## Conclusions et perspectives

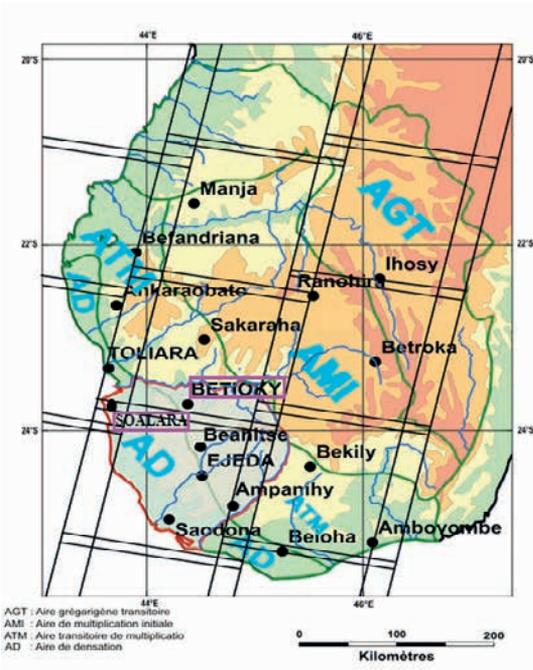
On observe durant la période 2001-2006 de plus grands changements au niveau de l'occupation du sol que durant la période 2006-2010. Les zones agricoles s'étendent au dépend d'abord des fourrés, puis de la savane. Les superficies occupées par les biotopes à POT défavorable au développement des criquets ( $1 \leq \text{POT} \leq 3$ ), comme les fourrés et les fourrés dégradés, diminuent en faveur des surfaces occupées par les savanes et l'agriculture. Ces deux dernières occupations du sol sont plutôt favorables au développement du criquet ( $4 \leq \text{POT} \leq 5$ ) notamment sur le sable beige et sur le sable roux de Soalara et sur le sol ferrugineux de Betioky Sud, type du sol où se situent les stations acridiennes du CNA actuelles. Sur le pas de temps de 10 ans étudié, on peut dire que les changements de l'occupation du sol sont en général favorables au développement du criquet migrateur.

Nous avons utilisé dans notre zone d'étude des images LANDSAT 7 ETM+ de 30 m de résolution, qui nous permettent d'observer certains des changements de l'occupation du sol sans tenir compte des données climatiques. Afin d'améliorer les résultats obtenus, on peut adopter une échelle d'analyse plus fine en utilisant des images à très haute résolution (pixel à 2,50 m ou moins). Pour obtenir les données météorologiques, les nouvelles images LANDSAT 8 ou les images MODIS peuvent être utilisées pour obtenir des estimations plus fines de la température et des précipitations.

## Références bibliographiques

---

- Bernstein L. S., Adler-Golden S. M., Sundberg R. L., 2005: Validation of the Quick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI, vol. 5806, p. 668-678.
- Besairie H., 1971 : Mission de prélèvement des anortbosites du sud-ouest de Madagascar. Madagascar Revue de Géographie, N°20-23, 172 p.
- Caloz R., Collet C., 2001 : *Traitements numériques d'images de télédétection*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec et Agence universitaire de la Francophonie (Précis de Télédétection vol.3), 386 p.
- Congalton R.G., 1988: "A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of map generated for remotely sensed data". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (3), p. 593-600.
- Cortes C., Vapnik V., 1995: *Support Vector network*. Boston: Kluwer Academic Publishers (Machine learning vol.20), 25 p.
- Franc A., Andriamaroahina T.R., Duranton J.F., Lecoq M., Legros Y., Luong-Skovmand M.H., Rabesisoa L.F., Randriamfidimanana H., Solofonaina H., 2004 : *La lutte préventive antiacridienne à Madagascar*. Contribution du CIRAD 2001-2003. Rapport final. FSP France, convention 1998-017. PCLA-Prifas N°66. CNA, Tuléar, Madagascar/ CIRAD, Montpellier, 140 p.
- Jensen J.R., 2004: Introductory digital image processing a remote sensing perspective. 3è édition, Prentice Hall, Upper Saddle River (N.J.), 316 p.
- Koecklin J., Guillaumet L., 1974: Travaux géologiques sur la partie sud-ouest de Madagascar. Annales de Géographie, Bulletin de la société géographique, vol 96, 122 p.
- Launois M., 1974: Influence du facteur pluviométrique sur l'évolution saisonnière du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Saussure, 1884) en phase solitaire et sur sa grégarisation à Madagascar. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris, Fac Sciences Orsay, 159 p.
- Lecoq M., 1975: Les déplacements par vol du Criquet migrateur malgache en phase solitaire : leur importance sur la dynamique des populations et la grégarisation. Ministère de la Coopération : Paris, 272 p.
- Madeira-Netto S., 1993 : Etude quantitative des relations constituantes minéralogiques-reflectance diffuse latosol brésilien. Application à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (région de Brasilia). Paris : Orstom (coll. Etudes et Thèses), 236 p.
- Mas J.F., 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement. Journal canadien de télédétection, vol. 26, no 4, 349-362.
- Rakotoniaina S., 2009 : Amélioration de la qualité de la classification d'images en télédétection. HDR, faculté des sciences, Université d'Antananarivo, 91 p.
- Richards J.A., Jia X., 1999: *Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction*. Berlin Springer-Verlag: Technology & Engineering, 363 p.
- Shulten G.G.M., Dobson H., Lecoq M., de Miranda E.E, Peveling R., 1999: Mission de formulation d'un programme de lutte antiacridienne à court, moyen et long termes à Madagascar. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 119 p.



Carte O1 : Localisation du site d'étude dans le Sud de Madagascar



Photo O2 : Crickets marcheurs



Photo O3 : Crickets ailés



Photo O4 : Nuage de crickets

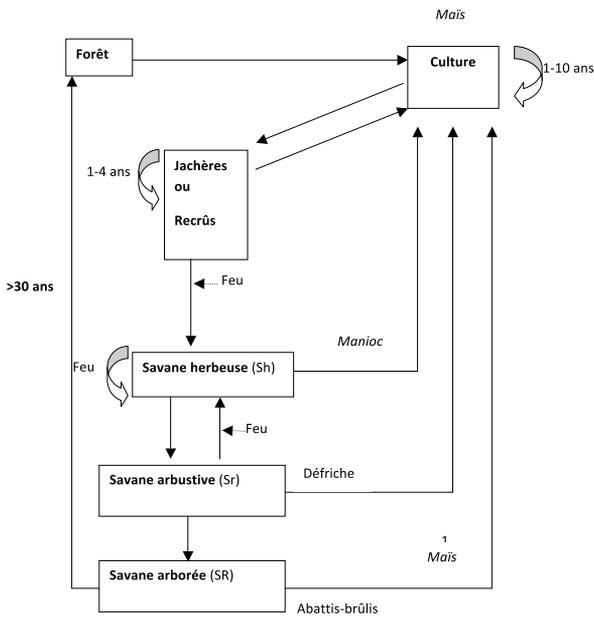
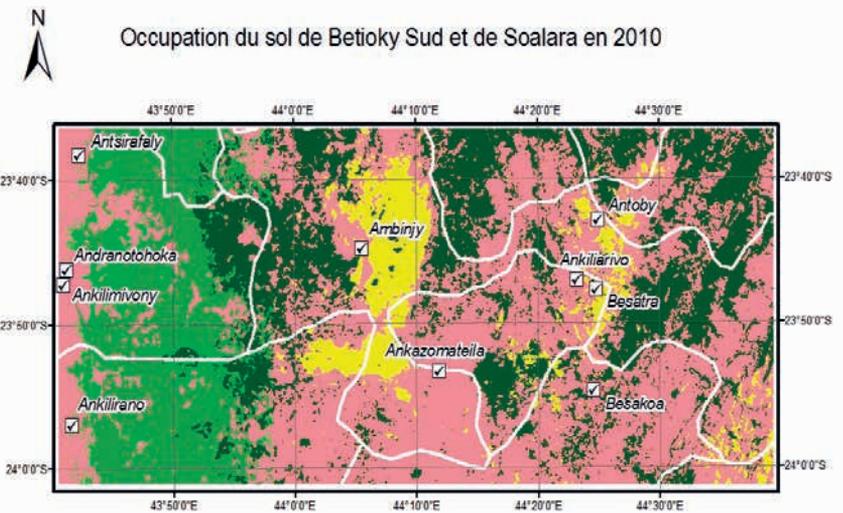
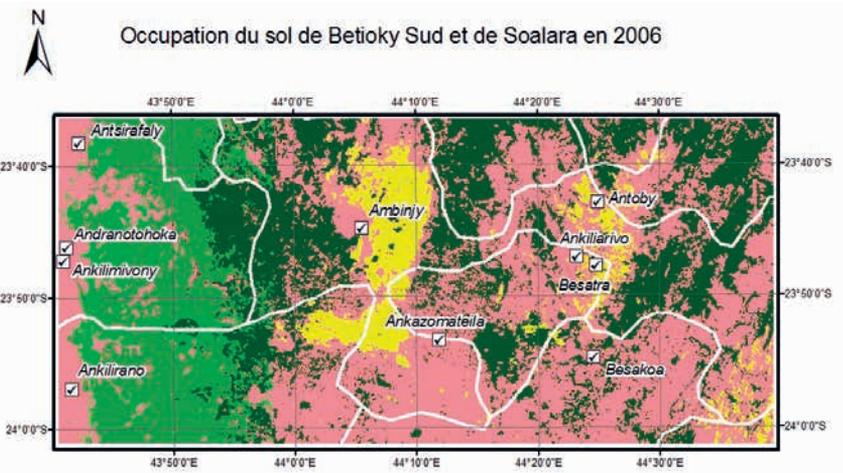
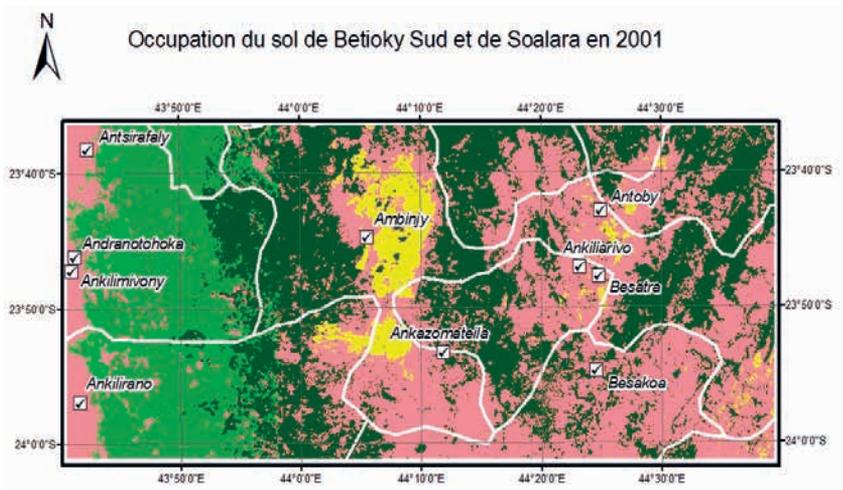
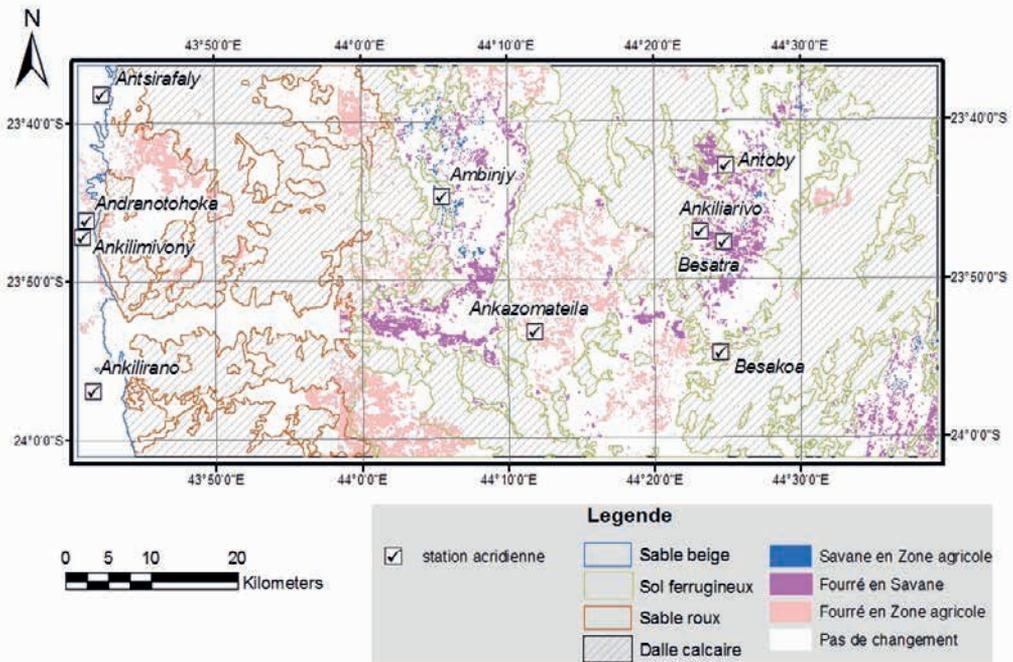


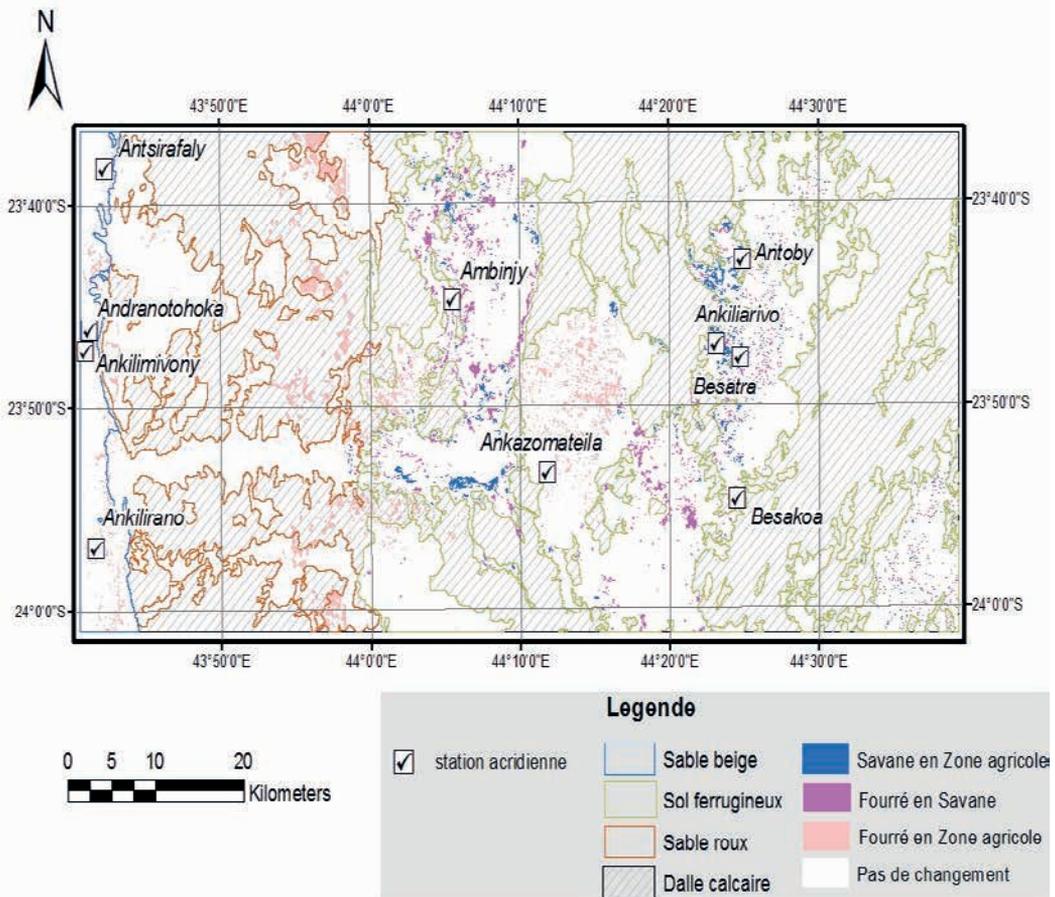
Figure O5 : Schéma de transition en forêt sèche, Mikea



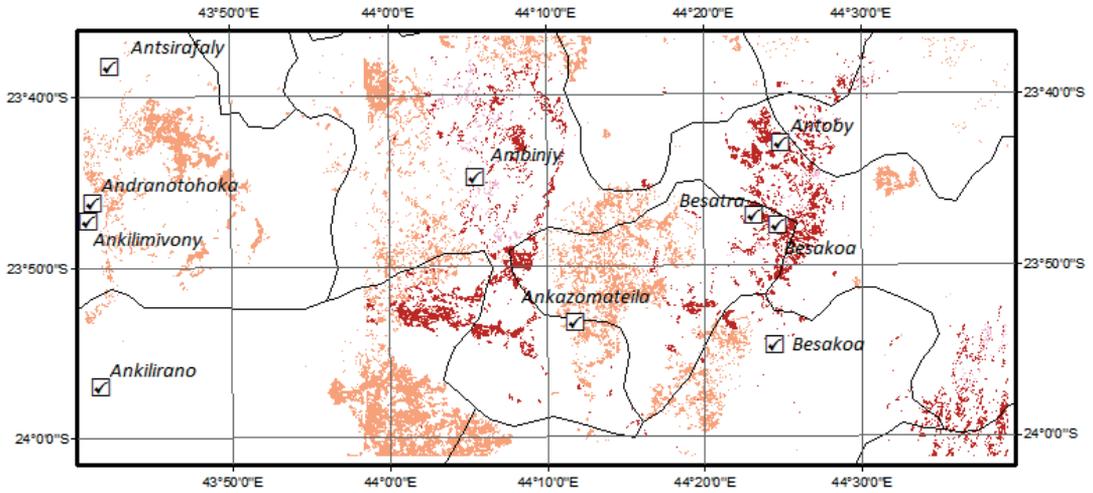
Cartes P1a, P1b, P1c :Occupation du sol de Betioky Sud et Soalara en 2001, 2006 et 2010



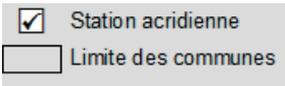
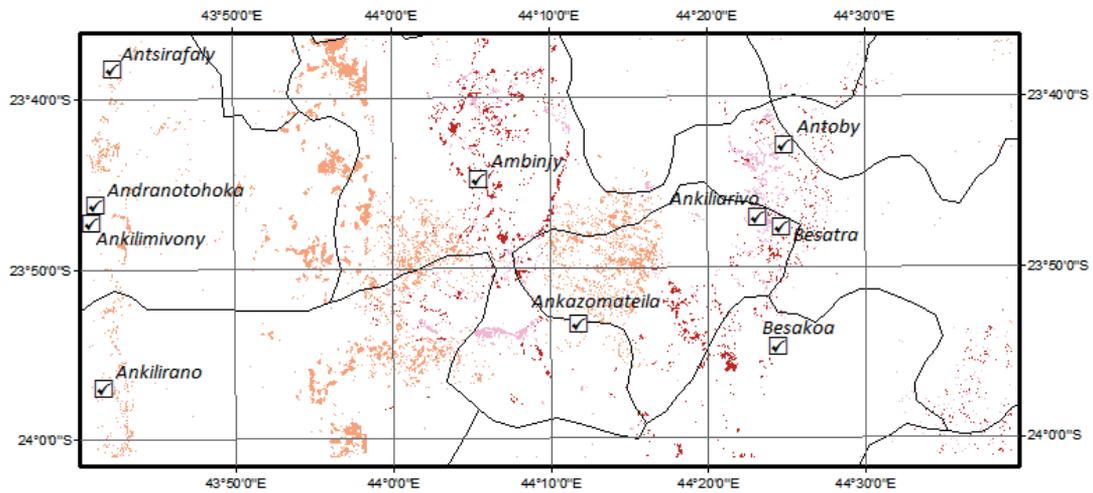
Carte Q1 : Changement de l'occupation du sol entre 2001 et 2006 pour Betioky Sud et Soalara



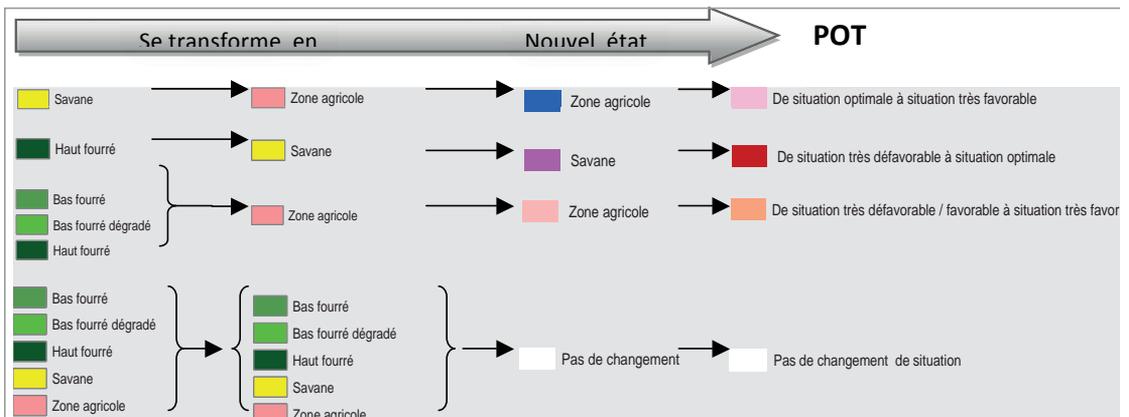
Carte Q2 : Changement de l'occupation du sol entre 2006 et 2010 pour Betioky Sud et Soalara



Carte R1 : Evolution du POT entre 2001 et 2006



Carte R2 : Evolution du POT entre 2006 et 2010



# 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



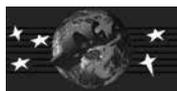
# Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation

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.