

Variation spatio-temporelle des feux de brousse sur le massif d'Ibity en utilisant l'analyse d'images satellites MODIS



Massif d'Ibity: Formation herbeuse brûlée en 2009. (Photos par Swanni T. Alvarado)

III. Chapitre 3

Variation spatio-temporelle des feux de brousse sur le massif d'Ibity en utilisant l'analyse d'images satellites MODIS

Alvarado, S.T., N.M. Ramahefamanana, E. Buisson, C. Rajeriarison, E. Roger, C. Birkinshaw, P.P. Lowry II, H. Rabarison

Ce chapitre a été réalisé avec la participation de Narindra Ramahefamanana, étudiante en DEA au Département de Biologie et Ecologie Végétales. Travail supervisé à 45% par S.T. Alvarado, 50% par H. Rabarison & 5% par E. Buisson.

Ramahefamanana, N.M. (2012). Evolution spatio-temporelle des feux de brousse et dynamique de végétation de Kiboy (Massif d'Ibity). Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.) en Ecologie Végétale. Université d'Antananarivo. Faculté des Sciences. Département de Biologie et Ecologie Végétales, Antananarivo, Madagascar.

Journal envisagé: Sécheresse

Résumé

Chaque année, un tiers de Madagascar est consommé par les flammes. Alors que les incendies font partie intégrante de nombreux écosystèmes, dans ce pays les écosystèmes naturels ont été remplacés par de vastes étendus de rizières et de prairies anthropiques résultat de l'utilisation des feux de brousse comme outil agro-pastorale courant. Des images satellitaires du produit MODIS (MCD45A1) disponible depuis avril 2000 ont été utilisées pour analyser la fréquence des incendies sur une période de 10 ans. La fréquence des feux pratiqués sur Ibity, une nouvelle aire protégée située à 25km au sud d'Antsirabe dans le centre de Madagascar, ont été identifiés. La synthèse des analyses cartographiques de 2000 à 2010 montrent que: 1) il existe trois modalités incendie autour et à l'intérieur de la zone protégée dans la saison sèche (feux précoces, de saison, et tardifs), 2) les feux tardifs sont les plus fréquents, et 3) la plupart des incendies eu lieu dans les régions de l'est et du sud du massif. Les affleurements rocheux, situé au-dessus de 1600m, ont été épargnés du feu et jouent probablement un rôle clé en tant que barrière contre les feux d'origine naturelle. Ces informations seront intégrées dans les plans de gestion de la végétation dans la région.

Mots clés: fréquence de feu, aire protégée, Ibity, MODIS Burned Area Product.

1. Introduction

Les feux constituent une partie intégrante de nombreux écosystèmes (Whelan 1995). La distribution et la structure de certains écosystèmes de la planète sont liées à ce phénomène (Bond *et al.* 2005). Dans les savanes, les feux déterminent l'équilibre entre la strate herbacée et la strate arborée (Staver *et al.* 2009; Hoffmann *et al.* 2012) et représentent un agent important qui détermine l'hétérogénéité spatiale (Mistry & Bizerril 2011). Le suivi des surfaces brûlées dans les savanes constitue une excellente source d'informations pour l'analyse de la relation feu/dynamique de végétation (Bucini & Lambin 2002; Rollins, Keane, & Parsons 2004). Dans ces milieux, le suivi des feux est une exigence incontournable pour comprendre les dynamiques écologiques et pour envisager des programmes de gestion adaptés (Rollins *et al.* 2004).

De nombreuses méthodes existent pour déterminer les régimes de feu. L'analyse du charbon végétal est une des techniques les plus utilisées et les plus précises qui permet de remonter dans le temps de plusieurs milliers d'années (Clark 1988; Lertzman *et al.* 2002; Carcaillet *et al.* 2004; Bal & Métaillé 2005). Pourtant la cartographie des surfaces brûlées, utilisant les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les techniques de télédétection, est devenue aussi une technique fréquente grâce aux avantages qu'elle présente. Cette technique permet 1) de faire une estimation rapide, précise et économique des aires brûlées, 2) de créer des modèles à partir du suivi des feux dans le temps et dans l'espace pour déterminer la probabilité d'un feu dans le futur (Mbow, Góita, & Bénié 2004; Lozano, Suárez-Seoane, & de Luis 2007), et 3) d'identifier les zones qui risquent le plus d'être brûlées, afin de localiser rapidement les zones d'intervention prioritaire pour la conservation ou la planification des protocoles de restauration (Enonzan 2010). L'une des méthodes les plus utilisées pour réaliser ce type de cartographie est basée sur la comparaison entre deux images, avant et après le passage du feu, à partir des différences entre des bandes spectrales ou des indices de végétation (Roy *et al.* 2005; Giglio *et al.* 2009).

A Madagascar, la pratique du feu est très courante. Le feu est utilisé dans les activités agro-pastorales pour le maintien des zones de pâturages, la culture sur brûlis (tavy), le nettoyage des terres après la récolte ou pour la production de charbon (Kull 2002c). Le feu

est aussi utilisé comme forme de manifestation sociale dans l'appropriation de la terre, comme moyen de contestation politique ou dans des actes de criminalité ; il est enfin parfois le résultat de l'inattention de l'homme. Chaque année des grandes surfaces sont brûlées couvrant près d' un million d' hectares (Kull 2004) : environ 25-50% des zones non forestières et non cultivées (Kull 2004) et 90-97% de la superficie des savanes (Madhow et al. 1994). Les Hautes Terres malgaches sont des régions très touchées par le feu. Les formations des forêts naturelles ont presque disparu, et la végétation actuelle est une mosaïque formée en alternance de rémanents de forêts, savanes, rizières, et de zones de reboisement avec des espèces exotiques comme le pin (*Pinus sp.*), l'eucalyptus (*Eucalyptus sp.*) ou l'acacia (*Acacia sp.*).

Une étude sur l'évolution spatio-temporelle des feux de brousse a été menée sur le massif de l'Ibity, situé dans les Hautes Terres malgaches. Ce massif est caractérisé par une mosaïque de savanes et d'une formation végétale endémique de Madagascar dénommée bois de tapia, dominée par l'espèce *Uapaca bojeri* (Phyllanthaceae) en association avec des espèces de deux familles endémiques de Madagascar (Sarcolaenaceae et Asteropeiaceae). Quarante-huit pour cent de ce massif sont couverts par des savanes. Malgré l'obtention en 2008 d'un statut de protection et les multiples activités de sensibilisation contre les feux de brousse réalisées par l'ONG gestionnaire de ce site, cette Nouvelle Aire Protégée est brûlée chaque année. Cette étude se concentre sur le suivi de surfaces brûlées dans les trois communes rurales concernées par la nouvelle aire protégée d'Ibity (Sahanivotry, Manandona et Alatsinainy). Les feux ont déjà fait le sujet de nombreuses études et recherches (Randriatsivory 2005; Rasoafaranaivo 2005; Birkinshaw et al. 2006). Cependant leur localisation et la détermination de leur fréquence restent inconnues. Cette recherche a donc pour objectifs : 1) de déterminer la distribution de surfaces brûlées sur Ibity et dans les zones habitées autour du massif ; et 2) de déterminer la fréquence du passage du feu. Ces deux objectifs seront atteints au travers d'analyses de données satellitaires de surfaces brûlées MODIS pour la période 2000 à 2010. Le suivi des feux sur le massif permettra de mieux comprendre la dynamique des feux et de la végétation, afin d'aider à la prise de décision pour une gestion durable des ressources naturelles endémiques et menacées sur ce massif. Ce travail constitue un soutien important pour les gestionnaires de l'aire protégée lors du contrôle et de la gestion des feux de brousse.

2. Méthodes

2.1. Site d'étude

Le massif de l'Ibity situé sur les Hautes Terres malgaches, est localisé entre 46°50'- 47°15'E et 20°00'- 20°10'S. Il est compris entre 1400 à 2254m d'altitude et il est localisé à 25km de la ville d'Antsirabe, dans la région Vakinankaratra. La nouvelle aire protégée (NAP), d'approximativement 6136 ha, inclut presque entièrement ce massif, à l'exception de Kiboy, une montagne satellite située au nord du massif, et les régions des bas versants proches des zones d'habitation et des activités humaines. Trois communes rurales Sahanivotry, Manandona et Alatsinainy-Ibity sont partiellement incluses par la NAP.

2.2. Climat

Le climat est classé Cwb (C : tempéré chaud, w : sec en hiver, b : chaud en été) selon la classification de Köppen (Peel *et al.* 2007) caractéristique des hautes terres des tropiques. La température moyenne annuelle est de 17,7°C (2004–2010), avec une température moyenne maximale de 27,0°C en octobre et une température moyenne minimale de 6.3°C en juillet. Les précipitations pour la période couverte par la série temporelle MODIS atteignent 1174 mm en moyenne / an. Pendant la saison des pluies (l'été étant défini par les mois avec plus de 100mm de pluie) entre novembre et mars, les précipitations moyennes mensuelles sont inférieures à 300mm et varient entre 120.9mm et 272.7mm ; pendant la saison sèche (l'hiver, étant défini par les mois avec moins de 100mm de pluie), entre avril et octobre, les précipitations moyennes mensuelles sont inférieures à 85mm et varient entre 4.6mm et 81.9mm (2004–2010, Service de Météorologie Nationale d'Ampandrianomby, Figure III-1).

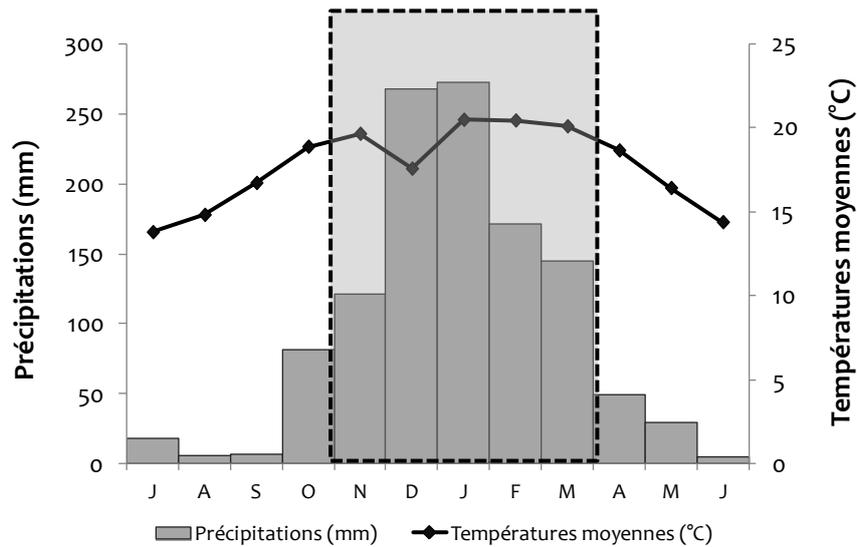


Figure III-1: Distribution des précipitations, températures moyennes pour le massif d'Ibity, Antananarivo, Madagascar (**Données de 2004 à 2010**, Service de Météorologie Nationale d'Ampanandrianomby). Un mois est inclus dans la saison des pluies quand les précipitations sont > 100 mm. Celle-ci s'étend de novembre à mars pour cette période ; elle est délimitée par le cadre en pointillés ; elle peut cependant varier d'une année à l'autre.

2.3. Images MODIS

Différents capteurs sont disponibles pour le suivi des feux actifs ou de surfaces brûlées et le niveau de résolution varie selon le capteur. Des images de faible résolution (la taille du pixel $\geq 1000\text{m}$) sont proposées par les capteurs NOAA AVHRR et SPOT VEGETATION ; celles de moyenne résolution (la taille du pixel $\sim 250\text{-}500\text{m}$) sont proposées par les capteurs MODIS et MERIS ; et celles de haute résolution (la taille du pixel $\leq 30\text{m}$) sont proposées par le capteur LANSAT, SPOT HRV / HRVIR, IKONOS, etc. L'information des images satellites des années avant 2000 sont disponibles seulement avec certains capteurs (e.g. NOAA AVHRR, SPOTE VEGETATION ou LANSAT) ce qui rend difficile le suivi des feux pendant une période prolongée et supérieure aux dix dernières années. Pour réaliser le suivi de la végétation et pour connaître son hétérogénéité spatiale, les images de faible définition ($\geq 1000\text{m}$) sont les moins adaptées car elles ne permettent pas de caractériser la distribution spatiale de la végétation et l'interprétation des données peut être difficile par manque de précision. Les images de haute résolution ($\leq 30\text{m}$) représentent un outil plus adapté, pourtant la fréquence de prise des images est trop faible pour réaliser un suivi des variations inter- et intra- annuels de la végétation.

Le capteur MODIS est un outil intermédiaire entre les capteurs de haute et de faible résolution. Des séries temporelles d'images MODIS MCD45A1v5, correspondant aux produits des surfaces brûlées, ont été utilisées lors de ce travail (MODIS Burned Area Products - <http://modis-fire.umd.edu>). Les images de ce produit sont une synthèse obtenue à partir des données journalières de réflectance de surface corrigée des effets atmosphériques (MOD09GQK), acquises sur une période d'un mois. Chaque pixel de 500m contient une information de qualité sur la présence ou non de surfaces brûlées et la date approximative du passage de feu pendant le mois analysé (Justice *et al.* 2002; Jacquin *et al.* 2011b). La haute répétitivité temporelle depuis avril 2000 (données mensuelles) et la facilité d'accès (téléchargement gratuit en ligne) ont été des critères de sélection pour réaliser un suivi sur plusieurs années. Le logiciel Arc Gis 9.3 a été utilisé pour le traitement d'images. Les bases de données exploitées sont : BD 500 FTM pour les localités et les routes, Atlas de Madagascar pour la végétation (Moat & Smith 2007).

2.4. Traitement des images

2.4.1. Burned Area Quality Assessment (BAQA)

Les données sur les feux sont le résultat de l'application de l'algorithme contextuel de détection des feux actifs de MODIS (Giglio *et al.* 2009). Cet algorithme exploite la forte émission de la radiation infrarouge qui émane des feux. Il examine chaque pixel de la scène MODIS et attribue une étiquette à chacun, suivant 5 classes :

- 0 : pas de données, c'est-à-dire aucun feu identifié.
- 1 : pixel en feu.
- 2 : pixel en feu approximatif en raison de la présence des nuages.
- 3 : pixel en feu incertain.
- 4 : pixels en feu mais données d'observations manquantes.

Les pixels n'ayant pas de données cohérentes (0, 2, 3, 4) sont exclus de l'analyse. Le traitement ne concerne alors que les pixels n°1 qui présentent une meilleure probabilité de contenir un événement de feu.

Les images MCD45A1v5 sont exportées vers ArcGIS 9.3, puis les fichiers GeoTIFFs sont convertis en shapefile point en utilisant une valeur de “gridcode” égale à 1. Cette valeur de gridcode sert à séparer les points de feux (Jacquin 2010) avec les non feux (0). Les pixels de confiance non utilisés (0, 2, 3, 4) ont été effacés de la table attributaire de chaque image. Seul le pixel n°1 a été conservé pour l’analyse et le traitement des images.

Les shapefiles obtenus ont été superposés à la carte de végétation du massif de l’Ibity (Atlas de Madagascar), les points de feux qui se trouvent à l’intérieur de la carte de la région d’Ibity sont ensuite découpés. La densité des points de feu a été calculée par le logiciel et des images rasters correspondant à la densité ont été obtenues. Comme la densité est une image raster, il est nécessaire de la transformer en vecteur (shapefile polygone) pour que l’on puisse l’archiver. Une dernière étape consiste à rassembler les polygones qui sont voisins, puis à rassembler les surfaces de feux suivant la fréquence et les modalités des feux sur les données d’une période de 10 ans. Les polygones ainsi obtenus représentent les surfaces brûlées.

La fréquence des feux est obtenue à partir de la combinaison des cartes annuelles des surfaces brûlées de 2000 jusqu’à 2010. Cette fréquence de feux de brousse a été établie après la superposition des différents supports cartographiques des feux enregistrés (2000 à 2010).

2.5. Vérification sur le terrain et enquêtes

À partir d’une carte préliminaire, une vérification sur le terrain a été faite pour valider, améliorer et éventuellement corriger la carte. Cette visite sur le terrain a consisté à vérifier les traces des feux, et pour les feux plus anciens, à faire des enquêtes auprès de la communauté locale. Ainsi, des informations relatives à l’utilisation, la localisation et la fréquence des passages des feux ont été récoltées au niveau de la communauté locale. La connaissance de ces informations a permis l’élaboration définitive de la carte des feux.

3. Résultats

3.1. Modalité des feux (2000-2010)

L'analyse des images pour la période 2000-2010 montre que la distribution des feux dans la région d'Ibity, comprenant le massif et les zones habitées des trois communes, se situe entre mai et novembre. La saison de feux coïncide avec la saison sèche. Trois types de feu sont ainsi déterminés selon la période de passage par rapport à la saison sèche :

Feux de fin de saison humide : février-mars-avril-mai (feu précoce) ;

Feux de pleine saison sèche : juin-juillet-août (feu de printanisation ou de saison) ;

Feux de fin de saison sèche : septembre-octobre-novembre (feu tardif).

La plupart des feux sont concentrés entre septembre et octobre (feux tardifs), et aucun feu n'a été enregistré entre décembre et janvier, période où les précipitations atteignent un pic (Figure III-2).

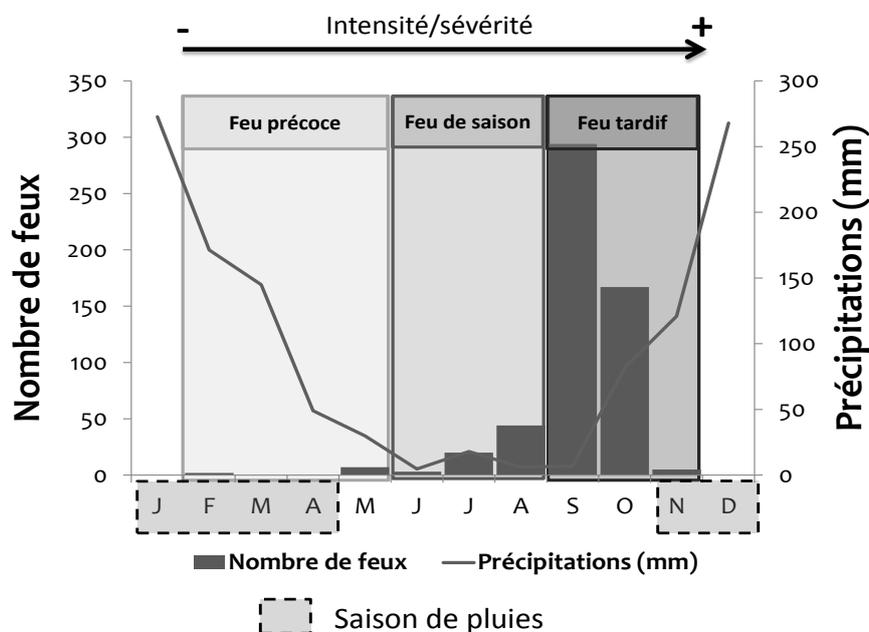


Figure III-2: Distribution du nombre des feux de brousse en moyenne par an et des précipitations moyennes mensuelles entre 2004-2010. Les barres représentent le nombre total de feux sur dix ans pour chaque mois et la ligne représente la moyenne des précipitations sur dix ans pour chaque mois ; la saison des pluies pendant la période étudiée est marquée dans le cadre gris sur l'axe des abscisses.

3.2. Evolution spatio-temporelle

La région étudiée comprend trois communes rurales qui occupent une surface de 37831.7ha dont seulement 6136ha sont inclus dans l'aire protégée. L'analyse de la distribution des feux sur une période de 10 ans (2000-2010) montre qu'une partie de la région observée est brûlée tous les ans (Figure III-3, Tableau III-1). L'année 2010 enregistre les plus grandes surfaces incendiées (23,3%, 8825 ha), suivie de l'année 2006 (13.1%, 4975ha) (Figure III-3, Tableau III-1). Les années 2004 et 2009 ont été les années où le moins de feux ont été observés : 1% (375ha) et 2.7% (1025ha) respectivement (Figure III-3, Tableau III-1). La surface brûlée par les feux tardifs varie de 50ha en 2002 à 8825ha en 2010 (Tableau III-1).

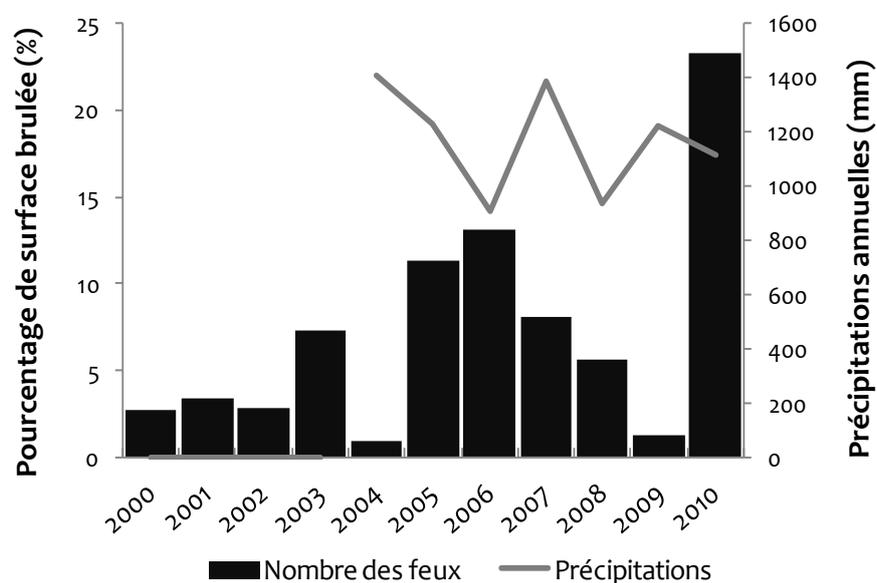
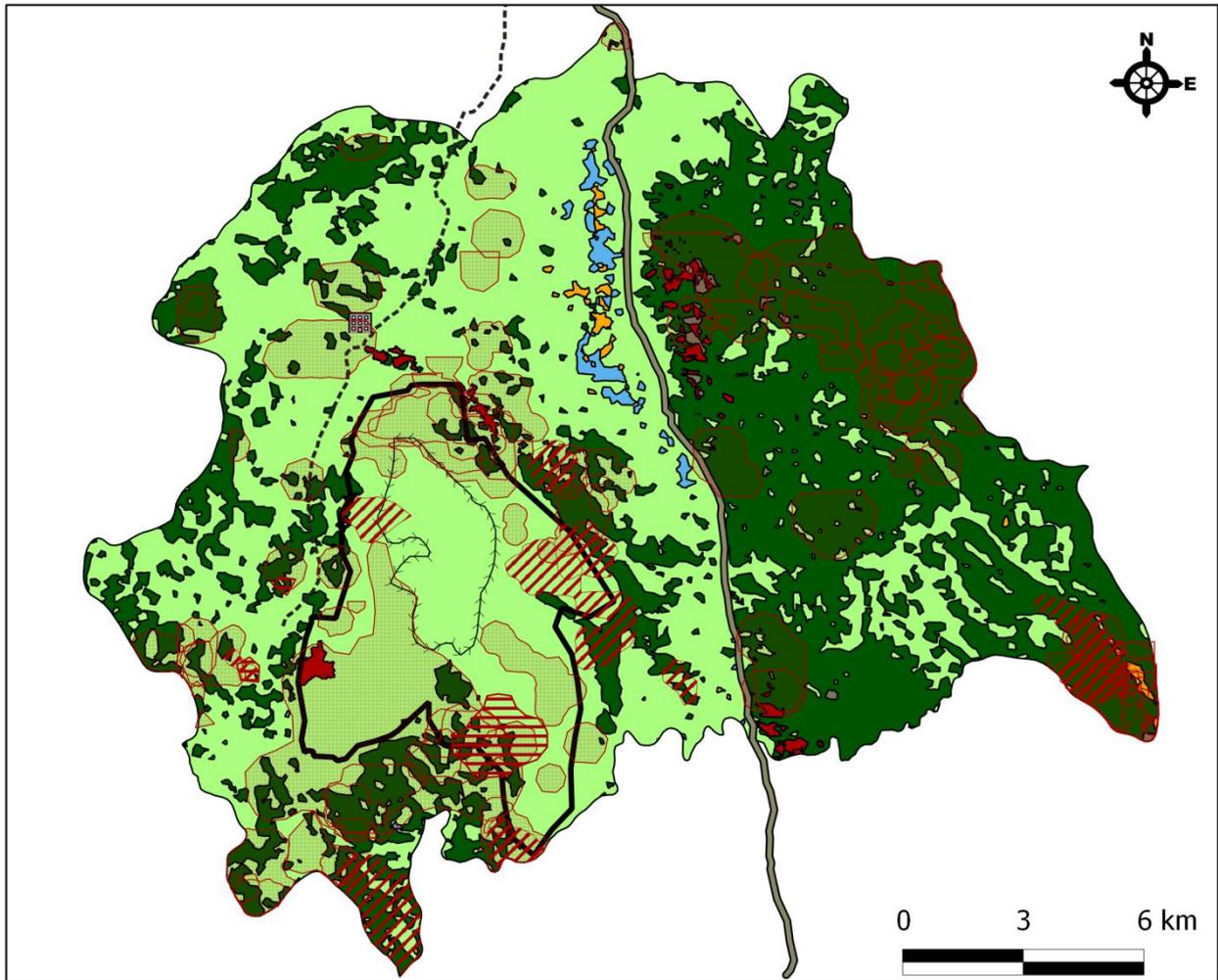


Figure III-3 : Evolution des feux de brousse (2000-2010) : pourcentage de surfaces brûlées dans les trois communes et des précipitations moyennes annuelles (2000 -2010) pour la région d'Ibity (les données météorologiques de la période 2000-2003 ne sont pas disponibles).

Tableau III-1: Evolution des feux entre 2000 et 2010. Surfaces brûlées (ha) dans les trois communes pour chaque modalité de feu et pourcentage total de surfaces brûlées dans les trois communes.

Année	Nombre de feux	Feux Précoces (ha)	Feux de Printanisation (ha)	Feux Tardifs (ha)	Surface totale brûlée (ha)	Pourcentage des Surfaces brûlées (%)
2000	41	0	0	1025	1025	2.71
2001	51	0	50	1225	1275	3.37
2002	43	0	1025	50	1075	2.84
2003	110	0	0	2750	2750	7.27
2004	15	0	375	0	375	0.99
2005	171	0	1000	3275	4275	11.30
2006	199	350	200	4425	4975	13.15
2007	122	0	625	2425	3050	8.06
2008	86	0	0	2150	2150	5.68
2009	20	100	0	400	500	1.32
2010	353	0	0	8825	8825	23.33

La carte de synthèse des feux, montre que presque la totalité de l'aire protégée a été touchée par au moins un feu entre 2000-2010 (Figure III-4). Le massif est entouré par des cultures et des zones d'habitations qui sont également brûlées. Le centre du massif est un noyau rocheux qui est inclus dans la NAP mais qui n'a jamais été atteint par les feux pendant la période étudiée.



Modalité des feux

 Feu précoce

 Feu de saison

 Feu tardif

 Route Nationale RN7

 Piste carrossable

 Holcim S.A.

 Affleurement rocheux

 Ibity, Nouvelle Aire Protégée

Types de végétation

 Zone de culture

 Forêt dense

 Formation herbacée

 Bois de tapia

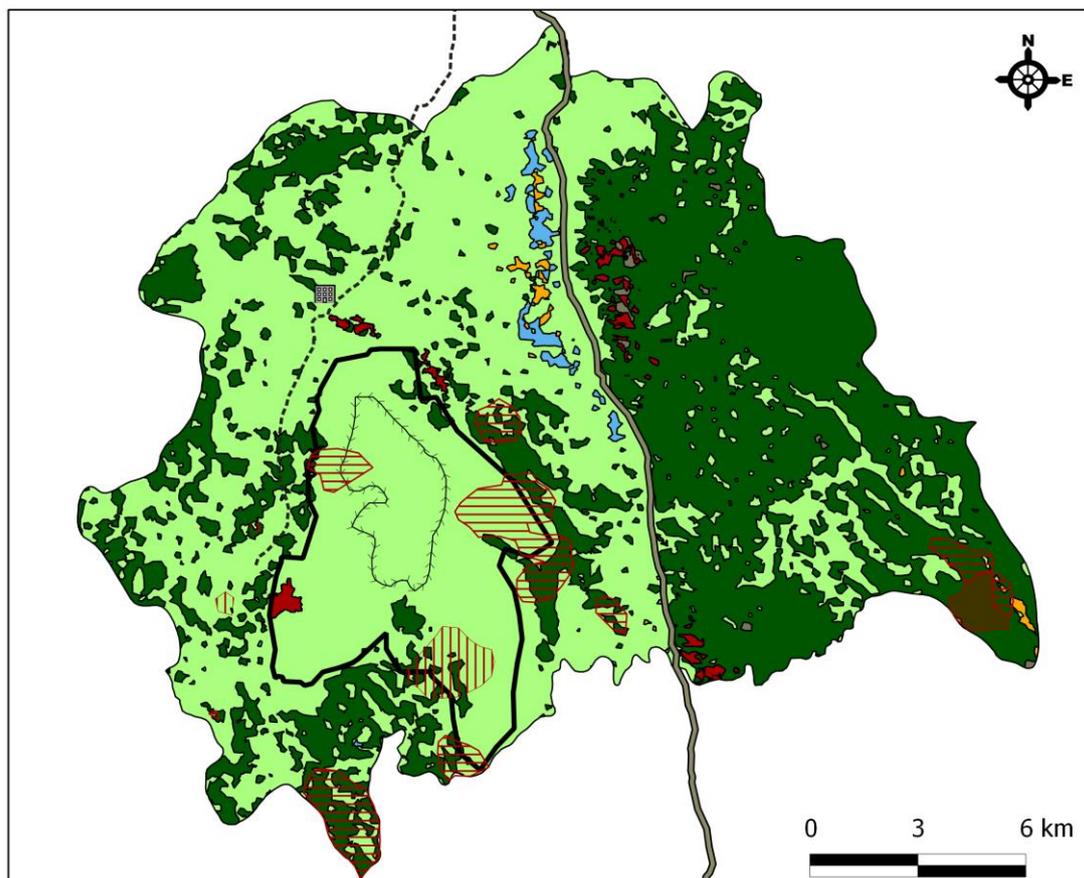
 Cours d'eau

 Formation herbacée boisé -
Reboisement à espèces exotiques

Figure III-4: Synthèse des différentes modalités de feux dans la zone d'étude (communes rurales Sahanivotry, Manandona et Alatsinainy Ibity) pour la période 2000 à 2010 (Source : Modis Burned Area Product 2000-2010 ; Carte de végétation adaptée selon l'Atlas de Madagascar (Moat & Smith 2007) ; cartographie des surfaces brûlées selon Ramahefamanana (2012)).

3.3. Fréquence des feux à l'intérieur de l'Aire Protégée

La fréquence des feux peut être classée en quatre catégories selon le nombre de feux dans une période de dix ans : zone brûlée une, deux, trois ou quatre fois (Figure III-5 et Figure III-6).



Fréquence des feux

-  Feu précoce, zone brûlée 1 fois
-  Feu de Saison, zone brûlée 1 fois
-  Feu de Saison, zone brûlée 2 fois

 Route Nationale RN7

 Piste carrossable

 Holcim S.A.

 Affleurement rocheux

 Ibity, Nouvelle Aire Protégée

Types de végétation

 Zone de culture

 Forêt dense

 Formation herbacée

 Bois de tapia

 Cours d'eau

 Formation herbacée boisé -
Reboisement à espèces exotiques

Figure III-5 : Fréquence des feux Précoces et feux de Printanisation au niveau des trois communes (Alatsinainy Ibity, Sahanivotry, Manandona), période de 2000 à 2010 (Source : Modis Burned Area Product 2000-2010 ; Carte de végétation adaptée selon l'Atlas de Madagascar (Moat & Smith 2007) ; cartographie des surfaces brûlées selon Ramahefamanana (2012))

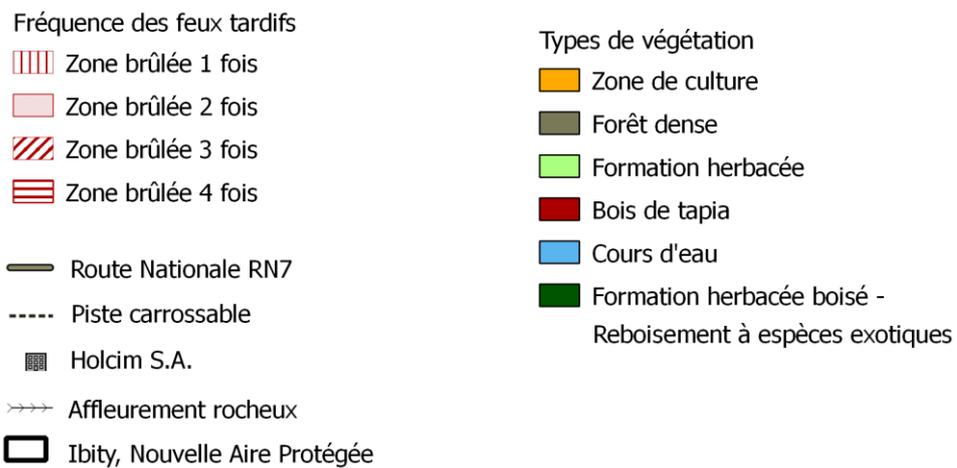
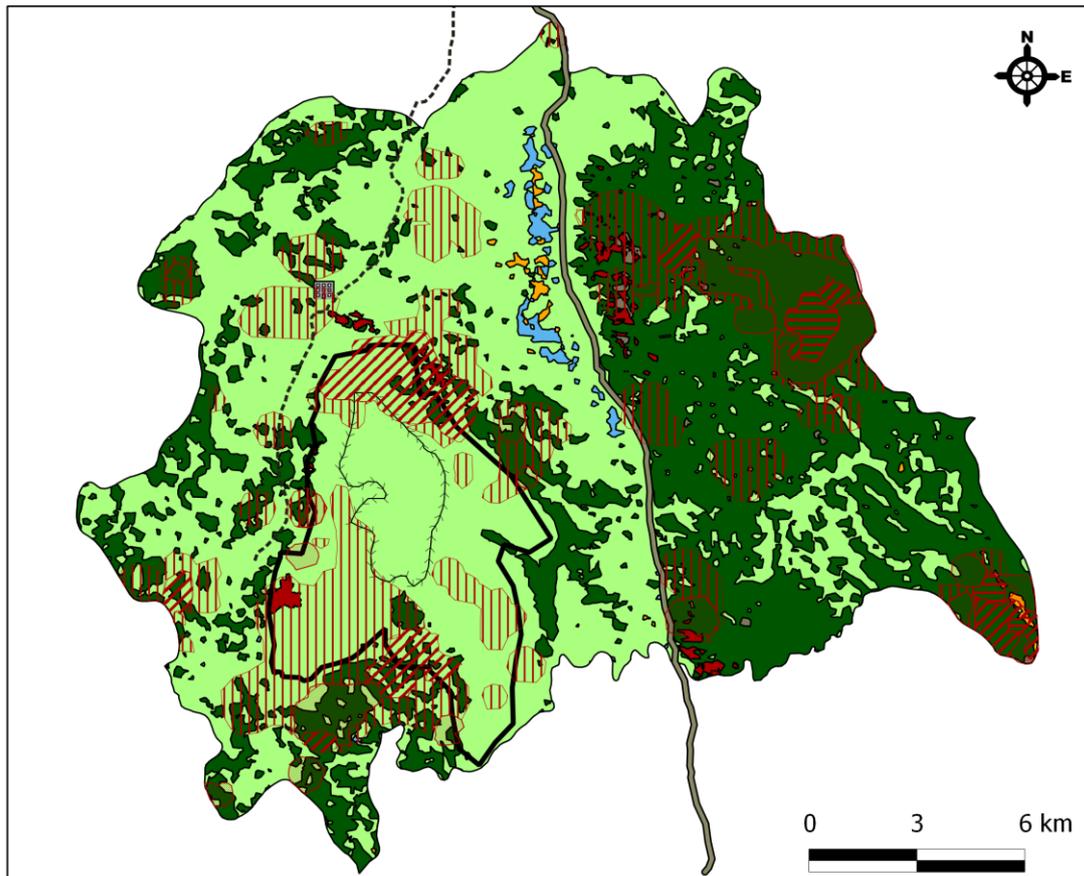


Figure III-6: Fréquence des feux tardifs au niveau des trois communes (Alatsinainy Ibity, Sahanivotry, Manandona), période de 2000 à 2010 (Source : Modis Burned Area Product 2000-2010 ; Carte de végétation adaptée selon l'Atlas de Madagascar (Moat & Smith 2007) ; cartographie des surfaces brûlées selon Ramahefamanana (2012)).

4. Discussion

4.1. Répartition des feux sur les 10 ans

La répartition de la fréquence des feux dans le temps (2000 – 2010) est à mettre en relation avec la variation du climat, qui se manifeste par une diminution de la quantité de pluie et une élévation de la température au cours de ses 7 dernières années (2004-2010). Un très grand nombre de feux a été enregistré en 2010 : cette période correspond à la crise politique que subit Madagascar après le coup d'état en 2009. Cette crise a entraîné le mécontentement des populations et l'augmentation de la fréquence historiquement des feux. Plusieurs auteurs (Dez 1968; Kull 2002b, 2004) confirment que les événements politiques sont des facteurs de propagations des feux comme expression populaire de mécontentement.

4.2. Répartition des feux sur un an

Les feux sont plus courants en septembre/octobre, en fin de saison sèche. Cette augmentation est due à l'accumulation de la biomasse à ce moment de l'année, biomasse complètement sèche et en quantité abondante comme combustible lors d'un feu (Knapp *et al.* 2004; Govender *et al.* 2006). L'analyse temporelle des images conduit donc à caractériser les feux de brousse aux alentours de l'aire protégée de « saisonniers » (Randriambelo 1998).

4.3. Répartition géographique des feux

La plupart des feux observés dans les trois communes correspondent aux feux de préparation des cultures, en effet les paysans utilisent les feux pour débroussailler leurs champs et la plupart des temps les feux ne sont pas contrôlés. Cependant, la distribution des feux n'est pas la même au niveau des trois communes rurales. D'après Rakotoarimanana (2010), ces différences proviennent de la diversité de relief et du type de végétation. Les deux communes rurales Alatsinainy Ibity et Sahanivotry présentent de grandes superficies occupées par des pins, résineux très inflammables, d'où la grande étendue des feux observée dans les deux communes. Sur la commune rurale de Manandona par contre, se trouve la rivière de Manandona assurant le rôle de pare-feux naturel, c'est pourquoi la fréquence des feux dans cette commune est plus faible.

Selon l'analyse des images, aucun feu n'atteint le sommet du massif, ce fait peut s'expliquer par deux hypothèses :

- 1°- la présence des affleurements rocheux au centre du massif, joue un rôle de pare feux, et empêche la divagation des feux par la présence permanente de rosée autour de ses affleurements et la réduction de végétation inflammable.
- 2°- le satellite MODIS Terra et Aqua, en détectant les surfaces brûlées, n'arrive pas à distinguer les sols nus et les affleurements rocheux avec les surfaces brûlées (Jacquin 2010).

Les résultats obtenus ont montré une certaine limite de l'utilisation des images satellitaires MODIS. En effet la dimension du pixel est assez grande pour la zone d'étude mais les images de ce satellite détectent mal les zones à affleurements rocheux abondants. Pourtant cette méthode a quand même permis de dégager l'évolution spatio-temporelle des feux dans les trois communes concernées par la nouvelle aire protégée.

5. Conclusion

Le traitement des données issues des satellites MODIS a abouti à la réalisation d'une carte de synthèse des pixels affectés par les feux de brousse au cours des dix dernières années. Ces données de synthèse ont été utilisées d'une part pour mieux appréhender les dynamiques spatiale et temporelle du feu et d'autre part pour analyser les différents aspects du milieu pouvant expliquer la localisation et la fréquence des feux dans le massif.

En général, la méthodologie utilisée a permis de délimiter la surface brûlée avec un niveau de précision moyen, mais de manière rapide et économique. La période où les feux sont les plus fréquents a été située en septembre et octobre. Etant donnée l'échelle de la surface étudiée, une analyse avec des images de haute résolution (30m, 250m) est souhaitée afin d'avoir plus de détails sur les surfaces brûlées. L'utilisation des images d'un capteur qui différencie les surfaces brûlées du sol nu est aussi souhaitée pour détecter les feux qui atteignent les savanes dans la matrice des affleurements rocheux dans le noyau rocheux du massif.

