

La cartographie et la télédétection comme système de suivi-évaluation des TGRNR. Exemple de site d'application : la commune de Didy, région d'Alaotra-Mangoro, Madagascar

Solofoarisoa Rakotoniaina, Pascal Rakotomandrindra, Sedraniaina Ranaivoarimanana, Solofo Rakotondraompiana

► **To cite this version:**

Solofoarisoa Rakotoniaina, Pascal Rakotomandrindra, Sedraniaina Ranaivoarimanana, Solofo Rakotondraompiana. La cartographie et la télédétection comme système de suivi-évaluation des TGRNR. Exemple de site d'application : la commune de Didy, région d'Alaotra-Mangoro, Madagascar. Rôle et place des transferts de gestion des ressources naturelles renouvelables dans les politiques forestières actuelles à Madagascar, Dec 2013, Madagascar. pp.11, 2014. <cirad-00935064>

HAL Id: cirad-00935064

<http://hal.cirad.fr/cirad-00935064>

Submitted on 23 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La cartographie et la télédétection comme système de suivi-évaluation des TGRNR. Exemple de site d'application : la commune de Didy, région d'Alaotra-Mangoro, Madagascar

Solofoarisoa RAKOTONIAINA¹, Pascal RAKOTOMANDRINDRA, Sedraniaina RANAIVOARIMANANA, Solofo RAKOTONDRAOMPIANA

Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et Télédétection, Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, B.P. 3843, Antananarivo 101, Madagascar. Téléphone : (261)20 22 25353 ; télécopieur : (261)20 22 30182

Résumé

La télédétection est un outil permettant de produire, à l'aide d'images satellitaires, une carte d'occupation du sol. Ce qui est plus intéressant est de pouvoir le faire à différentes dates. Elle permet ainsi d'effectuer, par exemple, un système de suivi-évaluation des Transferts de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables (TGRNR). Un site d'application a été considéré dans le cadre d'une étude menée par le Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et Télédétection de l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA) afin d'évaluer l'efficacité du programme de transfert de la gestion forestière aux communautés de base locales. C'est le cas de la commune de Didy, dans la région d'Alaotra-Mangoro, située dans la partie Centre-Nord de Madagascar. Les images multispectrales Landsat acquises à différentes dates ont été tout d'abord soumises à des corrections atmosphériques puis classifiées chacune à l'aide des algorithmes de classification adaptés au type d'image disponible. L'analyse et la comparaison des cartes d'occupation du sol issues des images classifiées (post-classification) permettent d'apporter des informations pertinentes de suivi-évaluation des TGRNR. L'analyse et la détection des changements pourraient être plus poussées en interprétant les matrices de transition et les cartes de changement.

Mots-clefs : suivi, télédétection, analyse multodate, transfert de gestion

1 Introduction

L'importance mondiale de la biodiversité malagasy est largement reconnue de par son originalité, sa richesse et son endémisme (MYERS, 1988 ; PNAE, 2003 ; MITTERMEIER *et al.*, 2004). Il est ainsi recommandé et nécessaire de pouvoir instaurer des projets de gestion durable des ressources naturelles renouvelables pour la conservation de ces régions "hotspots" de la biodiversité à Madagascar. Parmi cela figure le programme de transfert de gestion des forêts aux communautés locales de base (RAIK et DECKER, 2007 ; ANDRIANARY, 2012 ; RAHARIMAHEFA, 2012) afin de renforcer d'une part l'appropriation par ces communautés et les collectivités décentralisées de la gestion des zones transférées à travers des techniques de valorisation des ressources naturelles renouvelables compatibles avec la conservation et des systèmes de contrôle et d'étendre et sécuriser d'autre part les espaces forestiers et pastoraux mis sous aménagement et gestion locale en périphérie des aires protégées sensibles (COGESFOR, 2009).

Le rôle de la télédétection dans ce schéma est d'effectuer des analyses sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la zone d'étude à l'aide des images satellitaires et d'en évaluer les impacts écologiques de l'installation des Transferts de Gestion (TG) aux communautés de base à la conservation de la biodiversité du milieu. L'étude effectuée par ANDRIANARY (2012) sur le Parc National de Ranomafana et de ses zones périphériques en est un exemple récent.

2 Méthodologie et Données images

2.1 Description de la méthodologie

L'objectif principal est de faire un suivi temporel de l'occupation du sol à l'aide des images satellitaires acquises à différentes dates. La production des cartes d'occupation du sol à différentes dates à l'aide des opérations de classification d'image sera alors nécessaire. En général, les images ont été acquises sous différentes conditions atmosphériques. Aussi, s'avère-t-il nécessaire

¹ auteur pour la correspondance - Courriel: solofoarisoa@gmail.com

dans un premier temps, dans la chaîne de traitement des images, d'effectuer une correction atmosphérique de toutes les images satellitaires afin de pouvoir effectuer des comparaisons non biaisées par la suite. Le principe est assez simple : il suffit de ramener les valeurs radiométriques des pixels enregistrées au niveau du capteur du satellite en haut de l'atmosphère enlevant ainsi les perturbations dues par ce dernier sur les réponses spectrales réelles des pixels. Nous avons opté pour cela la méthode QUAC décrite dans BERNSTEIN et al. (2005). Deux grandes classes de classification existent : la classification supervisée et celle non-supervisée. Le fait d'utiliser des informations ou des connaissances a priori, s'ils sont disponibles dans le processus de classification, permet de produire en général de meilleures cartes d'occupation du sol. C'est le cas de la classification supervisée. Dans le cas contraire, la classification est dite non-supervisée. Toutefois, pour avoir une idée globale sur l'occupation du sol de la zone d'étude considérée, il est souvent nécessaire d'effectuer au préalable une classification non supervisée sur les images. Cette opération a été effectuée dans notre cas à l'aide de la méthode k-means (TOU et GONZALEZ, 1974). Les résultats obtenus servent, en plus des données recueillies sur le terrain, à définir les principales catégories d'occupation du sol pour la classification supervisée. Cette dernière sera ensuite effectuée en général à partir des bandes originales à l'exception de la bande thermique. Cette opération consiste à affecter à chaque pixel une classe dont le nombre et les différentes catégories ont été définis plus haut. Quelquefois, il est intéressant d'inclure dans la classification des néo- canaux comme l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et l'indice du sol (CALOZ et COLLET, 2001) pour réduire les confusions qui pourraient exister entre les différentes classes. Actuellement, on recense plusieurs méthodes de classification. Il y en a celles qui sont paramétriques telle la méthode du maximum de vraisemblance et d'autres qui ne le sont pas comme le k-NN (k nearest neighbour) et le SVM (Séparateur à Vaste Marge) (BOSER et al., 1992 ; VAPNIK, 1998). Souvent les méthodes non paramétriques donnent de meilleurs résultats vu que les conditions d'utilisation des approches paramétriques ne sont pas toujours satisfaites. D'après les études effectuées, quand il s'agit d'image à haute résolution spatiale, la méthode SVM se comporte assez bien (ANWAR, 2010). Ainsi dans le cadre de notre exemple d'illustration, la classification supervisée utilisant l'approche non paramétrique SVM a été retenue.

Concernant l'analyse et la détection des changements, plusieurs approches sont disponibles dans la littérature (MAS, 1999 ; COPPIN et al., 2004 ; LU et al., 2004). L'approche utilisant la post-classification est cependant la plus courante (ADEOYE, 2012).

2.2 Données images

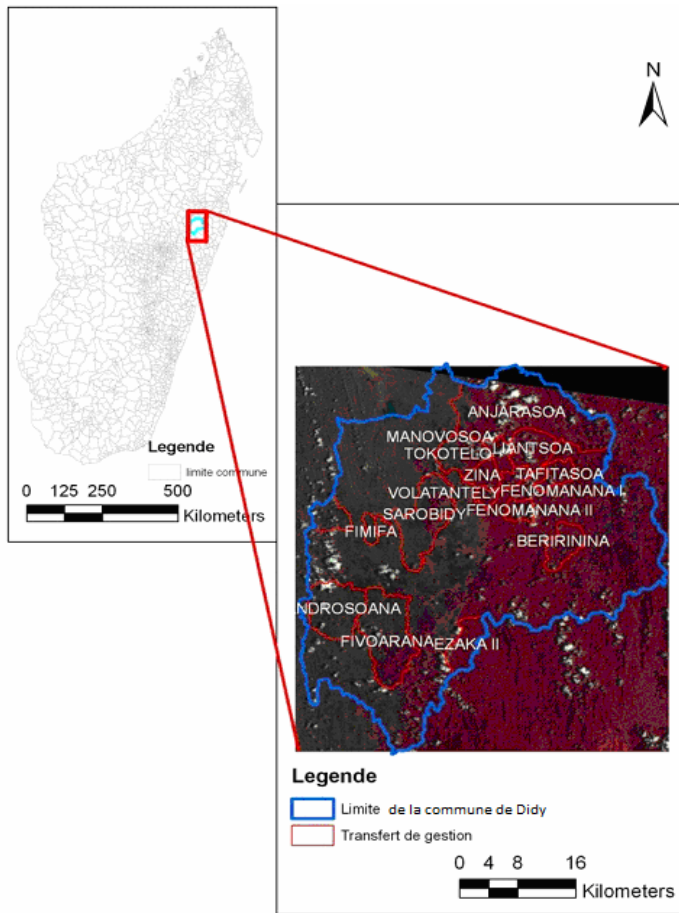
Concernant les images satellitaires, leurs caractéristiques dépendent des capteurs des satellites utilisés. Il existe des images multispectrales disponibles sur 3 à 7 canaux spectraux. Pour d'autres, le nombre de bandes spectrales peut atteindre une centaine, c'est le cas des images hyperspectrales. Plus le nombre de bandes spectrales disponible augmente, plus on a d'informations sur les pixels de l'image. Un autre paramètre existe aussi : la résolution spatiale des pixels qui peut aller d'une centaine de mètre au mètre. Il joue un rôle important sur la précision de la carte d'occupation du sol.

2.3 Site d'application, Données et Matériels utilisés

Le site d'application servant d'illustration de la méthodologie est la commune de Didy qui se trouve dans la région d'Alaoira-Mangoro. Elle est comprise entre les longitudes 48°18'45"E et 48°47'28"E et entre les latitudes 17°54'20"S et 18°25'7"S (Figure 1). La population de Didy est en majeure partie des cultivateurs et éleveurs dont la culture principale est la riziculture. Aux alentours du village, les rizières sont bien aménagés par contre en s'en éloignant elles sont encore mélangées avec d'autres catégories d'occupation du sol telle la savane herbeuse.

Nous disposons pour cette étude d'une série de trois images satellitaires Landsat TM (scène n° 158-073) acquises respectivement le 21 novembre 1994, le 16 novembre 2001 et le 30 novembre 2009. Ces images disponibles suivant sept canaux spectraux situés dans le domaine du visible, du proche infrarouge et du thermique ont été téléchargées à travers le site de l'USGS (<http://edcsns17.cr.usgs.gov>). Le choix de ces images a été surtout dicté par leur disponibilité sur le site ainsi que de leur qualité en recouvrement nuageux. Elles ont toutes une résolution spatiale de 30 m à l'exception du canal thermique. L'extrait qui nous intéresse fait 1716 x 1873 pixels (Figure 2). Dix-sept opérations de Transferts de Gestion (TG) ont été effectuées dans cette commune en 2003 et 2004. Les terroirs transférés couvrent environ 32 % de la superficie de la commune. Nous avons effectué deux descentes sur le terrain (du 27 juin au 11 juillet 2011 et du 24 octobre au 04 novembre 2011). Ces missions ont pour objectifs de relever les points GPS relatifs aux parcelles de

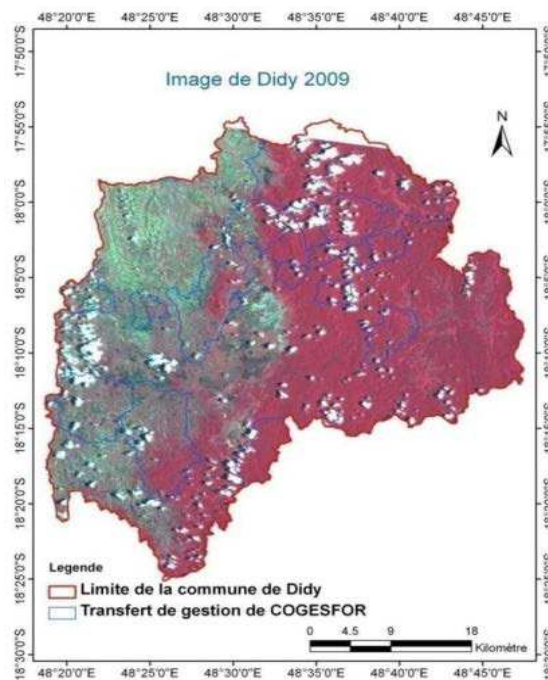
Figure 1 – Zone d'étude



vérités-terrain pour chaque catégorie d'occupation du sol et de mener une enquête auprès de la population locale sur l'historique de l'environnement forestier dans leurs régions respectives. Nous avons pu recueillir des informations sur plus d'une centaine de parcelles. Les parcelles ont été ensuite divisées aléatoirement en 2 groupes : le premier, représentant 60 % des parcelles, en tant que parcelles d'apprentissage (ou zones d'entraînement) pour entraîner l'algorithme de classification supervisée et le second en tant que parcelles de contrôle (ou zones test) pour valider les résultats des classifications

Nous avons effectué nos traitements à l'aide des logiciels de traitement d'images : ENVI (ITT, 2008) et Idrisi (EASTMAN, 2006 ; EASTMAN 2012).

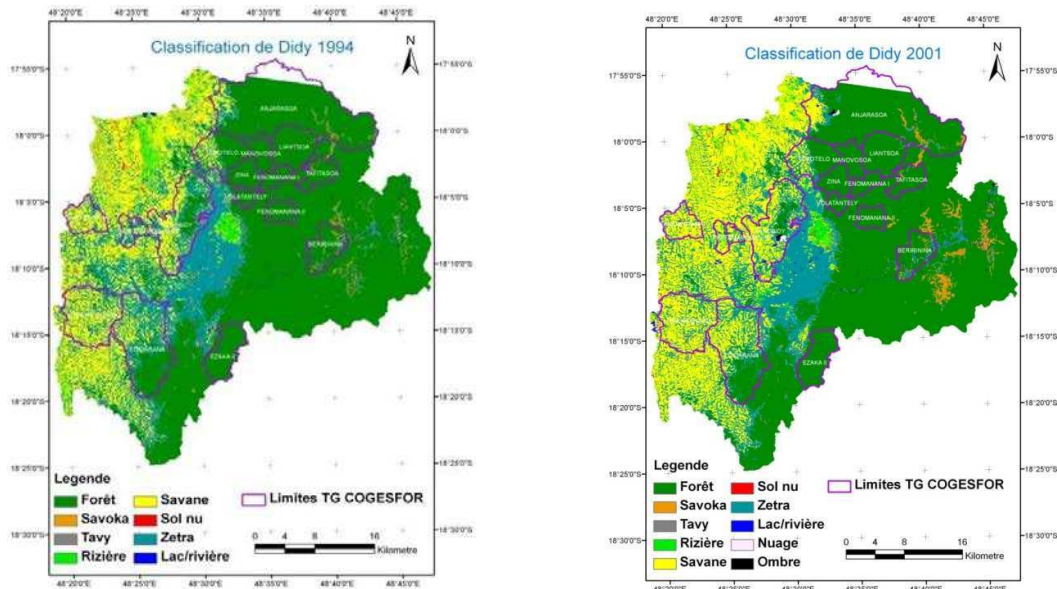
Figure 2 - Composition colorée en fausse couleur de l'image multispectrale Landsat de 2001 de la commune de Didy (R : TM4 ; V : TM3 ; B : TM2)



3 Résultats

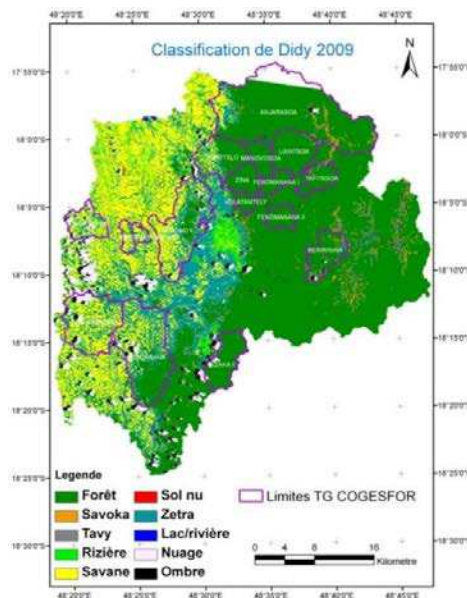
Les résultats des classifications supervisées effectuées à différentes dates de la zone d'étude en utilisant l'algorithme SVM sont résumés à la figure 7. Les différentes catégories d'occupation du sol retenues sont les suivantes : forêt (forêt naturelle non encore dégradée) ; recru forestier (ou 'savoka') ; zone de brûlis (ou 'tavy') ; marécage à Cypéracée ('zetra') ; rizière; savane; lac/rivière et sol nu.

Figure 3 - Images classifiées de Didy par la méthode SVM (a) : 1994 ; (b) : 2001 ; (c) : 2009



(a)

(b)



(c)

La culture sur brûlis est une pratique ancestrale encore pratiquée par une large frange de la population rurale. La zone brûlée est appelée 'tavy' lorsque le passage du feu ne dépasse pas encore un an. Après cette période, le 'tavy' devient un nouveau type de végétation appelée 'savoka' ou recru forestier. La classe 'zetra' ou marécage à cypéracée se trouve sur des zones humides. Elle constitue une réserve de terre cultivable pour la population car elle peut être transformée en rizière après aménagement. En plus des classes citées ci-dessus, on a considéré aussi les classes 'nuage' et

'ombre' quand ces dernières sont présentes dans l'image. Les caractéristiques de toutes les parcelles sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 - Nombres de pixels et surfaces occupées par chaque catégorie d'occupation du sol dans les zones d'entraînement et les zones test dans la commune de Didy pour l'image satellitaire 2009

Classes	Zones d'entraînement		Zones test	
	Nombre de pixels	Surfaces (ha)	Nombre de pixels	Surfaces (ha)
Forêt	2722	245	14207	1278,6
Recru forestier (ou 'savoka')	1007	90,6	669	60,2
Brûlis (ou 'tavy')	343	30,9	370	33,3
Marécage à Cypéracée (ou 'zetra')	674	60,7	1842	165,8
Rizière	469	42,2	876	78,8
Savane	1548	139,3	2141	192,7
Lac / Rivière	851	76,6	208	18,7
Sol nu	354	31,9	408	36,7
Nuage	2071	186,4	1192	107,3
Ombre	1500	135	1577	141,9
Total	11539	1038,6	23490	2114,1

4 Discussions

En considérant la figure 3, on note surtout l'importance de la couverture forestière dans la zone. Elle représente environ 60 % de la superficie totale.

Les matrices de confusion correspondantes aux classifications des images 1994, 2001 et 2009 sont données respectivement dans les tableaux 2, 3 et 4. Les précisions globales des classifications sont toutes supérieures à 93 %, montrant une bonne classification des images. La classe 'forêt' a été toujours bien classifiée (erreurs d'omission autour de 1 %), alors que la classe 'recru forestier' est moins bien classifiée car elle se confond avec la classe 'forêt' quand elle pousse après un certain temps. Par ailleurs, on relève certaines lacunes dues notamment à l'existence des confusions entre certaines catégories d'occupation du sol : entre les classes 'rizière' et 'sol nu' d'une part et entre les classes 'rizière' et 'savane' d'autre part. Les réponses spectrales de ces classes sont en effet assez proches au moment de l'acquisition des images (au mois de novembre, les rizières sont sèches avec des restes de tiges de riz, la savane est aussi sèche en cette période) entraînant leur confusion en classification d'image. Pour réduire les confusions de classe dans les images classifiées et pour une amélioration possible des précisions des classifications, les traitements des images acquises à d'autres saisons de l'année sont recommandés en complément (WOLTER *et al.*, 1995 ; AUDA *et al.*, 2008 ; RAKOTONIAINA, 2009).

Tableau 2 - Matrice de confusion de la classification de l'image de Didy (2009). La précision globale est de 94,8 % (EO: erreur d'omission, EC : erreur de commission)

Classe	Forêt	Recru forestier 'savoka'	Brulis 'tavy'	Rizière	Savane	Sol nu	Marécage à Cypéracée 'zetra'	Lac / Rivière	Nuage	Ombre	Total	EC (%)
Forêt	14183	7	1	0	0	0	0	0	0	0	14191	0,06
Recru forestier 'savoka'	11	638	4	0	0	0	0	0	0	0	653	2,3
Brulis 'tavy'	0	24	332	0	0	0	0	0	2	0	358	7,26
Rizière	0	0	16	700	291	177	26	0	0	0	1210	42,15
Savane	0	0	1	138	1751	19	12	4	0	0	1925	9,04
Sol nu	0	0	0	0	0	212	0	0	0	0	212	0
Marécage à Cypéracée 'zetra'	3	0	16	33	99	0	1804	0	0	0	1955	7,72
Lac / Rivière	0	0	0	2	0	0	0	204	0	7	213	4,23
Nuage	0	0	0	3	0	0	0	0	1190	0	1193	0,25
Ombre	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1570	1580	0,63
Total	14207	669	370	876	2141	408	1842	208	1192	1577	23490	
EO (%)	0,17	4,63	10,27	20,09	18,22	42,04	2,06	1,92	0,17	0,44		

Tableau 3 - Matrice de confusion de la classification de l'image de Didy (2001). La précision globale est de 93,1 % (EO : erreur d'omission, EC : erreur de commission)

Classe	Forêt	Recru forestier 'savoka'	Brulis 'tavy'	Rizière	Savane	Sol nu	Marécage à Cypéracée 'zetra'	Lac / Rivière	Nuage	Ombre	Total	EC (%)
Forêt	5529	129	0	0	0	0	0	0	0	0	5628	2,28
Recru forestier 'savoka'	13	474	0	0	0	0	0	0	0	0	487	2,67
Brulis 'tavy'	0	0	158	0	0	0	0	0	0	0	158	0
Rizière	0	0	6	837	18	187	12	0	0	0	1060	21,04
Savane	8	0	0	68	972	15	48	0	0	0	1111	12,51
Sol nu	0	0	0	4	0	384	0	0	40	0	428	10,28
Marécage à Cypéracée 'zetra'	37	29	2	10	20	4	254	74	0	0	1430	12,31
Lac / Rivière	2	0	1	0	0	0	1	142	0	59	205	30,73
Nuage	0	0	0	0	0	0	0	0	496	0	496	0
Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	372	372	0
Total	5589	632	167	919	1010	590	1315	216	536	431	11405	
EO (%)	1,07	25	5,4	8,9	3,76	34,92	4,64	34,26	7,46	13,7		

Tableau 4 - Matrice de confusion de la classification de l'image de Didy (1994). La précision globale est de 93,9 % (EO : erreur d'omission, EC : erreur de commission)

Classe	Forêt	Recru forestier 'savoka'	Brulis 'tavy'	Rizière	Savane	Sol nu	Marécage à Cypéracée 'zetra'	Lac / Rivière	Total	EC (%)
Forêt	3133	30	0	0	0	0	0	0	3163	0,95
Recru forestier 'savoka'	0	319	0	0	0	0	7	0	326	2,15
Brulis 'tavy'	0	0	227	0	0	0	0	0	227	0
Rizière	0	0	0	414	105	101	0	0	620	33,23
Savane	0	0	1	14	458	22	38	0	533	14,07
Sol nu	0	0	0	5	0	222	0	0	227	2,2
Marécage à Cypéracée 'zetra'	2	29	28	1	3	2	885	0	950	6,84
Lac / Rivière	0	0	0	0	0	0	0	266	266	0
Total	3135	378	256	434	566	347	930	266	6312	
EO (%)	0,06	15,61	11,33	4,61	19,08	36,02	4,84	0		

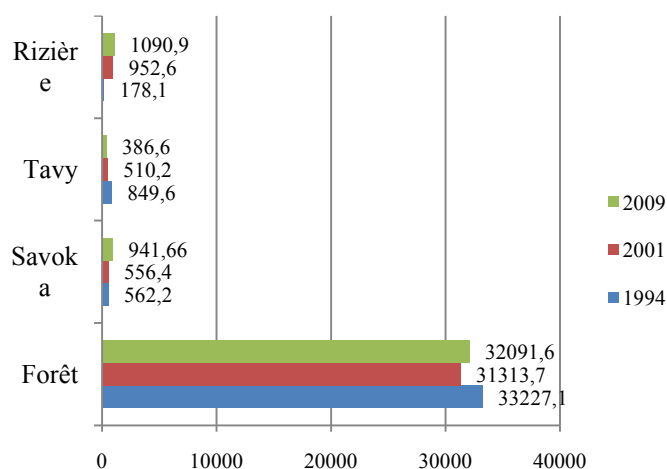
Tableau 5 - Comparaison des espaces occupés (en ha) au cours des 3 années d'étude de quelques classes d'intérêt entre les zones d'application des Transferts de Gestion (TG) et celles où il n'y a pas ce genre de programme (HTG)

Classes	1994		2001		2009	
	TG	HTG	TG	HTG	TG	HTG
Forêt	33227,1	57016,7	31313,7	53770,2	32091,6	53505,8
Recru forestier (ou 'savoka')	562,2	1259,1	556,4	2381	941,66	2381,74
Brûlis (ou 'tavy')	849,6	1347,8	510,2	940	386,6	1187,1
Rizière	178,1	3332,8	952,6	3912,9	1090,9	5303,8

Pour évaluer les actions entreprises au sein des sites de transfert de gestion au cours des trois années d'étude, deux choses ont été considérées : d'une part nous avons analysé l'évolution temporelle de l'occupation du sol entre les deux périodes de 1994-2001 et 2001-2009 et d'autre part les superficies des trois principaux indicateurs écologiques suivants ont été examinés : les surfaces de forêt, les surfaces brûlées (brûlis) et les surfaces cultivées.

En analysant les évolutions temporelles des principales classes ('forêt', 'recru forestier', 'brûlis' et 'rizière'), la figure 4

Figure 4 - Variations de l'espace occupée en ha des principales classes d'occupation du sol dans l'ensemble des Transferts de Gestion (TG) de Didy pour les 3 années d'étude (1994, 2001 et 2009)

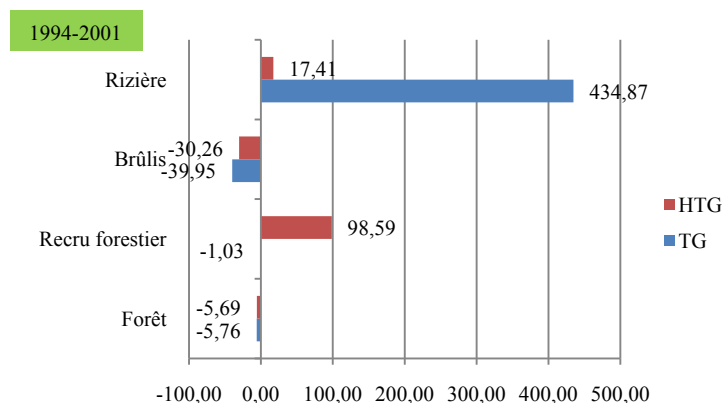


illustre une mise en évidence des impacts de l'installation des programmes de transfert de gestion sur la conservation de la biodiversité et en particulier de la forêt. En effet, cette figure montre une diminution des surfaces forestières avant l'installation des programmes de Transfert de Gestion dans la commune de Didy. On a mesuré une diminution de 5,8 % sur 7 ans (1994 à 2001), soit -0,83 % par an. Par contre, après l'installation des programmes de transfert de gestion, on a constaté une augmentation significative de ces surfaces forestières d'environ 2,5 % entre 2001 et 2009, soit +0,28 % par an. La classe 'recru forestier' a diminué de 1,03 %

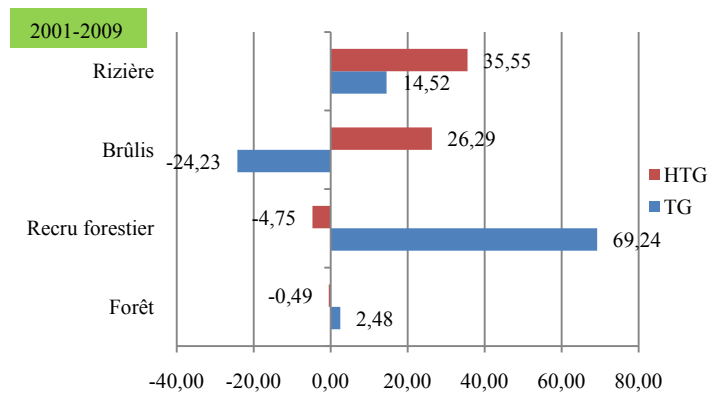
entre 1994 et 2001. Elle a trouvé un accroissement de 69,24 % entre 2001 et 2009, soit 7,7 % par an. La superficie de la classe 'brûlis' a toujours diminué de 1994 à 2009 : - 40 % entre 1994 et 2001 et - 24,2 % entre 2001 et 2009. La classe 'rizière', quant à elle, ne cesse de s'accroître au cours de ces années d'étude. Si elle s'est accrue de 434 % entre 1994 et 2001, cet accroissement n'est que de 14,6 % entre 2001 et 2009 montrant ainsi une gestion plus rationnelle des terres après installation des TG.

Par ailleurs, en comparant les espaces occupés (en ha) des classes 'forêt', 'recru forestier', 'brûlis' et 'rizière' entre les zones d'application des programmes de transfert de gestion forestière (TG) et celles où il n'y a pas ce genre de programme (HTG) (Figure 5), on peut formuler les remarques suivantes :

Figure 5 – Comparaison en pourcentage des variations des espaces occupés (en ha) de quelques classes d'intérêt entre les zones d'application des TG et celles où il n'y a pas ce genre de programme (HTG) entre 1994 et 2001 (a) et entre 2001 et 2009 (b)



(a)



(b)

- i) Entre la période 1994-2001, la variation de la surface occupée par la classe 'forêt' reste sensiblement identique pour ces deux zones (diminution de l'ordre de 5,7 %).
- ii) Durant la période 2001-2009, on note surtout le maintien et la reconstitution de la couverture forestière dans les zones d'application des TG: augmentation d'une part de la surface occupée par la classe 'recru forestier' (+69,24 %) et diminution d'autre part de la surface occupée par la classe 'brûlis' (-24,23 %). Dans le même temps, à l'extérieur des zones TG (HTG), la surface occupée par la classe 'recru forestier' a connu une décroissance de -4,75 % et celle de la classe 'brûlis' une croissance de +26,29 %. La surface occupée par la classe 'forêt' a connu une augmentation notable (+2,48 %) pour les zones TG par rapport à celles - correspondant aux zones HTG (-0,49 %).

5 Conclusion

Cette étude a permis, à l'aide des images multispectrales acquises à différentes dates par le satellite Landsat, d'effectuer une analyse spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la commune de Didy pour les 3 années prises comme référence : 1994, 2001 et 2009. Les résultats obtenus montrent d'une façon générale l'efficacité du programme de transfert de la gestion des forêts aux communautés de base dans cette commune. En effet, cette action a permis au maintien et à la reconstitution des surfaces forestières du milieu considéré. Nos résultats concordent bien à ceux trouvés par RAFANOMEZANTSOA (2012). Toutefois, comme la résolution spatiale des images satellitaires utilisées est assez faible (30 m dans notre cas), elle est une source d'imprécision dans la classification des images en tenant compte de la taille moyenne des parcelles agricoles par exemple. Aussi, nous recommandons, pour améliorer les résultats obtenus, d'utiliser des images à très haute résolution spatiale (de l'ordre du mètre) (FRANKLIN *et al.*, 1994 ; DESCLEE *et al.*, 2007 ; FENGPING *et al.*, 2009 ; SALAJANU et OLSON, 2011 ; RAKOTOMALALA, 2012) qui seront traitées avec des techniques de classification adéquates telle l'approche par orientée-objet (ROBERTSON et KING, 2011). Il est également important de prendre des images en saison sèche et en saison humide (RAKOTONIAINA, 2009). Ceci nous permettra d'enchaîner par la suite les analyses de détection et de modélisation plus appropriées des changements de l'occupation du sol (PETIT *et al.*, 2001 ; AGARWAL *et al.*, 2005 ; KOOMEN et STILLWELL, 2007 ; ZHOU *et al.*, 2008 ; ZHANG *et al.*, 2010 ; ALPHAN, 2011).

6 Remerciements

Ce travail a été le fruit d'un partenariat entre l'Institut et Observatoire de Géophysique de Madagascar (IOGA) et le projet COGESFOR (Conservation et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Malgaches) mis en œuvre par le Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

Références bibliographiques

- Adeoye N.O., 2012. Multi-temporal image classification and change analysis of land use/cover of a region in South-Western Nigeria. 9ième Conférence Internationale AARSE, 2012. El Jadida Maroc, 29 oct-02 nov 2012, 11 pp.
- Agarwal D.K., Silander J.A., Gelfand A.E., Dewar R.E., Michelson Jr J.G., 2005. Tropical deforestation in Madagascar: analysis using hierarchical, spatially explicit, Bayesian regression models. *Ecological Modelling*, 85, 105-131.
- Alphan H., 2011. Classifying land cover conversions in coastal wetlands in the Mediterranean : pairwise comparisons of Landsat images. *Land Degradation & Development*. John Wiley & Sons, Ltd, 15 pp.
- Andriany N. E., 2012. Etude de la dynamique spatio-temporelle des ressources forestières du parc national Ranomafana et de ses zones périphériques. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Université d'Antananarivo, 91 pp.
- Anwar M.D., 2010. Classification d'image satellitaire par l'algorithme Séparateur à Vaste Marge (SVM). Mémoire de DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies) en Géophysique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 75 pp.
- Auda Y., Hagolle O., Gastellu-Etchegorry J.P., Rakotoniaina S., Roux R., Meon H. and Dechamp C., 2008. Contribution of multitemporal very high resolution images to *Ambrosia artemisiifolia* L. remote sensing. *Abstracts in Allergo-Journal*, 17, 5, 380.
- 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. In *SPIE Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI*, vol. 5806, 668-678.
- Boser B., Guyon I., Vapnik V., 1992. A Training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the 5th Annual Workshop of computational learning theory*, 144-153.
- Caloz R., Collet C., 2001. Précis de télédétection, vol.3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, Canada, 386 pp.
- Cogesfor, 2009. Projet Cogesfor (Conservation et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Malagasy). FFEM, Rapport.
- Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Lambin E., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565-1596.
- Desclee B., Defourny P., Bogaert P., 2007. Identifying Forest Dynamics for Change Detection Using Multitemporal SPOT Imagery. *IEEE International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images 2007. MultiTemp 2007*, 1-6.
- Eastman J.R., 2006. Idrisi Andes. Clark Labs Clark University, Worcester MA, USA, (<http://www.clarklabs.org>)
- Eastman J.R., 2012. Idrisi Selva. Clark Labs Clark University, Worcester MA, USA, (<http://www.clarklabs.org>).
- Fengping D., Xiaowen L., Chongguang Z., 2009. A New Method in Change Detection of Remote Sensing Image. *CISP'09, IEEE 2nd International Congress on Image and Signal Processing*, 2009, 1-4.
- Franklin S.E., Connery D.R., Williams J.A., 1994. Classification of alpine vegetation using Landsat Thematic Mapper, SPOT HRV and DEM data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 20, 49-56.

- ITT (Visual Information Solutions), 2008. ENVI version 4.5 (<http://www.ittvis.com>) KOOMEN E., STILLWELL J., 2007. Modelling land-use change. Theories and methods. Chapter 1 in E. Koomen et al. (eds), *Modelling Land-Use Change*, Springer, 1-21. MITTERMEIER R.A., LANGRAND O., LOWRY II P.P., 2004. Madagascar and the Ocean Indian Island. In Mittermeier R.A., Gil P.R., Hoffman M., Pilgrim J., Brooks T., Mittermeier C.G, Lamoureux J., Da Fonseca G.A.B. (Eds). *Hotspots revisited. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. CEMEX SA. De CV, Mexico City, 138-144.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2407.
- Mas J.F., 1999. Monitoring land-cover changes : a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20(1), 139-152.
- Myers N., 1988. Threatened biotas: "Hot-spots" in tropical forests. *Environmentalist*, 8, 1-20.
- Petit C., Scudder T., Lambin E., 2001. Quantifying of land-cover change by remote sensing : resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3435-3456.
- Pnae, 2003. La diversité biologique à Madagascar. Centre d'échange d'informations de Madagascar. Convention sur la Diversité Biologique., pays ?
- Rafanomezantsoa S. F., 2012. Analyse de la pertinence du système de suivi d'impact des transferts de gestion (SITG) mis en place à Didy et sur le plateau Mahafaly. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Université d'Antananarivo, 103 pp.
- Raharimahefa T., 2012. Geoconservation and geodiversity for sustainable development in Madagascar. *Madagascar Conservation & Development (MCD)*, 7(3), 126- 134.
- Raik D.B., Decker D., 2007. A multisector framework for assessing community-based forest management: lessons from Madagascar. *Ecology and Society* 12(1): 14.
- Rakotomalala F.A., 2012. Evaluation de l'apport d'images à Très Haute Résolution Spatiale pour la modélisation de l'occupation du sol : cas du complexe d'Aires Protégées de Zahamena. Mémoire de DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies) en Géophysique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 80 pp.
- Rakotoniaina S., 2009. Amélioration de la précision de la classification en utilisant une image multispectrale multitemporelle in Ensemble de travaux de recherche de HDR en Géophysique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 9 pp.
- Robertson L.D., King D.J., 2011. Comparison of pixel- and object-based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 32, 1505-1529.
- Salajanu D., Olson C.E., 2001. The significance of spatial resolution: identifying forest cover from satellite data. *Journal of Forestry*, 99, 32-38.
- Tou J.T., Gonzalez R.C., 1974. *Pattern recognition principles*. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- Vapnik V., 1998. *Statistical Learning Theory*. Wiley-Interscience, New York, 768 pp. WOLTER P.T., MLADENOFF D.J., HOST G.E., CROW T.R., 1995. Improved forest classification in the northern Lake States using multitemporal Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*, 61, 1129-1143.
- Zhang H., Zhang B., Zhao C., 2010. Modelling the future variations of land use and land cover in the middle reaches of heihe river, northwestern China. In Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2010), 883-886.

Zhou W., Troy A., Grove M., 2008. A comparison of object-based with pixel-based land cover change detection in the Baltimore metropolitan area using multitemporal high resolution remote sensing data. In Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2008), IV-683- IV-686.