

Effet de l'exploitation minière sur les facteurs productifs comme l'agriculture et la production de charbon de bois et la dynamique de déforestation dans le Sud-ouest de Madagascar

Camille A. Tovondrazane¹, Bin I. Holède², Ricardo R. Andriatsiaronandroy^{3,4}, Thierry Razanakoto⁵ & Zo H. Rabemananjara⁶

¹ Ecole doctorale en Gestion des Ressources Naturelles et Développement, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar
Email: tovocamille@gmail.com

² Institut d'Enseignement Supérieur de Toliara, Université de Toliara, BP 185, Toliara 601, Madagascar
E-mail: binissouf48@gmail.com

³ Ecole Doctorale de la Biodiversité et Environnements Tropicaux de l'Université de Toliara, BP 185, Toliara 601, Madagascar

⁴ Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique (UMR 6554 CNRS, LETG-Angers), 2 Bd Lavoisier 49045 Angers cedex 01, France
E-mail: aorricardo@yahoo.fr

⁵ Mention Economie, Domaine Science de la Société, BP 905, Université d'Antananarivo, Antananarivo 101, Madagascar

E-mail: thierry.razanakoto@gmail.com

⁶ Mention Foresterie et Environnement, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar
E-mail: zorabema@hotmail.com

Résumé

Dans la plupart des pays en développement, l'urbanisation s'est largement traduite par une expansion sauvage des villes associées à des modes de production et de consommation non durables, conduisant, à leur tour, à la surexploitation des ressources naturelles. Ce travail réalisé dans les forêts sèches du Sud-ouest de Madagascar a pour objectif d'évaluer les impacts exercés par l'extension des zones de culture, la production de charbon pour la consommation urbaine et l'exploitation minière (EM) en pleine forêt naturelle. Les images satellites de type LANDSAT des années 1985, 1999 et 2018 ont été traitées pour suivre l'évolution de la déforestation, et des enquêtes par questionnaire suivant une technique d'échantillonnage aléatoire simple ont été effectuées pour déterminer les impacts de l'agriculture, de la consommation en combustible dans la ville de Toliara et des activités

minières de Ranobe. Les résultats montrent que les forêts ont continué de reculer d'une superficie de 408 367 ha de 1985 à 2018 suite à l'extension de l'agriculture « abattis-brûlis », et de l'ordre de 58 130 ha entre 1999 et 2018 sous l'effet de l'EM. Les résultats des enquêtes de 2019 dans la ville de Toliara utilisant l'évaluation de Kambale Sekaraviti relèvent que 251 ha de forêts sont perdus chaque année sous l'effet de consommation de charbon de bois. De ce fait, la coexistence de ces facteurs amplifie la déforestation d'où ce phénomène devient immatrisable.

Mots clés : forêts épineuses, abattis-brûlis, images LANDSAT, déforestation, exploitation minière, Mikea et Ranobe

Extended abstract

In most developing countries, urbanization has largely resulted in uncontrolled expansion of cities associated with production patterns and unsustainable consumption, leading in turn to over-exploitation of natural resources. On the other hand, open cast mining leads to forest degradation in and around the mining sites. This current study, carried out in the dry forest formations of southwestern Madagascar, aims to assess the impacts exerted by agricultural expansion, charcoal production for urban consumption, and mining on the natural forest. The present study examines these aspects in order to show that the combined influence of factors associated with expanding agriculture and production of coal and extractive mining are the major causes favoring deforestation in this area. Landsat-type satellite images from 1985, 1999, and 2018 were processed to monitor deforestation, and questionnaire surveys following a simple random sampling technique were performed to determine the impacts of agriculture, charcoal consumption for the city of Toliara, and the mining in Ranobe. The results show that the forests have continued to decline by 408 367 ha from 1985 to 2018 following the extension of agriculture slash-and-burn, and around 58,130 ha between 1999 and 2018 as a result of mining. The results of the 2019 surveys in the city of Toliara using the Kambale Sekaraviti assessment technique

indicate that 251 ha of forest are lost every year as a result of exploitation for charcoal. Earlier studies in this area show that the degradation was started in the 1960s and took momentum following the corn boom up until the 1980s. Slash-and-burn agriculture known locally as *hatsake* has been the main cause of deforestation for decades. At least 80% of the deforestation in this area is caused by this agricultural activity carried out by the local population for their survival. In addition, charcoal production has become the most alternative adopted by the poor to ensure their precarious incomes and household energy. Over 80% of households in Toliara use charcoal on a daily basis causing unprecedented pressure on natural forests. The opening of the Toliara Sands mine amplifies deforestation in the area. The impacts of this mining project can be direct, indirect, induced, and cumulative. The direct impacts are much greater in terms of deforestation and are poorly controlled. As a result, the coexistence of these factors amplifies deforestation where this phenomenon becomes unmanageable.

Keywords: dry forest, slash-and-burn, LANDSAT images, deforestation, mining, Mikea and Ranobe

Introduction

Le phénomène de déforestation engendré par le développement des activités humaines n'est pas récent (Williams, 2002). Au contraire, la déforestation massive perdure au 21^{ème} siècle dans un contexte de raréfaction des surfaces forestières riches en biodiversité, et de réchauffement climatique rapide sous divers facteurs. A Madagascar, près de 18 millions de personnes dépendent de cette biodiversité pour leur subsistance (Consortium MAGMA, 2018). Pour surmonter les difficultés quotidiennes, la population a recours à des activités destructrices de la forêt, en particulier, le défrichement agricole et l'activité charbonnière.

Les fourrés xérophiles du Sud-ouest de Madagascar fournissent la quasi-totalité des bois exploités pour la production de charbon de bois, consommé dans la ville de Toliara (Randriamalala et al., 2017). Au total, l'offre potentielle en bois d'énergie dans la Région Atsimo-Andrefana est estimée à 1,37 millions de mètres cubes par an, équivalant à 957 402 t de bois, concentrés à 96 % dans les forêts naturelles (Ministère de l'Energie et des Mines, 2018). L'intensification de l'activité agricole, pratiquée depuis les années 1980, constitue le principal facteur de déforestation dans cette sous-région (Razanaka et al., 2001). De ce fait, malgré tous les efforts

déployés pour conserver les ressources forestières, entre 2010 et 2013, le taux annuel de déforestation est de l'ordre de 2,3 % dans la forêt sèche du Sud-ouest de Madagascar et ce, sous diverses formes de pressions anthropiques pratiquées (MEEF et al., 2015).

L'ouverture de l'exploitation minière (EM) industrielle de Ranobe, effectuée par la Société Base Toliara, ne fait qu'amplifier la déforestation dans cette région. Le caractère même de cette exploitation, conduit les entreprises minières à raser la forêt dans et autour des camps miniers (Tchindjang et al., 2012), ce qui contribue à réduire considérablement les surfaces couvertes par la forêt. L'impact de l'EM, couplé avec ceux de l'agriculture itinérante sur brûlis et de la production de charbon, constitue une grave menace sur les forêts et entrave la gestion forestière.

L'absence d'études approfondies sur les facteurs directs, en l'occurrence, l'agriculture, la production de charbon et l'ouverture de l'EM, affecte négativement la prise de décision dans la gestion durable de ces forêts. A cet effet, la présente étude examine l'hypothèse de manière à montrer que l'influence des facteurs extractifs comme l'EM sur les facteurs productifs, en l'occurrence l'agriculture et la production de charbon de bois, conduit à amplifier la déforestation. Son objectif vise alors à évaluer les impacts de l'extension de l'agriculture à travers la pratique de *hatsake*, des productions de charbon pour la consommation urbaine et de l'EM industrielle de Ranobe au détriment d'immenses espaces de couverture forestière naturelle.

Méthodologie

Site d'étude

L'étude a été menée dans la Région Sud-ouest de Madagascar, dans les Circonscriptions administratives des Districts de Toliara I, Toliara II (en partie) et Morombe. Cette zone d'étude est délimitée au nord par le fleuve Mangoky, à l'ouest par le Canal de Mozambique, au sud par le fleuve Onilahy et à l'est par la partie orientale de la RN9 (Figure 1). D'est à l'ouest, au fur et à mesure que les précipitations diminuent, la végétation passe de la forêt dense sèche au fourré, avec toutes les étapes transitoires (Dina & Hoerner, 1976). Elle est constituée dans le Sud par le bush, à dominance d'Euphorbiaceae, de Didiereaceae, d'Asclepiadaceae et de Bombacaceae et au Nord-ouest, par les forêts denses sèches, séries à Didiereaceae, des fourrés xérophiles dégradés ou modifiés (Koechlin et al., 1974). Le climat est de type semi-aride, avec un gradient croissant de

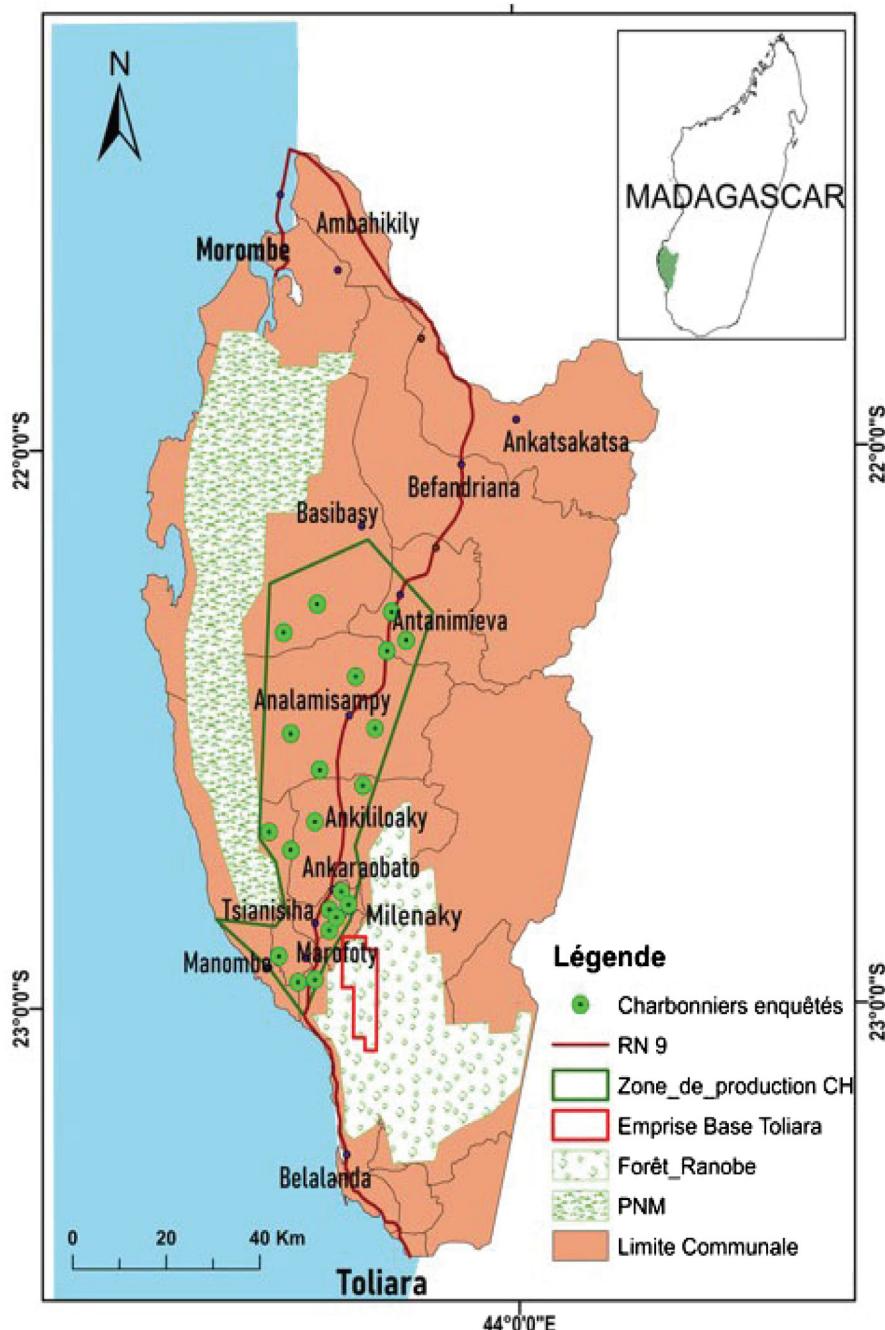


Figure 1. Carte de localisation géographique de la zone d'étude.

précipitation allant du sud au nord et dans une moindre mesure, d'ouest à l'est, la partie sud est plus aride avec une précipitation moyenne annuelle de moins de 500 mm, tandis que la partie nord, plus humide, reçoit une précipitation annuelle de 600 à 1000 mm (Cornet & Guillaumet, 1976 ; Leprun et al., 2009). Dans cette zone, les forêts subissent des pressions d'ordre divers à travers l'agriculture et l'exploitation de bois pour le charbon et, notamment à proximité de Toliara, aux prélèvements de bois de chauffage et de charbon (Rejo-Fienena, 1995 ; Randriamanarivo, 2001).

Zone d'exploitation d'ilménite de Ranobe

Le projet est situé à environ 55 km au nord de la ville de Toliara et à 18 km à l'intérieur des terres, dans le Sud-ouest de Madagascar, et comprend la construction d'installations de traitement sur le site minier, une route de transport de 55 km, un pont sur le fleuve Fiherenana et des installations portuaires spécialisées. L'important gisement de Ranobe possède des ressources minérales estimées à 857 millions de tonnes (Base Toliara, 2017) qui s'étale sur une zone d'environ de 12 503 ha de superficie. Le projet a obtenu le 21 mars 2012 un permis d'EM (PDE 37242) d'une durée de 40 ans avec une

extension de 40 ans. La surface totale de l'écorégion est de 124 000 km² ; elle regroupe le type d'habitats désertiques et de zones arbustives de plantes grasses de Madagascar, et constitue une région menacée d'extinction (WTR & Toliara Sands, 2014).

Une grande partie des écosystèmes de forêts sèches restantes se développent sur des formations géologiques et pédologiques qui sont peu propices aux activités agropastorales mais elles se rencontrent aussi dans les plaines sur des sols assez riches mais fragiles qui sont favorables à la pratique agricole (Soarimalala & Raherilalao, 2008). D'après l'étude de Phillipson (1996), la formation végétale dans la zone d'emprise directe du projet se compose d'îlots de végétation ligneuse de différentes tailles, associés à des zones ouvertes qui sont largement dénudées de plantes ligneuses. Dans certains cas, la zone arbustive comprend également quelques grands arbres d'une seule espèce, souvent *Tamarindus indica*, avec une communauté associée de petits arbres ou d'arbustes, de lianes et d'herbes. Le fourré dense se développe sur un sol plus uniforme avec une couverture peu profonde de sol blanchâtre dérivée du calcaire. La zone de transition de savane/fourré sur calcaire est présente sur le site (Phillipson, 1996). La forêt sèche se trouve dans toute la zone d'exploration de Ranobe et constitue en grande partie la zone boisée restante. Cette végétation s'installe sur des substrats de sable au nord et à l'intérieur des terres. La zone d'implantation du projet est relativement plate, avec des ondulations peu profondes s'élevant à environ 150 m d'altitude. La plus grande partie de la région est constituée de calcaire recouvert de substrat sableux de profondeurs variables (Sourdat, 1977) (Figure 2).

Collecte de données

Pour identifier l'évolution de la déforestation sous l'effet des trois facteurs cités ci-dessus, l'analyse des images satellites a été adoptée, mais combinée avec des identifications d'occupation de sol, et des enquêtes sur le terrain. Les enquêtes sur le terrain ont permis d'identifier les caractéristiques spatiale et fonctionnelle de la zone d'étude, à savoir la couverture végétale, les facteurs de déforestation et les pratiques paysannes, afin de détecter les changements spatiaux des dernières années ainsi que les impacts de ces trois facteurs sur les formations végétales de Mikea et de Ranobe. Le choix des parcelles de traitement de l'image est rendu possible grâce aux enquêtes. Les données d'analyse des images ont permis de suivre l'évolution de la

déforestation et de l'occupation du sol entre 1985 et 2018 pour l'effet de l'agriculture et entre 1999 et 2018 pour effet de l'exploitation minière. Les enquêtes relatives à la consommation et à la production de charbon sont nécessaires pour savoir les raisons et les intérêts ainsi que la tendance générale de la production et l'importance socio-économique du charbon de bois (Tableau 1).

Tableau 1. Effectif global des enquêtés.

Type d'enquête	Nombre
Enquêtes ménages	300
Enquête producteurs de charbon	23
Total	323

Données sur l'agriculture et l'EM

L'étude sur les facteurs tels que l'activité agricole et l'EM est menée à travers des enquêtes auprès de ménages pour relever leurs impacts sur la déforestation au cours de ces dernières années et pour appréhender le contexte de la zone étudiée.

- Pour l'agriculture, l'enquête socio-économique a été effectuée sur 150 ménages (Unité de production ou UP) répartis dans deux villages. Elle concerne : i) les raisons ou intérêts qui incitent la population locale à défricher la forêt de Mikea (RDA), ii) les catégories de produits forestiers ligneux prélevés dans la forêt (GPA), iii) la superficie de terrain cultivable à la disposition du ménage (STM), (iv) les types de terrain appartenant au ménage (CTA), v) la durée des temps de jachères (DTA), vi) la portion d'abattis-brûlis appartenant aux ménages (PTA), vii) le statut d'utilisation du terrain appartenant aux ménages (STA), viii) la connaissance des lois spécifiques à l'interdiction de la pratique d'abatis-brûlis (CLA). Pour mieux connaître le taux d'abatis-brûlis, le nombre d'abatis-brûlis observés est compté en évaluant en même temps la superficie touchée. L'enquête sur les âges de friches a été effectuée afin de déterminer l'historique de l'agriculture.
- Pour l'EM, les variables concernent : i) la perception de la population par rapport à l'EM (PEM), ii) l'état de connaissance des populations locales de l'effet de l'EM sur la forêt (EPM), iii) l'impact de l'EM sur la diversité floristique (IEM), iv) l'impact socio-économique de l'EM (ISM), v) l'intérêt et le côté positif de l'EM (REM) et vi) l'argumentation de la population vis-à-vis de l'EM (APM).

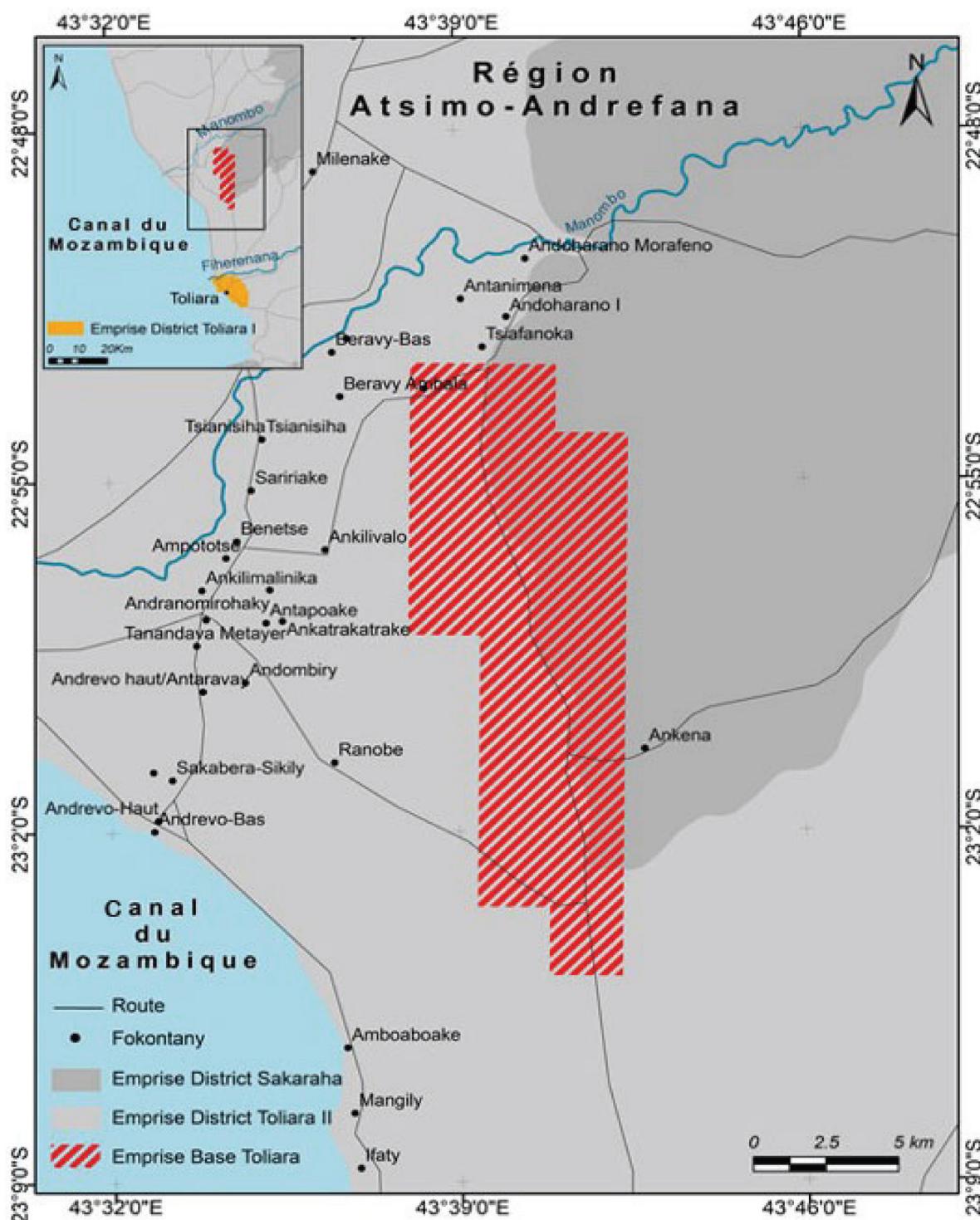


Figure 2. Localisation du site minier du gisement industriel de Ranobe.

Les données issues des enquêtes effectuées auprès des villages ont été analysées, traitées et classées afin d'identifier les activités et les sources de revenu ainsi que leurs rapports avec la déforestation. Le logiciel *XIStat 2014 Pro* a été utilisé pour accomplir le test non paramétrique, en révélant la valeur de probabilité p et l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM). Pour mieux accomplir l'analyse de plusieurs variables comme dans notre cas, l'application de cette méthode

d'analyses factorielles (ACM) nous a donné de nombreux avantages. Elle nous a permis d'avoir une vue d'ensemble des variables considérées, de synthétiser facilement les informations reçues et de décrire aisément la contribution des modalités des variables actives.

A partir de cette analyse, il est important de voir la dépendance entre les variables intrinsèques qui définissent les activités de la population concernant l'agriculture, la production de charbon et l'EM afin de

déterminer l'effet combiné de ces trois paramètres sur la déforestation et la dégradation de la forêt. Pour ce faire, le test d'association, le test de tableau de contingence de Burt et le test de Khi² ont été utilisés. Cette technique est spécifiquement appliquée pour présenter la dépendance entre les variables qualitatives.

Données sur la production et la consommation du charbon de bois

La Région du Sud-ouest est l'unité spatiale de base pour l'étude mais, pour des problèmes liés à l'échantillonnage, l'agglomération de Toliara a été retenue pour savoir l'effet de la consommation en bois d'énergie sur la forêt naturelle. Les raisons en sont : la destination finale de la quasi-totalité du charbon produit dans la zone et l'importance de la consommation liée au nombre de ses habitants. Cette ville enregistre une augmentation exponentielle de la population en passant de 5023 habitants en 1985 à 272 420 habitants en 2018 selon les données recueillies auprès de la Commune Urbaine de Toliara en 2019. La densité moyenne de la population y est de l'ordre de 29,3 habitants/km² (Ministère de l'Aménagement du Territoire, 2018). Les données d'enquête sont basées sur les échantillonnages aléatoires, puis les résultats sont extrapolés pour voir la tendance globale de la région étudiée.

La première enquête a eu pour objectif de déterminer les différents types de combustible utilisé et les catégories d'utilisation par les ménages. Pour ce faire, la collecte des données a eu lieu au mois d'août 2019 en utilisant un questionnaire d'enquête auprès de 150 ménages pour la ville de Toliara, choisis au hasard mais suivant une technique d'échantillonnage aléatoire simple qui consiste à calculer le tirage des ménages à enquêter.

Pour la deuxième enquête, deux enquêteurs (présents jours et nuits pendant 30 jours) ont été mis en place à l'entrée de la ville de Toliara sur l'axe de la RN9 et deux autres à la sortie du campus universitaire de Maninday, afin de compter les camions, les taxi-brousses et les charrettes transportant du charbon. Le comptage des véhicules est accompagné d'entretiens avec les conducteurs pour savoir la quantité qu'ils transportent et la provenance du produit. Des pesages d'échantillons de 20 sacs ont été faits pour connaître leur poids.

Après avoir collecté toutes les données auprès des ménages dans la ville de Toliara sur la quantité mensuelle moyenne de charbon consommée et le nombre de sacs de charbon transportés par les

différents types de transporteur, le calcul des quantités annuelles acheminées et des quantités moyennes annuelles de charbon de bois consommées a été effectué. Les analyses statistiques, les calculs et les graphiques, ont été réalisés sous SPSS Statistics 22.

A partir des données d'enquêtes, l'estimation du rythme de la déforestation dans la zone d'étude sous la demande de la ville de Toliara s'avère nécessaire, tel confirmé par les enquêtes, pour voir l'influence de la ville sur la formation végétale. Pour cela, les évaluations faites par Kambale Sekaraviti (Opua, 2009), sur l'utilisation de bois pour la cuisson des briques et comme source d'énergie à Nyangezi ont été adoptées. Mais aussi tout en considérant les caractéristiques structurales du peuplement des espèces ligneuses dans les forêts denses sèches de Mikea et en considérant que 1 m³ de bois donne 45 kg de charbon de bois.

Données sur le mode d'utilisation de sol

La reconnaissance sur le terrain est indispensable pour recueillir les données relatives aux différentes parcelles d'occupation du sol afin de valider la parcelle d'entraînement pour le traitement d'image, à savoir : forêt et non-forêt. Ainsi, le terme forêt désigne la forêt dense et le fourré épineux, tandis que la non-forêt fait référence aux forêts claires, aux friches, à la zone de culture et aux savanes. L'identification de la forêt et de la non-forêt a été faite en utilisant la photographie aérienne issue de Google Earth en 2019 qui a été comparée à celles acquises lors des visites sur le terrain. Pour les besoins de l'étude, seules ces deux classes d'occupation du sol ont été retenues après validation sur terrain. Un GPS a été utilisé pour repérer les deux types d'occupation. L'axe routier et les situations des villes de la scène proviennent des données vectorielles fournies par Foibe Taontsarin'ny Madagascar (FTM) en 2015. Le logiciel ENVI 5.6 a été utilisé pour le traitement des images.

Données satellitaires utilisées

La détermination des classes forestières a été réalisée à partir de la classification de deux types images LANDSAT de la même scène (Path : 75 et Row : 76), et une résolution spatiale de 30 m, et le système de projection WGS_1984_UTM_Zone_38S (Tableau 2). Historiquement, dans les forêts de Mikea et de Ranobe, la déforestation a débuté dès les années soixante (Moizo, 2000) à l'arrivée des migrants, mais cette déforestation a pris de l'ampleur

Tableau 2. Description de la base de données images satellites utilisées pour l'analyse.

Images	Satellites utilisées	Date		
		1985	1999	2018
Référence de la scène	Satellites Produit	Landsat ETM+ GLS	Landsat ETM+ GLS	Landsat 8 GLS
161-075	Nord	14 février 1985	29 mars 1999	19 mai 2018
161-076	Sud	14 février 1985	29 mars 1999	19 mai 2018

à partir des années 80 (Razanaka et al., 2001) d'où l'utilisation de l'image de 1985. Pour déterminer l'effet de l'EM, les images 1999 et 2018 ont été utilisées car l'étude exploratoire du projet minier de Ranobe a débuté en 2000. Le point central de la scène a pour coordonnées 22°14'S et 25°25'E. Elle contient dans sa partie nord, la ville de Morombe (21°45'S et 43°21'E) et au sud, la ville de Toliara (23°21'S et 43°40'E).

Traitement de données satellitaires

L'analyse des images satellites est très importante pour appréhender la dynamique du changement de l'occupation du sol et pour valider les résultats d'enquêtes auprès du ménage relatif aux facteurs directs actifs à la déforestation. Cette approche est basée sur l'analyse des images satellites de type LANDSAT. Ces images permettent de reconnaître les empreintes anthropiques, de différencier le sol de la végétation, d'évaluer la teneur en eau, l'état de la végétation et des cultures, etc. (Demaze, 2002).

Caractéristiques et correction des images LANDSAT

La correction radiométrique a été faite à travers des méthodes de régression linéaire basées sur des invariants radiométriques (Song et al., 2001 ; Barima et al., 2009). Des points de repère radiométriques, caractérisés par une réflectance invariante, ont été identifiés sur les images, et les coefficients de la transformation ont été déterminés en utilisant les statistiques de ces points (Helder et al., 1997 ; Barima et al., 2009).

Les images sont également corrigées géométriquement. L'image LANDSAT ETM+ 1985 et 1999 a été ensuite ortho-rectifiée en référence à l'image LANDSAT 8 2018. La précision géométrique du calage entre les deux scènes est finalement inférieure à 1 pixel, le minimum requis pour une analyse des changements. Les coefficients Kappa (95,5 %) et la matrice de confusion ont été calculés pour voir s'il n'existe pas d'énormes erreurs de

confusion ni d'omission entre les classes. La valeur obtenue montre la crédibilité des résultats de la classification.

Classification semi supervisée de l'image LANDSAT

Six classes, notamment, la forêt dense sèche et le fourré, la formation dégradée, les savanes, les mosaïques de champs de culture et de jachères, l'hydrologie et le sol nu ont tout d'abord été créées suite à une classification automatique de l'image LANDSAT 8 2018. Ce nombre de classes relativement élevé offrait la possibilité de fusionner ultérieurement des classes similaires radiométriquement et thématiquement. Un premier regroupement a été réalisé de manière visuelle sur la base des connaissances *in situ*, acquises lors des visites sur le terrain, et d'anciennes cartes d'occupation du sol. Les statistiques radiométriques des classes restantes ont été extraites des bandes spectrales du rouge (R : 0,62-0,70 µm) et du proche infrarouge (PIR : 0,70-1,30 µm) et projetées sur des axes orthonormés afin de regrouper les classes radiométriquement proches. Les canaux R et PIR sont les plus employés pour les études de végétation car ils permettent de discriminer au mieux la végétation (Bonn & Rochon, 1992 ; Barima et al., 2009). L'indice de végétation par différence normalisée » (en anglais *Normalized Difference Vegetation Index* : NDVI) a été calculé sur la base d'une opération arithmétique entre les régions rouge et proche infra-rouge du SEE et son expression est la suivante :

$$\text{NDVI} = \text{PIR} - \text{R} / \text{PIR} + \text{R}$$

C'est un moyen efficace pour évaluer la production de biomasse verte de la végétation et dans l'ensemble pour les évaluations de couvertures et de dynamiques de la végétation (Diouf & Lambin, 2001). En outre, il peut donner des apports dans la discrimination des classes pour éviter les problèmes de confusion. Le NDVI prend la valeur variant entre -1 et 1 suivant la caractéristique de l'objet tel qu'une surface d'eau libre prendra la valeur proche de 0, un sol nu entre 0,1 à 0,2 et la végétation entre 0,5 et 0,8.

Résultats

Pratique de l'agriculture abattis-brûlis comme le hatsake et ses effets sur la déforestation

L'Analyse en Composantes Multiples (ACM) donne un taux de 71,6 % de la variance totale expliquée (Figure 3 ; Tableau 3). L'ACM porte sur 150 individus actifs et 8 variables actives (23 modalités). L'interprétation peut se concentrer sur les axes F1 et F2 puisque ces deux premières représentent 93 % des modalités actives. Les résultats de l'analyse font apparaître que trois grands principes différencient les ménages dans la zone étudiée : le premier groupe, ce sont des ménages qui exercent une pression intense sur la forêt, le deuxième groupe rassemble

les ménages qui participent moins à la dégradation forestière par rapport au premier groupe et le troisième groupe est caractérisé par les ménages qui ne participent pas à la déforestation à l'exception de collecte de produits ligneux.

Pour l'axe F1, les modalités actives dont la contribution est supérieure à 5 % (1/17) parmi les 17 impliquées ont été retenues car elles contribuent à 90,6 % de la variance de l'axe F1. Cet axe F1 explique que 42,5 % de la variance totale sont positivement corrélés avec les modalités de variables caractérisées par les ménages qui accomplissent le hatsake afin de fertiliser le sol tout simplement (RDA-2 : 5,5 %), pourtant ils détiennent de la portion du hatsake supérieure à 50 % par rapport aux autres

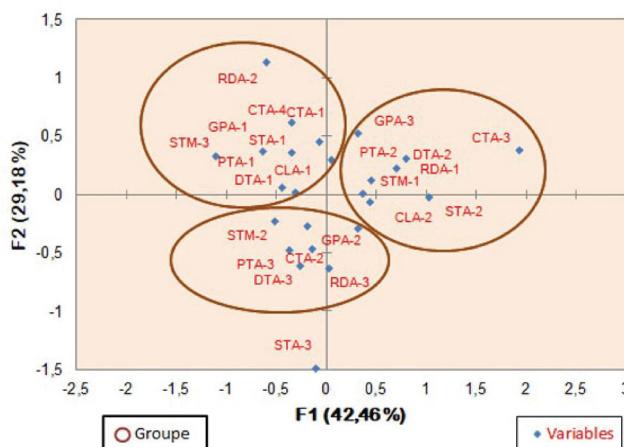


Figure 3. Graphique symétrique des modalités de variables actives de la pratique agricole.

Tableau 3. Tableau synoptique de l'Analyse en Composantes Multiples (ACM) de la pratique agricole sur abattis-brûlis.

Axe	Ménages exerçant la pratique agricole abattis-brûlis	
Axe F1	Caractéristiques des ménages classés dans l'axe F1	Motivations des ménages classés dans l'axe F1
- 10,14 % de la variance sont positivement corrélées avec les modalités des variables caractérisées par les ménages accomplissant le hatsake	<ul style="list-style-type: none"> - ont une superficie de terrain cultivable supérieure à 0,50 ha (STM-3) propre au ménage (STA-1). - ont une superficie de terrain cultivable entre 0,25 et 0,50 ha (STM-2) de type hatsake + rizière (TCM-2). - détiennent une portion de hatsake plus de 50 % par rapport aux autres catégories de terrain (PTA-3). - possèdent un terrain défriché, entre 25 % et 50 % par rapport aux autres catégories de terrain (PTA-2). - ignorent la loi sur l'interdiction de la pratique de hatsake (CLA-2). 	<ul style="list-style-type: none"> - Fertiliser le sol tout simplement (RDM-2). - Prendre uniquement le bois de chauffage dans la forêt (GPL-1). - Prélever plusieurs catégories de produits ligneux (GPA-4). - Négativement corrélé avec les ménages pratiquant le hatsake dans l'intérêt d'élargir le terrain cultivable et avoir quelques quantités de bois (RDA-3).
Axe F2	Caractéristiques des ménages classés dans l'axe F2	Motivations des ménages classés dans l'axe F2
8,8 % d'inertie totale il y a peu de variables actives exploitables contribuant à son côté négatif.	<ul style="list-style-type: none"> - disposent une portion de hatsake inférieure à 25 % par rapport aux autres catégories du terrain exploité (PTA-1) en location (STA-2). - connaissent la loi sur l'interdiction de la pratique de hatsake (CLA-1). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pratiquer le hatsake dans l'intérêt d'acquérir un terrain fertile pour avoir plus de rendement (RDA-1 ; 5 %). - Prendre les types de produits ligneux comme le bois de feu et bois d'œuvre (GPA-2).

catégories de terrain (PTA-3 : 7,2 %). Cet axe est caractérisé par les ménages ayant une superficie de terrain cultivable importante supérieure à 0,50 ha (STM-3 ; 14 %) propre au ménage (STA-1 : 8 %). Il concerne aussi les ménages qui ne prennent que le bois de chauffage dans la forêt (GPL-1 : 21 %). Ces ménages affirment ne pas connaître la loi sur l'interdiction de la pratique de *hatsake* (CLA-2 : 7,5 %).

Inversement, cet axe F1 est négativement corrélé avec les ménages qui pratiquent le *hatsake* dans l'intérêt d'élargir le terrain cultivable et d'avoir quelques quantités de bois (RDA-3 : 12 %). Ils possèdent un terrain défriché, entre 25 % et 50 % par rapport aux autres catégories de terrain (PTA-2 : 9 %). De plus, il est défini par les ménages qui prélevent plusieurs catégories de produits ligneux tels que le bois de chauffage ou de feu, le bois d'œuvre et de construction ainsi que les plantes médicinales (GPA-4 : 15 %). Cet axe est caractérisé également par les ménages ayant une superficie de terrain cultivable de 0,25 à 0,50 ha (STM-2 : 8 %) de type *hatsake* et riziére (TCA-2 : 6 %).

Quant à l'axe F2, les modalités dont la contribution de chacune est supérieure à 10 % (1/10) ont été retenues ; elles sont au nombre de 10 qui contribuent à 96 % de la variance de l'axe F2.

Cet axe explique 29,2 % d'inertie totale qui est caractérisée par les ménages qui pratiquent le *hatsake* dans l'intérêt d'acquérir un terrain fertile pour avoir plus de rendement (RDA-1 : 31 %). Par conséquent, ils disposent la portion du *hatsake* inférieure à 25 % par rapport aux autres catégories du terrain exploité (PTA-1 : 27 %) en location (STA-2 : 10 %). De plus, cette partie de l'axe inclut les ménages qui prennent le type des produits ligneux comme le bois de feu et le bois d'œuvre (GPA-2 : 17 %). Ces ménages ont répondu connaître la loi sur l'interdiction de la pratique de *hatsake* (CLA-1 : 11%). Cependant, toutes ces variables ne se trouvent que sur le côté positif de cet axe. Ainsi, il y a peu de variables actives exploitables contribuant à son côté négatif (Figure 3).

A terme, l'ACM permet de tirer les conclusions suivantes :

La pratique paysanne comme l'agriculture abattis-brûlis est la cause de la déforestation étant donné que les ménages qui pratiquent le *hatsake* ont pour intérêt d'acquérir une surface de terrain cultivable importante et fertile, pour augmenter leur productivité agricole, ce qui les incite à chercher de plus en plus de terrain à défricher. De ce fait, dans leur exploitation

agricole, la portion du *hatsake* représente plus de 50 % par rapport aux autres types de terrain. Cela intéresse 76 % des ménages enquêtés, alors que 14 % des UP possèdent une portion de terrain de nature *hatsake* inférieure à 25 % de leur exploitation. La majorité des populations locales ignorent les lois régissant l'interdiction de la pratique du *hatsake*, soit 76 % des UP se trouvant dans ce groupe. Par contre, 24 % des UP les connaissent. Le manque de connaissance des lois qui régissent l'interdiction de la pratique du *hatsake* est l'un des facteurs qui limitent la réduction du nombre d'UP à faire une culture sur brulis. En somme, les deux axes expliqueraient un gradient de pression agricole. Les ressources forestières subissent le plus de pression anthropique et cela se traduit par la déforestation de la quasi-totalité de la région.

Suite à la pratique paysanne conformément aux résultats d'enquêtes, la surface défrichée a évolué massivement entre 1985 et 2018. La zone constituée des formations ligneuses denses en 1985 a quasiment disparu et a été converties en terres arables (déforestation) (Figure 4). En 2018, la zone d'étude était dominée par la classe non-forêt qui occupait près de 88 % du paysage contre 12 % pour la classe forêt. La régression des formations végétales denses menant à l'expansion de *hatsake*, de jachères et des savanes herbeuses. Ce qui fait que les zones ayant connu une dégradation sont davantage localisées dans la partie anthropisée, notamment sous l'activité agricole. L'espace est dominé par les friches et les jachères herbeuses suite à l'abandon de culture. D'après l'enquête, l'âge des friches et des jachères herbacées varie entre 10 à 45 ans avec une réduction du temps de jachère, entraînant de plus en plus une déforestation.

Forêts denses sèches de Mikea et de Ranobe : les grands fournisseurs en charbon de bois

Les résultats des enquêtes auprès des ménages dans la ville de Toliara montrent que le bois d'énergie représente 98 % des combustibles utilisés dont 80 % sous forme de charbon de bois et 18 % de bois de chauffe. Le gaz, l'énergie solaire et l'électricité conventionnelle constituent les 2 % restants (Figure 5). Plus de 50 % de charbon consommé proviennent de la forêt de Mikea et de Ranobe. Environ 1 286 t de charbon de bois produites, issues de la forêt dense sèches de Mikea et de Ranobe, transportées en majeure partie via la RN9 et en moindre la piste traversant la cité universitaire de Maninday (Toliara), destinée à approvisionner la ville de

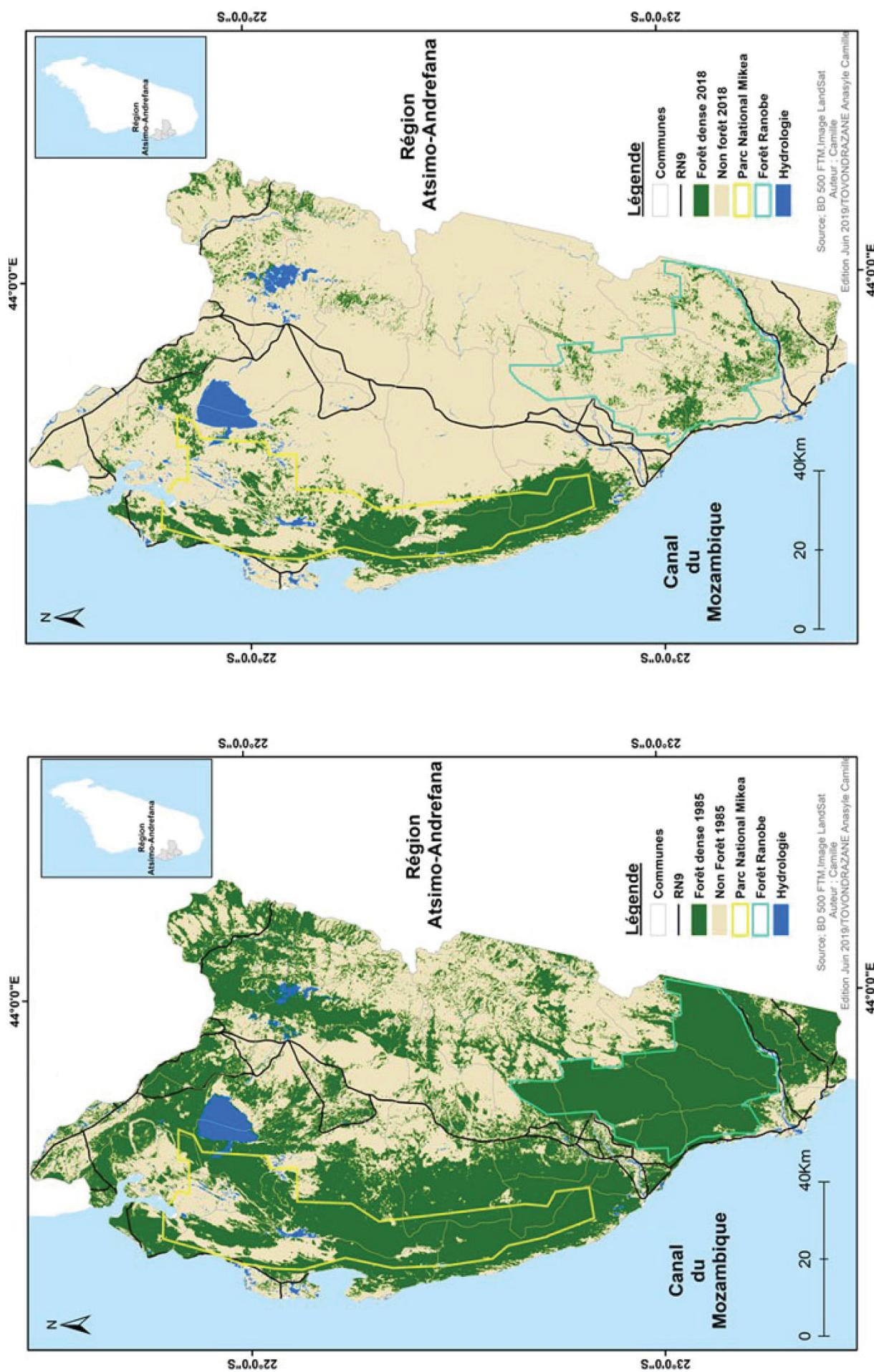
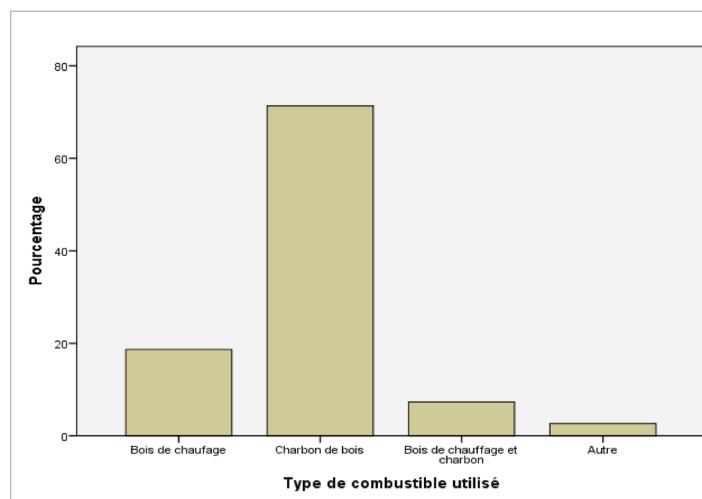


Figure 4. Cartes d'occupation du sol en 1985 et 2018.

**Figure 5.** Pourcentage des types de combustible utilisé par ménage.**Tableau 4.** Tableau récapitulatif des résultats des enquêtes sur l'approvisionnement en charbon de bois de la ville de Toliara.

Approvisionnement mensuel de charbon de bois de la ville de Toliara à partir des forêts de Mikea et de Ranobe	Mode de transport			Total
	Taxi-brousse	Camion	Charrette	
Nombre de sacs	30 750	3500	2500	36 750
Equivalent en poids (tonne = t)	1076	122,5	87,5	1286

Toliara (Tableau 4). Par conséquent, dans cette ville, un ménage moyen de 4 à 5 personnes utilise généralement 75 kg de charbon de bois par mois, soit 0,5 à 0,6 kg de bois par jour et par personne, ce qui correspond à une consommation moyenne annuelle d'environ 200 kg par habitant. La charrette, le taxi-brousse, le camion, sont les moyens de transport utilisés pour évacuer les produits des zones de production vers les centres de consommation et de dépôts de vente. Basée toujours sur la moyenne de 35 kg/sac, la répartition mensuelle par moyen de transport est la suivante :

- Transport par camion : 3500 sacs soit l'équivalent de 122,5 t ;
- Transport par taxi-brousse : 30 750 sacs équivalant à 1 076 t ;
- Transport par charrette : 2 500 sacs soit 87,5 t.

Les Communes rurales de Tsianisiha, d'Ankililoaka, de Milenaka, d'Analamisampy et de Soahazo fournissent les 80 % de charbon transportés via la RN9. En revanche, les Communes rurales de Manombo, de Marofoty et de Tsifota ne représentent que 20 % de l'approvisionnement.

En utilisant les évaluations faites par Kambale Sekaraviti (Opua, 2009) (Tableau 5), tout en considérant les caractéristiques structurales du peuplement des espèces ligneuses dans les forêts denses sèches de Mikea où le nombre de pieds à l'hectare est de 267,33, il en résulte 21 ha de forêt disparue par mois. Ce qui donne, par extrapolation, 252 ha de forêts denses disparues annuellement sous l'effet de la demande de la ville de Toliara en charbon de bois. Autrement dit, cela constitue une perte de forêt de l'ordre de 0,7 ha par jour. Ainsi, les

Tableau 5. Différentes valeurs d'estimation basée sur Kambale Sekaraviti (Opua, 2009).

		Consommation moyenne mensuelle des ménages	Total
Nombre de ménages dans la ville de Toliara			45 403
Poids moyen de charbon consommé par mois	75 kg/ménage	3 405 225 kg	3 405 225 kg
Équivalence en m ³ de bois	1 m ³ de bois = 45 kg de charbon	3 405 225 kg	75 671,66 m ³ /mois
Équivalence en surface	1 ha = 3 525 m ³ de bois	21,46 ha	
Espace déboisé par jour		21,45 ha/30 jours	0,7 ha
Espace déboisé par mois			21,45 ha soit arrondi à 21 ha

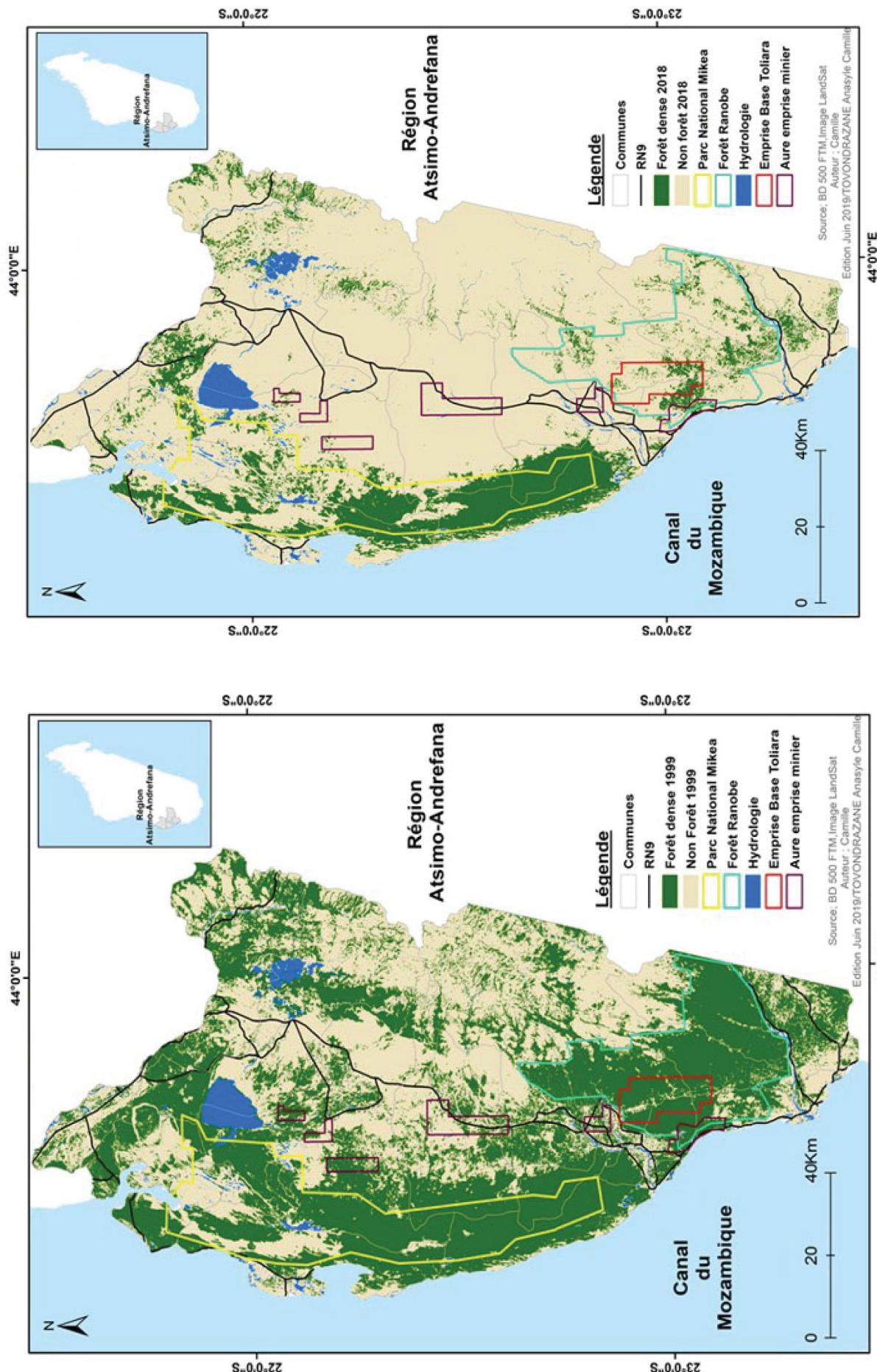


Figure 6. Carte d'occupation du sol en 1999 et 2018 montrant l'effet d'exploitation minière au cours de cette période.

forêts de Mikea et Ranobe seraient parmi les grands fournisseurs en charbon de bois des grandes villes avoisinantes notamment la ville de Toliara.

Impact de l'EM industrielle de Ranobe sur la forêt naturelle

Les cartes d'occupation du sol contenant les titres miniers, le réseau routier et les villes, produites suite aux différents traitements sont présentées dans la Figure 6. L'enlèvement de la végétation au cours du processus d'extraction a abouti à la perte des communautés végétales dans la zone d'exploitation de Ranobe, notamment sur les espaces directement touchés par les infrastructures. D'après la superposition des images 1999 et 2018, l'EM de Base Toliara et d'autres exploitations minières actives dans cette région aboutiront à la perte d'environ 58 138 ha de forêt naturelle avec un net recul de couvert forestier dans le camp minier. La situation en 1999 montre que la forêt était quasi-intacte dans la région de Ranobe, tandis qu'en 2018 elle a presque disparu (Figure 6). Ainsi, l'EM, à l'exemple concret de celle de Base Toliara dans le Sud-Ouest de Madagascar, est un moteur important de dégradation des forêts sèches. Ceci est confirmé par l'augmentation du taux d'occupation de non-forêt entre 1999 et 2018 dans la zone minière. Pour le cas des forêts de Mikea

et de Ranobe, les défrichements durant toutes les phases de l'EM s'accompagnent en même temps de la réduction des essences forestières. Le décapage, la manipulation et le placement des sols associés à l'exploitation à ciel ouvert pourraient conduire à une perte importante de la couche arable. L'écosystème forestier dynamique qui fournissent des habitats et soutiennent toutes les formes de vie, ont été extirpés dans la zone d'exploitation ainsi que sur les pistes menant vers le site d'EM.

En ce qui concerne la perception des populations locales, suivant les enquêtes effectuées auprès des villages à proximité de l'EM, 68 % des enquêtés répondent que l'EM engendre la déforestation, 22 % avancent que cette activité entraîne la sécheresse et le changement climatique et 10 % déclarent qu'elle crée le déséquilibre de l'écosystème forestier. Il y a donc un net impact de l'exploration minière perçue par la population riveraine aussi bien sur la déforestation que sur le changement climatique.

Il a été constaté que l'existence de l'EM a un impact qui s'ajoute à ceux de deux autres facteurs de déforestation à savoir l'agriculture et la fabrication de charbon. La corrélation entre les variables des trois facteurs a été justifiée par un Test du Khi² de Pearson au seuil de signification $\alpha = 0,05$. D'après le Test du Khi² (Tableaux 6 et 7), la corrélation entre les

Tableau 6. Résultat du Test du Khi² entre des variables des trois facteurs au seuil de signification $\alpha = 0,05$.

		Variables intrinsèques de l'exploitation minière				
		REM	IEM	PEM	IEM	IEM
Valeur de la probabilité unilatérale entre deux variables						
Variables actives de l'activité agricole	GPA		0,025**			
	STM			0,017*		
	PTA				-0,197*	
	RDA					-0,182*
	EPC					0,383*

*La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

**La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

Tableau 7. Résultat du Test du Khi² entre des variables des trois facteurs au seuil de signification $\alpha = 0,05$.

		Variables intrinsèques de l'exploitation minière				
		PEM	IEM	PEM	TCM	TCM
Valeur de la probabilité unilatérale entre deux variables						
Variables actives de production de charbon	RIC		-0,196*			
	EPC			0,383*		
	EPC				-0,196*	
	EPPC					0,238**
	IPC					-0,249**

**La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

*La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

intérêts de l'EM (REM) et le groupe des catégories des produits forestiers ligneux prélevés dans la forêt (GPA) est très significative ($\chi^2 = 0,362$; ddl = 6 et valeur de la probabilité unilatérale $P = -0,249$). L'impact de l'EM sur la diversité floristique (IEM) a une liaison avec la superficie du terrain cultivable à la disposition du ménage (STM), la portion du *hatsake* appartenant au ménage (PTA), les raisons ou intérêts qui incitent la population locale à défricher la forêt de Mikea (RDA) et la catégorie du terrain appartenant au ménage (CTM). Il est bien confirmé qu'il existe une interrelation étroite entre le facteur d'EM avec les autres facteurs tels que la production de charbon et l'agriculture. Ils s'interagissent typiquement.

Discussion

L'agriculture, le charbonnage et l'exploitation minière (EM) constituent les facteurs directs très actifs contribuant à la déforestation et à la dégradation des forêts de Mikea et Ranobe.

L'agriculture itinérante sur brûlis, une menace sur les forêts sèches

Au moins 80 % de la déforestation dans cette zone est causée par des activités agricoles sur abattis-brûlis appelées localement *hatsake*, pratiquées depuis des décennies (Razanaka, 1995). La même tendance a été confirmée par l'étude effectuée par Goodman et al. (2018) en montrant que la perte de forêt est liée à une agriculture itinérante sur brûlis associée à des feux incontrôlés, et aux installations humaines à l'intérieur des aires protégées. Ce type d'agriculture est exercé par les populations riveraines comme activité de subsistance compte tenu de la précarité permanente de leur vie. La présente étude montre que la pratique de *hatsake* est la seule alternative prise par la population riveraine pour avoir de terrain cultivable et plus de bois pour gagner leur vie, les offres d'emplois n'étant pas garanties. Ces résultats concordent avec ceux de Morrissey (2014) qui soulignent que le lien mobilité-environnement n'est pas nouveau et que la pratique de l'agriculture itinérante est une stratégie de longue date pour sécuriser les moyens de subsistance en Afrique subsaharienne. Actuellement, cette forme d'agriculture, a même envahi les aires protégées et les terres périphériques impactant sur la disparition de forêt. L'avancée de la déforestation entre 1985 et 2018 occupe près de 88 % du paysage, chiffre parmi les plus alarmants dans le monde tropical. Ce résultat suit la même tendance que les études

effectuées par Blanc-Pamard et al. (2005) montrant que les défriches ont affecté près de 55 % de la forêt primaire entre 1971 et 2001 avec accélération de déforestation dans les systèmes forestiers semi-arides du Sud-ouest (Forêt des Mikea). Il a été constaté que la pratique de l'agriculture défriche-brûlis peut inciter les essarteurs à fabriquer du charbon car elle fournit des essences nécessaires pour la carbonisation.

Production de charbon de bois en croissance

Avec l'accroissement exponentiel de la population urbaine et suite à une forte demande, le charbonnage est devenu l'alternative la plus adoptée par la population comme source de revenu pour subvenir aux moyens de subsistance et comme source d'énergie. Le cycle de vente de charbon est très court pour faire de l'argent. Ainsi, le charbon de bois reste le combustible le plus utilisé dans la ville de Toliara qui enregistre 80 % de combustible utilisé. Ces résultats confirment ceux de Lawani (2007) qui ont montré que près de 80 % des populations dans les pays en voie de développement utilisent le bois d'énergie comme source d'énergie et satisfont les besoins primaires.

Quant à la consommation moyenne annuelle estimée à 200 kg, qui est plus élevée que celle trouvée par d'Abetol (2007), soit de 160 kg/an, peut être liée au déclin de la qualité des essences utilisées pour la carbonisation, entraînant par la suite la mauvaise qualité du charbon de bois. Ce dernier dégénère facilement pendant la cuisson, ce qui nécessite plus de quantité pour finir la cuisson d'où l'augmentation de pression sur la forêt pour satisfaire la demande. Ce phénomène est accentué par l'insuffisance des quotas autorisés dans les espaces aménagés pour la fabrication de charbon car la mise en place de l'aire protégée entraîne la diminution des activités des charbonniers, impacte le déséquilibre entre l'offre et la demande et par ricochet l'augmentation de prix du charbon sur le marché. Cette augmentation de prix et de demande incite la population pauvre à exploiter la forêt dense en produisant du charbon. De ces faits, la gestion durable des ressources naturelles semble être un défi insurmontable parce qu'elle crée un cercle vicieux, difficilement contrôlable.

Impacts observés au niveau du paysage sous l'effet de l'exploitation minière

L'EM exercée actuellement au détriment de la couverture forestière s'accompagne de la perte de la

biodiversité unique et riche en espèces endémiques locales, mais d'une régénération extrêmement lente des essences naturelles. Cependant, dans l'étude de la Conservation International Madagascar (2014) sur le paysage du Mikea montre que la diversité d'habitats composant ce paysage est une priorité en matière de conservation. Ce résultat est en accord avec l'étude effectuée par Les Amis de la Terre (2013) qui a montré que l'exploitation de nickel et de cobalt de Weda Bay en Indonésie a entraîné la destruction environnementale de l'île d'Halmahera qui aurait pour conséquence une perte à long terme de les habitats de nombreuses espèces endémiques de l'île d'Halmahera et des Moluques du Nord.

Les impacts de ce projet minier peuvent être directs, indirects, induits et cumulatifs. Les impacts directs sont beaucoup plus importants en termes de déforestation et sont faiblement maîtrisés. A noter que cette activité ne participe que pour 4 % du PIB de Madagascar (Madagascar EITI, 2014), alors que le dégât environnemental qu'elle engendre est énorme. L'exploitation à ciel ouvert comme le cas de Toliara Sands fait souvent intervenir le défrichement de la végétation native des zones, et se trouve donc parmi les types d'EM les plus destructives du point de vue environnemental.

Tout compte fait, ce n'est pas l'extraction à elle seule, qui est avant tout à l'origine de la déforestation, mais toutes les phases confondues dès l'exploration jusqu'à la clôture. L'une des conséquences graves est l'augmentation considérable des conflits sociaux liés à l'environnement opposant les communautés locales aux entreprises minières (Bebbington & Bury, 2013). L'exploration d'ilmenite de Ranobe fait face à une opposition de la part de la population riveraine et certains groupes de la société civile face aux impacts environnementaux de la mine, au changement climatique et à la protection de la biodiversité. En outre, dans le Plan de Gestion Environnementale (PGE), la société Base Toliara (PE n° 37242) s'engage à cultiver une couverture végétale courte et résistante au feu et à appuyer les programmes de protection et la réhabilitation des habitats adjacents et sensibles, à titre de mesures de compensation environnementale, en particulier les habitats forestiers servant de refuges aux espèces menacées. Toutefois, aucun de ses engagements n'a été réalisé jusqu'aujourd'hui d'où la disparition des formations végétales dans la zone du projet et ses environs.

Accélération de la déforestation sous l'effet combiné de ces trois facteurs

L'interaction entre les différentes variables des trois facteurs montre que la coexistence de ces facteurs favorise des pressions d'ordre divers sur la forêt. De ce fait, la corrélation entre l'agriculture, la production de charbon et l'activité minière (REM, GPL, STM et ASM) confirme que l'effet combiné de ces facteurs contribue énormément à la déforestation. Autrement dit, l'existence de l'EM influence les deux autres facteurs, à savoir, l'agriculture et la production de charbon, en accentuant la pression sur les forêts (Tableau 7). D'après l'étude de WCS et al. (2016), 516 390 ha de la zone d'étude était recouverts par la forêt intacte avec un taux annuel de déforestation de 1,6 % entre 1990 et 2000. Toutefois, aucune zone de végétation intacte n'a été décelée en 2018 à l'intérieur et autour de campement minier sous l'effet direct et/ou indirect de projet minier, contrairement à ce qui a été trouvé aux dates antérieures du projet où de végétation assez intacte a pu être trouvée. De plus, le flux migratoire de population dans les régions voisines du périmètre minier à la recherche d'emplois augmente la demande en produits vivriers, en charbon de bois et crée un marché économique, renforçant ainsi la pression sur les forêts.

Impact de l'EM sur l'agriculture résultant un mauvais rendement agricole et le manque de terrain agricole

Les impacts environnementaux de mines (pollution du sol, de l'air et de l'eau) affectent la subsistance et les moyens d'existence des populations locales et pourraient se répercuter sur d'autres activités économiques, comme l'agriculture car l'EM a occasionné la réduction de la superficie des champs. La hausse de la température, l'irrégularité des précipitations et la vulnérabilité des ressources hydriques qui résultent du changement climatique ainsi que des conditions climatologiques extrêmes peuvent affecter la précarité des cultures et la détérioration de rendement agricole. De ce fait, ce phénomène conduit à l'intensification des défrichements effectués par la population afin d'avoir plus de production agricole. La poussière fugitive peut poser des problèmes environnementaux significatifs et entraver la croissance normale des cultures. Les impacts indirects de l'EM peuvent se porter sur une zone beaucoup plus large, en incluant le développement de routes dans la région de la mine selon l'Etude d'Impact Environnementale (EIE)

effectuée par WRT en 2014. Les communautés déplacées au profit des espaces de campement minier sont souvent relogées dans des zones sans ressources adéquates et une fois installées sur le nouveau site de refuge, elles ne font qu'exploiter et défricher la forêt pour la culture. La réinstallation forcée peut être particulièrement désastreuse pour les communautés autochtones et entraîne un effet néfaste sur leur vie. En plus de perdre leurs maisons, elles peuvent également perdre leurs terres et donc leurs moyens de subsistance.

Sous l'effet de l'EM, la production de charbon de bois devenant une activité rémunératrice

Depuis l'ouverture de l'EM, la conversion en charbonnier intéresse la population car cette activité devient rémunératrice suite à l'augmentation de prix et à la forte demande en charbon des villes avoisinantes à laquelle s'ajoute celle d'une vague de migrants intéressés par l'EM. L'existence de cette exploitation entraîne l'abandon des activités agricoles par la population active au profit de la production de charbon. Ce phénomène a été favorisé, en outre, par la mauvaise production agricole et incité par l'existence des arbres laissés partout après abattage pour les installations d'infrastructures et l'exploration. Dès que les essences environnantes ne sont plus disponibles, le charbonnier commence à s'attaquer à la forêt naturelle même jusqu'à la marge de l'aire protégée. De leur côté, les vagues de migrants attirés par l'EM, viennent à la recherche d'emplois pour solutionner leur vie précaire mais hélas ne peuvent être placés à cause d'un faible niveau d'instruction. De plus ils sont entravés par l'accès difficile à la terre, sous pression de l'EM, et s'en remettent alors à la production de charbon, activité rapide en cycle de génération de revenu, rémunératrice et exempte d'investissement de démarrage. De plus, les emplois créés par l'EM n'ont pas été accessibles ni aux populations locales pour leur plus grande partie illettrées et analphabètes ni aux élites locales car il y a une inadéquation de la formation avec les emplois créés (Ramamonjisoa, 2018).

Actuellement, avant même l'exploitation proprement dite, le paysage de la zone environnante d'exploitation est nettement plus dégradé. La végétation est appauvrie et les forêts matures s'étendent rarement sur de grandes surfaces entraînant la raréfaction des essences nécessaires pour la fabrication de charbon de bois. De ce fait, les charbonniers ne trouvent pas d'autres alternatives que d'exploiter la forêt naturelle.

Conclusion

La présente étude menée dans la Région du Sud-Ouest de Madagascar a permis d'évaluer l'impact de l'agriculture abattis-brulis, de la production et de la consommation de charbon de bois et de l'EM, sur la formation végétale environnante. Il y a une corrélation significative entre les variables des trois paramètres tels que l'agriculture, la production de charbon et l'EM pour leur contribution à la déforestation et à la dégradation de la forêt. Ces activités entraînent une perte d'environ 408 367 ha de superficies de 1985 à 2018 suite à la pratique agricole, de l'ordre de 58 130 ha sous l'effet de l'EM et de 0,7 ha par jour due à la consommation de charbon dans la ville de Toliara (extrapolation du résultat d'enquêtes auprès des ménages). L'augmentation de la demande en charbon des villes ne fait qu'aggraver la déforestation, phénomène amplifié en plus par l'EM. Cette dernière entraîne des effets néfastes sur la région d'exploitation aussi bien sur la forêt que sur la population locale. En effet, toutes phases confondues, le cycle de l'EM a des impacts négatifs sur la forêt et entraîne une crise socio-économique immatrisable telle que l'insuffisance de produit forestiers ligneux et non-ligneux et de terre arable. Les pertes des forêts environnantes sont élevées sous l'effet conjugué de ces trois facteurs ; toutefois, l'agriculture, elle seule, en est responsable pour plus de 80 % de la déforestation. La déforestation et la dégradation de forêt seront catastrophiques si l'activité humaine n'est pas réglementée et planifiée conformément aux lois en vigueur.

Remerciements

Pour la réalisation de cet article, nous remercions très sincèrement le personnel de la Direction du Parc de Mikea à Ankilikoaka ainsi que les communautés locales autour du parc pour leur collaboration franche et fructueuse. Nous remercions aussi Roger Edmond, Jacquis Tahinarivony et un rapporteur anonyme pour les suggestions et les commentaires fournis pour l'amélioration de ce manuscrit.

Références bibliographiques

- Abetol (Approvisionnement en Bois Energie de la ville de Toliara).** 2007. La stratégie d'approvisionnement en bois-énergie de la ville de Toliara. Rapport non publié. Projet COGESFOR/FFEM. CIRAD/WWF/ONG L'Homme et l'Environnement, Antananarivo.
- Barima, Y., Barbier, N., Bamba, I., Traore, D., Lejoly, J. & Bogaert, J.** 2009. Dynamique paysagère en milieu

- de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 299 (1): 3-11.
- Base Toliara. 2017.** Projet Toliara Sands. <http://toliarasands.com/fr/projet-toliara-sands/>.
- Bebbington, A. & Bury, J. 2013.** Institutional challenges for mining and sustainability in Peru. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, 106 (41): 17296-17301. Doi: 10.1073/pnas.0906057106.
- Blanc-Pamard, C., Milleville, P., Grouzis, M., Lasry, F. & Razanaka, S. 2005.** Une alliance de disciplines sur une question environnementale : La déforestation en forêt de Mikea (Sud-ouest de Madagascar). *Nature Sciences Sociétés (NSS)*, 13: 7-20.
- Bonn, F. & Rochon, G. 1992.** *Précis de télédétection : Principes et méthodes*. Volume 1. Presses de l'Université du Québec, Canada.
- Conservation International Madagascar. 2014.** Profil d'écosystème : Hotspot de Madagascar et des îles de l'océan indien. Rapport non publié. Conservation International, Antananarivo.
- Consortium MAGMA. 2018.** Défis, enjeux et politiques : Migration, environnement et changements climatiques à Madagascar. Rapport non publié. Organisation Internationale pour les Migrations (OIM), Antananarivo.
- Cornet, A. & Guillaumet, J.-L. 1976.** Divisions floristiques et étages de végétation à Madagascar. *Cahier de l'ORSTOM, série Biologique*, 1: 35-42.
- Demaze, M. 2002.** Caractérisation et suivi de la déforestation en milieu tropical par télédétection : Application aux défrichements agricoles en Guyane française et au Brésil. Thèse de doctorat, Sciences de l'Homme et Société, Université d'Orléans, Orléans.
- Dina, J. & Hoerner, J. M. 1976.** Etude sur les populations Mikea du Sud-ouest de Madagascar. *Omaly sy Anio*, 3 (4): p. 269-286.
- Diouf, A. & Lambin, E. F. 2001.** Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: Remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48 (2): 129-148.
- Goodman, S. M., Raherilalao, M. J. & Wohlhauser, S. 2018.** *Les aires protégées terrestres de Madagascar : Leur histoire, description et biote*. Association Vahatra, Antananarivo.
- Helder, D., Bonyk, W. & Morfitt, R. 1997.** LANDSAT TM memory effect characterization and correction. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 23 (4): 289-419.
- Madagascar EITI. 2014.** Rapport final ITIE de Madagascar : Exercice 2014. Rapport non publié. Madagascar EITI, Antananarivo.
- Koechlin, J., Guillaumet, J.-L. & Morat, P. 1974.** *Flore et végétation de Madagascar*. Cramer Verlag, Vaduz.
- Lawani, A. 2007.** Contribution du bois-énergie aux moyens d'existence durables des ménages riverains de la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Département d'Economie, de Socio-Anthropologie et de Communication, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou.
- Leprun, J. C., Grouzis, M. & Randriambanona, H. 2009.** Post-cropping change and dynamics in soil and vegetation properties after forest clearing: Example of the semi-arid Mikea Region (southwestern Madagascar). *Comptes Rendus Geoscience*, 341: 526-537.
- Les Amis de la Terre. 2013.** Impacts sociaux et environnementaux de la mine de nickel et de cobalt de Weda Bay en Indonésie. Les Amis de la Terre, Montreuil.
- MEEF, ONE, WCS, MNP & Etc Terra. 2015.** Analyse des moteurs de déforestation et de dégradation dans les écorégions des forêts humides de l'Est et des forêts sèches de l'Ouest de Madagascar. Rapport final non publié. MEEF, ONE, WCS, MNP, Etc Terra, Antananarivo.
- Moizo, B. 2000.** Déforestation et dynamiques migratoires (Madagascar) : Du bon usage des ressources renouvelables. *Institut de Recherche et Développement, France*, 11: 169-185.
- Morrissey, J. 2014.** Environmental change and human migration in sub-Saharan Africa. In *People on the move in a changing climate*, eds. E. Piguet & F. Laczko, pp. 81-109, Springer, Dordrecht.
- Opua, F. A. 2009.** Impact des problèmes d'énergie et de l'environnement au quartier Panzi en commune d'Ibanda à Bukavu. Mémoire de DEA, Institut Supérieur de Développement Rural, Bukavu.
- Phillipson, P. B. 1996.** Endemism and non-endemism in the flora of south-west Madagascar. In *Biogéographie de Madagascar*, ed. W. R. Lourenço, pp. 125-136. ORSTOM, Paris.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire. 2018.** Schéma régional d'aménagement du territoire de la Région Atsimo Andrefana. Rapport final non publié. Ministère de l'Aménagement du Territoire, Antananarivo.
- Ministère de l'Energie et des Mines. 2018.** Plan régional en énergie de biomasse, Région Atsimo Andrefana : Situation actuelle de la filière des biocombustibles. Rapport final non publié. Ministère de l'Energie et des Mines, Antananarivo.
- Ramamonjisoa, B. 2018.** Gestion des forets à Madagascar : Jeux d'acteurs, politiques publiques et dégradation des ressources. Rapport non publié. Doi: 10.13140/RG.2.2.36483.81445.
- Randriamanarivo, R. 2001.** L'activité charbonnière dans les économies paysannes. Dans *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-ouest de Madagascar*, eds. S. Razanaka, M. Grouzis & P. Milleville, pp. 211-21. CNRE & IRD, Antananarivo.
- Randriamalala, J. R., Rabeniala, R. & Masezamana, H. N. 2017.** Effets de la production de charbon de bois sur les fourrés xérophiles, cas du plateau de Belomotse, Madagascar. *Madagascar Conservation & Development*, 12 (1): 7-12. Doi.org.10.4314/mcd.v12i1.1.
- Razanaka, S. 1995.** Délimitation des zones de contact des aires semi-aride et sub-aride de la végétation du

- Sud-ouest de Madagascar. Thèse de troisième cycle. Département de Biologie et d'Ecologie Végétale, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Razanaka, S., Grouzis, M., Milleville, P., Moizo, B. & Aubry, C. 2001.** Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar. Rapport non publié. CNRE & IRD, Antananarivo.
- Rejo-Fienena, F. 1995.** Etude phytosociologique de la végétation de la région de Tuléar (Madagascar) et gestion des ressources végétales par les populations locales (cas du P.K. 32). Thèse de doctorat en Sciences Biologiques et Fondamentales Appliquées, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Soarimalala, V. & Raherilalao, M. J. 2008.** Pression et menaces dans la région forestière sèche malgache. Dans Les forêts sèches de Madagascar, eds. S. M. Goodman & L. Wilmé. *Malagasy Nature*, 1: 157-161.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Pax Lenney, M. & Macomber, S. A. 2001.** Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75: 230-244.
- Sourdat, M. 1977.** Le Sud-ouest de Madagascar : Morphogénèse et pédogénèse. Thèse de doctorat, Institut des Sciences de la Terre, Université de Dijon, Dijon.
- Tchindjang, M., Mbevo, F. P., Haman, U., Voundi, E., Njombissie, P. & Saha, F. 2012.** Mines contre forêts et conservation au Cameroun : Enjeux de l'évaluation environnementale du secteur minier pour le développement durable au Cameroun. In *Landscape evolution, neotectonics and Quaternary environmental change in Southern Cameroon*, ed. J. Runge. *Palaeoecology of Africa*, 31 (5): 237-286.
- WCS, Biotope & Etc Terra. 2016.** Parc Mikea-Etude sur la déforestation historique et scénarios de déforestation future. Rapport non publié. Nitidae, Antananarivo.
- Williams, M. 2002.** Deforesting the Earth: From prehistory to global crisis. *Annals of the Association of American Geographers*, 96 (3): 674-75.
- World Titanium Resources (WTR) & Toliara Sands. 2014.** Etudes d'impact environnemental et social pour le projet d'exploitation minière d'Illménite de Ranobe PE 37242 : Aspects biologiques. Rapport final non publié. CES, Grahamstown.