



HAL
open science

Progrès de la cartographie forestière mais persistance d'incertitudes. Cas de Madagascar

Georges Serpantié, Jean-François Girres

► To cite this version:

Georges Serpantié, Jean-François Girres. Progrès de la cartographie forestière mais persistance d'incertitudes. Cas de Madagascar. *Cartes & géomatique*, 2018, 235-236, pp.287-309. hal-03068089

HAL Id: hal-03068089

<https://hal.science/hal-03068089>

Submitted on 15 Jun 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Progrès de la cartographie forestière mais persistance d'incertitudes

Cas de Madagascar

Georges Serpantié

IRD – Université Paul-Valéry Montpellier 3 – UMR GRED 220 Route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5
georges.serpantie@ird.fr

Jean-François Girres

Université Paul-Valéry Montpellier 3 – IRD – UMR GRED 220 Route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5
jean-francois.girres@univ-montp3.fr

Résumé

La déforestation représente un des principaux problèmes environnementaux de Madagascar, exigeant une évaluation juste. Malgré des progrès techniques considérables, des incohérences parsèment encore la cartographie forestière. Ces distorsions entre cartes et entre données sont analysées ici à travers plusieurs hypothèses : la sémantique, les écueils techniques, les regards disciplinaires, et l'influence d'enjeux politiques et financiers. Nous nous appuyons sur la comparaison de cartes et données d'une même région humide réalisées à différentes époques par différents auteurs, méthodes, sources de la détection, échelles de restitution. Le premier biais est celui du sens variable accordé à la notion de forêt dans un contexte malgache aux écosystèmes particulièrement diversifiés et évolutifs (biais sémantique). Le processus cartographique est ensuite perturbé par des difficultés techniques : limites de la détection, difficulté du transfert d'échelle, illusions apportées par des technologies de pointe appliquées sans les précautions d'usage, normes inadaptées, et héritages anciens. Le biais disciplinaire tient à l'hégémonie de certains regards réducteurs, qui ne voient la forêt qu'au travers d'une grille d'analyse limitée, ce qui joue à la fois sur la sémantique et les préoccupations, par exemple l'intérêt porté aux pertes plutôt qu'aux gains, aux forêts primaires ou aux ligneux plutôt qu'aux forêts. Les enjeux politiques et économiques liés aux agendas internationaux se sont aussi toujours invités dans le jeu cartographique. Ils risquent de culminer aujourd'hui du fait des enjeux financiers de la cartographie, l'éligibilité aux fonds environnementaux pour les gestionnaires d'aires protégées étant de plus en plus asservie aux preuves de réduction d'une déforestation.

Que l'on s'intéresse en tant que géomaticien aux limites des cartes ou, en tant qu'agronome aux interactions science-politique dans les actions sur l'environnement en zone rurale, les cartes forestières des pays du Sud apparaissent comme un cas d'étude très fertile.

1. Cadre, questions et méthodes

Associer *critical political ecology* et cartographie critique procure un cadre d'analyse hybride pour aborder avec recul le thème de la déforestation.

1.1. La déforestation au prisme de la *political ecology*

La *critical political ecology* se propose d'examiner les récits dominants sur l'environnement, tant sur les problèmes que sur les causes, qui s'imposent comme orthodoxies de pensée (Forsyth 2005). La déforestation tropicale fait partie des sujets les plus émotifs du débat environnemental. Les pays du Sud sont particulièrement sensibles à la genèse de mythes forestiers (Rossi 1999 ; Bertrand *et al* 2003 ; Kull, 2010). En mettant en évidence des enchevêtrements entre dimension scientifique et politique, les *political ecologists* ont fait apparaître des controverses, des points de vue différents, des situations complexes et diversifiées qui appellent une analyse moins superficielle de ce problème mondial (Whitmore 1984 ; Fairhead et Leach 1996, Schmidt-Vogt 1998 ; Michon *et al* 2003).

Les cartes mondiales des écosystèmes donnent à voir le passé, le présent, ou le futur scénarisé. Elles cherchent à sensibiliser l'humanité à préserver la biodiversité et désormais les services écosystémiques au sens du MEA (2005), vus comme tout ce qui manquera au bien-être humain lorsque les écosystèmes seront détruits. Le carbone séquestré par les écosystèmes forestiers est en bonne place dans cette nouvelle préoccupation. De nouveaux marchés émergent, autour de cet enjeu. Dans le programme onusien REDD+¹, mécènes, banques de développement, courtiers, Etats, ONG, populations forestières négocient ce service écosystémique et son paiement avec l'appui de la télédétection. Ce paiement implique en effet suivi et *reporting* précis des conversions permanentes de forêts (Defries *et al* 2005). D'autres projets visent à établir une comptabilité des écosystèmes, tant physique que monétaire. Face à ces enjeux croissants autour des services écosystémiques, les cartes de déforestation se multiplient. Possèdent-elles un niveau de certitude suffisant ? Les nouveaux enjeux sont susceptibles de peser, donc de fausser la connaissance des dynamiques spatiales. Les intentions politiques pourraient forcer les représentations cartographiques quel que soit leur niveau de sophistication technique. Mais si les risques existent, qu'en est-il en pratique ? La modernisation cartographique réduit-elle les risques de biais voire de manipulations ? L'élaboration des représentations cartographiques forestières, comme toute production de savoir, n'échappe pas aux limites des méthodes ou des usages que l'on en fait (Monmonnier 1991), ni aux enjeux de pouvoir (Amelot 2008). Ces cartes nécessitent donc d'être questionnées, tant dans leur valeur scientifique que dans leurs rôles et usages.

1.2. Des cartes de plus en plus communicantes et invasives

Le rôle d'une carte est d'abord pratique : c'est un modèle spatial, une maquette de l'espace terrestre. C'est un vecteur passif d'information, un support de connaissance et de réflexion critique. C'est aussi un outil au service de l'action, préparer un voyage ou fonder une politique territoriale sur des bases claires.

Mais au-delà de cette fonction pratique, la carte a aussi toujours été un moyen d'appropriation, au moins symbolique, de territoires et de ressources. Elle est aussi un argument rhétorique efficace. Aussi, tous les pouvoirs en sont friands pour élaborer, voir justifier *a priori* ou *a posteriori* leurs politiques appliquées au territoire, ou servir de support de propagande (Bord 2003). La carte agit donc par elle-même, en pesant sur la conscience de celui qui la visualise. La carte devient donc active, et se voit attribuée des effets performatifs.

Désormais les usagers eux-mêmes, grâce à l'accessibilité des outils et méthodes modernes de télédétection ou de cartographie participative, contribuent à la production cartographique. Le paradigme historique producteur-utilisateur de données cartographiques s'en trouve ainsi bouleversé, à tel point qu'aujourd'hui certains auteurs parlent de *producers*, contraction de *producer* et *user* (Bruns 2008). Ceci est illustré par l'avènement de l'information géographique volontaire, ou *Volunteered Geographic Information* (Goodchild, 2007), avec des projets emblématiques comme *OpenStreetMap*. Cependant, ce décloisonnement des fonctions n'est pas sans risques. Les savants se confondent de plus en plus avec des acteurs, dans des projets où les mêmes personnes occupent les diverses fonctions. Le caractère rigoureux de la carte comme support

¹ REDD+ : Reducing emissions from deforestation and forest degradation, lancé en 2008

graphique de connaissance peut alors s'estomper. La fonction cognitive cède alors la place aux seules fonctions performatives.

Cette inflation cartographique peut aussi produire de l'encombrement. Alors un processus de sélection des cartes s'opère : les plus attractives sont prises en compte plutôt que les plus pertinentes. La représentation fidèle, exploratoire cède à l'image séduisante. Et pourtant, des cartes destinées à comprendre restent indispensables, ce qui suppose aussi un processus critique de sélection et de correction des données.

1.3. Entre incertitude sémantique, erreurs d'acquisition et contraintes graphiques

Les cartes forestières, comme tout type de représentation, sont un modèle, et donc une simplification. Elles demeurent donc inévitablement entachées d'imperfections accumulées au cours de la succession d'opérations inhérentes aux processus de construction de l'image cartographique adaptée à son échelle de représentation. Ces imperfections apparaissent lors de la modélisation conceptuelle des thèmes à représenter et pendant le processus d'acquisition des données. Elles naissent aussi des contraintes de la représentation cartographique et des opportunités offertes par la généralisation cartographique.

Tout d'abord, elles héritent de l'incertitude sémantique associée au concept de forêt. Contrairement à des concepts assez bien définis (ligne de chemin de fer, cours d'eau...), le concept de forêt ne fait quant à lui pas consensus. A travers le monde, les critères de définition d'une forêt varient, comme l'ont montré Comber *et al* (2005) en comparant la définition du concept de forêt dans les services forestiers de différents pays selon deux attributs : la hauteur minimale des arbres et le pourcentage minimal de couverture de la canopée. Les extrêmes vont de 1,5 m de hauteur pour 10 % de couvert (Portugal) à 15 m pour 80 % au Zimbabwe. D'autres critères peuvent aider à définir et délimiter la forêt : sa superficie minimum (MMU), sa composition spécifique, ou sa structure horizontale ou verticale. Cette incertitude sémantique s'avère une cause fondamentale d'imperfection, puisqu'elle va influencer la modélisation conceptuelle des thèmes à représenter. On la retrouvera également dans la délimitation de concepts proches comme ceux de bois ou encore de futaie. A l'échelle d'un pays aux formes variées de végétation, on conçoit la difficulté de prendre parti pour une définition, et la stratification en types forestiers est une solution qui peut devenir une nouvelle source d'erreurs.

Cette incertitude se répercute sur les processus mis en œuvre pour produire les données nécessaires à la conception de la carte. En effet, les choix réalisés lors de la modélisation conceptuelle conditionnent les spécifications de saisie des thèmes à représenter, et donc les moyens d'acquisition à mobiliser.

Hunter et Beard (1992) ont proposé une classification des erreurs s'accumulant dans les données géographiques en fonction de différentes sources et types d'erreurs (fig. 1).

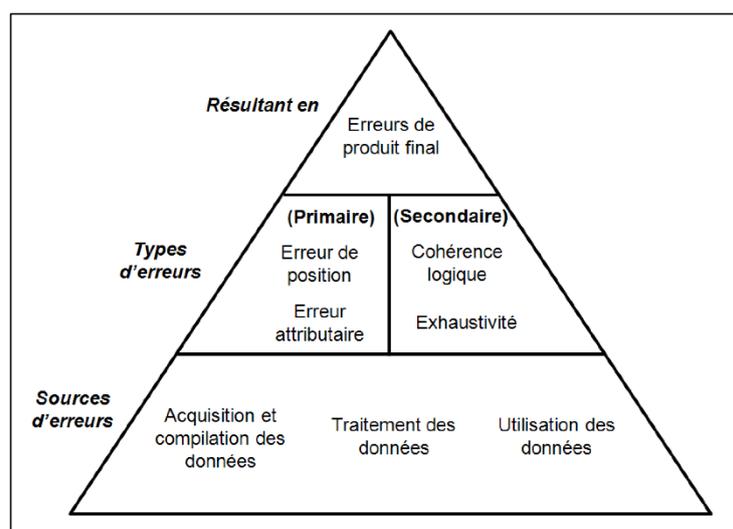


Figure 1 : Classification des erreurs dans les données géographiques de Hunter et Beard (1992), traduite par Devillers (2004)

Également, Collins et Smith (1994) ont proposé une classification des erreurs selon les phases de traitement de l'information géographique, en différenciant celles liées à la collecte, à la saisie, au stockage, à la manipulation des données, à leur exportation ou encore à l'utilisation des résultats. Les cartes forestières héritent des erreurs provenant des sources d'information, comme par exemple les cartes antérieures moins précises qui servent souvent de base à des mises à jour.

Par ailleurs, les moyens d'acquisition mis en œuvre pour la discrimination et la délimitation des forêts ont considérablement évolué ces dernières années, tels les capteurs satellitaires de résolution (spatiale, temporelle, radiométrique) croissante. L'usage de ces données mène à des erreurs lors de la comparaison de cartes réalisées à partir d'images et de méthodes différentes. Entre la digitalisation manuelle (pour laquelle l'opérateur de saisie ou le photo-interprète portent une responsabilité assumée) et les algorithmes de classification d'images satellites au paramétrage parfois peu intuitif (et pour lesquels le cartographe ne maîtrise que partiellement les conséquences), les erreurs associées au processus de production des données forestières n'ont cessé de se diversifier², ce qui les rend encore plus délicates à comprendre et à qualifier.

Par ailleurs, la généralisation cartographique est également source d'imperfections. Par exemple, dans certaines cartes, il sera préférable de valoriser la présence d'arbres dans des zones peu boisées, où cette rareté relative les révèle comme éléments saillants du paysage. À l'inverse, dans des zones plus forestières, la même quantité d'arbres pourra être éliminée, étant donné sa moindre importance relative. Pour aboutir à une carte généralisée adaptée à son échelle de représentation et son environnement paysager, la dimension contextuelle peut donc s'avérer fondamentale dans un processus de généralisation cartographique, puisque celle-ci peut engendrer tantôt des opérations de sélection, ou tantôt des opérations de caricature, selon la typologie des opérations de généralisation cartographique de Mustière (2001).

Enfin l'erreur d'utilisation constitue une erreur souvent négligée, comme l'a mentionné Beard (1989), tant les précautions élémentaires d'usage des données géographiques sont parfois ignorées ou volontairement évitées.

Cette variété de causes d'imperfection dont l'auteur de la carte pourra tirer profit afin de renforcer le message qu'il souhaite transmettre, met en évidence la vulnérabilité potentielle des cartes forestières face à des intérêts très variés.

1.4. Un cas d'école : les forêts de Madagascar

Certains pays sont particulièrement concernés par le phénomène de limites des cartes forestières. Madagascar, si dépaysant par son éloignement, son insularité, sa fabuleuse biodiversité³ et sa civilisation originale, passionne l'Occident depuis le XVI^e. Ce vaste pays (587 milliers de km²) est propice aux exagérations des voyageurs ainsi qu'aux erreurs cartographiques. Ainsi en est-il de la forme de l'île, longtemps représentée en forme de croissant. Les forêts naturelles disséminées donnent aussi à imaginer un pays anciennement couvert de forêts. Le mythe d'une nature vierge, primaire ou primitive à protéger y est très ancien, bien que la civilisation agraire malgache, fondée sur le riz et le zébu soit millénaire et ait donc marqué son milieu, y compris les forêts les plus reculées (Méral *et al*, 2017). La forêt a toujours servi de refuge. Les malgaches sont d'excellents charpentiers et on y trouve aussi des ébénistes. Depuis le XVII^e, Madagascar exporte ses bois précieux, palissandre et bois de rose, légalement ou non.

Mais Madagascar est aussi un pays rural pauvre, et de ce fait longtemps dominé. Il est devenu dépendant de financements internationaux, de partenaires techniques et d'investisseurs pour sa politique de développement, et donc particulièrement confronté aux lois du marché mondialisé. L'environnement y est un enjeu considérable, concrétisé depuis plus d'un siècle par la lutte contre la destruction d'une couverture forestière à la biodiversité exceptionnelle. Cet enjeu a conduit à l'investissement de multiples organisations nationales et internationales spécialisées dans la conservation (Méral *et al* 2017). Ces dernières ont fait de Madagascar leur produit emblématique. Plusieurs auteurs ont mis en évidence l'exagération de certains discours délivrés par ces organisations (Kull 2000, Amelot *et al* 2011) et leur forte dimension politique.

² Les contraintes classiques de la représentation cartographiques telles que la distorsion du fond de carte impliquée par la projection cartographique (Monmonnier 1991) sont également génératrices d'imperfections dans les cartes forestières

³ 80 % de la faune, 90 % de la flore sont endémiques

Ces discours s'appuient notamment sur des cartes historiques difficiles à comparer (Serpantié *et al* 2007 ; Amelot 2008 ; RPP-Madagascar, 2013 : 111). Mais il faudrait déjà que ces cartes successives montrent de la déforestation, de manière cohérente. Ce n'est pas toujours le cas. Les plus anciennes cartes scientifiques du XIXe (Grandidier 1875, Sibree 1880), représentent de fines bandes forestières (fig. 2a). Une carte didactique actuelle à la même échelle (Angap, vers 2000, fig. 2b) ⁴ indique au contraire de vastes massifs, donnant une impression de croissance de la forêt, contraire à l'évidence. Cette incohérence ouvre un débat : quelle carte est la plus trompeuse ? Nous montrerons que les plus anciennes ne sont pas forcément les plus fausses.

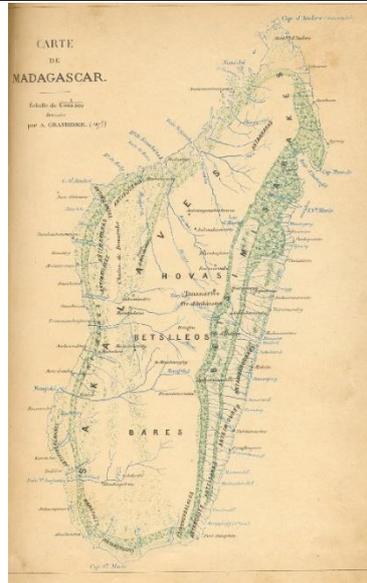


Figure 2 a : La forêt malgache dans les cartes didactiques à petite échelle au XIXe (1 : 6 000000) (Grandidier 1875)

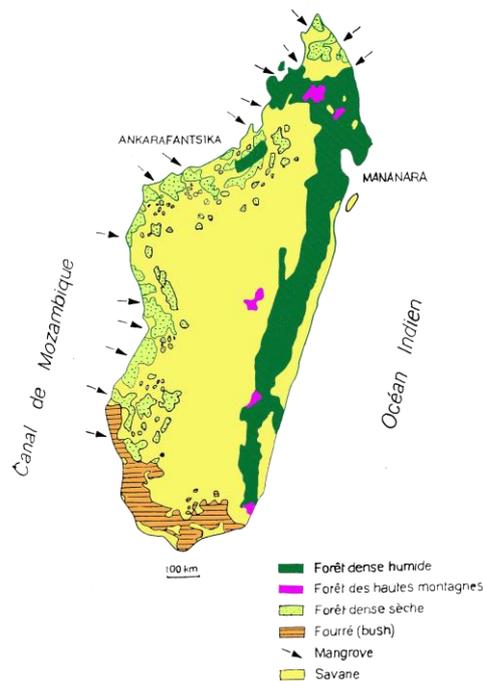


Figure 2 b : idem au XXIe (Angap, vers 2000).

L'objectif de cet article est donc de déceler selon les périodes les biais, incertitudes et erreurs susceptibles d'entraver un débat équitable au sein des sciences appliquées à la conservation et au développement durable,

⁴ <http://www.cons-dev.org/consdev/madagascar/MANANARA/Mananet/TEXTE/annexes/annexe1.html> vu le 5/11/17

et leurs causes. Mais il s'agit aussi de dépasser ce constat d'incohérence des données et de les corriger en vue d'une synthèse actualisée sur la déforestation de l'île.

1.5. Méthodes

La démarche est historique et comparative : elle repose sur la comparaison de cartes forestières et de leurs données dérivées menées à différentes époques par différents auteurs. On a aussi comparé leurs contextes d'élaboration, leurs métadonnées (auteurs, dates, échelles, modes de détection et sources thématiques, nomenclatures, modes de généralisation et de figuration), et les données qui en dérivent à différents niveaux territoriaux.

C'est d'abord un travail d'archive qui nous a mené jusqu'aux descriptions littéraires d'une zone d'étude restreinte, les pays *Betsileo* et *Tanala*, en zone humide de l'Est. Deux zones ont été plus spécialement étudiées : les communes de Tolongoïna et d'Ikongo (ex Fort-Carnot). Des photos aériennes IGN de 1954 ont été interprétées à la loupe binoculaire et à la lumière d'enquêtes rétrospectives de terrain (Serpantié *et al*, 2007). Nous avons aussi examiné les cartes les plus récentes et scientifiquement validées par des publications dans des revues internationales ou légitimées par des auteurs prestigieux. Il s'agit notamment de celles élaborées par ou pour les grands programmes de conservation, chargés de la mise en œuvre des visions nationales ou internationales de conservation, et en recherche de financements locaux ou internationaux, publics ou privés.

A travers des entretiens auprès d'acteurs clés, cartographes ou politiques, nous avons examiné leurs méthodes dans la réalisation de chaque étape, et essayé d'en saisir les difficultés techniques, les choix méthodologiques mais aussi les motivations explicites ou implicites : à quelles causes doivent servir leurs cartes, et quels enjeux ou quelles pressions sont susceptibles d'influencer leurs choix.

La synthèse actualisée sur l'évolution de différents types de forêt a été basée sur la sélection des données les plus pertinentes et sur la correction justifiée des données biaisées. Les résultats sont présentés selon les régimes successifs en matière de méthode de détection forestière.

2. Le régime des cartographes coloniaux dans un contexte d'enjeux disciplinaires et administratifs

On doit les premières cartes et inventaires scientifiques forestiers à A. Grandidier (1875) et J. Sibree (1880). Ces explorateurs coloniaux voulaient donner une image juste de la forêt malgache, vantée par les promoteurs d'une colonisation de peuplement. Leurs cartes différentes dans le détail mais convergentes dans l'ensemble montrent de fines bandes localisées (fig. 2a), et une place très minoritaire à l'échelle du pays.

D'autres cartes à plus grande échelle étaient moins avares en forêts, telle celle de W. Cowan (1882) (fig. 3). Il utilise deux figurés différents, vert clair et vert foncé. Le premier signale une vaste unité géographique, le « domaine de la forêt », *An-ala* en *Malagasy*, où habitent les *Tanala*, milieu hétérogène mais difficile à pénétrer donc en partie *terra incognita*. Cette enveloppe délimitait une zone où la forêt et ses végétations dérivées dominent, par opposition avec *Ampatrana*, les régions pseudo-steppiques côtières ou de l'intérieur où des forêts sont plutôt l'exception, figurées alors en vert foncé sur fond blanc. Une telle représentation emphatique d'un vaste bloc forestier continu a pu être très attractive pour des exploitants forestiers coloniaux, alors qu'elle visait une lecture intégrale du paysage à la fois humain, physique et biologique. Cette exagération est typique du biais de généralisation dit « de caricature ».

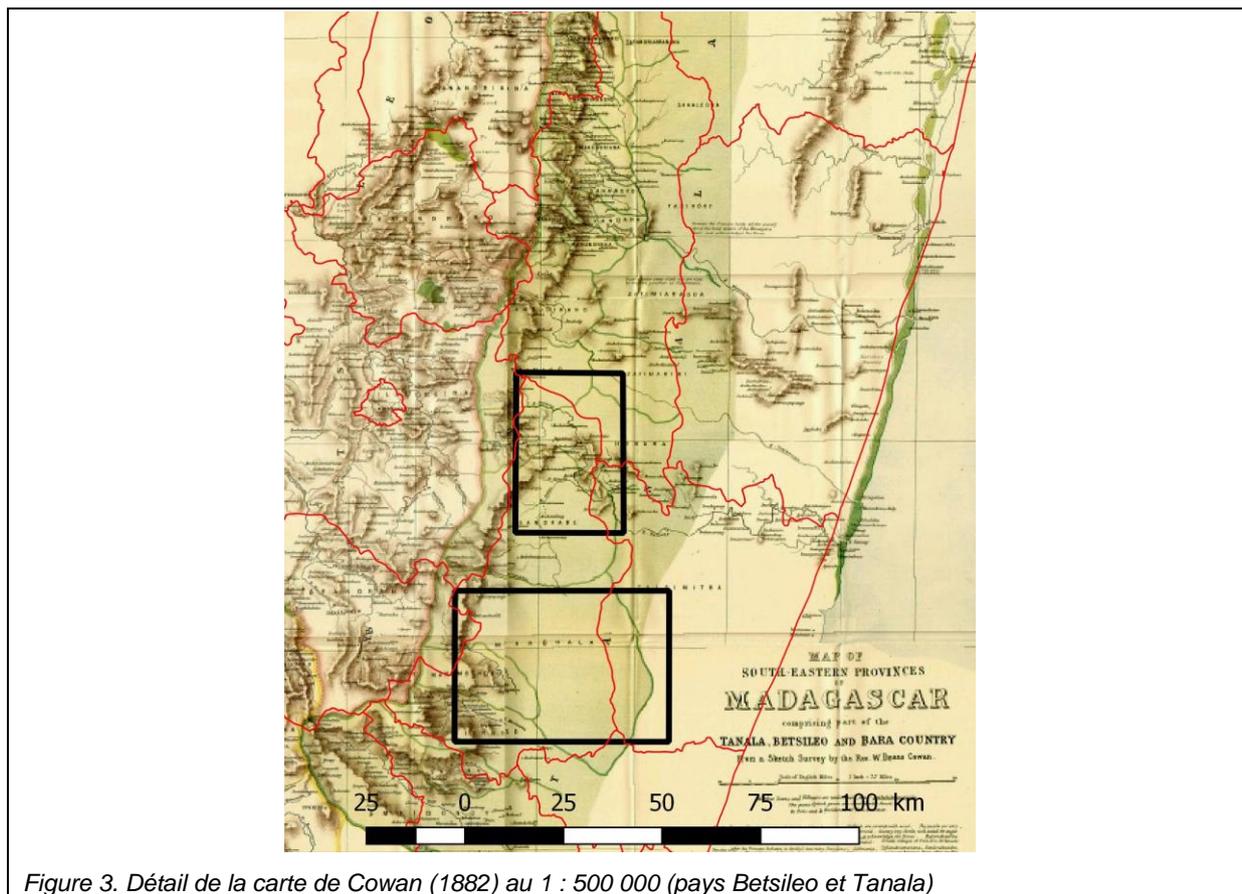


Figure 3. Détail de la carte de Cowan (1882) au 1 : 500 000 (pays Betsileo et Tanala)

Si ce caractère limité du massif forestier ancien rendait déjà la question de la déforestation particulièrement cruciale (A. Grandidier évoquait 2000 km² perdus par an), pour autant, il restait difficile de disposer d'une estimation fiable de la surface de forêt et du taux de déforestation.

Guichon (1960 : 408), conservateur des Eaux et Forêts de la France d'Outre-mer, constatait déjà dans les statistiques de la première moitié du XXe, des divergences dues aux définitions, à une faible documentation cartographique, ou à des chiffres déformés pour avancer une thèse ou justifier un positionnement (tab. 1). Les forestiers voyaient de grandes superficies. Magnifier l'espace forestier, c'était agrandir le territoire d'action de la corporation forestière, s'appropriier symboliquement 1/3 de l'île. Au contraire les botanistes engagés dans les premières mesures de conservation de la végétation primitive⁵ soulignaient l'état avancé de dégradation de la couverture forestière et étaient moins optimistes.

Le plus pessimiste sur l'état forestier 1955 (3% de l'île), et en même temps le plus emphatique sur la couverture 1895 (40% de l'île), était le prof. Heim (1955) qui se plaçait plutôt dans une perspective d'activisme écologique international. Mais chaque corporation montrait la même préoccupation de la dégradation galopante des forêts.

Inventaires cartographiques		
année	Milliers de km ²	Auteurs
1895	200	Lavauden (1931) (chef Service forestier)
1895	230	Heim (1955) (écologiste)
1899	120	Girod-Genet (1899) (chef Service forestier)

Inventaires sur photos aériennes		
année	Milliers de km ²	Auteurs
1949-57	120 (formations forestières peu dégradées)	Guichon (1960) repris par Koechlin <i>et al</i> 1974, 1997
1949-57	198 (toutes formations forestières)	Guichon (1960)
1949-57	198 (formations forestières)	Humbert (notice de la carte de 1965)

⁵ Les premières Réserves naturelles fondées par le Museum d'histoire naturelle datent de 1929.

1908	< 60	Grandidier G. (1928) (naturaliste)	1949-57	160 (forêts denses)	Harper (2009) d'après Humbert et Cours Darne (1965)
1921	70 flore autochtone la moitié inexploitable	Perrier de la Bathie (1921) (botaniste)	1949-57	160 (forests with little or no modification)	Dufils (2003) d'après Humbert et Cours Darne (1965)
1931	100	Lavauden (1931) (chef du service forestier)			
1927	20 à 30	Humbert (1927) (botaniste)			
1955	15	Heim (1955) (écologiste)			

Tableau 1 : Statistiques anciennes du couvert forestier, citées par Guichon (1960) et Petit (2007)

3. Le régime des photo-interprètes forestiers et biogéographes dans un contexte d'enjeux territoriaux

Une couverture photographique aérienne est élaborée dans la décennie 1950, dans un contexte de processus de décolonisation qui donnera lieu, après l'Indépendance en 1960, à une Première République encore fortement influencée par la France dans les domaines scientifique et techniques.

3.1. Les statistiques sur photos aériennes de Guichon (1960)

L'usage des photographies aériennes a permis de réaliser des inventaires exhaustifs plus rigoureux des différents types de forêt. La première estimation du service des Eaux et Forêt (E&F) à partir de la carte forestière au 1 : 500 000 a été réalisée au planimètre. Mais un quart seulement des zones forestières de l'Est était photographié. Guichon (1960) trouvait 125 milliers de km² de forêts peu ou pas dégradées (forêts humides, sèches et fourré épineux), et 194 milliers de km² de formations forestières, incluant non seulement les *savoka* et fourrés de régénération (formations dégradées) mais aussi les savanes arborées. Les statistiques dérivées conféraient une toute autre image de la forêt malgache que les visions pessimistes antérieures des botanistes, puisque d'un coup, la superficie était revenue à l'estimation de fin du XIXe (tab. 2).

Guichon note que son estimation correspond aux estimations de ses deux prédécesseurs des E&F, depuis Girod-Genêt (1899) et Lavauden (1931), sous-entendant qu'il n'y a pas de déforestation en tant que telle. Il adopte plutôt le concept de dégradation. Il distingue des forêts peu ou pas dégradées et des formations forestières dégradées que sont alors les *savoka* de l'est ou les fourrés de l'ouest, milieux post-forestiers se présentant sous des formes très variées, allant d'un fourré bas à un boisement arboré. Même les savanes arborées sont incluses dans son inventaire de formations forestières.

Pour cet inspecteur du service forestier, les formations forestières correspondent à la flore autochtone, restes de la végétation primitive des botanistes, recouvrant 30% de l'île selon Perrier de la Bathie en 1936. Le qualificatif forestier prête alors à ambiguïté. En quoi une savane arborée, ou un fourré de régénération sans arbres ont-ils une physionomie forestière ? Il s'agissait plutôt d'englober toutes les formations ligneuses ou post-forestières au domaine forestier, donc de définir ce domaine par opposition aux domaines agricoles et pastoraux. Le terme forêt contenu dans formations forestières est donc employé dans un sens économique ou juridique. Il s'agit d'une appropriation symbolique : c'est le territoire de compétence des E&F, qui doit être le plus vaste possible, soit le tiers du pays. L'Inventaire forestier national (Min Envt 1996) définit encore la forêt comme un objet économique : un terrain dont les fruits exclusifs ou principaux sont forestiers, y compris tous végétaux ne constituant pas un produit agricole.⁶

⁶ Autre innovation, Guichon (1960) distingue désormais les formations selon leur type climatique ce qui permet d'initier des statistiques par type de milieu mais aussi par territoire (les Provinces). Avec ces nouveautés, notion de dégradation et classification, la cartographie forestière s'appuie mieux sur les études de végétation antérieures mais en dit toujours aussi peu sur la déforestation.

3.2 La carte de végétation de Humbert et Cours Darne (1965)

La carte de référence issue de photo-interprétation est celle de Humbert et Cours Darne (1965). Elle était inscrite dans un projet de Carte internationale du tapis végétal au 1 : 1000000. Cette carte des formations végétales sert encore de point de référence aux analyses actuelles de déforestation, menée par des biologistes de la conservation (Green et Sussman 1990 ; Harper *et al* 2007). En ajoutant aux forêts denses humides l'ensemble des formations secondaires de la zone orientale, elle permet de reconstituer une forêt humide originelle, avant l'arrivée de l'Homme, de 112 milliers de km² ce qui donne une référence absolue à l'analyse de déforestation (Green et Sussman 1990)⁷ (fig. 4a).

Guichon (1960)		Humbert et Cours Darne (1965)	
Intitulé du type	Forêts peu ou pas dégradées Milliers de km ²	Intitulé du type	Végétation naturelle : forêt dense (chiffres selon Harper <i>et al</i> 2009) Milliers de km ²
oriental+raphières	62,3	humide	87,7 (76,0 selon G&S 1990)
occidental+ripicole+transition	28,4	sec	42,5
méridional	29	épineux	29,7
Total	124,7	total	160,0

Tableau 2 : Surfaces de forêts peu dégradées et forêts denses des années 1950 entre service forestier et biogéographes

A présent, les estimations des botanistes supplantent largement celles des forestiers (tab. 2). Si les estimations du fourré épineux sont identiques entre estimations, il n'en va pas de même des forêts humides et sèches, très supérieures chez Humbert et Cours Darne (1965). Ces derniers différencient trois milieux humides : des forêts denses ombrophiles, des *savokas* et des savanes. Ils affectent la classe forêt dense à des régions entières de basse altitude où les forêts restaient pourtant minoritaires sur les premières cartes (fig. 2a). Sur une même zone représentative du pays *Tanala*, cette carte donne un recouvrement forestier dense de 80% (fig. 4b). Les cartes FTM au 1 : 100000 réalisées à partir des mêmes sources photographiques 1954-1957 font aussi état d'un couvert boisé de 70%⁸ (fig. 4c).

Face à cette incohérence entre ces nouvelles cartes officielles et les plus anciennes cartes, nous avons donc voulu refaire la photo-interprétation 1954 sur un espace où nous avons longtemps enquêté (zone *Tanala* de Tolongoïna) (fig. 4c). Les forêts se situent sur les reliefs et sont souvent accompagnées, en basse altitude propice à l'agriculture, de milieux post-forestiers en régénération ou en régression⁹. Nous avons pu distinguer trois thèmes au 1 : 50 000 : milieux herbacés, arbustifs, boisés (massifs isolés ou massifs continus) (fig. 4d). Les espaces à dominante boisée s'avèrent minoritaires (24%) conformément aux dynamiques de peuplement de cette région soumise au *tany* (défriche-brûlis), à la plantation de caféiers et à la croissance de la population (17 hab/km² en 1954 contre 5 au début du XXe siècle).

⁷ Bien que les nombreuses lisières forêts-savanes montrent que le recul forestier puisse ne laisser aucun témoignage si ce n'est dans le sol (isotopes du carbone).

⁸ Sur la carte moderne de Madagascar en relief, distribuée par l'IGN, comme sur la carte des forêts diffusée par l'ex-organisme de gestion des aires protégées Angap (fig. 2b), cet espace est encore aujourd'hui montré forestier à 100%.

⁹ Ceci crée des paysages complexes, entre des physionomies arborées ou boisées (forêts matures, forêts secondaires à Ravenales, agro-forêts boisées), des milieux arbustifs ou à grandes herbacées (bananiers, caféiers, Psiaddia, bambous, hautes Zingibéracées) appelés localement *kapoka* (équivalent des *savoka*) ou fourrés secondaires selon Koechlin *et al* 1974), enfin des milieux herbacés (fougères basses, graminées, cultures annuelles) appelés encore *roranga* ou savanes.

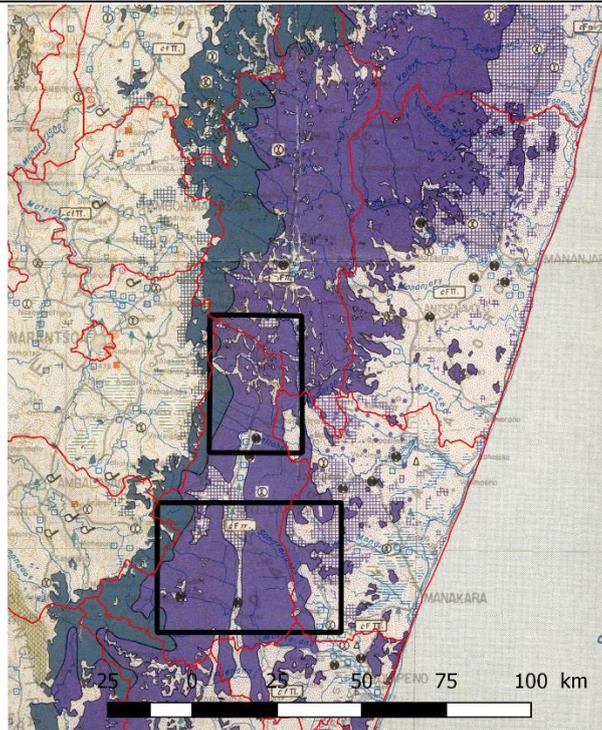


Figure 4a : Zone Betsileo-Tanala sur la carte internationale du tapis végétal de Humbert et Cours Darne (1965)



Figure 4b : Zone d'étude (commune Tolongoina). Cartes des couverts végétaux réalisées selon photos aériennes IGN 1 : 50 000 de 1954 (Nord) et 1957 (Sud). 1) Carte internationale du couvert végétal 1 : 1 000 000 (Humbert et Cours Darne 1965). Légende : bleu noir et violet : forêt dense = 80%, blanc : fourrés et savanes

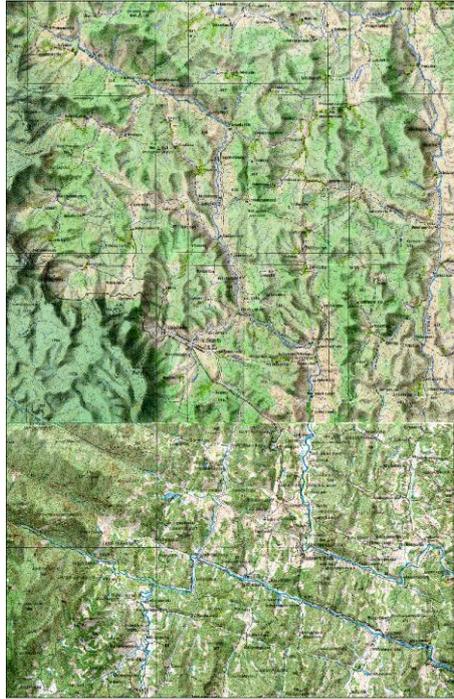


Figure 4c : Idem. 2) carte FTM 1 : 100 000, 1973 : Légende : vert : bois = 70% ; blanc : savanes arborées et arbustives



Figure 4d : Idem. 3) nouvelle photo-interprétation 1954-57 (Serpantié et al 2007)

bleu et vert foncé : arboré = 24% ; vert clair : arbustif ; blanc : herbacé ; points rouges : hameaux

Nous avons recherché aux archives toutes les descriptions et cartes disponibles pour situer les dates de divergence dans les figurations de forêts. Comme nous, les premières descriptions littéraires et cartes du XIXe (fig. 5a, 5b), excepté Cowan 1882 (fig. 3), voyaient cette zone, située entre deux bandes forestières continues, en majorité non-forestière. Les descriptions littéraires de Sibree (1876) et Besson (1893) correspondent bien à la représentation du levé de reconnaissance de Delpy (1903) au 1 : 80 000 (2 classes de couvert dans cette zone : hachuré : forêt vierge ; blanc : non précisé) (fig. 5b). La forêt était donc déjà minoritaire.

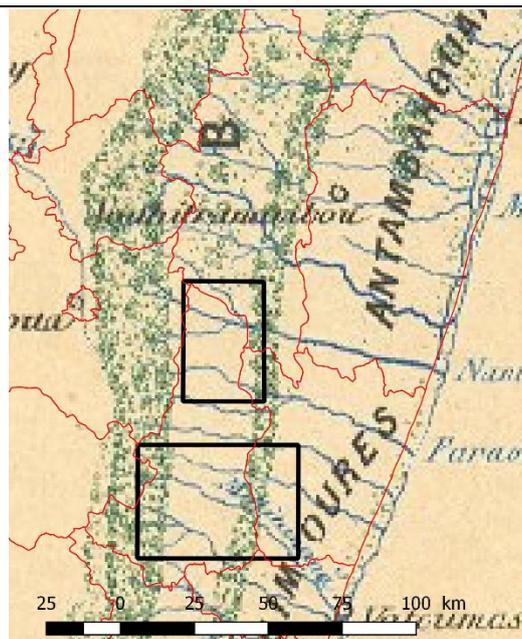


Figure 5 a : Carte des forêts de Madagascar, Grandidier (1875) 1 : 8 000 000. Cadres : commune Tolongoïna (Nord), Commune Ikongo (Sud)



Figure 5 b : Commune Tolongoïna. Delpy (1903) 1 : 80000 (original numérisé, moitié Nord et extrapolé en partie Sud) vert : « forêt vierge » (bleu idem en altitude) ; blanc ; non légendé ; points rouges : hameaux (partie Nord)

Les cartes du début du XXe confirmaient cette relative rareté des forêts. Celles du Service géographique de 1919-1925 (1 : 200 000 feuille Fort-Carnot, fig. 6a) en deux classes (vert : bois, blanc non légendé) sont aussi cohérentes avec cette idée de forêt minoritaire. Le thème bois correspond alors à l'idée de forêt dense. La carte de Lavauden (1931), au 1 : 500 000 (fig. 6b) montre la même chose, visiblement appuyée sur la carte de 1919 au 1 : 200 000. Ces premières représentations convergentes constituent donc des références fiables de blocs forestiers partageant l'espace avec des fourrés arbustifs et des savanes.

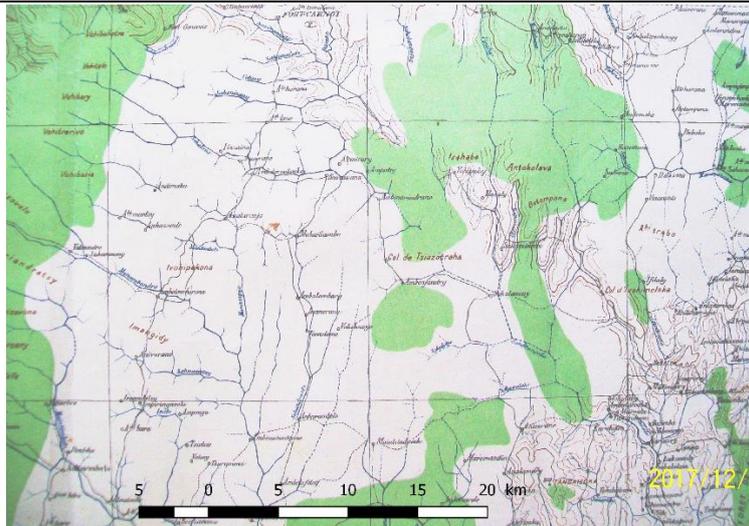


Figure 6 a : Commune Ikongo 1919. Feuille 1 : 200 000 Fort-Carnot 1919, Service géographique. Légende : vert bois, blanc : non légendé.

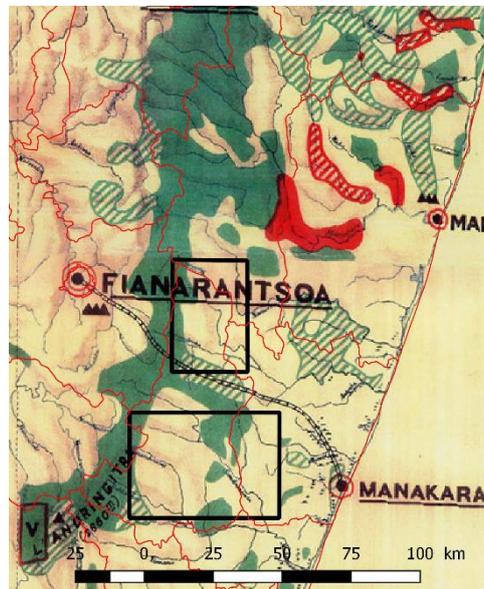


Figure 6 b : Lavauden (1931), 1 : 500 000. Cadres : commune Tolongoina (Nord), commune Ikongo (Sud)

Un changement important s'est produit vers 1926, au niveau du Service géographique. Les nouvelles cartes officielles au 1 : 100 000 désormais mélangent forêts et *savoka* (fourrés secondaires). La feuille 1 : 100000 P53 de 1935 connaît toujours deux classes : bois et brousses, mais donne désormais les bois dominants de façon écrasante (fig. 7a). La carte forestière de 1937 reprend la même idée (fig. 7b). Désormais, les bois représentent donc l'ensemble des formations ligneuses, et le blanc des cartes, jusqu'ici non légendé, est qualifié désormais de brousses, mais désigne seulement, en réalité, les zones herbacées.

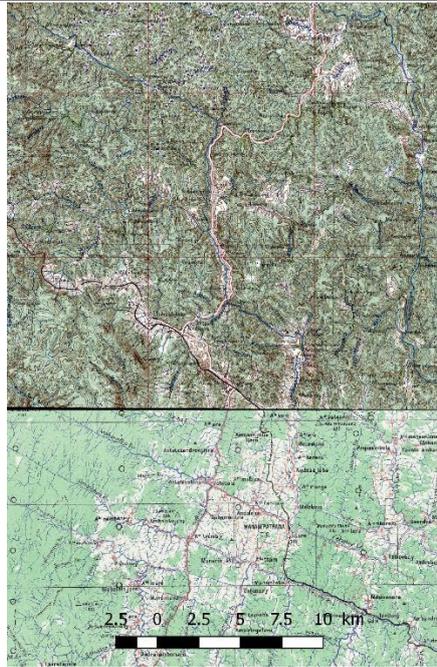


Figure 7a : Carte P53 1 : 100000 du Service géographique (1935) (Commune de Tolongoïna au Sud-Commune de Ranomafana au Nord)

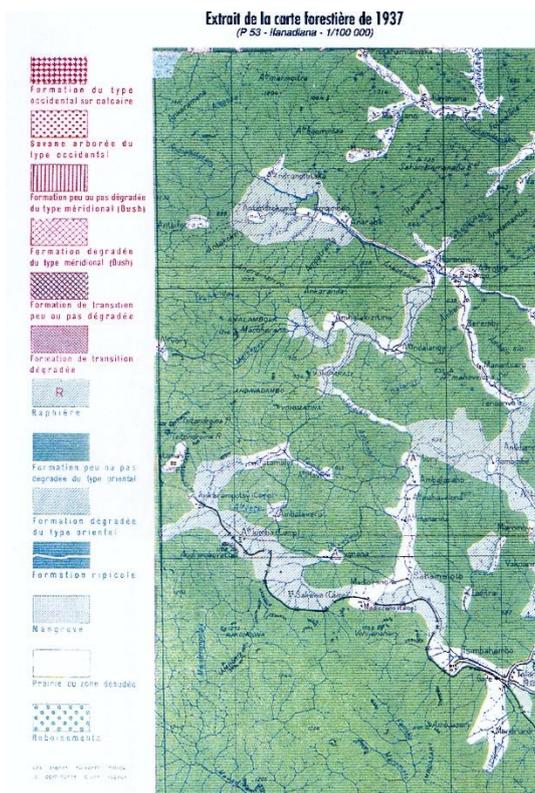


Figure 7b : Carte forestière. 1 : 100000 du Service géographique (1937) (Commune de Tolongoïna au Sud-Commune de Ranomafana au Nord)

Ce changement sémantique de la notion de bois, englobant désormais tous les ligneux s'est donc produit au passage du 1 : 200000 au 1 : 100000. Des questions pratiques liées à la fabrication de la carte au 1 : 100000, à sa lisibilité, et à la caractérisation de ce paysage complexe ont sans doute été les causes principales de cette recomposition des nomenclatures. Le plus simple était de figurer seulement les rares milieux les plus ouverts, herbacés, sur un fond ligneux, combinant milieux arbustifs et arborés. On ne peut exclure des influences

administratives, puisque le Service géographique est aussi chargé des inventaires forestiers : on aurait alors plutôt une représentation de la vocation forestière de cette région, plutôt qu'une représentation de la forêt.

Par la suite, les cartes IGN- FTM au 1 : 50 000 des années 1970, réalisées pourtant à partir de photographies aériennes, ont développé une nomenclature en trois classes (bois ; savane arborée ; savane arbustive). Mais il n'y a pas de classe « fourrés », pourtant dominants après déforestation. Elles reproduisent donc encore un couvert boisé dominant (60 à 75%), comme en 1935 (fig. 4b). Là encore, les fourrés ont été inclus dans la classe des bois dans l'esprit de la carte 1935 devenue une carte-mère dont la descendance hérite des défauts.

La carte de la végétation de Humbert et Cours Darne (1965) a été réalisée à l'Institut français de Pondichéry donc sans vérification de terrain. Soit les cartes du Service géographique et leurs dérivées, les cartes forestières, ont servi comme données de base (elles se ressemblent fort), soit elles ont servi de référence d'interprétation des photos aériennes. La confusion sémantique à la source de cette erreur cartographique¹⁰ était pourtant dénoncée par le même Professeur Humbert (1927 :23) à propos des cartes au 1/500000, qui déjà surestimaient la forêt en lui amalgamant des formations dérivées boisées. En 1965 on leur a ajouté les fourrés. Mais Humbert (qui avait 78 ans en 1965) s'est chargé de la nomenclature et de la notice biogéographique plus que de la carte.

Le Service géographique de l'Etat-major semblerait donc avoir conclu un mauvais choix fondateur vers 1926, en amalgamant les fourrés au thème bois, alors que le plus souvent l'on interprète bois par arbres, donc forêt. Ce choix a été reproduit ensuite dans la décennie 1950, et la surestimation du couvert forestier s'est aggravée dans toutes les cartes dérivées, qui sont utilisées encore aujourd'hui comme référence.

L'avènement d'une technique de détection aérienne avait donc apporté de nombreux progrès pour la précision des cartes, mais des choix antérieurs ont été conservés, générateurs d'erreur. Cette surévaluation des forêts dans la carte Internationale de la Végétation apparaît comme un héritage des surestimations antérieures des forestiers et des amalgames sémantiques des cartographes de l'Etat colonial.

Cette surévaluation des biogéographes pouvait aussi servir un nouvel enjeu politique. L'environnementalisme scientifique international commençait à prendre l'ascendant sur l'administration forestière malgache devenue indépendante en 1960. En 1959, des forestiers coloniaux prenaient parti pour une approche plus environnementale justifiant à la fois conservation des forêts et reboisements industriels auprès des services forestiers du jeune Etat malgache (Saboureau 1959). L'ONG WWF arrive en 1963. En 1970, une conférence sur la conservation des ressources naturelles, dominée par européens et américains, est tenue à Antananarivo. Magnifier le domaine de la végétation autochtone, riche en flore et faune endémiques remplaçait désormais le besoin de magnifier le domaine d'activité des exploitants et contrôleurs forestiers. En prenant un état de référence aussi large que possible, et en le qualifiant de forêt dense, une nouvelle communauté épistémique, internationale, prenait possession d'un territoire maximal. Devenue une référence pour cette communauté, la carte de Humbert et Cours Darne servira de base pour les analyses de déforestation, mais aussi pour la cartographie didactique (fig 2b) ou touristique (carte FTM, carte IGN en relief), diffusant, et même « vulgarisant » l'erreur à une très large échelle. En la digitalisant Green et Sussman (1990) y trouvent 76 000 km² de forêts denses humides et Harper et al (2007) obtiennent 88 000 km² (tab. 2), révélant un type d'erreur très ancien : l'erreur de recopiage (on retiendra le chiffre moyen de 82000 km²).

Une estimation plus juste de la forêt humide 1950 se situerait donc entre les 62 000 km² de Guichon (qui n'a pas pu tout inventorier) et celle, de Humbert et Cours Darne de 82 000 km², largement surévaluée¹¹.

¹⁰ Doublée d'une adaptation à une très petite échelle, amenant à sacrifier des classes minoritaires.

¹¹ On ne peut que procéder par approximations. Les forêts de moyenne altitude, soit environ la moitié du massif forestier humide, peu touchées par l'agriculture, sont correctement représentées sur cette carte. Seuls 1/3 environ des forêts de basse altitude sont surestimées d'au moins 50%. Ce qui situerait la surface de forêts denses humides 1954-57 à moins de 75 000 km².

4. Le régime des télédéTECTEURS au service du PNAE¹² dans un contexte d'enjeux politico-médiatiques et de financement

L'avènement des satellites de télédétection Landsat, vers 1972, créait une opportunité qui n'a été saisie par les scientifiques de la forêt que très tardivement, après 1985. Cette période correspondait à de profonds changements politiques à Madagascar. Un régime dirigiste et coupé de ses partenaires antérieurs priorisait un développement économique exigé par une population croissante, au détriment des milieux naturels. Après 1985, le contexte politique tendait vers une libéralisation et une ouverture, avec le retour de WWF en 1983. Dès 1990, des organisations internationales (bailleurs, ONG) institutionnalisait la conservation forestière au profit de la biodiversité et ses enjeux liés (eau, carbone, tourisme) à travers un grand programme de gestion de l'environnement, le PNAE. La fin de la décennie 1990 voyait la reconnaissance de Madagascar comme un *hotspot* de biodiversité (Myers *et al* 2000) et l'application de l'« approche corridors », qui sont des forêts dont la gestion est confiée à des ONG internationales. Ces organismes se financent par mécénat (firmes multinationales, donateurs) et bailleurs internationaux contre des preuves scientifiques de réduction des pressions. Les nouvelles techniques de télédétection spatiale ont accru la facilité et la qualité de l'estimation des surfaces de forêts et de leur dynamique, mais n'empêchent pas les controverses.

4.1. 1970-1980 : balbutiements méthodologiques et biais sémantiques

Trois estimations ont été réalisées à partir des données Landsat MSS des années 1970-1980 (tab. 3).

Auteurs	Faramalala (1988 1995)	Harper <i>et al.</i> (2007)	Green et Sussman 1990
Méthode (milliers de km ²)	Photo-interprétation d'images Landsat MSS 1974-78 en composition colorée	Classif. radiométrique (images 1973)	Classif. radiométrique Landsat MSS 1984-1985
Total forêt peu dégradée	106,4	141,7	
Forêt humide	68,2	68,8	38,0
Forêts denses sèches et fourrés épineux	34,4	70,5	

Tableau 3 : Estimations de surface forestière années 1975 et 1985 par télédétection Landsat-MSS.

Les deux premières données concernant les forêts denses humides sont logiques et consistantes. Mais la très faible valeur trouvée par Green et Sussman pour 1984 (forêts de l'Est) est très sous-estimée. Harper *et al* (2007) trouvaient encore 52,3 milliers de km² de forêt humide en 1990. Les données des forêts sèches sont incohérentes. En fait les méthodes étaient diverses : interprétation visuelle de compositions colorées sur un milieu très hétérogène, ou classifications radiométriques. Mais les définitions des milieux différaient aussi : la définition de Harper des fourrés épineux (>2m) est plus ample que celle de Faramalala au vu des résultats allant du simple au double.

On constate ici l'absence de données consistantes et cohérentes pourtant nécessaires au lancement du PNAE en 1990. Aussi les travaux internationaux d'évaluation de la déforestation, sortis dans la grande revue *Science* (Green et Susmann 1990) visaient sans doute plus à justifier ces financements par une vision alarmiste (c'est-à-dire communiquer sur la déforestation) qu'à éclairer rigoureusement la scène des forêts de l'Est.

4.2. 1990-2000 : le temps des ONG, vers une standardisation méthodologique

Avec l'avènement du satellite Landsat TM à haute résolution radiométrique et spatiale (30 m), et d'images ortho-rectifiées, la détection de la surface de forêt (et de la déforestation) atteint des sommets de précision. Une méthodologie standard peut se construire. Les chiffres en témoignent : ils se resserrent considérablement entre auteurs (tab 4). Mais il apparaît encore des différences, dont certaines sont liées à la faible résolution de certains capteurs (ex : Mayaux *et al* 2000).

¹² Programme national d'actions environnementales

Milliers de km ²		IEFN (1996)	FAO (2001)	Mayaux <i>et al</i> (2000)	Harper <i>et al</i> (2007) pour CI	MEFT <i>et al</i> (2009) dont CI
Méthode		Landsat TM Interprétation visuelle	Landsat TM Analyse digitale	Instrument Vegetation résolution 1km	Landsat TM Analyse digitale	Landsat TM Analyse digitale
1990	forêts humides	60,6			52,3	52,7
	forêts sèches et fourrés épineux	72,2			51,3	54,4
	total	133	129		106	107
2000	forêts humides			55,3	41,7	47,9
	forêts sèches et fourrés épineux			41,2	45,9	49,5
	total		114	96,5	87,6	97,5

Tableau 4 : Surfaces forestières 1990 -2000 à partir d'images satellite

Pourtant l'inventaire forestier IEFN et la FAO trouvent 20 % de plus de forêts que les ONG de conservation. Les définitions de forêt des uns et des autres sont en fait très différentes. La définition FAO de la forêt est une parcelle d'au moins ½ ha comportant au moins 10 % de couverture arborée d'au moins 5 m de haut. Celle de l'IEFN cumule toutes les formations ligneuses. La définition de l'ONG Conservation International (CI) répond mieux à l'idée de forêt naturelle, mais de manière très restrictive. C'est un couvert arboré naturel, haut et fermé sur au moins 80%, formant une parcelle d'au moins 2,5 ha (Steininger *et al* 2003). C'est aussi « une aire de végétation primaire dominée par un couvert arboré d'au moins 7 m, avec des couronnes se touchant ou se recouvrant » (Harper *et al* 2007). La notion de forêt primaire renforce la restriction. Les forêts plantées d'exotiques (mêmes envahies de plantes locales), les recrus secondaires mêmes boisés, et les agro-forêts en sont donc exclus. Par exception, les fourrés épineux sont qualifiés de « forêt naturelle » dès 2 m de haut. Ces définitions restrictives ou larges selon le climat correspondent au positionnement de CI sur la conservation des végétations les plus riches en biodiversité endémique, considérant tout autre écosystème sans intérêt pour la conservation, mais seulement pour la restauration. C'est aussi à rapprocher de son positionnement stratégique en fin d'années 1990 autour d'un projet de financement MDP (privilegiant le reboisement ou la restauration) autour des corridors (cas du projet TAMS). Dans ces conditions, il lui fallait plutôt minimiser les forêts.

Les chiffres varient aussi au sein d'une même institution. Ainsi Harper (2007) et MEFT (2009) donnent des résultats divergents alors que la même équipe CI encadre les travaux de cartographie et que MEFT reprend les données CI 1990-2000. Il y a donc eu des ajustements entre les premières estimations CI et les suivantes.

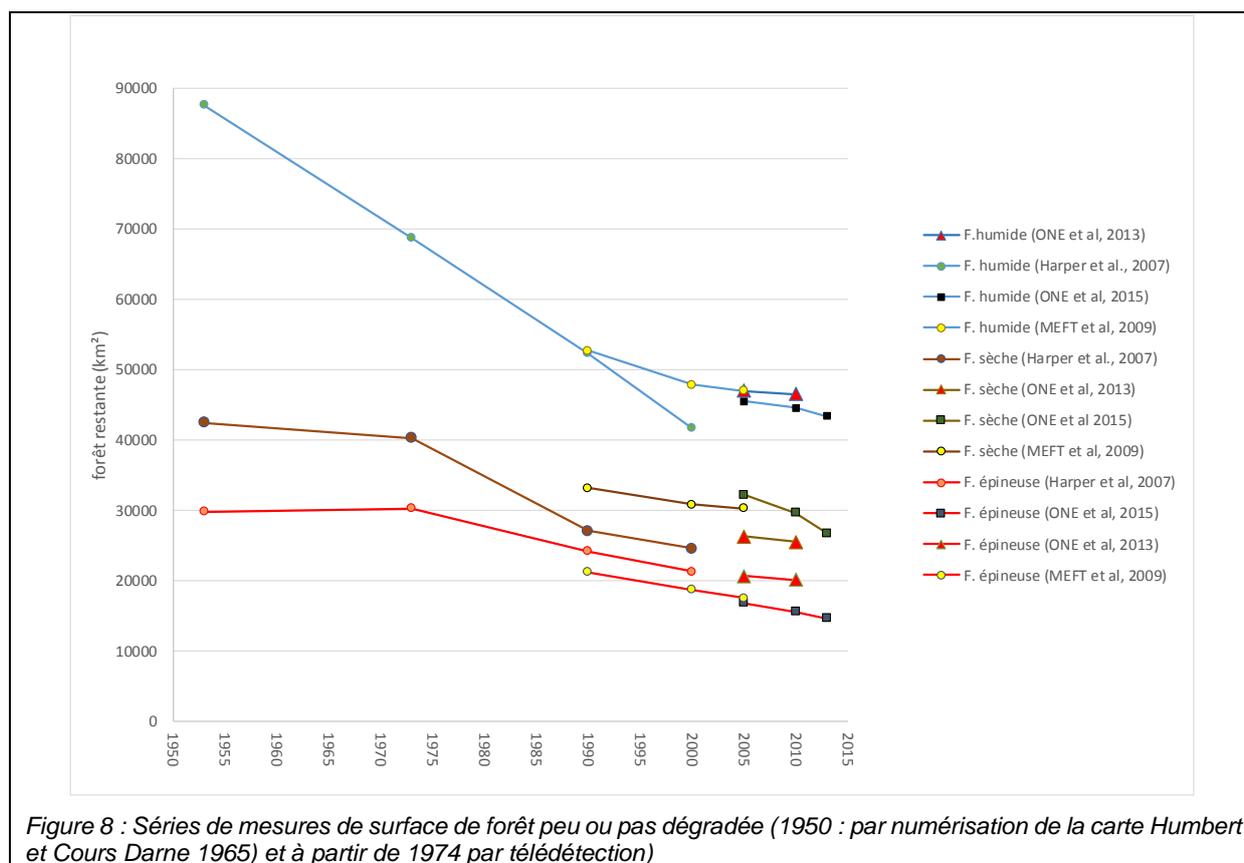
La télédétection d'une surface forestière comporte en fait de grandes marges de manœuvre. Il faut déjà décider des seuils particuliers entre la classe forêt et non-forêt dans un continuum de végétations ligneuses, puisque les définitions de forêts font précisément référence à des seuils (de hauteur, de % de recouvrement arboré, de taille minimale de massifs unitaires ou MMU). Mais les images disponibles ne permettent pas forcément des détections aussi subtiles.¹³ Le télédécteur procède ensuite à un choix d'images et mène une classification radiométrique en vue de détecter chaque unité à partir d'un jeu de données de terrain, généralement restreint et inexistant pour les dates anciennes. Cette phase n'est donc pas totalement automatisée ni reproductible. Elle comporte une part d'aléa selon les jeux de données satellite et les données terrain. Les choix de définitions et de méthodes de classification ménagent aussi de confortables marges de manœuvre.

4.3. 2000-2010 : politiques volontaristes sur fond d'enjeux de financement

Au cours de la décennie 2000, l'Etat se dote de plusieurs services de télédétection (Université, Eaux et forêts, Office National de l'Environnement), avec l'appui de l'ONG CI et d'autres partenaires. Le financement récurrent de l'Environnement est recherché auprès des nouveaux « marchés » de l'environnement : carbone notamment, qui intéresse l'Etat à travers le programme international REDD lancé en 2008 et les fonds dédiés de la Banque Mondiale ou de certaines firmes. Les services de l'Environnement et des Forêts initient

¹³ Seul le Lidar, très coûteux, donne accès à la hauteur du couvert.

une analyse collégiale de la déforestation entre FTM, CI et ONE (MEFT *et al* 2009). Les différentes séries statistiques disponibles sont rassemblées fig. 8 pour comparaison.



Les surfaces inventoriées à une date donnée par type de forêt présentent de grands décalages entre auteurs (fig 8). Pour une synthèse, il faut pouvoir sélectionner les données les plus fiables.

Forêts humides

L'estimation MEFT *et al* (2009) dépasse de plus de 5000 km² la surface de forêt humide 2000 de Harper *et al* (2007), travaillant pour CI (tab 4). Les définitions de forêt déclarées sont pourtant proches ainsi que les méthodes. L'étude MEFT *et al* était aussi encadrée techniquement par CI. Mais la différence considérable entre les deux montre que la définition MEFT de la forêt a été *de facto* moins restrictive que celle de Harper. Seule la donnée 1990 de CI ne bouge pas : elle a été sanctuarisée, au point qu'on se demande quelle valeur accorder aux chiffres MEFT de déforestation 1990-2000.

Formations sèches et épineuses

En procédant à une fusion des types forestiers secs et épineux (fig. 9), la plupart des décalages se résolvent. Ces décalages étaient donc en partie liés à l'usage de différents masques de cartes botaniques ou bioclimats¹⁴. Les partitions en types de forêt représentent donc une nouvelle source d'erreur quand plusieurs cartes de partition coexistent.

Il persiste une sous-estimation de 5000 km² de Harper (2007) par rapport à MEFT (2009). La différence porte surtout sur les forêts denses sèches. A nouveau, la définition par Harper *et al*. (2007) des forêts denses sèches est de fait plus restrictive que celle de MEFT (2009), comme les forêts humides. La bonne continuité de la courbe (MEFT 2009) avec les documents suivants (ONE *et al* 2013, 2015) produit une meilleure cohérence, mais est-ce un effet d'une méthode plus fidèle ou de la collégialité qui autorise des délibérations porteuses de cohérence ?

¹⁴ MEFT (2009) qui a utilisé la carte Schatz et Lescot (2003) du Missouri botanical garden, a accordé plus d'espace aux forêts sèches et moins aux forêts épineuses que Harper (2007), qui se référait à Humbert et Cours Darne (1965).

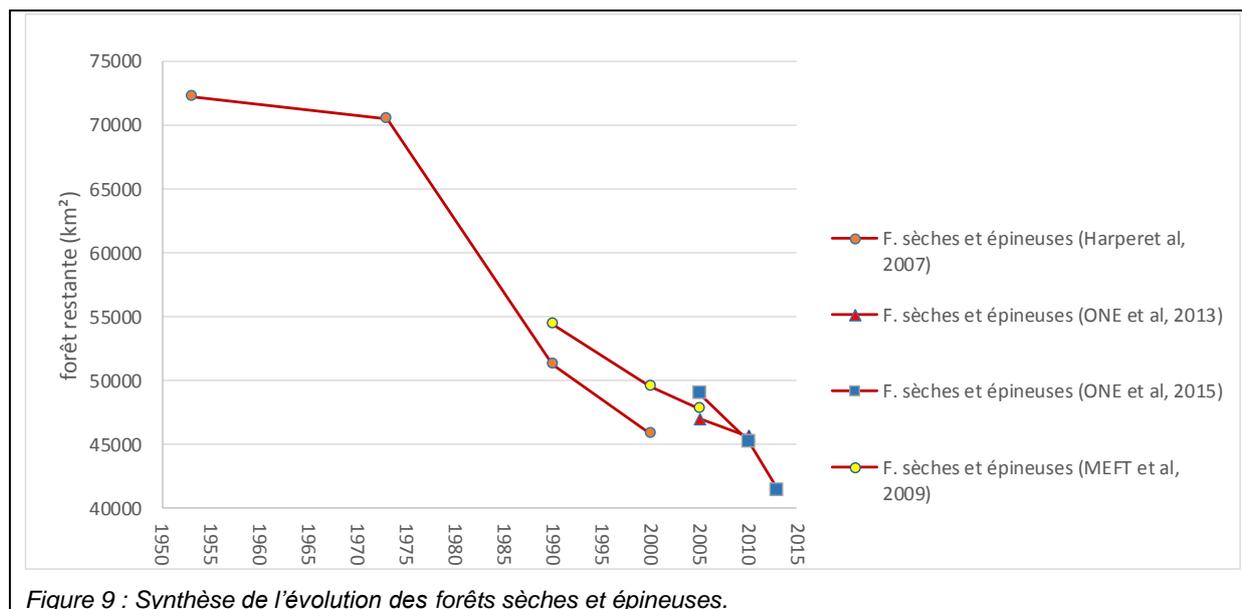


Figure 9 : Synthèse de l'évolution des forêts sèches et épineuses.

Des cartes biaisées ?

La carte de référence pour 1950 exagérait nettement la superficie forestière. Mais pour Harper *et al.* (2007) travaillant pour CI, on trouve l'inverse : une forte sous-estimation des surfaces de forêts denses (humides ou sèches) en 2000, par rapport aux études ultérieures.

Une première explication est technique. La carte forestière 2000 de CI (CI 2002 ; Steining *et al.* 2003 ; Harper *et al.* 2007) était basée sur une définition très restrictive de la forêt et une bonne documentation du terrain. Mais elle était comparée à des images 1990 de qualité moindre et classées sans connaissance du terrain. Par exemple sur la zone d'étude Betsileo-Tanala, la carte 1990 englobait notamment des forêts de pins et des fourrés, éliminés de l'analyse 2000, donc classés en « déforestation » en 2000 (MEFT *et al.* 2009). En combinaison d'une définition stricte en 2000, une définition de facto moins stricte en 1990 produisait une impression de forte déforestation 1990-2000.

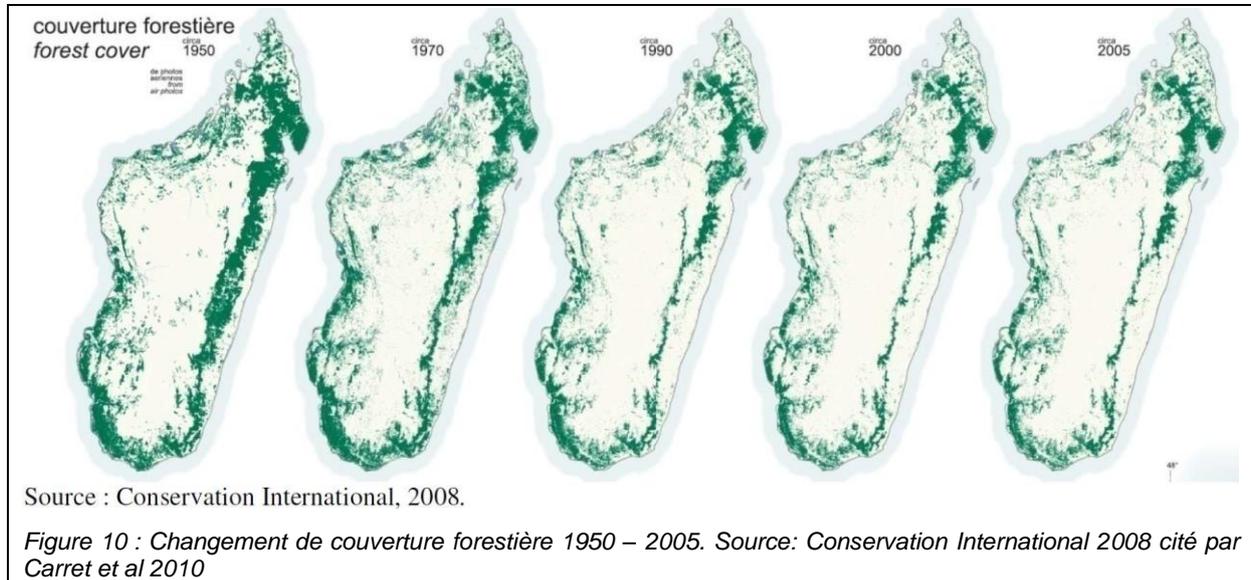
L'autre explication plus conjecturale¹⁵ d'une combinaison de cartes donnant à voir une déforestation catastrophique en forêts de l'Est est politique. CI publie sa statistique 1990-2000 en 2003 (Steining *et al.* 2003) et fournit des projections alarmistes pour 2020, ce qui justifie la politique dite « vision Durban » de 2003, décision présidentielle de multiplier les aires protégées par 3 et d'accorder aux ONG des territoires de conservation en zone humide sous la forme de nouvelles aires protégées à financement privé. Cette décision était requise de longue date par ces ONG (approche corridor de la fin des années 1990) et la recherche de financements MDP de restauration par CI plaidait aussi pour une sous-estimation des surfaces forestières 2000. Comme la publication Green et Sussman (1990) dans la revue *Science*, qui coïncidait avec le lancement du financement PNAE, cette coïncidence entre la sortie d'une étude alarmiste et une décision nationale volontariste renvoie aux nouveaux rôles des cartes : lobbying, communication, justification de politique et instrument de financement.

Des usages biaisés ?

Comme nous l'avons-nous même fait à la recherche d'une justesse cartographique vis-à-vis de données de terrain, les usagers vont aussi trier dans les cartes disponibles, mais en vue de les exploiter dans le sens de leur action. La carte papier de Humbert et Cours Darne (1965) au 1 : 1 000 000 a été du pain-béni pour une génération de projets de conservation et d'actions de sensibilisation. Dans la série de couvertures forestière de Madagascar (CI 2008 cité par Carret *et al.* 2010 dans un rapport de la Banque Mondiale) (fig. 10), l'effet visuel principal est produit par la carte de 1950 surestimée (chap 3), et dont la résolution n'a rien

¹⁵ Et suggérée par certains télédéTECTEURS d'Antananarivo.

à voir avec les cartes suivantes, qui sont des *rasters* de résolution 60 ou 30 m et beaucoup plus exacts. Mais signée d'un grand nom, réalisée dans un cadre international, seule carte de référence, la carte de 1965 faisait foi et montrait visuellement la rapidité de la déforestation depuis 1950 sans long discours. On retrouve cette carte en partie faussée dans des articles de journaux et jusque devant la cage aux lémuriers des zoos pour justifier aux yeux du public l'intérêt d'une conservation *ex situ*.



5. Pourquoi rechercher les biais cartographiques : enjeux d'équité et d'actualisation des connaissances

Dans le cadre étroit de cet article, nous nous en sommes tenus aux représentations cartographiques et aux données de superficies. Une autre analyse portera ultérieurement sur les taux de déforestation, indicateur devenu incontournable pour les projets finançant la « déforestation évitée ».

Avec les progrès techniques relevés, l'incertitude se réduit mais persiste sous d'autres formes. Les auteurs sont influencés par les techniques en vigueur et points de vue hégémoniques de leur temps, par les agendas politiques, et par le rôle des cartes dans la production des agendas, ce qui dévoile une quadruple face cachée des cartes forestières. Les erreurs que nous avons montrées ont été aussi suggérées par d'autres. Humbert (1927) avait déjà dénoncé l'amalgame entre *savoka* et forêt dans les cartes du Service géographique. La surestimation de la carte de la végétation de 1965 a été suggérée par Agarwal *et al* (2005 : 127) mais sans la prouver. La sous-estimation par Harper (2007) pour 2000 n'a pas été encore signalée à notre connaissance.

5.1. Les biais cartographiques relevés et leur typologie

La première source de biais est celle du sens variable accordé à la notion de forêt et ses diverses typologies dans un contexte malgache particulièrement diversifié et évolutif (biais sémantique), source de divergences entre cartes et statistiques, mais aussi une source possible de manipulations au gré des opportunités ou des besoins.

Le processus cartographique est ensuite perturbé par les difficultés techniques dont certaines ont aussi une dimension politique : limites de la détection et sources de confusion (nuages, fortes pentes, cadences d'observations, saisons différentes, erreur aléatoire, généralisations, difficulté du transfert d'échelle, typologies multiples). L'absence de validation terrain, des normes cartographiques inadaptées au contexte, l'évolution des nomenclatures et des sources d'information, et l'héritage de choix antérieurs sont autant d'écueils.

Le biais disciplinaire ou de corporation tient à l'hégémonie de certains regards disciplinaires réducteurs, qui ne voient l'environnement et la forêt qu'au travers d'une grille d'analyse limitée, ce qui joue à la fois sur la sémantique et les préoccupations. L'ancienne hégémonie des géographes (avec une vue transversale), puis des forestiers qui avaient intérêt à administrer un vaste territoire se voit relayée par celles des organismes de

la conservation, qui cherchent, selon l'époque et le type de forêt, selon l'enjeu de financement, à limiter ou maximiser l'espace à administrer.

Les enjeux politiques et financiers liés aux agendas internationaux de conservation se sont nettement invités dans le jeu cartographique, générant un biais « politico-financier ». En effet l'éligibilité aux fonds environnementaux pour les gestionnaires est de plus en plus asservie aux preuves de réduction de la déforestation. Comment rester objectif quand il existe tant de marges de manœuvre, et quand il s'agit de prédire une déforestation future dont le niveau conditionne les revenus de son organisation ?

Le tableau 5 compare ainsi les définitions de forêt en vigueur depuis la carte IEFN (1996), la taille minimale des parcelles prises en compte et la méthode de classification. La végétation est de moins en moins bien définie, les parcelles minimum (MMU) sont de plus en plus petites, et de nouveaux algorithmes de classification radiométrique très savants apparaissent.

Auteurs	Définition de forêt	MMU (ha)	algorithme
IEFN 1996	Pas de définition physionomique synthétique (classification complexe) mais plutôt économique, 5ha min	5	Photo-interprétation
Harper <i>et al</i> 2007 pour CI	végétation primaire dominée par un couvert arboré d'au moins 80%, 7m, avec des couronnes se touchant ou se recouvrant	2,5	Maximum vraisemblance
MEFT-CI 2009	Formation autochtone à canopée continue (canopée ouverte exclue)	2	Maximum vraisemblance
ONE <i>et al</i> 2013	Formation autochtone à canopée continue 80% (canopée ouverte exclue)	1	Maximum vraisemblance
Grinand <i>et al</i> 2013	Pas de définition	0,36	Random forest
ONE <i>et al</i> 2015	Pas de définition	0,36	Random forest ¹⁶
Définition FAO 2001, souhaitée par RPP-Madagascar (2013)	Au moins 10% de couvert arboré de plus de 5m	0,5	nd

Tableau 5 : Comparaison des paramètres et méthodes retenues pour classification d'images à Madagascar

Il est permis de voir dans cette valse de définitions, de critères et de méthodes le souci d'un ajustement permanent aux innovations techniques ainsi qu'aux opportunités internationales, donc des stratégies d'acteurs, moins qu'une recherche rigoureuse sur l'évolution de la couverture forestière.

5.2. Les effets des biais

Loin de nous l'idée de faire ici le procès de la cartographie forestière, ni celui des usagers des cartes. Nous sommes nous-mêmes engagés dans l'analyse spatiale et sommes bien conscients des difficultés et des limites de nos propres cartes. Comment faire plus juste, de façon plus responsable et plus équitablement ? En effet l'analyse de la déforestation du point de vue des partisans de la forêt devrait rejoindre une analyse faite du point de vue des déforesteurs. Il faut donc être équitable puisque c'est entre ces acteurs que l'on espère une collaboration.

Le premier risque d'une exagération dans un sens, ou dans un autre, est de fausser l'évaluation ou l'arbitrage de toute action forestière, environnementale ou agricole. Ces incohérences, incertitudes et mésusages sont parfois mis en exergue par ceux qui pensent que la déforestation est surexposée au détriment des populations forestières (Kull 2000 ; Amelot *et al* 2011), autant que par ceux qui pensent que la gravité de la déforestation serait au contraire minimisée à dessein, en vue d'un modèle de développement productiviste ou exclusivement humaniste. C'est le risque des incohérences d'être automatiquement associées à des stratégies cachées, alors qu'elles peuvent être aussi le fait d'illusions ou d'erreurs de bonne foi. Mais ici ces

¹⁶ Ce terme contient forest mais c'est une coïncidence : il s'agit d'un algorithme d'apprentissage automatique permettant en théorie de meilleures prédictions en se basant sur l'agrégation de plusieurs arbres de décision (Breiman, 2001)

incohérences ont servi certaines stratégies ou ont été instrumentalisées. La critique des cartes doit permettre de réduire les marges de manœuvre d'usages inéquitables ou tendancieux des cartes.

Un dernier risque des exagérations est l'effet de découragement face à la déforestation, ce qui est contre-productif. La déforestation est suffisamment sévère, pour qu'on n'en rajoute pas d'avantage.

5.3. Essai de synthèse sur la déforestation malgache

Il est difficile de connaître l'évolution forestière puisque les méthodes et définitions changent (Amelot 2008). Mais la difficulté n'empêche pas la recherche. Pour les besoins d'une synthèse actualisée, la critique des données effectuée doit aboutir à un rejet de données fausses, à des corrections, ou à une nouvelle cartographie.

L'incertitude sur les surfaces avant 1950 est trop élevée pour exploiter les données anciennes. Depuis, l'incertitude est moindre et les erreurs corrigibles. Outre la correction justifiée de certains points et le regroupement des formations sèches, nous avons sélectionné les données les plus précises et les plus cohérentes en partant des plus récentes. Il subsisterait aujourd'hui environ 85 000 km² de forêts denses et fourrés épineux, soit 14% de l'île (fig. 11)¹⁷.

Cette synthèse ne doit pas faire oublier la grande marge d'incertitude des valeurs anciennes (1950 et 1970) et la fausse précision des mesures les plus récentes qui révéleront peut-être des surprises. Cette synthèse est donc provisoire.

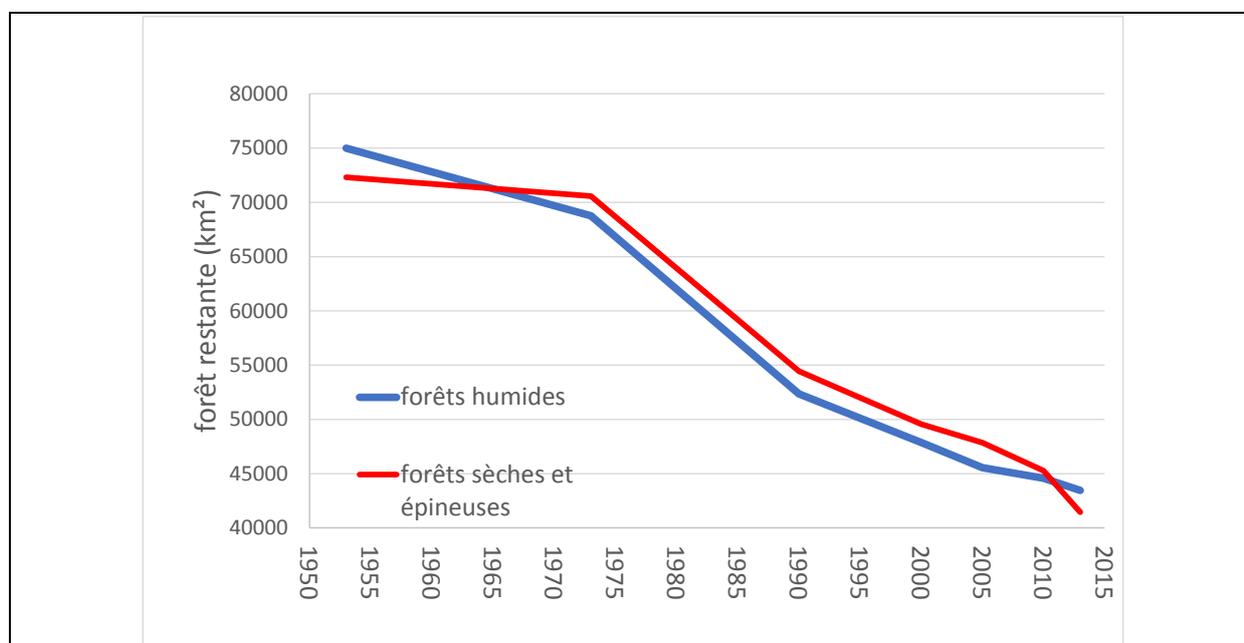


Figure 11 : Synthèse provisoire des données de surfaces forestières (basée jusqu'en 1990 sur les données de Harper et al 2007 corrigées, ensuite sur les données ONE et al 2015) (graphique déjà publié dans Méral et al 2017).

Ce qui frappe d'abord est la gravité de cette déforestation des forêts naturelles (fig. 11). Près de la moitié du stock 1950 a disparu en 63 ans. Il n'y a pas de répit, seulement des ralentissements transitoires à environ 500 km²/an entre des phases à 2000 km²/an. Ce dernier chiffre lancé par A. Grandidier est donc encore confirmé à certaines périodes. Le calcul du taux annuel de pertes (hypothèse taux constant) donne 0,9%. Il fluctue entre 0,5 et 2% selon les périodes, avec de grandes marges d'incertitude cependant.

Ensuite le parallélisme des deux types de forêts est étonnant, comme si le type ou le lieu avaient finalement peu d'importance, alors que les études locales montrent toujours des causes et des processus variés et changeants, rapides ou insidieux, des *hotspots* de déforestation mobiles, donc « des » déforestations (Razanaka et al 2001 ; Serpantié et al 2007). Il y aurait donc une homogénéité émergente dans la déforestation malgache.

¹⁷ Il faudra évaluer aussi (mais à part) les milieux post-forestiers, les agro-forêts, les savanes arborées ou les reboisements, qui comptent non seulement comme forêts de production, bois et énergie, mais aussi comme contribution aux services écosystémiques des forêts (habitats pour la biodiversité, carbone séquestré, protection des sols etc.).

C'est donc un processus général alimenté par des conditions d'abord écologiques : un climat généralement propice au feu (les zones à climat non propice au feu - falaise- sont limitées en extension, Serpantié *et al* 2007), des herbacées invasives combustibles favorisées par l'élevage pastoral, des plantes forestières sensibles au feu, et une fragmentation forestière accroissant l'effet du feu. Les conditions humaines font le reste : une population rurale croissante avec des besoins primaires en terres, pâturage, bois, énergie et loisirs (dont le feu fait partie), des logiques de marché, la pauvreté, des institutions nationales fragiles et en rivalité avec des institutions locales, et un climat général d'insécurité.

Après les progrès des années 1990-2010, dus au PNAE, nous craignons d'être à nouveau entrés dans une phase d'aggravation de la déforestation, et particulièrement dans les zones les plus sèches. Il s'agit de zones abandonnées aux seules forces économiques. Des incendies s'y ajoutent aux défriches pour une agriculture commerciale dopée par la demande internationale, et dans un contexte d'enjeux miniers où l'écologie n'a pas encore trouvé sa place. Cette déforestation de Madagascar est donc un phénomène structurel, attisé par des facteurs extérieurs, mais aussi parfois ralenti par eux car le PNAE était largement financé par l'aide internationale.

L'existence de phases de forte dynamique correspondent aux périodes historiques d'affaiblissement institutionnels (baisse du contrôle, baisse du respect et de l'application des lois, insécurité). Mais ces phases d'aggravation sont aussi le corollaire des périodes antérieures où les lois étaient durement appliquées. Il y a comme un phénomène de rattrapage, de revanche, une soupape face à un sentiment d'injustice. Les politiques nationales de contrôle sèmeraient-elles les conditions d'un échec ultérieur ? Si les aires protégées sont en meilleur état apparent, c'est que les pressions y sont historiquement moindres (moindres enjeux agricoles par exemple), qu'il y a une meilleure continuité institutionnelle et une plus grande proximité dans la gestion, avec infiniment plus de moyens que dans les services publics forestiers.

5.4. Le besoin d'investir les espaces post-forestiers et nouveaux écosystèmes

S'il faut toujours questionner la justice des actions environnementales (Kull 2000 ; Amelot *et al* 2011), il ne faudrait pas verser dans l'injustice écologique en étant partisans d'un laisser faire. Il faudrait donc poursuivre l'action contre les causes racines les plus profondes, généralement multifactorielles (Méral *et al* 2017). Des actions plus locales, plus inclusives, plus transversales (culturelles, économiques, juridiques), intersectorielles, combindraient conservation des reliques forestières et encouragement à la transition forestière dans les milieux post-forestiers. En effet puisque l'on a perdu près de 50% de forêts et fourrés épineux depuis 63 ans, c'est donc 100% de cet espace qui devient post-forestier. Comme il n'est pas possible de restaurer ces écosystèmes exceptionnels, puisqu'on parvient difficilement à freiner durablement leur disparition, on peut essayer au moins de réhabiliter certains processus et services écosystémiques clé. Tout en poursuivant l'effort de conservation des forêts matures, il faut alors quitter la seule vision manichéenne forêt /non forêt (qui est en réalité une opposition forêts matures/ autres végétations), mais s'intéresser de près aux milieux post-forestiers et aux « nouveaux écosystèmes »¹⁸. La cartographie est actuellement en train de se déplacer vers l'étude de ces *melting-pots* (Kull *et al* 2013), dont la particularité première est la diversité et leur double fonction de production et de conservation. Il faut donc changer d'échelle et redescendre de l'échelle du pays à l'échelle des paysages par une cartographie capable de saisir une diversité de classes d'habitats écologiques et d'usages des milieux.

6. Conclusion

La cartographie forestière est encore perfectible malgré sa sophistication croissante. Son analyse révèle des incohérences, des erreurs et certains enjeux de la cartographie, notamment des enjeux géopolitiques ou financiers, ainsi que des représentations disciplinaires variées, réductrices ou englobantes.

En jouant sur les définitions et les méthodes, en laissant passer des erreurs grossières, les intentions politiques peuvent conduire à certains moments à exagérer les pressions sur les ressources, en vue de justifier

¹⁸ On trouve dans les paysages des terroirs agricoles ou pastoraux des milieux, qui même herbacés, remplissent des rôles essentiels de protection des sols et fournissent des ressources (jachères, pâturage, plantes médicinales, bambou...). On y trouve aussi des milieux boisés : milieux secondaires arborés, savanes arborées denses, agro-forêts (*tanimboly*, plantations, eucalyptus, pins, manguiers...), petits refuges de forêts anciennes, ainsi que des arbres isolés, qui peuvent représenter des noyaux de régénération, des refuges ou des relais de biodiversité.

une politique de préservation, où d'en retirer des dividendes. A d'autres moments c'est le contraire qui se produit : on les minimise en vue d'utiliser un instrument de financement particulier ou pour changer l'affectation des moyens vers d'autres enjeux.

L'analyse montre le caractère particulièrement exacerbé et persistant de cette instrumentalisation mutuelle science-politique à Madagascar quels que soient les niveaux (projets, administrations), et quel que soit le degré de sophistication des méthodes cartographiques. Autant les politiques environnementales s'appuient sur ces outils pour formuler des plans à long terme et des priorisations, et pour gagner l'adhésion du public et des donateurs, autant les représentations apolitiques des scientifiques partenaires révèlent tout autant par leurs simplifications leurs appartenances à des approches réductrices ou intégratrices, ou à des communautés épistémiques engagées, distillant des messages ciblés au pouvoir au moment opportun.

Tous ces biais sont encore peu connus et débattus, parce que les progrès de la géomatique sont tels que l'impression de précision croissante des cartes est prépondérante, rendant les cartes apparemment incontestables. La discussion de l'information environnementale crée aussi le soupçon de motivations cachées du critique. Aussi la critique des données, des cartes ou des usages cartographiques n'est jamais la bienvenue. Le principal souci des opérateurs est de parvenir à suivre, s'appropriier et appliquer ces progrès tout en répondant du mieux possible aux enjeux et agenda du moment.

Ces erreurs conduisent pourtant à polluer pour longtemps les représentations, fausser les évaluations des actions et à interdire toute réflexion raisonnée sur les priorités. En effet tout comme des erreurs de tracé des côtes s'héritaient sur des siècles, aggravées à chaque recopiage, désormais ce sont les biais des cartes qui se transmettent : surestimations associées aux politiques forestières coloniales et aux difficultés techniques des années 1920 qui ré-émergent, par exemple, dans la carte de végétation de Madagascar (1965), utilisée encore comme référence en 2017 dans la communication environnementaliste. Il incombe donc à une recherche indépendante de faciliter le travail nécessaire de critique des cartes.

Bibliographie

- Agarwal D.K., Silander J.A., Gelfand A.E., Dewar R.E., Mickelson J.G., 2005, "Tropical deforestation in Madagascar : analysis using hierarchical, spatially explicit, Bayesian regression model", *Ecological modeling*, 185, p.105-131.
- Amelot X., 2008, *L'évaluation par télédétection de la déforestation à Madagascar : comparer ce qui est comparable*, XI Journées scientifiques du réseau Télédétection de AUF, Antananarivo, 4 nov 2008.
- Amelot X., Moreau S., Carrière S., 2011, Des justiciers de la biodiversité aux injustices spatiales, L'exemple de l'extension du réseau d'aires protégées de Madagascar, dans Blanchon D., Gardin J., Moreau S. (eds), *Justice et injustices environnementales*, Presses universitaires de Paris Ouest, p.193-216.
- Beard K. M. 1989, *Use error: the neglected error component*, In Proceedings of the AUTOCARTO 9 Conference, p.808-817
- Bertrand A., Randrianaivo D., 2003, Tavy et déforestation, dans Aubert S., Razafiarison S., Bertrand A. (eds.), *Déforestation et systèmes agraires à Madagascar, Les dynamiques du tavy sur la côte orientale*, CIRAD, CITE, FOFIFA, Paris, Antananarivo, p. 9-30.
- Besson L., 1893, « Voyage au pays des *Tanala* indépendants de la région d'Ikongo », *Bull. Soc. Géog.*, 3^{ème} tr. p.1-28.
- Bord J.-P., 2003, « Cartographie, géographie et propagande. De quelques cas dans l'Europe de l'après-guerre, Vingtième Siècle ». *Revue d'histoire*, 4 (80), p.15-24.
- Bruns A., 2008, *Blogs, Wikipedia, Second Life and Beyond: From Production to Produsage*, New York: Peter Lang, 2008.
- Carret J.C., Rajaonson B., Feno P.J., Brand J., 2010, 6. *L'environnement à Madagascar : un atout à préserver, des enjeux à maîtriser*, Rapport Banque Mondiale Madagascar, p 105-128.
- Collins F., Smith J., 1994, "Taxonomy for error in GIS", *Proceedings of the International Symposium on the spatial accuracy of Natural Resource Data Bases*, ASPRS, p. 1-7.
- Comber A., Fisher P., Wadsworth R., 2005, "What is land cover?" *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, p.199-209.
- Conservation International, 2002, *Carte de la déforestation (Madagascar)*. CI Antananarivo.
- Conservation International, 2008, *Changement de couverture forestière Madagascar 1950 – 2005*, CI Antananarivo.
- Cowan, W. D., 1882, "Geographical excursions in south central Madagascar", *Royal Geographical Society*. First Edition.
- Defries R., Asner G., Achard F., Justice C., Laporte N.T., Price K., Small C., Townshend J., 2005, "Monitoring tropical deforestation for emerging carbon markets", dans Moutinho P., Schwartzman S. (eds), *Tropical Deforestation and Climate Change*, Amazon Institute for Environmental Research, p.35-45.
- Delpy (Lnt), 1903, *Levé de reconnaissance de la région Sud-Ouest d'Ifanadiana et de Ambohimahaso*. 2 cartes au 1 : 80 000 (Arch. Nation. Madagascar).

Devilleers R., 2004, *Conception d'un système multidimensionnel d'information sur la qualité des données géospatiales*. Thèse de doctorat, Université Laval - Université Marne-La-Vallée.

Direction des Eaux et Forêts, 1994, *Inventaire Ecologique Forestier National au 1 : 200 000 basé sur image Landsat 1993+ Cartes FTM 1/200 000*.

Dufils J.-M., 2003, "Remaining forest cover", dans Goodman S.M., Benstead J.P. (eds), *The natural history of Madagascar*, The University of Chicago Press, Chicago & London, p.88-96.

Eaux et Forêts Madagascar, 1937, *Carte forestière de 1937 (P53, Ifanadiana, 1 : 100000)*.

Fairhead, J., Leach, M., 1996. *Misreading the African landscape: society and ecology in a forest-savanna mosaic* (Vol. 90), Cambridge University Press.

FAO, 2001, *State of the world's forests*, FAO, Rome.

Faramalala M.H., 1995, *Formations végétales et domaine forestier national à Madagascar*, 1: 1000000, CI, DEF, CNRE, FTM (images Landsat MSS 1972-1979).

Forsyth T., 2005, "The political ecology of the ecosystem approach for forests", dans Maginnis S., Sayer J. A., eds *Forests in landscapes: ecosystem approaches to sustainability*, Earthscan forestry library, p.165-175.

FTM, 1956-1974, *Cartes topographiques au 1 : 100000 et 1 : 500000 à partir des photos aériennes 1954-1957. (O53, O54, P53, P54)*

Girod-Genet L.1899, « Les forêts à Madagascar ». *Notes, Reconnaissances et Explorations*, 5, 51-85.

Goodchild M.F., 2007, « Citizens as sensors: the world of volunteered geography », *GeoJournal*, 69, p.211-221

Grandidier A., 1875. *Carte forestière de Madagascar*, Archives fonds Grandidier, Antananarivo.

Green, G. M., Sussman, R. W., 1990, "Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellite images", *Science*, 248(4952), p.212-215

Grinand C., Rakotomalala F., Gond V., Vaudry R., Bernoux M., Vieilledent G., 2013, "Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier", *Remote Sensing of Environment* 139 (2013), p.68-80.

Guichon A., 1960, « La superficie des formations forestières à Madagascar », *Revue Forestière Française*, 6, p.408-411.

Harper G. J., Steininger M. K., Tucker C. J., Juhn D., Hawkins F., 2007, "Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar", *Environmental conservation*, 34(4), p.325-333.

Heim, R., 1955, *Un naturaliste autour du monde* (Vol. 5). Albin Michel

Humbert H., 1927, « La destruction d'une flore insulaire par le feu. Principaux aspects de la végétation à Madagascar », *Mémoire de l'Académie Malgache*, fasc. IV, 47.

Humbert H., Cours Darne G., 1965, *Notice de la carte Madagascar. Carte Internationale du Tapis Végétal et des Conditions Ecologiques à 1 : 1 000 000*. CNRS/ORSTOM. Extrait des Travaux de la Section Scientifique et Technique de l'Institut Français de Pondichéry, h.s. n°6, 82 p. + 3 cartes.

Hunter G. J., Beard, K., 1992, "Understanding error in spatial databases." *Australian Surveyor*, 37, p.108-119.

Koechlin J., Guillaumet J.L., Morat P., 1974, *Flore et végétation de Madagascar*. J Cramer, Vaduz.

Kull C.A., 2000, "Deforestation, erosion, and fire: Degradation myths in the environmental history of Madagascar", *Environment and History* 6(4), p.421-450.

Kull C.A., Carrière S.M., Moreau S., Rakoto Ramiarantsoa H., Blanc-Pamard C., Tassin J., 2013, "Melting pots of biodiversity : tropical smallholder farm landscapes as guarantors of sustainability", *Environment*, 2013, 55 (2), p.6-15.

Lavauden, L., 1931, "Le déboisement et la végétation de Madagascar". *JATBA*, 11(122), 817-824.

Lavauden L., 1931, *Carte forestière, province de Fianarantsoa, 1 : 500 000*

Mayaux, P., Gond, V., Bartholomé, E., 2000. « A near real-time forest cover map of Madagascar derived from Spot vegetation data ». *International Journal of Remote Sensing*, 21(16), 3139-3144.

MEA, 2005. *Millennium Ecosystem Assessment. Synthesis report*. Island, Washington, DC.

MEFT, USAID, CI, 2009, *Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar, 1990-2000-2005*.

Méral P., Serpantié G., Andriamahefazafy F., 2017, « La déforestation à Madagascar : enjeux et perspectives ». *Diplomatie Magazine*, Janvier-Février, p.26-30.

Michon G., Moizo B., Verdeaux F., de Foresta H., Aumeeruddy Y., Gély A., Smektala G., 2003, « Vous avez dit déforestation ? » *Bois et Forêts des Tropiques*, 278(278), p.3-12.

Ministère de l'environnement, 1996, *Inventaire écologique forestier national. IEFN*.

Monmonier M., 1991, *Comment faire mentir les cartes, Du mauvais usage de la géographie*, University of Chicago Press, 1991 [Traduction française Paris : Flammarion, 1993.].

Mustière S., 2001, *Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique*, Thèse de doctorat, Université Paris 6.

Myers N., Mittermeier R., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.A., Kent J., 2000, "Biodiversity hotspots for conservation priorities", *Nature*, 403,p.853-858.

ONE, DGF, MNP, WCS, ETCTerra, 2015, *Changement de la couverture de forêts naturelles à Madagascar, 2005-2010-2013*, Antananarivo, 21p, 21 pl. A3 & carte A0.

ONE, MEF, FTM, MNP, CI, 2013, *Evolution de la couverture des forêts naturelles à Madagascar, 2005 – 2010*, 43p. 22 pl., Antananarivo.

Perrier de la Bâthie, 1936, « Biogéographie des plantes de Madagascar », dans *Atlas de Madagascar*, Société d'éditions Géographiques maritimes et coloniales, Paris, p.116-128.

Petit M., 2007, *L'homme et la forêt à Madagascar, Quatre siècles d'évolution du paysage forestier*, Institut de Civilisations, Musée d'Art et d'archéologie, Travaux et documents n°28.

Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B. & Aubry C. (eds.), 2001, *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques*. Actes de l'atelier CNRE-IRD, Antananarivo, 8-10 novembre 1999.

Rossi G., 1999, « Forêts tropicales entre mythes et réalités ». *Nature, Sciences, Sociétés*, 7(3),p. 22-37.

RPP-Madagascar, 2013, *Redd Readiness Preparatory Proposal - Madagascar*. Antananarivo, Forest Carbon Partnership Facility, 107 p +annexes

Saboureau, P., 1959, « Propos sur les cyclones et inondations à Madagascar en février et mars 1959 ». *BFT*, 67(67), 3-12

Schatz G.E., Lescot M., 2003, *Carte Bioclimate 5*. Missouri Botanical Garden, Antananarivo

Breiman, L., 2001, « Random forests ». *Machine Learning*, 45, 5–32.

Schmidt-Vogt, D., 1998, "Defining degradation: the impacts of swidden on forests in northern Thailand", *Mountain Research and Development*, p.135-149.

Serpantié G., Toillier A., Carrière S. M., Razanaka S., 2007, « Déforestation à Fianarantsoa au 20ème siècle : un corridor en sursis », dans Serpantié G., Rasolofoharinoro B.M., Carrière S. (eds). *Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation : le corridor Ranomafana-Andringitra (Madagascar)* Paris, CITE ; IRD, p.47-56.

Service géographique de l'Etat-Major, *Carte de reconnaissance 1 : 200 000* (Fianarantsoa, 1925, Fort-Carnot 1919, Loholoka, 1911 ; 1 : 100 000 (053,1933 ; P53, 1935) (Arch. Nation. et Arch. FTM)

Sibree J., 1876, *Note of a journey to the South East Madagascar*, Fond Grandidier, Antananarivo.

Sibree J., 1880, *The great African island. Chapters on Madagascar*, London, Trubner and co.

Steining M., Harper G., Juhn D., Hawkins F., 2003, *Analyse de Changement de Couverture Forestière Nationale: ~ 1990 et ~ 2000* CI, CABS, NASA. Présentation 36p.

Whitmore, T. C., 1984, *Tropical rain forests of the Par East*, Oxford University Press.