

LES VALORISATIONS SCIENTIFIQUES	5
REMERCIEMENTS	8
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES	11
INTRODUCTION GÉNÉRALE	13
 PREMIÈRE PARTIE	18
Chapitre I. La mangrove, objet d'étude	19
I.1. La mangrove, un objet mal défini	19
I.2. La répartition spatiale et la composition des mangroves.....	21
Chapitre II. Le cadre géographique de l'étude	25
II.1. Le site de Manombo-Fitsitike	27
II.2. Le site d'Ambondrolava	31
II.3. Le site d'Ankiembe.....	36
II.4. Les sites de l'embouchure de l'Onilahy	38
II.4.1 Le site de Sarodrano.....	38
II.4.2 Le site d'Andriambe	41
Chapitre III. La méthodologie	45
III.1. L'importance des travaux de terrain	45
III.1.1 L'inventaire floristique	47
III.1.1.1 L'état de santé en général - Structure démographique.....	50
III.1.2 Les mesures et analyses physico-chimiques	50
III.1.2.1 Les mesures et analyses de la Salinité et du pH.....	51
III.1.2.2 Les mesures et analyses physico-chimiques des autres éléments	52
III.1.3 L'analyse des substrats des mangroves	53
III.1.3.1 Le choix des points d'échantillonnage	53
III.1.3.2 Les techniques de prélèvement des échantillons de sol.....	53
III.1.3.3 Les analyses granulométriques au laboratoire	54
III.1.3.3.1 Le principe de la méthode au densimètre de Bouyoucos.....	55
III.1.4 Les enquêtes	57
III.2. L'approche par la géomatique	58
III.2.1 L'apport de la Télédétection	58
III.2.1.1 Les données utilisées	60
III.2.1.1.1 Les images satellites.....	60
III.2.1.1.2 Les mosaïques de photographies aériennes.....	62
III.2.1.2 Les prétraitements des images et des photographies aériennes	63
III.2.1.2.1 Les critères de photo-interprétation qualitative des mosaïques de photographies aériennes.....	63
III.2.1.3 Les prétraitements d'images satellites	64
III.2.1.3.1 Les corrections radiométriques par 6S	64
a. Les conditions géométriques	65
b. Les modèles atmosphériques	65
c. Les conditions spectrales.....	66
d. Les conditions de surface	66
III.2.1.3.2 Le géoréférencement et la correction géométrique	67
III.2.1.3.3 L'extraction des fenêtres images des sous zones d'étude.....	67

Table des matières

III.2.1.3.4 Le rééchantillonnage.....	68
III.2.1.4 Les traitements des images.....	68
III.2.1.4.1 Les classifications non supervisées	69
III.2.1.4.2 Le reclassement en 6 classes	69
III.2.1.4.3 La création de masques pour chaque thème.....	70
III.2.1.4.4 L'analyse en composantes principales des 3 canaux masques thématiques	70
III.2.1.4.5 La classification non dirigée des 3 composantes d'ACP	71
III.2.1.4.6 L'addition de tous les masques et carte de l'occupation du sol	71
III.2.1.4.7 La quantification des surfaces couvertes par chaque objet thématique à chaque date.....	71
III.2.1.4.8 Les analyses diachroniques	72
III.2.1.4.9 La classification supervisée	73
III.2.1.4.10 La caractérisation et cartographie des densités de peuplement par le NDVI	74
III.2.2 L'apport du Système d'Information Géographique	78
III.2.2.1 L'analyse et traitement des données d'inventaires floristiques et de densité	79
III.2.2.2 La cartographie par espèce et densité	84
III.2.2.3 La validation des classifications	84
III.2.2.3.1 La validation des classifications non supervisées et des cartes de présence/absence de mangrove	84
III.2.2.3.2 La validation de la classification supervisée	85
DEUXIÈME PARTIE.....	88
Chapitre I. Les mangroves : des écosystèmes complexes	89
I.1. Les peuplements à palétuviers du Sud-ouest de Madagascar	89
I.1.1 <i>Avicennia marina</i> (Forsk.).....	90
I.1.2 <i>Sonneratia alba</i> (Sm.).....	91
I.1.3 <i>Lumnitzera racemosa</i> (Willd.)	92
I.1.4 <i>Bruguiera gymnorhiza</i> (Lam.)	93
I.1.5 <i>Ceriops tagal</i> (C.B. Rob.).....	94
I.1.6 <i>Rhizophora mucronata</i> (Lam.).....	96
I.1.7 <i>Xylocarpus granatum</i> (König.).....	97
I.2. L'enracinement et l'alimentation en oxygène.....	97
I.3. La reproduction.....	101
I.4. Les milieux associés	103
I.4.1 Les récifs corraliens.....	103
I.4.2 Les vasières nues.....	105
I.4.3 Les herbiers de phanérogames marines	106
I.4.4 Les tannes.....	107
I.4.5 Les formations à <i>Typha</i> , <i>Cyperus</i> , <i>Scirpus</i> et <i>Phragmites</i>	109
I.4.6 Les pelouses à chiendent	110
I.4.7 Les formes et les formations sableuses côtières	111
I.4.7.1 Les flèches sableuses	113
I.4.7.2 Les dunes vives éoliennes	114
I.4.7.3 Les dunes végétalisées	115
I.4.7.4 Les dépressions interdunaires ou les hygrosères dunaires	116
I.4.8 Les fourrés xérophiles	117
I.5. La faune	119

Table des matières

Chapitre II. Les contextes et les fonctions biophysiques des mangroves des sites d'étude	122
II.1. Les contextes biophysiques des mangroves des sites d'étude.....	122
II.1.1 Le climat	123
II.1.1.1 La pluviométrie	123
II.1.1.2 Les températures	124
II.1.1.3 Le vent.....	126
II.1.2 L'hydrologie.....	126
II.1.2.1 L'hydrologie fluviale	126
II.1.2.1.1 Les fleuves.....	127
II.1.2.1.2 Les résurgences.....	130
II.1.2.2 L'hydrologie marine	131
II.1.2.2.1 Les marées	131
II.1.2.2.2 La salinité	132
II.1.2.2.3 La houle et les vagues	133
II.2. Les fonctions et les valeurs environnementales et biologiques des mangroves	134
II.2.1 Les fonctions biogéochimiques.....	135
II.2.2 Les fonctions écologiques	135
II.2.3 Les fonctions d'atténuation du changement climatique	137
II.3. Les contextes et fonctions socio-économiques des mangroves des sites d'étude	138
II.3.1 La population	138
II.3.2 Les principales activités économiques.....	141
II.3.3 Les fonctions et valeurs paysagères, économiques, sociales et culturelles des mangroves	146
TROISIÈME PARTIE.....	152
Chapitre I. Les résultats.....	153
I.1. L'état actuel	153
I.1.1 Le site de Manombo-Fitsitike.....	157
I.1.1.1 La caractérisation par les transects.....	157
I.1.1.2 La caractérisation par les images satellites.....	164
I.1.2 Le site d'Ambondrolava	167
I.1.2.1 La caractérisation par les transects.....	167
I.1.2.2 La caractérisation par les images satellites.....	172
I.1.3 Le site d'Ankiembe	175
I.1.3.1 La caractérisation par les transects.....	175
I.1.3.2 La caractérisation par les images satellites.....	179
I.1.4 Le site de Sarodrano.....	182
I.1.4.1 La caractérisation par les transects.....	182
I.1.4.2 La caractérisation par les images satellites.....	187
I.1.5 Le site d'Andriambe	190
I.1.5.1 La caractérisation par les transects.....	190
I.1.5.2 La caractérisation par les images satellites.....	194
I.2. Les dynamiques d'évolutions récentes.....	196
I.2.1 Les mangroves en progression.....	197
I.2.1.1 La mangrove de Manombo-Fitsitike	197
I.2.1.2 La mangrove d'Ankiembe	206
I.2.2 Les mangroves stables	213

Table des matières

I.2.2.1 La mangrove de Sarodrano	213
I.2.3 Les mangroves en régression	220
I.2.3.1 La mangrove d'Ambondrolava	221
I.2.3.2 La mangrove d'Andriambe	229
Chapitre II. Discussion	235
II.1. Les dimensions anthropiques et naturelles des pressions sur les mangroves	237
II.1.1 La dimension anthropique des pressions sur les mangroves	238
II.1.1.1 Une population en augmentation exerçant des pressions croissantes	239
II.1.1.2 Des prélèvements croissants de bois de feu et de bois d'œuvre	241
II.1.1.3 Le bois de feu	242
II.1.1.4 Les bois d'œuvre	243
II.1.1.5 L'élevage, le surpâturage et la divagation des animaux dans et en arrière mangrove ...	244
II.1.1.6 Les feux et le défrichement pour la mise en valeur agricole	245
II.1.1.7 L'accroissement des pressions liées aux activités de pêche	247
II.1.1.8 L'extension des aménagements salicoles	250
II.1.1.9 Les pollutions	252
II.1.1.10 Les reboisements	255
II.1.1.11 Le transfert de gestion	256
II.1.2 La dimension naturelle des pressions sur les mangroves	260
II.1.2.1 La dynamique sédimentaire côtière marine, fluviale et éolienne	261
II.1.2.2 L'impact des extrêmes climatiques	265
II.1.2.3 L'impact de facteurs biotiques	268
II.2. Les facteurs d'évolution des mangroves par site	269
II.2.1 Le site de Manombo-Fitsitike	269
II.2.2 Le site d'Ambondrolava	271
II.2.3 Le site d'Ankiembe	273
II.2.4 Le site de Sarodrano	274
II.2.5 Le site d'Andriambe	275
CONCLUSION GÉNÉRALE	278
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	282
ANNEXES	I

La liste des publications

- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Davranche A., Ballouche A., Rejo-Fienena F. (2017) - Dynamique de la mangrove de la région du Sud-ouest de Madagascar face aux actions anthropiques et au changement climatique. L'exemple des formations à palétuviers. *Territoires d'Afrique*, n° 9, p. 41-42.
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A. N., Ballouche A., Rejo-Fienena F., Mangroves sous pressions : quel destin pour ces écosystèmes dans le sud-ouest malgache ? *Ny Honko Tome 2* (article soumis en septembre 2017)
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A. N., Ballouche A., Rejo-Fienena F. Caractérisation et analyse de l'évolution récente des mangroves de Sarodrano, d'Andriambe et de Manombo-Fitsitike (Toliara-Madagascar) par télédétection spatiale majeures. *Photo Interprétation / European Journal of Applied Remote Sensing*. (Article soumis en 2016, accepté sous réserve de modifications)

La liste des communications (posters et orales)

- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Razakamanana T., Davranche A., Ballouche A. (2017), Mangroves sous pressions : quel destin pour ces écosystèmes dans le sud-ouest malgache ? Communication orale Colloque Régional Francophone : Les mangroves des îles de l'Océan Indien occidental : dynamiques, pressions, gestions, IRD, MESupRes, AUF, 18 – 21 septembre 2017, Mahajanga, Madagascar
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2016), Dynamique récente et modèles d'évolution des mangroves de la Région de Toliara-Madagascar. Poster et communication orale *Séminaire Collège doctoral Risques nAturels en Milieux Insulaires* (RAMI), 18 – 19 octobre 2016, Antananarivo, Madagascar
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2016), Mangroves of southwestern Madagascar: a complex dynamic during the last 70 years under natural and anthropogenic control. Poster *5th International EcoSummit*, 29 août – 1 septembre 2016, Montpellier, France
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2015), Dynamique récente et modèles d'évolution des mangroves de la Région de Toliara (Madagascar). Communication orale *Séminaire Ecole doctorale – DEGEST*, 23 octobre 2015, Nantes, France
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2015), Les mangroves de la région de Toliara, une biodiversité littorale en danger ? Poster Symposium sur la Biodiversité de Madagascar : La biodiversité au service du développement, 22nd meeting of the Global Biodiversity Information Facility (GBIF), 6-7 octobre 2015, Centre de Conférence International (CCI) Ivato Antananarivo, Madagascar

Les valorisations scientifiques

- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2015), Dynamique récente et modèles d'évolution des mangroves de Toliara-Madagascar. Cas d'Ankiembe, Poster et communication orale *Séminaire Collège doctoral Risques nAturels en Milieux Insulaires* (RAMI), 27 – 30 avril 2015, Toliara, Madagascar
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Davranche A., Ballouche A. (2015), Etude de la dynamique récente des mangroves de la région de Toliara (Madagascar) par télédétection satellitaire. Cas de Sarodrano, d'Andriambe et de Manombo. Communication orale *XIII journées du Réseau Télédétection*, AUF, 17-19 février 2015, Dakar, Sénégal
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2014), La dynamique récente de la mangrove de région de Toliara, Poster et communication orale *Séminaire Collège doctoral Risques nAturels en Milieux Insulaires* (RAMI), 30 juin- 4 juillet 2014, SEAS-OI, La Réunion.
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2014), La dynamique récente de la mangrove de Manombo-Fitsitike (SO Madagascar) par télédétection satellitaire. Entre extension globale, rétraction et fragilisation localisée, Poster et communication orale *Colloque international : Les zones humides de Madagascar*, 19-21 juin 2014, Antsirabe, Madagascar, CNRE
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A., Davranche A. (2014), Dynamique récente et modèles d'évolution des mangroves de la région de Toliara-Madagascar (cas de Manombo-Fitsitike), Revue électronique « Les géographes de LETG » n°2. [https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/geographics LETG/2014/geographics 2014 2/#p=2](https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/geographics/LETG/2014/geographics_2014_2/#p=2)

Les vulgarisations scientifiques

- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Ballouche A. (2015), Vulnérabilité des mangroves du sud-ouest malgache face aux aléas du changement climatique. Poster *Conférence des Jeunes (COY11)*, 27-29 novembre 2015, Paris, France
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Rejo-Fienena F., Razakamanana T., Ballouche A. (2015), Vulnérabilité des mangroves du sud-ouest malgache face aux aléas du changement climatique. *Journal de Confluents - AUF*, numéro spécial : Solutions aux changements climatiques.

Rapport-Gratuit.com

Quand un arbre tombe, on l'entend ; quand la forêt pousse, pas un bruit.

Proverbe Africain



REMERCIEMENTS

Quatre années se sont écoulées, quatre années passées entre terrain et laboratoire cadencées de très belles rencontres, quatre années de labeur qui m'ont permis d'apprendre, de grandir et d'évoluer humainement dans le milieu scientifique.

Le présent travail n'aurait pas été possible et pleinement réussi sans le grand et réel engagement d'un bon nombre de personnes. Sur ce, il m'est agréable d'adresser mes remerciements à toutes les personnes et toutes les institutions qui ont contribué au bon déroulement de cette thèse, sans pour autant oublier celles qui ne sont pas citées :

- L'Ecole Doctorale de la Biodiversité et Environnements Tropicaux de l'Université de Toliara
- L'Ecole Doctorale Sociétés, Temps, Territoires (STT) de l'Université Bretagne Loire
- Le Laboratoire du Littoral Environnement Télédétection Géomatique (LETG-Angers) de l'Université d'Angers.
- Le Collège Doctoral RAMI du programme "Horizons Francophones" de l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) et l'IFS (International Fondation for Science) pour le financement de ma thèse, le programme Planet Action d'Astrium et le SEAS-OI de la Réunion pour les images satellites.
- Prof. Nuschia Aude TAÏBI, du Laboratoire LETG de l'Université d'Angers, mon encadreur qui exprime son intérêt pour les mangroves de la région de Toliara. Tu m'as assuré un lieu de travail doté d'une atmosphère sereine et m'as toujours soutenu pendant mon séjour à Angers.
- Prof. Félicitée REJO-FIENENA, Directeur de l'Ecole Doctorale de la Biodiversité et Environnements Tropicaux, Université de Toliara, mon co-directeur de thèse, qui, par sa franchise, sa confiance, son soutien et ses multiples suggestions qui m'ont été très utiles dans les moments de doute, a largement contribué à la réussite de ce travail.
- Prof. Aziz BALLOUCHE, du Laboratoire LETG de Université d'Angers, qui a consacré son temps précieux à me conseiller malgré ses multiples occupations. Merci pour tout ce que tu m'as appris, mais aussi pour son écoute, ses conseils, sa bonne humeur lorsque je viens taper à l'improviste à la porte de son bureau pour des questions administratives.
- Aux membres du jury ci-après qui ont accepté d'évaluer cette recherche : Prof. Théodore RAZAKAMANANA (Rapporteur), Prof. Gwenaëlle PENNOBER (Rapporteure),

Remerciements

Prof. Lily-Arison RENE DE ROLAND (Examineur), Prof. Marc ROBIN (Examineur) et Prof. Alphonse DINA (Président du jury).

- Les incontournables compagnons des bons moments de terrain, les personnes avec qui j'ai passé une agréable compagnie, crapahuté et pataugé. Grâce à eux ces quatre années ont été bien plus que l'apprentissage du monde scientifique, elles ont représenté une superbe aventure humaine parsemée de moments forts et de très belles amitiés grâce notamment à : Andry, Fiacre, Cyriaque, Sylvestre, Bablon, Clément, Clarisse, Bobony, Gilberto, Tsiory, Nourdhine, Younouss, Eric Bototo, Itys, Fanja et Lanto, Adélin et Sandratra, Zafiry, Oscar, papan'i Telly, ...
- La Direction Régionale chargée de l'Environnement et des Forêts de Toliara.
- Les populations locales et les responsables locaux des Fokontany de Manombo, Fitsitike, Tsihake, Ambondrolava, Ambotsibotsike, Belitsaky Tanindrazana, Belitsaky Tanambao, Belalanda, Ankiembe Bas, Ankiembe Haut, Sarodrano, Saint-Augustin, Andriambe, Tapadalan-dreviky... pour leur étroite collaboration durant les travaux sur le terrain réalisés entre 2013 et 2016.
- Les collègues du LETG-Angers : Sylvie, Stéphane, Sigrid, Aurélie, Julie, Mathilde, Ibtissam, Laura et Cyril; de l'Ecole Doctorale de la Biodiversité et Environnement Tropicaux de l'Université de Toliara : Felana, feu Solange et Myria; de l'Université d'Angers: Gilles et Aurélie; de l'Université de Toliara: Pdt Lezo, Mara, Beda, Bemiasa; du CNRE: Yves et Mamy; de la FOFIFA: Thomas ainsi que les collègues du collège doctoral RAMI, particulièrement à El Hassan, Rota ainsi que les futurs docteurs « Ramiens » notamment : Tahina, Toihir, Johary, Guy, Felana, Juliano, Mahefa, Navale, Ibrahim, Nivo et Xolile.

Egalement et pourtant ce ne sont pas les moindres, je remercie toute ma famille, en particulier neny « Vero » et dada « Narcisse », Fambara et Andy, Tonton Benoît, Papan'i Tsiory et Haja, Morulla et Rita, Tatie Nathalie, mes amis (particulièrement à Hery et Thinah, Frère Robert, Bertrand, Danitsaïke, Lova, Fara et feu Ginot dit Lago, tu dois être fier de ton petit frère là où tu es) et les connaissances pour les diverses recommandations et le soutien moral qu'ils m'ont toujours donnés tout au long de mes études. On a réalisé ensemble un sacré bout de chemin et même si vous étiez à 9000 km de la France (voire 9947 km pour certains), vous étiez toujours là et je vous remercie pour toutes ces années.



Remerciements

Enfin, je remercie ma chère épouse pour son soutien et son enthousiasme sincères et quotidiens à l'égard de mes travaux comme de la vie en générale ; elle a fait des sacrifices et a fait preuve de persévérance durant les longues séparations qu'ont exigées les travaux de terrain. Notre couple et notre amour ont progressé en même temps que mes recherches, les premiers servants de racine solide à l'épanouissement du second.

Ces remerciements ne peuvent se terminer, sans une pensée pour mes co-directeurs de la vie : ma mama et mon papa. Leur présence et leurs encouragements sont pour moi les piliers fondateurs de ce que je suis et de ce que je fais.

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

- **ACP** : Analyse en Composantes Principales
- **AUF** : Agence Universitaire de la Francophonie
- **BNGRC** : Bureau National de Gestion des Risques et Catastrophes
- **CASI** : Compact Airborne Spectrographic Imager
- **COPEFRITO** : COmpagnie de PEche FRigorifique de TOliara
- **CoRéSEL** : Comptoir Régional du SEL de Tuléar
- **CPGU** : Cellule de Prévention et Gestion des Urgences
- **DHP** : Diamètre à Hauteur de Poitrine
- **EDBM** : Economic Development Board of Madagascar
- **FAO** : Food and Agriculture Organisation
- **FOFIFA** : FOibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra (ou Centre National de Recherche appliquée au Développement Rural, Madagascar)
- **FTM** : Foibe Tao-Tsaritan'i Madagasikara ou Institut Geographique et Hydrographique de Madagascar
- **GELOSE** : Gestion Locale Sécurisée
- **GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
- **GIZ-PAGE** : Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit-Programme d'Appui à la Gestion de l'Environnement
- **GNF** : Global Nature Fund
- **GPS** : Global Positioning System
- **HASIMA** : HASy MAlagasy
- **IFREMER** : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER
- **IHSM** : Institut Halieutique et des Sciences Marines
- **INSTAT** : Institut National de la STATtistique
- **Landsat TM** : Landsat Thematic Mapper
- **MAEP** : Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche
- **MARP** : Méthode Accélérée de Recherche Participative
- **MNT**: Modèle Numérique de Terrain
- **NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index
- **ONE** : Office National pour l'Environnement



Liste des abreviations et sigles

- **ONG** : organisation non gouvernementale
- **ORSTOM** : Organisation de la Recherche Scientifique et technique d’Outre-Mer.
- **PNUD** : Programme des Nations unies pour le développement
- **PNUE** : Programme des Nations unies pour l'environnement
- **RAMI** : observations environnementales et Risques nAturels en Milieu Insulaire
- **RN** : Route Nationale
- **SAR** : Synthetic Aperture Radar
- **SEAS-OI** : Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour l'Océan Indien
- **SOLIMA** : SOLItany MALagasy
- **SOPAGRI** : SOciété de Produits AGRicoles
- **SPOT** : Système Probatoire d’Observation de la Terre ou Satellite Pour l’Observation de la Terre
- **SUMATEX** : SUd MAdagascar TEXtile
- **TAMIA** : Tahosoa Alandriake Mitambatse Ianatsono Andatabo
- **TBE** : Tableau de Bord Environnemental
- **UNESCO** : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- **UTM** : Universal Tansverse Mercator
- **VOI** : Vondron’Olona Ifotony (ou Communauté Locale de Base)
- **WWF** : World Wide Fund for Natur

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Madagascar est la cinquième grande île du monde selon le critère de superficie après l'Australie, le Groenland, la Nouvelle Guinée et le Bornéo. Traversée par le tropique du Capricorne, elle se situe entre l'Océan Indien et le Canal de Mozambique et possède 587 000 Km² de superficie avec ses 1 600 Km de longueur et 600 Km de largeur (Figure 1).

La grande île qui a été séparée de l'Afrique depuis 100 millions d'années (Raven et Axelrod, 1974), et située aujourd'hui à 400 Km à l'est de la côte africaine, présente une flore et une végétation remarquables à bien des égards. Deux caractéristiques de la flore sont omniprésentes : une endémicité élevée avec 85% de taux d'endémicité (Koechlin *et al.*, 1974) et une grande richesse en espèces (Grubb, 2003) estimée à 10 000-12 000 espèces végétales. Les écosystèmes de ses 6.597 km de littoraux sont représentés par des récifs coralliens et des marais maritimes dont 99% se localisent à l'ouest de l'île (Tsangandrazana, 2007) et présentent aussi des intérêts écologiques majeurs et vitaux pour la population du littoral.

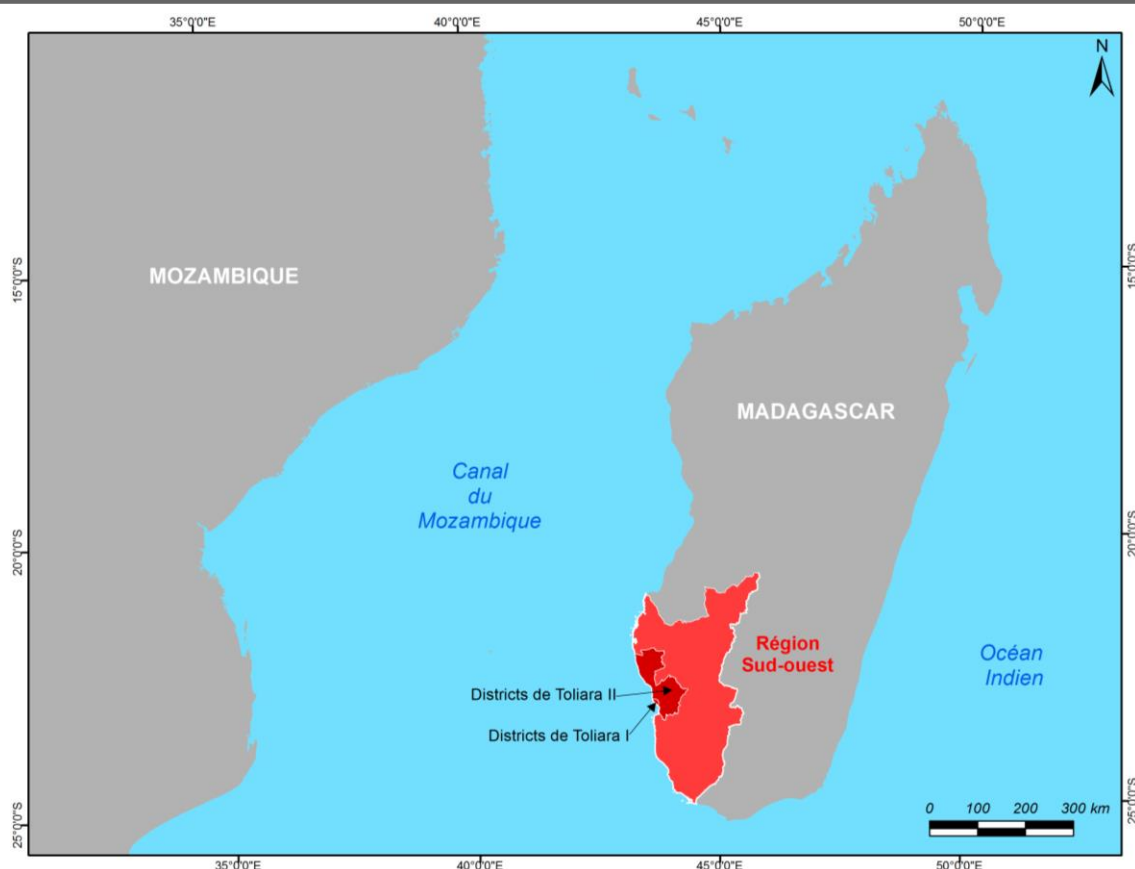
Madagascar est aussi caractérisée par une diversité des climats qui favorise le développement de cette flore exceptionnelle par sa variété, sa beauté et son originalité. Elle possède différents microclimats sous l'effet de deux vents dominants : l'Alizé et la Mousson (Salomon, 1987). L'Alizé de direction sud-est souffle toute l'année sur la façade orientale de l'île en provoquant des pluies abondantes presque toute l'année sur la côte Est. La Mousson de direction nord-ouest a son influence qui diminue progressivement en allant vers le sud. Les paysages de Madagascar sont donc très variés, en passant de la forêt pluviale au semi-désertique (Salomon, 1987).

Véritable sanctuaire de la nature étant donné que la grande majorité des organismes rencontrés sur l'île-continent est endémique (Goodman, 2008), dont certains sont considérés comme « faisant partie des grandes priorités mondiales en matière de conservation de la biodiversité et de préservation de l'environnement », l'île-continent figure parmi les 10 points chauds ou hotspot mondiaux en tant que zone géographique ayant au moins 500 espèces végétales endémiques. Comme toutes les îles tropicales, Madagascar possède notamment un potentiel élevé en matière de biodiversité côtière et marine composée notamment par des mangroves et des récifs coralliens, des plages, des lagunes et des affleurements rocheux. Cependant, cette richesse est menacée et l'île a déjà

perdu au moins 70% des espèces présentes dans leur état originel, notamment dans les mangroves (Goodman, 2008).

Le déclin des forêts de mangroves tropicales est l'un des problèmes les plus graves des écosystèmes côtiers du monde et de Madagascar. Il reste pourtant mal connu et implique une demande croissante de cartes détaillées des mangroves au niveau des espèces pour le suivi de ces écosystèmes et de leur diversité (Vaiphasa *et al.*, 2006). Eu égard à cette situation, la cartographie et la surveillance des écosystèmes de mangroves deviennent un objectif crucial pour les pays tropicaux, en particulier lorsque des perturbations humaines se produisent et en raison des incertitudes associées aux variations du niveau de la mer et aux fluctuations climatiques (Nascimento *et al.*, 2013). Ainsi, en 1984 selon Lebigre « les mangroves malgaches sont très mal comprises et nous n'avons pas en main les éléments nécessaires à un bon diagnostic » et la situation n'a pas beaucoup évolué depuis. Par ailleurs, on affirme facilement aux mangroves malgaches, notamment celles du sud-ouest, un état de perpétuelle régression. Les discours classiques des autorités compétentes, des organismes non gouvernementaux et de la population locale, prêchent cette destruction, telle une fatalité définitive, alors qu'aucune preuve scientifique (carte fiable, travaux de recherche approfondis sur le terrain) ne vient attester cette assertion. Pourtant, ces conclusions, parfois accompagnées de données chiffrées sur les mangroves de la zone et provenant des organismes non gouvernementaux ainsi que des départements ministériels, sont reprises par tout le monde (les bailleurs, les partenaires financiers, les chercheurs, ...) et circulent sans critiques alors qu'elles sont souvent peu étayées. Prenons le cas du site du ministère de l'économie à Madagascar (<http://www.economie.gov.mg/atsimo-andrefana/>) où il est mentionné : « *La mangrove de Fitsitika est actuellement la plus belle mangrove de la région du Sud-Ouest, alors que ... Celles des environs de la ville de Toliara (Sarodrano, Ankilibe, Ankiembe, la Batterie et le Nord Fiherena) ont pratiquement disparu (déforestation)...* ». Également, dans son Tableau du Bord Environnemental de la Région Atsimo Andrefana (2013), l'Office National pour l'Environnement a souligné que : « *Aux environs de la ville de Toliara, les mangroves sont en voie de disparition* ».

D'une manière générale, ces organismes tirent ces conclusions de traitements basiques et superficiels avant de publier des valeurs chiffrées.



**Figure 1 : Carte de localisation de Madagascar et zone d'étude
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

Dans ces contextes, des questions peuvent se poser, notamment : comment sortir du flou et de la confusion des discours généraux ? De quoi parle-t-on vraiment quand on traite des mangroves, quels milieux, quels écosystèmes, quelles formations végétales ? Quelles sont les données quantitatives sur les distributions, les extensions, les évolutions ? Quels peuvent être les facteurs d'explication de ces évolutions ? Comment venir en appui aux stratégies de gestion, de conservation et de restauration ?

Ainsi, l'objectif principal de ce travail est de montrer le plus précisément possible la dynamique d'évolution réelle de la mangrove du sud-ouest de Madagascar à partir de différents sites représentatifs de la région de Toliara (Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Sarodrano et Andriambe). Cette recherche commence par l'identification et la cartographie des aires de répartition des mangroves de la région après avoir défini sa typologie. Par la suite, on va établir un diagnostic de la mangrove (2014) et déterminer son évolution récente (1949-1987-1998-2012) ainsi que sa quantification. On déterminera également les différents facteurs d'évolution en faisant la part des contraintes naturelles et

des pressions anthropiques et en fournissant les éléments scientifiques en vue d'établir un plan de gestion intégrée pour assurer la pérennisation de ces mangroves.

Pour répondre à ces objectifs, plusieurs phases de travaux ont été nécessaires : premièrement une phase préparatoire consistant en la lecture de la littérature relative aux mangroves, aux zones liées à la mangrove, aux zones humides ainsi qu'à la télédétection ; deuxièmement une phase de travaux sur terrain afin de recueillir des données fiables pour les études en laboratoire (géomatique, analyses chimiques et sédimentologiques) constituant la troisième phase. Dans ce sens, Satyanarayana *et al.* (2001) ont affirmé qu'une combinaison d'enquêtes au sol et de données de télédétection était très utile pour évaluer les types de végétation de mangrove. Différents types de traitements d'images satellites ont été testés dans le but d'extraire et caractériser les forêts de mangroves, objets d'étude. Les chaînes de traitements d'images définies ont été appliquées à tous les sites à chaque date disponible pour une analyse diachronique des mangroves ainsi que les écosystèmes associés. Les résultats images ont été validés en 2014 à partir des données de terrain coïncidant avec une image programmation et ont aussi été interprétés visuellement. L'ensemble des données acquises sur le terrain ont été également croisées avec les résultats des images satellites.

Ce travail se divise donc en trois parties composées chacune de plusieurs chapitres. Le premier chapitre de la première partie propose le cadre de l'étude, une synthèse bibliographique de la définition de la mangrove ainsi que de sa répartition. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation générale de la zone d'étude et à la justification du choix des sites d'études. Enfin, le dernier et troisième chapitre expose la méthodologie avec notamment le terrain et les travaux au laboratoire. En tant que géographe naturaliste, il faut savoir patauger et crapahuter dans le milieu d'étude et avoir un contact direct avec l'environnement avant les inventaires par transect afin de connaître la réalité de la situation, tout en faisant des études physico-chimiques notamment des substrats en laboratoire, et l'approche géomatique avec plus précisément la télédétection et le Système d'Information Géographique. Dans la deuxième partie, le premier chapitre traite l'écologie des mangroves en décrivant les différentes espèces de palétuviers dans le sud-ouest et les caractéristiques des milieux associés aux palétuviers. Ensuite, le deuxième chapitre parle des contextes et fonctions biophysiques des mangroves. Il va ainsi offrir des informations concernant leurs contextes, les fonctions biogéochimiques, les fonctions écologiques, les fonctions



Introduction générale

d'atténuation du changement climatique ainsi que les fonctions socio-économiques. La troisième et dernière partie comprend deux chapitres bien distincts. Le premier chapitre qui est consacré aux résultats porte sur l'état des lieux de chaque site à mangrove en 2014 ainsi que sur l'évolution de ces milieux depuis 1949 jusqu'à nos jours. Le deuxième chapitre est dédié à la discussion relative aux facteurs de ces dynamiques d'évolution des mangroves de la région de Toliara, incluant les dimensions anthropiques et naturelles des pressions. Enfin, notre point de vue et notre position par rapport aux enjeux de la gestion seront aussi exposés dans ce deuxième chapitre avant de clôturer à la fin par la conclusion générale.



PREMIÈRE PARTIE

La première partie est articulée en trois chapitres bien distincts. Le premier chapitre s'attachera à définir les contours de l'objet d'étude, les mangroves, le second chapitre sera consacré à la description du cadre géographique de l'étude et enfin la méthodologie ainsi que les moyens de réalisation mis en œuvre seront détaillés dans le dernier chapitre.

Chapitre I. La mangrove, objet d'étude

La question de la définition de l'objet étudié dans ce travail est fondamentale, notamment car pas toujours consensuelle. En 1989, Thollot insistait aussi sur le fait que les facteurs présidant à l'installation des palétuviers étaient nombreux et leur mode d'action restait mal défini. Ce chapitre étudie donc et rappelle les caractéristiques et la répartition spatiale de la mangrove dans le Sud-ouest malgache, après avoir traité les différentes questions ayant trait aux mangroves en général à partir d'une revue de la bibliographie et mis un bref accent sur les définitions du terme dans la littérature.

I.1. La mangrove, un objet mal défini

Tout d'abord, la définition même du terme « mangrove » est sujet à incohérence et confusion. Une des définitions, adoptée par Lebigre (2012) par exemple, ainsi que de nombreux auteurs anglophones, est celle proposée par un zoologiste et malacologiste sud-africain d'origine écossaise, William MacNae (1968). Pour lui, le mot « Mangal » est un mot d'origine malaise (manggi) repris en portugais (mangue, mangal) puis dans d'autres langues (en français manglier est synonyme de palétuvier). Par contre, Vannucci (1989) et Carney *et al.* (2014) parlent d'un terme dérivé de la langue wolof du Sénégal et de la Gambie (Senegambia). D'après eux, lorsque les marins portugais ont rencontré les mangroves de l'Afrique de l'Ouest, un environnement inconnu en Europe, ils ont adopté le terme Wolof « mangue » pour ces forêts, dont la mangrove est le dérivé (en portugais « Mangue » signifie la communauté et en anglais « Grove » désigne des arbres ou des buissons).

Malgré la richesse et les nombreuses fonctions majeures de ces écosystèmes, la mangrove n'a vraiment commencé à représenter un intérêt pour les chercheurs qu'au milieu du 20^{ème} siècle (Andriamalala, 2007) et c'est vers la fin du 20^{ème} siècle que l'inquiétude scientifique a commencé à se concentrer sur la perte sans précédent de ces écosystèmes naturels dans le monde (Walsh *et al.*, 1975 ; Bosire *et al.*, 2008).

PREMIÈRE PARTIE – La mangrove, objet d'étude

A partir de cette période des années 1970, les écosystèmes de mangroves ont fait l'objet de nombreux travaux et études dans le monde. Parmi ces travaux, il y a ceux de Schnell (1971), Chapman (1976), Blasco *et al.* (1980), Lewis (1981), Saenger *et al.* (1983), Teas (1984), Snedaker (1984), Tomlinson (1986), Jaccarini et Martens (1992), Mastaller *et al.* (1997), Lacerda (2001), Giesen *et al.* (2007), Spalding *et al.* (1997, 2011), Kuenzer *et al.* (2011), DasGupta et Shaw (2017).

Pour Madagascar, il y a aussi les travaux de Hervieu (1965), Rabesandratana et Rabesandratana (1970), Kiener (1972), Blasco *et al.* (1980), Jenkins (1987), Lebigre (1983, 1984, 1990), Bunyard et Ward (1992), Miasa (1992), Rasolofo (1993), Chartier (1994), Iltis (1995), les travaux réalisés dans le cadre du programme « fonctionnement et évolution de la mangrove dans l'ouest malgache » qui s'est déroulé entre 1991 et 1996, mis en œuvre par l'ORSTOM (Institut français de recherches scientifiques pour le développement en coopération) et le CNRE (Centre National de Recherches sur l'Environnement de Madagascar) qui se sont concentrées plus particulièrement dans la région de Menabe, axées sur la dynamique des écosystèmes de mangrove, sur la valorisation des systèmes de production et sur l'inventaire des ressources de ces écosystèmes (Chartier 1994), Rasolofo (1997), Ralison (1999), Woods-Ballart *et al.* (2003), Razafindramasy (2006), Andriamalala (2007), Giri et Muhlhausen (2008), Renoux *et al.* (2008), Robin *et al.* (2010), Tostain (2010) ainsi que Andriatsiaronandroy *et al.* (2017). Mais ces études demeurent toujours insuffisantes, compte tenu de l'ampleur du champ de recherche dans le domaine.

Dans ces nombreux travaux scientifiques à propos des mangroves jusqu'à ce jour, chaque auteur a essayé de définir à sa manière ce que désigne le terme « mangrove ». De ce fait, il n'y pas en ce moment de consensus unique sur la définition du mot « mangrove » même si les définitions trouvées dans la littérature ne sont pas toujours contradictoires mais le plus souvent complémentaires. Si dans la définition générale des mangroves, il s'agit de l'ensemble de la végétation halotolérante qui se développe dans la zone de balancement des marées des régions littorales intertropicales, cette définition peut prendre en compte la végétation de palétuviers ou bien désigner le marais maritime dans son ensemble incluant les surfaces de tannes, les vasières, etc. Selon les chercheurs, les mangroves sont considérées comme un ensemble de formations végétales colonisant des atterrissements intertidaux marins ou fluviaux (Guilcher, 1954), une association végétale halophile (Kiener, 1972), une formation forestière tropicale (Tomlinson, 1986), une zone baignée

périodiquement par les eaux très salées (Kiener, 1972), des formations végétales arborescentes (Marius, 1985), une forêt de palétuviers (Blasco, 1991), un écosystème intertropical, littoral des basses côtes (Conand, 1976), un écosystème englobant la forêt halophile des palétuviers des côtes tropicales, la faune, le sol et les eaux propres à ces littoraux (Iltis, 1994), ou un peuplement ouvert ou fermé d'arbres ou de buissons, se rencontrant sur les rivages marins entre les limites de hautes et de basse marée (Renou, 2011). Dans notre cas et tout au long de ce travail, **« la mangrove est définie comme une formation forestière à palétuviers »**. Comme l'explique Cormier-Salem (1999), la forêt de mangrove est constituée par des espèces d'arbres au feuillage persistant, le plus souvent appartenant à la famille des Rhizophoraceae et poussant dans les zones intertidales. A une échelle plus large, la mangrove est considérée comme une association végétale. Cependant, les écosystèmes associés seront étudiés ponctuellement, en étroite interrelation avec les formations arborées à palétuviers.

I.2. La répartition spatiale et la composition des mangroves

Existant sur terre depuis le Miocène, soit depuis plus de 20 millions d'années, les mangroves colonisent des zones calmes et peu profondes, alimentées en eau douce et à l'abri des courants marins, comme les estuaires et les systèmes lagunaires. Les écosystèmes forestiers de mangroves couvrent actuellement environ 14,7 millions d'hectares des rivages tropicaux du monde (Wilkie et Fortuna, 2003 ; Bosire *et al.*, 2008) et s'installent au niveau de zones peu pentues et peu profondes autorisant la progradation des atterrissements fluviaux et une amplitude de marée suffisante.

Dans les régions tropicales, les mangroves se trouvent entre les latitudes 31° nord et 38° sud, en particulier le long des côtes tropicales et subtropicales d'Australie, d'Asie, d'Afrique et des Amériques (Simard *et al.*, 2008). Partagées entre 123 pays et territoires et couvrant un total de 152 000 km² équivaut au quart de la surface totale de Madagascar (Spalding *et al.*, 2010), la moitié de la superficie mondiale des mangroves est située dans seulement six pays : l'Indonésie (environ 30 000 km²), l'Australie, le Brésil, le Mexique, le Nigéria et la Malaisie. Dans ces régions tropicales, elles occupent près de 75% du linéaire des côtes et deltas. Selon les autres estimations, elles recouvrent 14 à 23 millions d'hectares à travers le monde (PNUD, 2010) et sont réparties en deux zones biogéographiques distinctes (Tomlinson, 1986) avec la zone orientale (les côtes Est de l'Afrique, l'Asie et l'Australie) et la

PREMIÈRE PARTIE – La mangrove, objet d'étude

zone occidentale (le long des côtes atlantiques et de la côte pacifique américaine), l'océan Pacifique et le continent africain jouant un rôle de barrière entre les deux aires (Spalding *et al.*, 2010) (Figure 2).

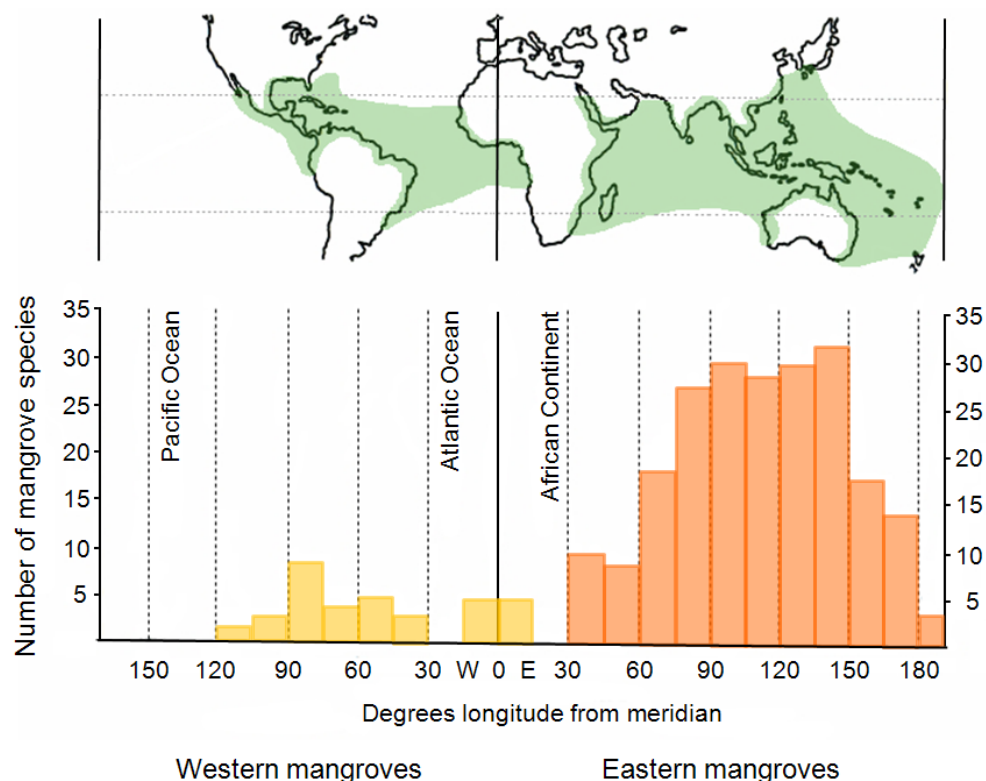


Figure 2 : La répartition globale généralisée des mangroves et la diversité des mangroves par 15° de longitude (Tomlinson, 1986 ; Kuenzer *et al.*, 2011)

Du fait des divergences par rapport à leur définition, la quantification des superficies couvertes par des mangroves à Madagascar fait l'objet d'une grande confusion bien que la plupart des auteurs soient unanimes concernant leur distribution. La majeure partie, soit 98% de ces formations, se répartit le long de la côte Ouest, occupant notamment les fonds des baies, tandis que les formations de la côte Est sont de petite taille et localisées essentiellement entre Mananara Nord et Antsiranana. En général, la Grande Île compte 300 000 à 400 000 ha de mangroves selon les auteurs et les périodes (Perrier de la Bathie, 1921 ; Kiener, 1972 ; Lebigre, 1990 ; Giri et Mulhausen, 2008 ; Jones *et al.*, 2016), même si en 1928 Carle les a estimé à 1 000 000 ha, une surface qui est certainement exagérée (Guillaumin, 1928). Les mangroves de Madagascar représentent 2% des mangroves du monde (Ioniarilala, 2000), et 9% des mangroves africaines, juste derrière le Nigeria (32%) et le Mozambique (12%) (FAO, 2007 ; Rakotomavo et Fromard, 2010).

PREMIÈRE PARTIE – La mangrove, objet d'étude

Les estimations les plus récentes tiennent compte de l'ensemble des forêts de palétuviers et les écosystèmes associés comme les tannes soit environ 421 000 ha pour l'ensemble de ces marais maritimes (Lebigre, 1990) mais il y a aussi l'estimation de Jones *et al.* en 2015 avec environ 210 000 ha pour les forêts de palétuviers uniquement. Dans la région du sud-ouest de Madagascar, les estimations indiquent que les mangroves couvriraient une surface de 1491 hectares (Tostain, 2010).

Dans les pays tropicaux, les forêts de palétuviers peuvent s'étendre de 30 à 85 km à l'intérieur des terres, composer des formations étirées jusqu'à 150 km le long des littoraux et pousser jusqu'à 50 mètres de hauteur (GNF, 2015). Ainsi, la mangrove Sundarbans au Bangladesh, qui s'étend sur la frontière entre l'Inde et le Bangladesh, couvre une superficie de 6 500 km² jusqu'à 85 km à l'intérieur des terres, ou les mangroves des îles Klang en Malaisie s'étendant sur 100 km le long de la côte de l'état de Selangor. Dans le sud-ouest de Madagascar, elles sont en général plus morcelées et couvrent des surfaces plus réduites. De par leur position strictement intertidale, les mangroves qui se présentent comme une forêt basse entremêlée et sous la forme d'un mince ruban le long du rivage ou d'une bande de plusieurs kilomètres de large, subissent de fortes contraintes, qui expliquent leur pauvreté spécifique (Guiral *et al.*, 1999), mais n'empêche pas qu'elles soient parmi les écosystèmes les plus productifs en biomasse de la planète.

Dans le monde, le nombre d'espèces de palétuviers varie de 70 à 84 selon les spécialistes. À l'origine de ces différences se trouvent des incertitudes taxonomiques et la prise en compte de certaines espèces cryptiques dont la définition et le nombre sont variables selon les auteurs. Ainsi, Saenger (2002) recense 84 espèces de palétuviers, alors que Duke *et al.* (1998) comptent 70 espèces (19 familles, 28 genres) et Spalding *et al.* (2010) 73 espèces.

Il existe une nette différence dans la répartition mondiale des espèces entre les mangroves de la région indopacifique, dites orientales, riches du point de vue floristique avec environ 60 espèces, et les mangroves de la région atlantique, dites occidentales (Amériques et côte Ouest Africaine). Ces dernières ne regroupent que 7 espèces arborées qui sont *Avicennia germinans* et *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harissonni*, *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus* (Rochotte *et al.*, 2003). Les mangroves malgaches qui font partie de la liste « Global 200 » qui regroupe les régions écologiques les plus représentatives de la biodiversité planétaire tant par la flore

PREMIÈRE PARTIE – La mangrove, objet d'étude

que par la faune, bien qu'appartenant à la zone orientale, ne comportent que 8 espèces. Elles sont donc relativement pauvres par rapport à l'ensemble de leur zone biogéographique, même si elles comportent plus d'espèces que la zone occidentale.

Dans la région du Sud-ouest de Madagascar, ce sont 7 espèces que l'on peut observer : *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, *Lumnitzera racemosa*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora mucronata* et *Xylocarpus granatum*, se répartissant en 5 familles (Acanthaceae, Lythraceae, Combretaceae, Rhizophoraceae, Meliaceae). Elles sont associées à *Acrostichum aureum* (cette espèce est une indicatrice des zones en voie de dessalure), *Barringtonia racemosa*, *Barringtonia asiatica*, *Pemphis acidula* (Lythraceae), *Hibiscus Tiliaceus* ou *Thespesia populnea* et *Scirpus pterolepsis*, *Scyphiphora hydrophyllacea* (Figure 3). En arrière mangrove, surtout dans les tannes, il existe des espèces herbacées telles que : *Arthrocnemum gramineae*...



Figure 3 : Formation à *Lumnitzera racemosa* associés à *Acrostichum aureum* et *Scirpus pterolepsis*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Ce premier chapitre visait à comprendre et bien cadrer le terme mangrove en proposant une définition en adéquation avec l'objectif de cette thèse à partir des études déjà faites et de l'analyse de la répartition de la mangrove au niveau mondial et régional (statistique, floristique,...).

Chapitre II. Le cadre géographique de l'étude

Face à ces incertitudes sur les définitions et les surfaces couvertes par la mangrove, l'objectif de cette étude n'était pas de recenser de manière exhaustive tous les peuplements de palétuviers du sud-ouest de Madagascar, mais de comprendre leur dynamique de fonctionnement pour pouvoir les cartographier en connaissance de cause.

Ces mangroves du sud-ouest malgache sont répertoriées le long du littoral sur une distance de 200 km environ du nord au sud en passant successivement par Morombe, la baie des assassins, Andavadoaka, Manombo, Fitsitike, Ambondrolava, Toliara ville, Ankiembe, Ankilibe, Sarodrano, Andriambe, Saint Augustin et Lanirano-Androka.

Les différents sites étudiés dans le cadre de ce travail, situés dans le sud-ouest de Madagascar, font partie de la région administrative Atsimo-Andrefana ou Sud-ouest, limitée au nord par le fleuve Mangoky, à l'est par le massif de l'Isalo et une partie de la région d'Anosy, au sud par le fleuve Menarandra et à l'Ouest par le Canal de Mozambique. Nos cinq sites d'étude se trouvent plus spécifiquement dans la plaine littorale de Toliara (Coordonnées : 365640 m E, 7416950 m S) (Figure 4) dans la Province de Toliara découpée en districts (Ampanihy, Morombe, Toliara I et Toliara II), le long de la zone côtière des districts de Toliara I et II.

Considérée comme étant la région la plus vaste de Madagascar avec une superficie de 66 714 km² qui représente 11,4 % de la superficie totale de la Grande Ile, elle se subdivise en 9 districts (Toliara I, Beroroha, Morombe, Ankazoabo, Betioky Atsimo, Morombe, Sakaraha, Toliara II, Benenitra) totalisant 101 communes: Toliary I (1 commune dont 1 urbaine), Beroroha (8 communes dont 1 urbaine), Morombe (8 communes dont 1 urbaine), Ankazoabo (6 communes dont 1 urbaine), Betioky-Atsimo (28 communes dont 1 urbaine), Ampanihy (16 communes dont 1 urbaine), Sakaraha (12 communes dont 1 urbaine), Toliary II (19 communes), Benenitra (3 communes dont 1 urbaine). Le centre politico-administratif le plus important ainsi que le chef-lieu de région est la ville de Toliara, qui se trouve à 945 Km environ d'Antananarivo, la capitale de Madagascar.

C'est une région chaude et semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles inférieures à 400 mm et une forte variabilité interannuelle favorisant le développement d'une flore présentant divers systèmes d'adaptation xérophytique et un taux d'endémisme très élevé.

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

Cinq sites, représentatifs des différents contextes géographiques, géomorphologiques, biophysiques et anthropiques de la côte sud-ouest de Madagascar, qui seront présentés par la suite, ont été choisis pour cette étude ; Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe et l'embouchure de l'Onilahy regroupant les sites de Sarodrano et d'Andriambe.

Ces sites sont représentatifs également de la typologie de Derijard (1963), qui distinguait deux types de mangroves selon leur position :

- Les mangroves d'estuaire ou de fond de baie : exclusivement peuplées de diverses espèces de Rhizophoracées, leur implantation sur les vases et sables vaseux est conditionnée par d'importantes arrivées d'eaux douces et le mode très calme des régimes d'estuaires, de fond de baie et parfois à l'abri d'une flèche sableuse comme dans le cas de Sarodrano.
- Les mangroves littorales : constituées presque exclusivement par les espèces *Sonneratia alba* et *Avicennia officinalis* dont l'implantation sur les banquettes de vase colloïdale dues à l'activité des algues filamenteuses est conditionnée par l'écoulement d'eau douce sur les hautes plages et le mode moins calme des zones littorales. C'est le cas de la mangrove de Manombo-Fitsitike et d'Ankiembe.

Mais dans notre cas, deux autres types de mangroves sensiblement différentes de celles qui ont été énumérées ci-dessus méritent d'être mentionnées :

- Des mangroves fluvio-estuariennes situées à l'intérieur de l'embouchure d'un fleuve (Onilahy) associé à l'influence de l'eau de mer. C'est le cas de la mangrove d'Andriambe.
- Des mangroves d'arrière cordon dunaire qui se trouvent donc derrière un long cordon dunaire et qui sont alimentées quotidiennement par la marée haute. C'est le cas de la mangrove d'Ambondrolava.

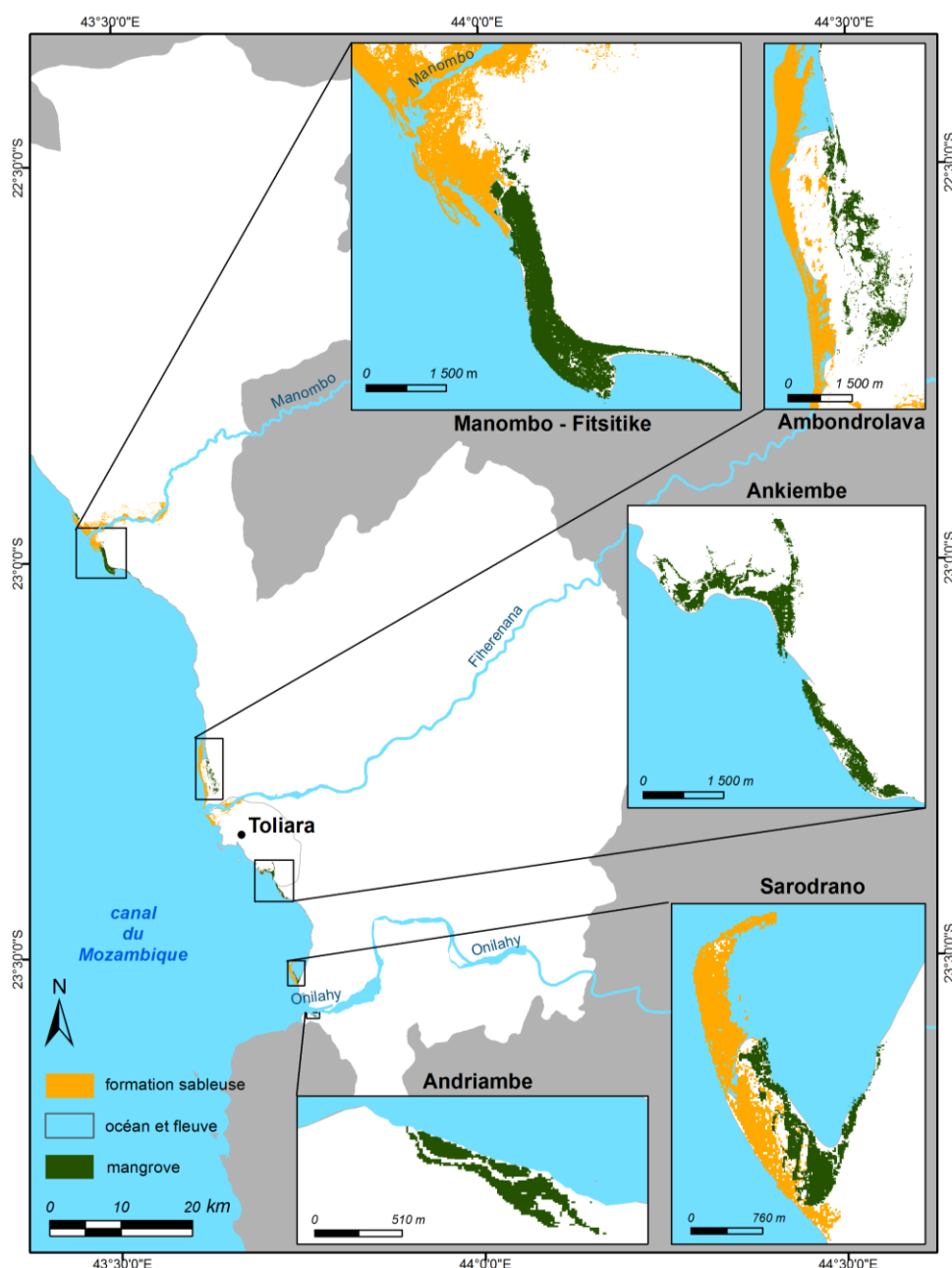


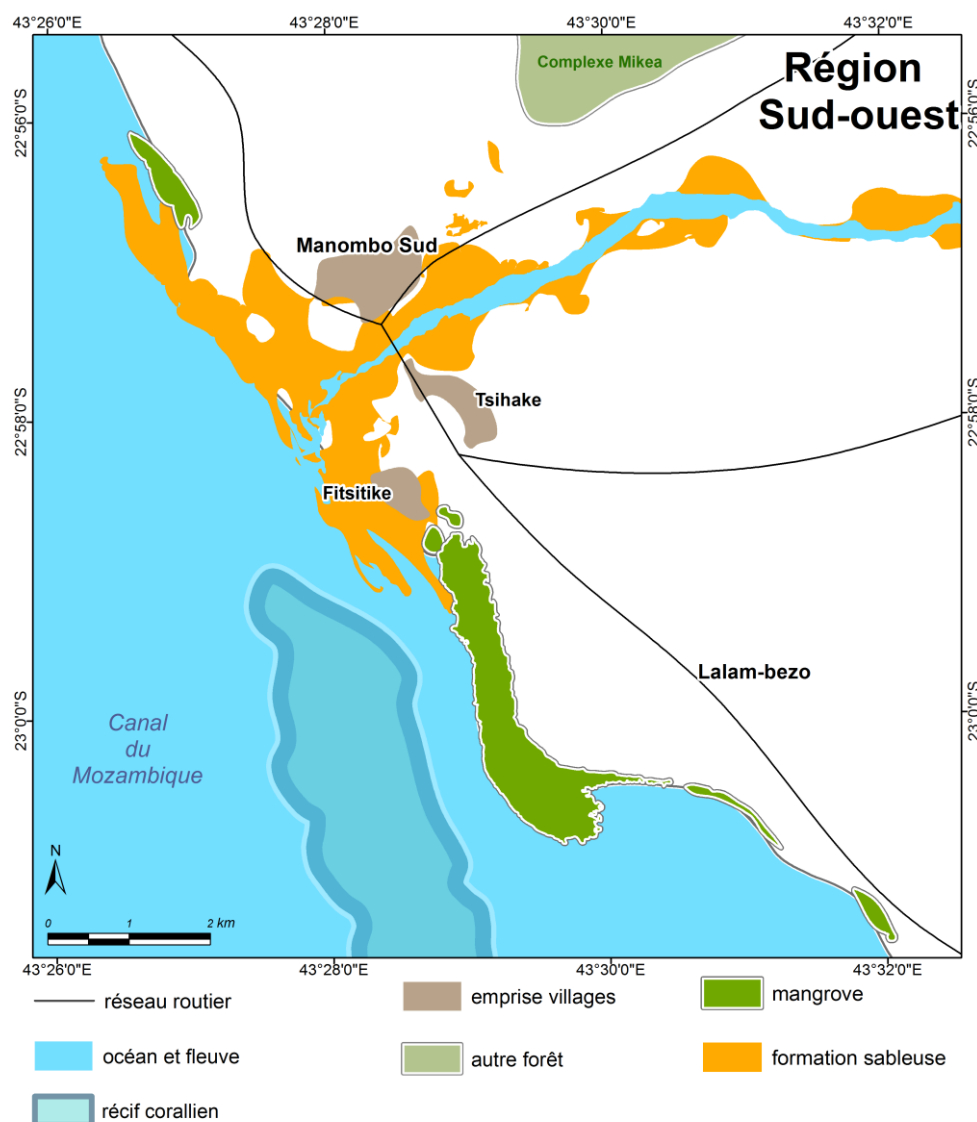
Figure 4 : Carte de localisation des sites d'étude (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)

II.1. Le site de Manombo-Fitsitike

La mangrove de Manombo-Fitsitike (Coordonnées fuseau UTM 38S : 345150 m E, 7455160 m S) est située à environ 47 km au nord de la ville de Toliara à laquelle elle est reliée par la Route Nationale N°9 et la déviation « Lalam-bezo » à Ambolomailaky (Figure 5). Du point de vue administratif, la zone d'étude est rattachée à la Commune Rurale de Manombo Sud, District de Toliara II, de la Région Atsimo-Andrefana. La forêt de palétuviers s'étend sur environ 10 km le long du canal de Mozambique en un long appendice protégé par un récif, au sud de l'embouchure du petit fleuve intermittent Manombo. Elle est limitée à l'est par un

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

ancien édifice deltaïque ou dune d'arrière mangrove, une dépression interdunaire, et au sud par une petite tanne et des fourrés xérophiles épineux. Elle est considérée comme l'une des plus remarquables mangroves de la région selon Lebigre (1990) et Faiyidati (2007), tant par sa surface et son bon état que par la diversité des espèces. Un autre peuplement de palétuviers se localise au nord de l'embouchure du Manombo. Cependant, si nous l'avons incluse dans les traitements d'images, elle n'a pas été investiguée sur le terrain.



**Figure 5 : Le site de Manombo-Fitsitike (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

A proximité de la mangrove de Manombo-Fitsitike se trouvent 3 villages appartenant à la commune rurale de Manombo Sud, District de Toliara II dans la Région du Sud-ouest. Le village de Manombo Sud qui se traduit littéralement par « qui fait prospérer », chef-lieu de la Commune rurale de Manombo Sud, est le seul qui se trouve au nord de l'embouchure

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

du fleuve éponyme (Coordonnées : 343 460 m E, 7 461 000 m S). Autrefois appelé « Ankotsaoke », le nom de Manombo a été attribué à l'ensemble du territoire environnant par deux frères, Retaro et Natana, vigiles du débordement du fleuve durant le règne du roi Lemiriza vers les années 1860 (communication orale de la part d'un habitant). Manombo était alors un territoire relevant des Masikoro (ancienne capitale du royaume masikoro selon Lebigre en 2016), plus précisément du clan des Tsagnala, mais il s'est « vezoisé » au fil du temps. Actuellement, les 2765 villageois sont composés principalement de Vezo ainsi que d'Antandroy, Antanosy, Betsileo, Bara, Masikoro, Makoa, Mahafaly, Tagnalana et Merina qui pratiquent les mêmes activités que les vezo.

Le village de Fitsitike, le plus proche de la mangrove, se situe à l'ouest de la route Lalam-bezo, au sud du fleuve Manombo et sur une flèche sableuse (Coordonnées : 343 800 m E, 7 458 500 m S) (Figure 6). Bien avant sa création, le village était un lieu d'accostage des pêcheurs Vezo nomades avant de rentrer chez eux plus au Sud, du côté de Saint-Augustin. Ils y préparaient les poissons et les transformaient en produits non périssables (fumage, salage, séchage, ...) propres à la consommation et à la commercialisation. Cependant, au fur et à mesure que le temps est passé, ces pêcheurs se sont sédentarisés sur le lieu. A ce jour, les 2398 villageois sont composés principalement de Vezo et de quelques Mahafaly, Tagnalana, Masikoro qui pratiquent les mêmes activités que dans le village de Tsihake (avec la spécificité de la culture des pastèques) et font usage de la mangrove de façon similaire.



**Figure 6 : Le village sur dune de Fitsitike, Manombo
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Enfin, le village de Tsihake signifiant « Tsy-hiaky » qui se traduit littéralement par « n'iront plus en mer à marée basse » se situe au sud du fleuve Manombo et s'étire à l'est le long de la route Lalam-bezo (Coordonnées : 344 500 m E, 7 459 300 m S) (Figure 7). Vers la fin du XIXe siècle, les deux frères Retaro et Natana ont décidé de quitter définitivement le territoire de Manombo, suite aux multiples décès subis par leur famille, puisque selon leur croyance ce territoire ne leur était désormais plus destiné. Plus tard, un pasteur nommé ARSON Joëlsion, parmi les premiers pasteurs Luthériens malgache, a passé outre cette croyance en tant que chrétien. Après ses études en Norvège, Le pasteur ARSON, de retour au pays, en 1954 a eu la décision de quitter définitivement Fitsitike pour migrer et s'installer vers l'intérieur à l'endroit du village de Tsihake actuellement. En effet, dans ce village de Fitsitike, par le déplacement des dunes vives quotidiennement, les parents du pasteur ARSON se reveillaient souvent avec la porte de leur case bloquée par le sable et demandaient aide à chaque fois pour sortir. Tel a été le motif de déménagement de Fitsitiky à Tsihaky Convaincus de la pertinence de la décision du pasteur, certains membres de sa famille de Fitsitiky ont eu le courage de le rejoindre à Tsihake. Mais d'autres y sont restés.

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

et s'est installé du côté de Tsihake après ses études en Norvege. Convaincus de la pertinence de la décision du pasteur, les membres de sa famille qui étaient de Fitsitike ont eu le courage de le rejoindre à Tsihake.

Maintenant, les 1639 villageois originaires du fokontany de Fitsitike sont constitués principalement de Vezo (1260), Masikoro, Mahafaly, Tagnalana et Antandroy qui pratiquent comme activités principales la pêche (anguille, tilapia, crevettes, crabes, autres poissons), le ramassage des potamides genre *Terebralia palustris*, l'agriculture (typha, cannes à sucre) ainsi que l'élevage (bovin, caprin, porcin, avicole). A l'instar de la population des deux autres villages, la satisfaction d'une partie des besoins quotidiens des autochtones dépend des mangroves.



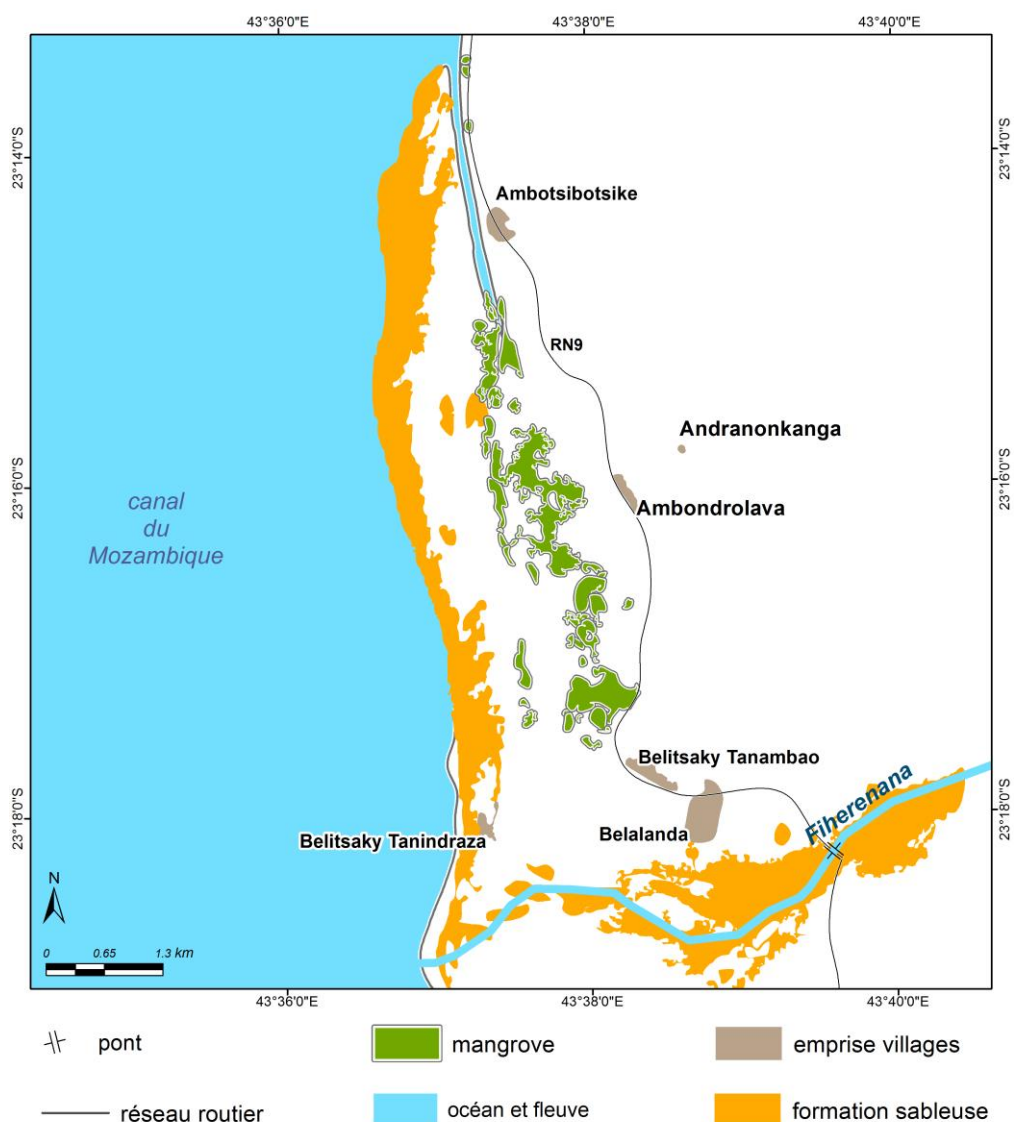
Figure 7 : Le village de Tsihake
(Andriatsiaronandroy, 2018)

II.2. Le site d'Ambondrolava

Géographiquement, le site est situé à environ 10 km au nord de la ville de Toliara. Il est limité au nord par le fokontany d'Ambotsibotsike, au sud par le fokontany de Belalanda, à l'ouest par le Canal de Mozambique, et à l'est par un cordon de dunes littorales, des formations xérophiles épineuses et la Route Nationale N° 9 ou RN9 (Figure 8). Les mangroves d'Ambondrolava ne se trouvent pas en contact direct avec le Canal de Mozambique, mais en

sont séparées par une bande sableuse d'une dizaine de kilomètres de longueur et de plus de 1 km de largeur qui s'étire vers le nord. Cette flèche sableuse progresse en moyenne de 50 m par an, déconnectant ainsi progressivement les mangroves de la mer (Andriatsiaronandroy *et al.*, 2017). Cependant, elles sont alimentées en eau salée depuis le nord, là où la bande sableuse s'interrompt, laissant pénétrer la marée. Il existe aussi une alimentation indirecte en eau douce de cette zone depuis une annexe hydraulique du fleuve de Fiherena au sud. Des salines sont installées dans la partie nord de la mangrove et des zones de culture sont concentrées au sud, tout le long et aux alentours de l'embouchure de Fiherena à proximité des villages cités ci-dessous.

Comme la plupart des populations vivant sur le littoral, la satisfaction de leurs besoins quotidiens dépend pour une grande partie des palétuviers tels que les espèces *Avicennia marina* et *Rhizophora mucronata* associé à des espèces *Typha angustifolia*, *Cyperus papyrus*, *Scirpus pterolepsis* et *Phragmites australis* pour la fabrication des cases d'habitation ainsi que pour le bétail.



**Figure 8 : Le site d'Ambondrolava (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

La mangrove d'Ambondrolava est le site qui comporte le plus grand nombre de villages à sa proximité : ils sont au nombre de 6 et relèvent de la commune rurale de Belalanda, District de Toliara II dans la Région du Sud-ouest.

Le village d'Ambotsibotsike dont le nom du vient du mot « *Botsibotsike* » ou « *Famata* » ou autrement *Euphorbia stenoclada*. En longeant la RN9, il se trouve beaucoup plus au nord de la mangrove d'Ambondrolava (Coordonnées : 359 260 m E, 7 429 080 m S). Les 1054 villageois sont originaires du fokontany de Belitsaky Tanindraza et se sont installés ici suite au débordement du lit du fleuve Fiherena. A ce jour, ils sont composés de Vezo et de Masikoro dont les activités principales restent la pêche (crevettes, crabes, poissons), le ramassage des potamides du genre *Terebralia palustris*, l'agriculture (maïs, manioc, patate douce, citrouille) ainsi que l'élevage (zébus, chèvres, porcs, poules).

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

Le village d'Ambondrolava se trouve plus au sud d'Ambotsibotsike en longeant aussi la RN9. Le village est le plus proche de la mangrove (Coordonnées : 360 533 m E, 7 426 258 m S) d'où son nom. Les villageois se composent de Masikoro, Mahafaly, Antandroy, Tagnalana et de Betsileo qui sont principalement pêcheurs, agriculteurs (manioc, patate douce, cornille) ainsi qu'éleveurs. Auparavant, ils se servaient des mangroves pour produire du charbon, mais depuis l'installation de l'association « Honko » littéralement « Mangrove » dans ce village pour travailler avec la population locale à la protection et la restauration de la mangrove de la zone, ils s'en sont abstenus. Quant au village d'Andranonakanga qui se traduit littéralement « lieu d'abreuvoir des pintades », il se trouve à 1 km environ à l'est de la RN9 (361 233 m E, 7 426 700 m S) (Figure 9). Les villageois, composés uniquement d'Antandroy qui ne pratiquent pas la pêche, sont originaires du fokontany d'Ambondrolava et se sont installés ici afin de faciliter leur accès à la terre ferme. Toutefois, ils ont comme activités principales l'agriculture et l'élevage. Dans la mesure où sa position s'avère être éloignée de la mangrove d'Ambondrolava, les habitants de ce village n'utilisent pas la mangrove, et se sont tournés vers le fourré pour leurs besoins en bois.



**Figure 9 : Le village d'Andranonakanga
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Le village de Belitsaky Tanindraza (Coordonnées : 359 036 m E, 7 422 458 m S) se distingue des autres par le fait qu'il est le plus proche du Canal de Mozambique (Figure 10), près de l'embouchure du Fiherena, au sud de la mangrove d'Ambondrolava. Originaires de la

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

commune de Saint-Augustin, les villageois se sont implantés ici afin de faciliter leur accès à la mer. A ce jour, ils sont composés principalement de Vezo qui s'adonne avant tout à la pêche et à l'agriculture.



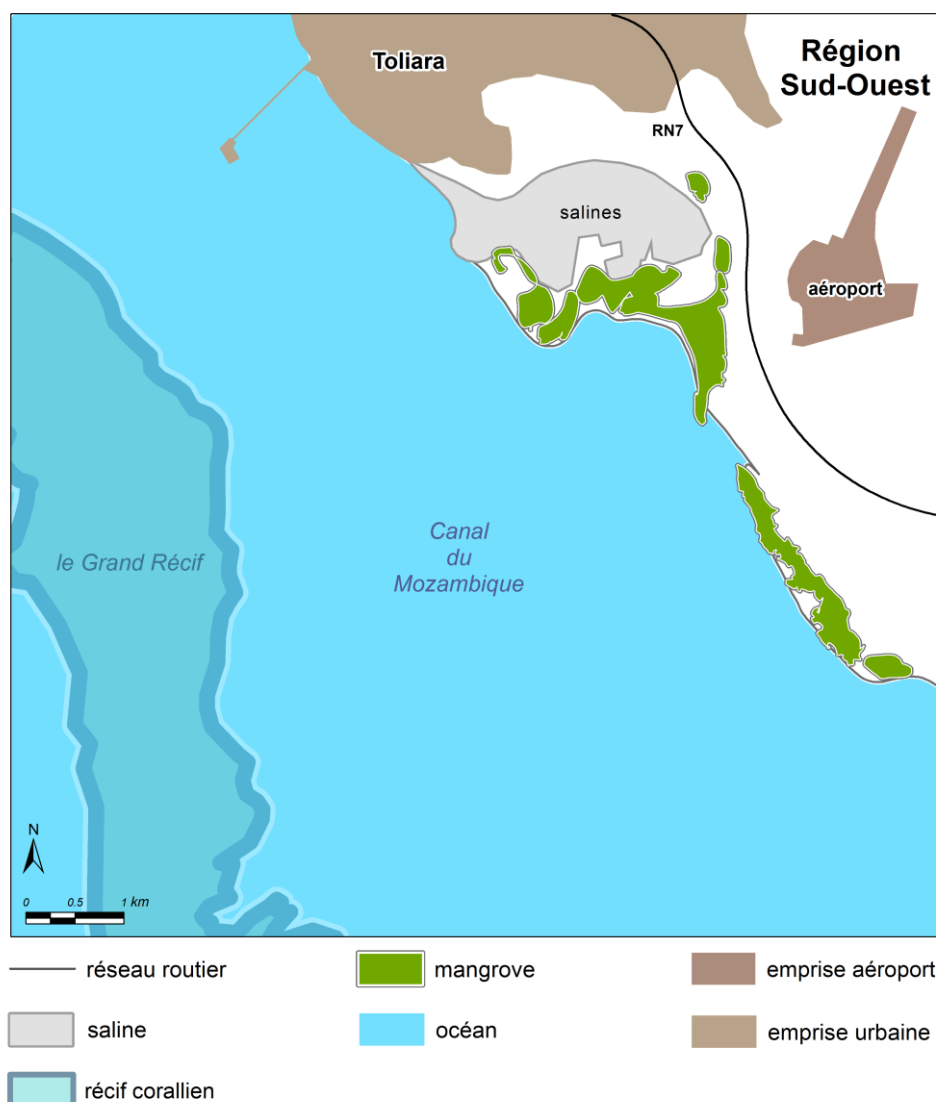
**Figure 10 : Le village de Belitsaky Tanindrazana
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Le village de Belitsaky Tanambao (Coordonnées : 360 730 m E, 7 423 072 m S) se trouve à mi-chemin entre Ambondrolava et Belalanda. Les 363 villageois qui y vivent sont originaires de la commune de Belitsaky Tanindrazana. Ils se sont installés ici suite au débordement du lit du fleuve Fiherena en 1978 suite au passage du cyclone Angèle. Les villageois, principalement constitués de Vezo ainsi que de Tagnalana, Masikoro, et Mahafaly, pratiquent comme activités principales la pêche et l'agriculture.

Enfin, le village de Belalanda (Coordonnées : 361 552 m E, 7 422 765 m S), chef-lieu de la Commune Rurale de même nom, se situe à l'extrême sud de la mangrove d'Ambondrolava. Il est le plus éloigné de la mangrove d'Ambondrolava. Habité depuis 1834 par des Vezo en provenance de la commune de Saint Augustin, les 4733 villageois sont aujourd'hui composés principalement de Vezo, de Masikoro ainsi que de Tagnalana, Antandroy et Merina qui pratiquent toutes les activités de pêche, de l'agriculture ainsi que de l'élevage (zébus, porcs).

II.3. Le site d'Ankiembe

La mangrove d'Ankiembe se trouve en situation périurbaine au sud de la ville de Toliara, District de Toliara I, Région du Sud-ouest de Madagascar et est soumise à une forte charge démographique, 327 184 habitants en 2015 (INSTAT, 2016). Elle est limitée au nord par une mosaïque de salines et la ville de Toliara, à l'Est par la Route Nationale N° 7, des fourrés et des sables végétalisés, à l'ouest et au sud par le Canal de Mozambique. Elle a la particularité de ne pas être directement alimentée par un fleuve comme la plupart des autres mangroves de la région de Toliara. Par contre, elle est encadrée à une vingtaine de kilomètres par l'embouchure du Fiherena au nord et celle de l'Onilahy au sud. Les mangroves épousent la forme de la côte où elles se développent, et sont protégées par « le grand récif » corallien de Toliara contre les vagues et les houles qui favorisent le dépôt des vases (Figure 11). Comme la plupart des populations qui vivent sur le littoral, la satisfaction d'une partie de leurs besoins quotidiens dépend des mangroves.



**Figure 11 : Le site d'Ankiembe (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

Sur les 41 fokontany regroupés en six arrondissements de la Commune Urbaine de Toliara, quatre fokontany (successifs de la mer vers la terre ferme) sont limitrophes de la mangrove d'Ankiembe, notamment : Ankiembe bas, Ankiembe haut, Mahavatse I Ouest et Tanambao Motombe. Il est à noter que les deux premiers fokontany subissent des inondations pendant la saison des pluies et le niveau des eaux dans ces zones atteint alors une hauteur de 1,20 à 1,25m (Cellule de prévention et gestion des urgences ou CPGU, Primature de Madagascar, 2012).

Le premier, Ankiembe bas (364 911 m E, 7 414 368 m S) se situe au nord de la mangrove d'Ankiembe du côté de la mer. Il a été créé par des personnes originaires d'Anakao, Salary et Sarodrano. Les 5226 habitants, composés principalement de Vezo, pratiquent principalement la pêche traditionnelle et la vente des concombres de mer.

Ankiembe haut (365 115 m E, 7 414 890 m S) qui se situe aussi au nord de la mangrove d'Ankiembe, a été créé par des personnes originaires d'Anatsono qui se sont installées ici afin de trouver une vie meilleure. Les 4292 habitants sont constitués principalement des Vezo qui pratiquent la pêche, la saliculture ainsi que l'élevage.

Ensuite, le fokontany de Mahavatsy I Ouest (365 957 m E, 7 414 726 m S) (ce terme désigne les gens qui ont la volonté de se déplacer) avec ses 7812 habitants et celui de Tanambao Motombe (366 739 m E, 7 414 998 m S) (ce terme désigne un terrain vague où un nouveau village a été construit) le plus peuplé des quatre avec ses 10404 habitants, ont une population plus cosmopolite que les deux autres, aux activités plus variées. Cela est dû à la proximité de la RN7 et de la ville de Toliara, pourvoyant des emplois divers.

II.4. Les sites de l'embouchure de l'Onilahy

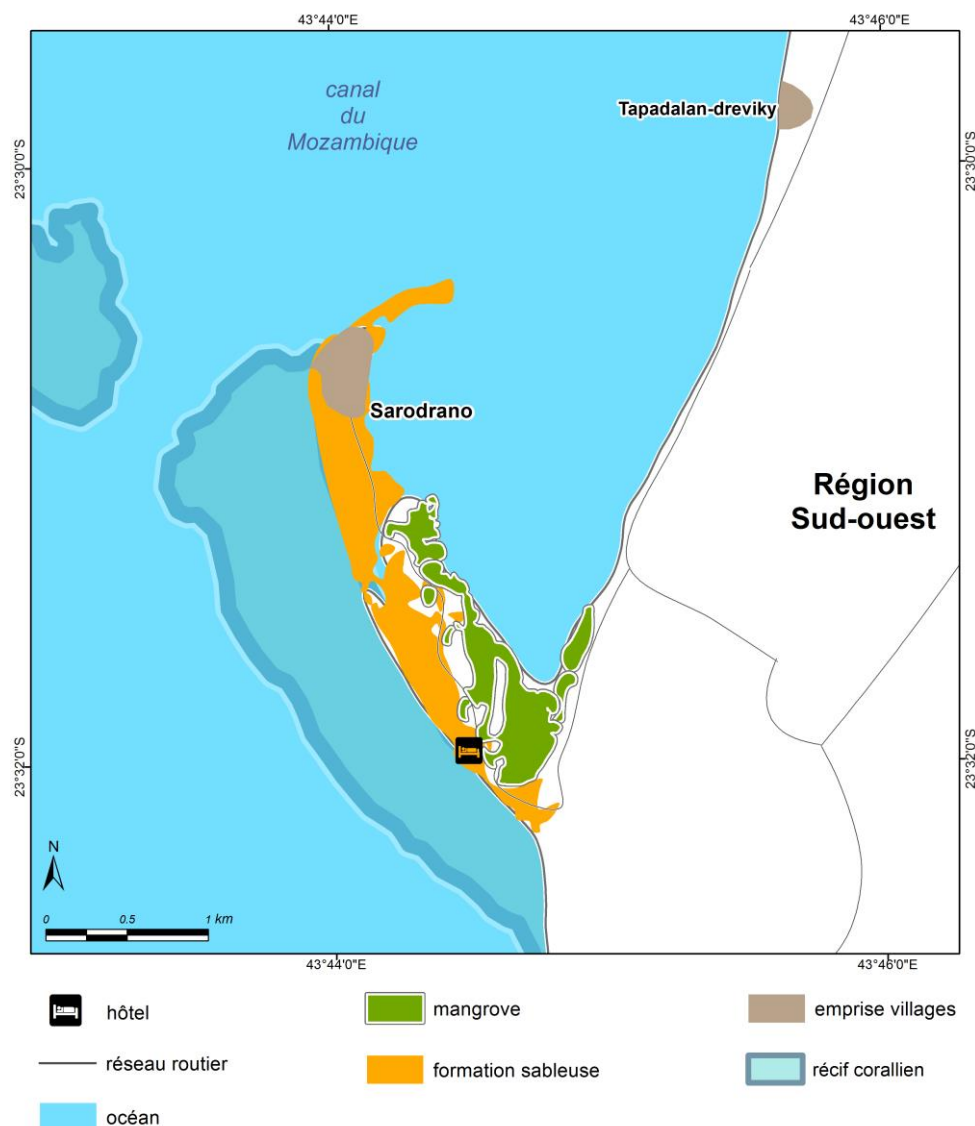
Les sites de Sarodrano (Coordonnées : 371 890 m E, 7 397 037 m S) et d'Andriambe (Coordonnées : 373 972 m E, 7 392 394 m S) font partie des mangroves de l'embouchure du fleuve Onilahy, située à environ 25 km au sud de la ville de Toliara, dans la commune rurale de Saint-Augustin, district de Toliara II et région du Sud-ouest. La zone est composée de 2 sites bien distincts par rapport à leur position vis-à-vis du fleuve Onilahy : Andriambe et Sarodrano.

II.4.1 Le site de Sarodrano

Sarodrano qui signifie « où il est difficile de trouver de l'eau potable », se trouve dans la Commune Rurale de Saint-Augustin au sud de la ville de Toliara (suivre la Route Nationale N°7, emprunter la déviation à Ankilimarovahatsy et prendre la route « Tsinjoriake » jusqu'à Sarodrano) (Figure 12). Située au nord de l'embouchure du fleuve Onilahy, la mangrove de Sarodrano se développe dans une baie protégée entre la flèche de sable de Sarodrano à l'ouest et des falaises calcaires à l'est. Par contre, les mangroves y sont soumises à l'ensablement par la partie sud, à l'envasement dans leur partie nord en front de mer et surtout à des pressions anthropiques dues à l'accroissement démographique et à la pauvreté. Même si l'arrivée d'eau douce depuis l'Onilahy dans la zone est empêchée par la flèche de sable de Sarodrano, l'existence de résurgences d'eau douce au pied des falaises alimente abondamment les palétuviers, et fait la particularité de ce site (Battistini, 1995). Depuis 2008, les villageois de la commune de Saint-Augustin ont créé une association baptisée « TAMIA »

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

ou Tahosoa Alandriake Mitambatse lanantsono Andatabo œuvrant pour la protection, la conservation et la restauration des palétuviers. Pour appuyer les activités de cette dernière, le WWF, le Service d'Appui pour la Gestion de l'Environnement (SAGE) et Madagascar National Parks (MNP) ont financé l'Association Projecteur (association des doctorants de la Faculté des Sciences) pour la plantation des palétuviers entre 2010 et 2011 dans cette zone.



**Figure 12 : Le site de Sarodrano (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

A proximité de la mangrove de Sarodrano existent 2 villages appartenant à la commune rurale de Saint-Augustin, district de Toliara II, Région du Sud-ouest.

Le village de Tapadalan-dreviky se situe en haut de falaise, au nord de la mangrove de Sarodrano (Coordonnées : 373 492 m E, 7 400 865 m S), le long de la route qui mène vers Saint-Augustin. Il a été créé vers l'année 2000 par des gens en provenance de Manoroky

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

(village en amont de l'Onilahy). Les 200 villageois sont composés essentiellement de Tagnalana. Ils pratiquent en tant qu'activités principales la pêche, l'algoculture (depuis 3 ans), le ramassage et la vente de bois morts (dans le fourré) pour les femmes.

Les 1672 habitants de Sarodrano (Chef de village, 2016) se sont installés sur la flèche sableuse de Sarodrano (Figure 13) qui constitue un des plus anciens sites d'occupation humaine connu de Madagascar selon Battistini (1995), même si personne ne connaît la date exacte de cette occupation selon notre enquête.



**Figure 13 : Le village de Sarodrano
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Les mythes de fondation locale indiquent que les premiers habitants du village de Sarodrano seraient arrivés depuis la période précoloniale en cherchant un meilleur endroit pour vivre. Ce sont les descendants d'un ancêtre nommé "Larantsy", un Masikoro originaire de la rive sud de l'Onilahy qui s'était marié avec une Vezo originaire de la partie nord. Les Vezo, Masikoro et Tagnalana qui occupent ce village sont principalement pêcheurs (anguilles, tilapia, crevettes, crabes, autres poissons) et pratiquent aussi l'algoculture. Ils migrent au fur et à mesure de l'allongement de la flèche sableuse pour se concentrer à sa pointe (Coordonnées : 370 841 m E, 7 399 563 m S). Actuellement, des opérateurs économiques européens se sont également installés à l'extrême sud de la flèche (Figure 14).

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

Dans la mesure où les mangroves de Sarodrano font partie d'un programme de conservation et de protection depuis 2009, alors les villageois achètent du bois du côté de Tapadalan-dreviky.



Figure 14 : Une installation hôtelière à l'extrême sud de la flèche de Sarodrano (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.4.2 Le site d'Andriambe

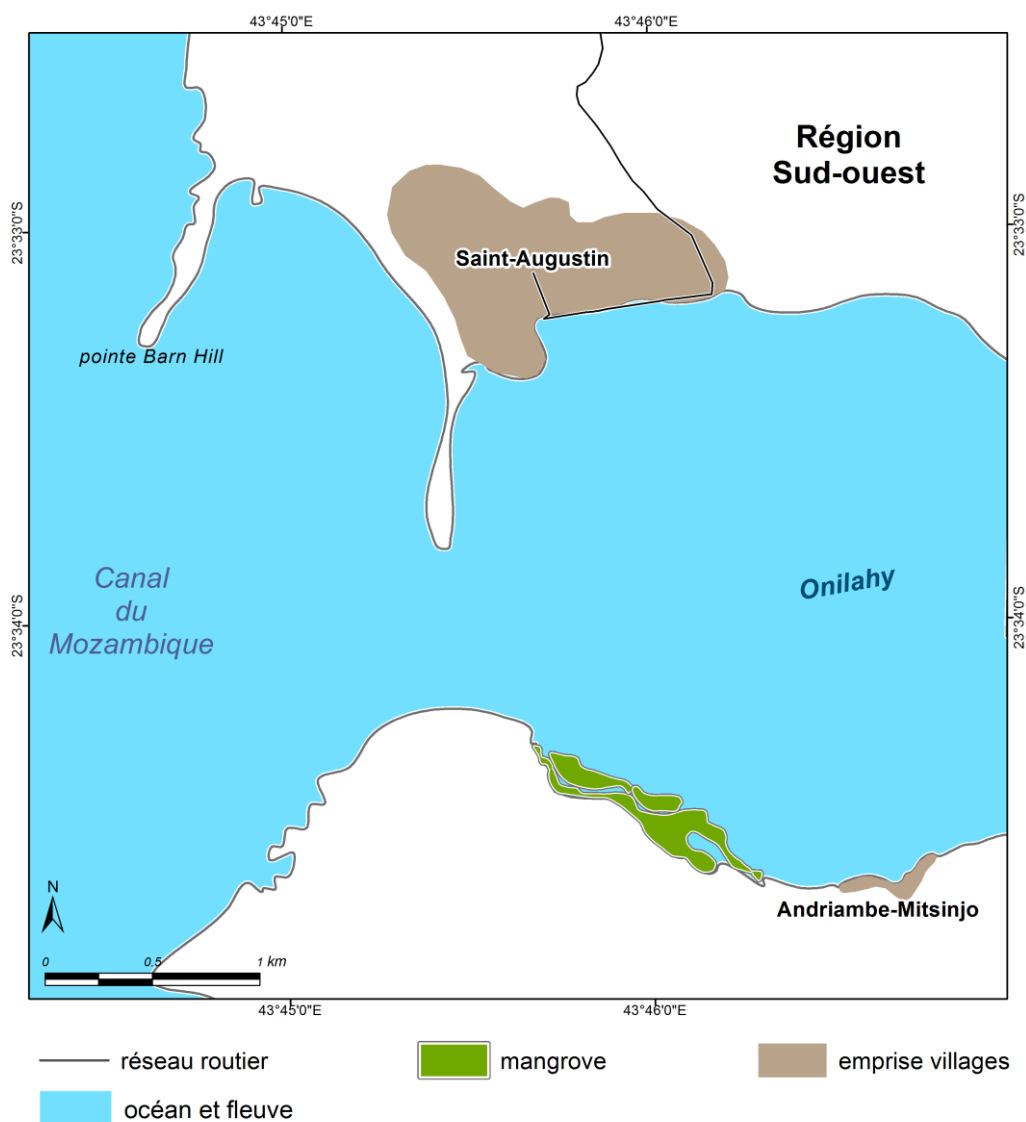
Le site est situé à l'intérieur même de l'embouchure du fleuve Onilahy. La mangrove y est caractérisée par l'abondance de *Xylocarpus granatum* et elle est soumise régulièrement aux crues de l'Onilahy et à l'érosion, ce qui lui fait une zone hyper dynamique (Figure 15). C'est l'une des rares mangroves à contenir cette espèce qui y est d'ailleurs dominante, probablement en raison des niveaux élevés d'apport d'eau douce par le fleuve, de son caractère estuarien ainsi que de la corrélation positive entre la densité de *Xylocarpus* et la salinité (Woods-Ballard *et al.*, 2003). La présence des espèces *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Lumnitzera racemosa* et *Sonneratia alba* est également notée dans cette zone.

A l'exemple de la plupart des populations qui vivent sur le littoral, la satisfaction d'une partie de leurs besoins quotidiens dépend des mangroves. Cependant, depuis la

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

création en 2008 de l'association TAMIA ou Tahosoa Alandriake Mitambatse lanantsono Andatabo cette pratique a été délaissée.

Le site est aussi caractérisé notamment par l'étroitesse de la mangrove, limitée au sud par des falaises calcaires, localisées à environ 2 km à l'ouest du village d'Andriambe Mitsinjo et au sud de l'Onilahy.



**Figure 15 : Le site d'Andriambe (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

A proximité de la mangrove d'Andriambe existent 2 villages appartenant à la commune rurale de Saint-Augustin, District de Toliara II dans la Région du Sud-ouest. Le village de Saint-Augustin (Coordonnées : 373 705 m E, 7 394 637 m S) ou lanatsono, situé au nord de l'embouchure de l'Onilahy, est le chef-lieu de la Commune Rurale (Figure 16). Il a été créé vers 1595 suite à l'arrivée du navire hollandais de l'Amiral Cornelis de Houtman qui

PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

s'y est installé à la recherche d'un nouveau territoire. Les 15 030 villageois sont aujourd'hui composés principalement de Vezo en tant que pêcheurs (anguilles, tilapia, crevettes, crabes, autres poissons), agriculteurs (patate douce, manioc, maïs), éleveurs (zébus et porcs) et mareyeurs de poissons.



**Figure 16 : Le village de Saint-Augustin
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Le village d'Andriambe Mitsinjo (Coordonnées : 375 270 m E, 7 391 990 m S) se situe au sud de l'embouchure de l'Onilahy. Il a été créé vers l'année 2000, après le passage du cyclone Gafilo, par des populations qui proviennent de Lavenombato, suite à la dévastation et l'inondation de leur village. Les 500 villageois sont composés principalement de Vezo et de Masikoro, qui pratiquent la pêche, l'agriculture le long de l'Onilahy et l'élevage caprin dans le fourré.

Ce chapitre a permis de bien localiser les différents sites et d'en cerner la question administrative. Un des constats qui se dégage concerne la domination de l'ethnie vezo dans la plupart des villages à proximité des mangroves. Bien évidemment, la pêche est l'emploi de prédilection des autochtones. Quant aux membres des autres ethnies vivant dans la région telles que les Masikoro, les Antandroy..., ce sont des agropasteurs malgré l'irrégularité et la



PREMIÈRE PARTIE – Le cadre géographique de l'étude

faiblesse des précipitations dans la région. Néanmoins, confronté aux vols et aux maladies, l'élevage perd de plus en plus de terrain au profit de l'agriculture.

Chapitre III. La méthodologie

La spatialisation, la caractérisation des mangroves et le suivi de leur dynamique d'évolution ont été réalisés à partir de travaux de terrain couplés à la géomatique, à la fois télédétection et SIG.

Ce chapitre exposant la méthodologie adoptée est subdivisé en deux sous chapitres bien distincts correspondant à cette double approche. Cette dernière est rendue nécessaire non seulement par la difficulté d'accès aux milieux de mangroves, mais aussi par la nécessité de valider systématiquement les résultats obtenus à partir d'images satellites.

Le premier sous chapitre mettra le point sur l'importance des travaux sur terrain (inventaire floristique, mesures et analyses physico-chimiques, analyse des substrats et enquêtes), puisque la cartographie des milieux naturels par télédétection nécessite des vérifications sur terrain (Spalding *et al.*, 1997a; Zhou, 2012a). Ces travaux et vérifications sur terrain répondent à un double objectif, pour accumuler des informations de terrain précises dans l'optique d'alimenter des bases de données botaniques et phénologiques (Rasolofoharinoro *et al.*, 1998) ou même spectrales (Taureau, 2017), et pour permettre de vérifier la qualité et la pertinence des informations extraites des images satellites avant extrapolation (Zhou, 2012a). Ensuite, le deuxième sous chapitre s'articule et se focalise en détail sur les deux approches bien distinctes mais surtout complémentaires, à savoir l'approche par télédétection et l'approche par SIG, étant donné que les techniques de télédétection sont indispensables pour étudier les écosystèmes du monde et particulièrement appropriées pour les évaluer car ils sont souvent inaccessibles, (Giri *et al.*, 2011, Kuenzer *et al.*, 2011, Heumann, 2011; Fatoyinbo et Simard, 2013 ; Carney *et al.*, 2014).

III.1. L'importance des travaux de terrain

En tant que botaniste géographe, il était avant tout pour moi essentiel de connaître la réalité du terrain, d'avoir un contact direct avec l'écosystème. En effet, les lectures relatives à la bibliographie sur les mangroves, m'ont montré que dans la grande majorité des travaux, c'est l'ensemble de cette partie des travaux de terrain au cœur même de l'écosystème qui manque ou qui s'avère insuffisant lorsque les investigations terrain se contentent d'aborder la périphérie des mangroves. Il m'a donc paru indispensable de mettre en œuvre des investigations de terrain aussi poussées et aussi exhaustives que possibles. Si

ces approches de terrain donnent, il me semble, un caractère unique à ce travail, il me faut préciser, qu'elles se sont aussi heurtées à de nombreuses difficultés pratiques et méthodologiques. Bien évidemment, les recherches sur le terrain offrent une information abondante et indispensable, mais s'extirper des racines échasses et patauger dans la vase se sont révélés plus difficiles à réaliser, surtout dans le cas des mangroves (Green *et al.*, 1997, Satyanarayana *et al.*, 2001). Il est extrêmement difficile de pénétrer dans les milieux de mangrove, et de mener l'inventaire sur le terrain qui s'avère une opération à la fois longue et coûteuse (Giri *et al.*, 2007).

Ce volet méthodologique des activités sur terrain dans la mangrove a été basé sur des inventaires floristiques et des prélèvements d'eau et de sols associés à des analyses physico-chimiques et granulométriques. En périphérie des mangroves, ce terrain a été associé à des enquêtes et entretiens individuels et/ou collectifs auprès des différents acteurs et usagers des mangroves, de manière à dégager leurs différents usages, mais également à éclairer les dimensions identitaire et sensible des paysages ainsi que les enjeux de conservation.

Au-delà des aspects pratiques de difficulté d'investigation à l'intérieur des forêts de palétuviers, d'autres adaptations particulières ont été nécessaires afin de pouvoir réaliser l'ensemble des objectifs de terrain, notamment d'ordre sécuritaire (il fallait être sur site seulement après le lever du soleil et partir avant son coucher pour éviter les dahalo) et logistique (il fallait se servir de véhicules tout terrain ou d'une pirogue pour accéder aux sites) (Figure 17).

Quatre campagnes de terrain ont été nécessaires pour réaliser ces inventaires et enquêtes : de novembre 2013 à janvier 2014, de juin à septembre 2014, de mai à juillet 2015 et la dernière d'avril à juin 2016.



Figure 17 : Adaptation particulière lors de l'investigation de terrain (utilisation d'un véhicule tout-terrain)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

III.1.1 L'inventaire floristique

Avant de procéder à l'inventaire floristique sur le terrain, une photo-interprétation fine des images récentes de Google Earth, associée à l'analyse de classifications non supervisées d'images satellites SPOT de 2012 (dont la méthodologie sera présentée plus loin) a été indispensable. Cette étape a permis de bien orienter la campagne de terrain et de définir les différents transects pour chacun des sites d'investigation, afin qu'ils soient représentatifs des différents ensembles composant les mangroves, notamment selon l'homogénéité et/ou l'hétérogénéité et la densité des peuplements, de premières hypothèses sur les espèces présentes ou la largeur des peuplements.

Au cours des deux premières campagnes de terrain ont été caractérisées les formations végétales de mangrove et les écosystèmes associés. Étant donné la distribution de la végétation en ceintures successives de l'eau libre vers la terre ferme, une méthode d'échantillonnage systématiquement axée sur des transects perpendiculaires à la mer ou au fleuve a été adoptée, et s'étendant jusqu'aux écosystèmes d'arrière mangrove ou aux falaises. Bien que les transects soient parfois longs, l'utilisation de cette méthode d'échantillonnage sur le terrain a permis d'avoir une plus grande précision en matière d'acquisition de données et d'inventaires et de ne pas léser les zones intermédiaires.

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

Plusieurs transects ont été réalisés pour chaque site : quatre pour Manombo-Fitsitike, quatre pour Ambondrolava, cinq pour Ankiembe, cinq pour Sarodrano et trois pour Andriambe (Figure 18).

A noter que les pourcentages d'individus par espèces issus des transects ne représentent pas forcément toujours bien la réalité de l'ensemble des peuplements où ils se localisent, et que certains sites montrent des divergences entre les statistiques issues des transects et celles issues des traitements d'images couvrant la totalité des surfaces de mangrove.

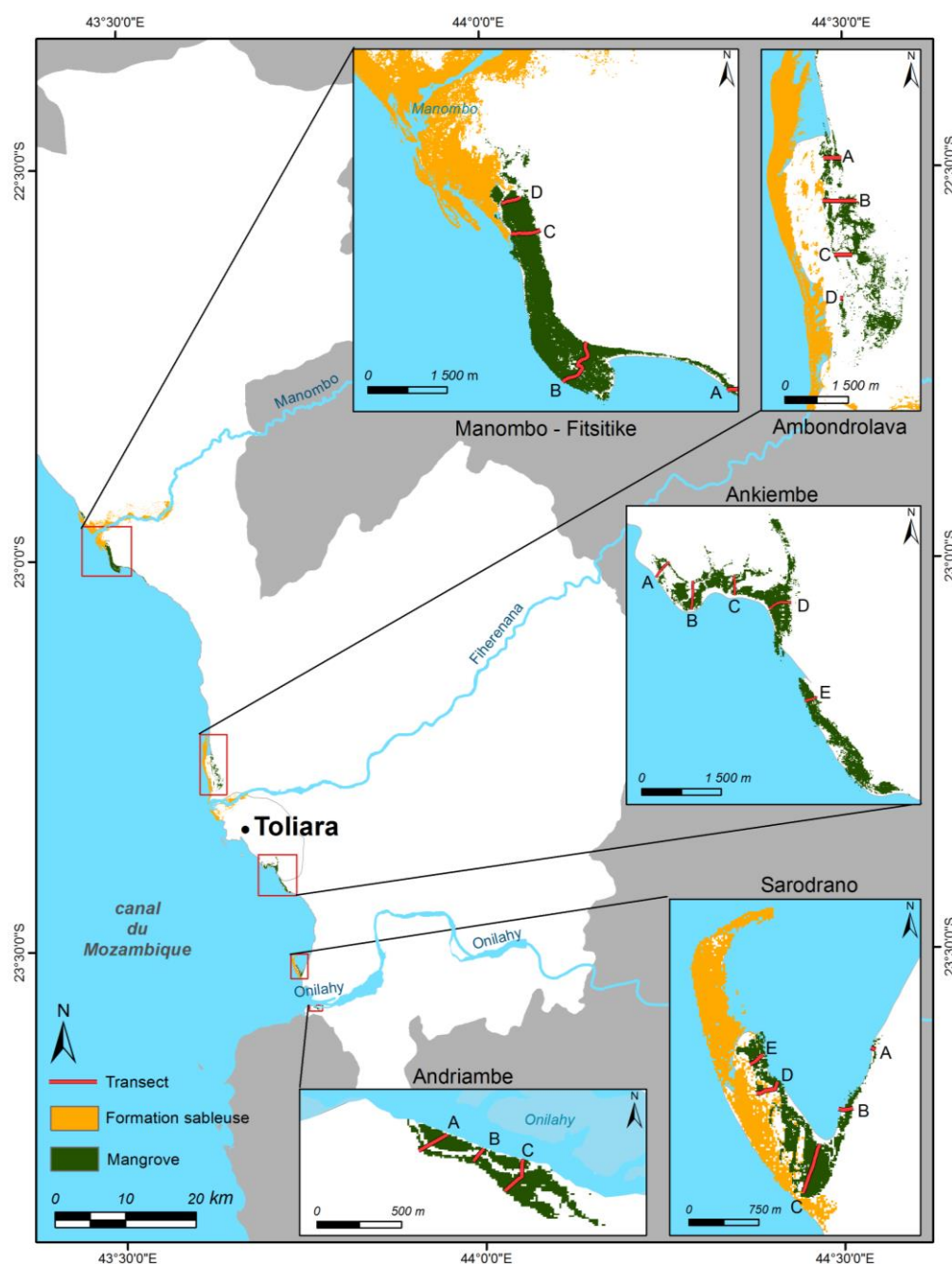


Figure 18 : La carte de localisation des transects dans les sites d'étude (Sources : BD 500 et Spot Image) (Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)

Le point de départ de chaque transect a été repéré par ses coordonnées géographiques récupérées sur Google Earth à l'aide d'un GPS (Garmin eTrex Vista C). Le transect a ensuite été réalisé en se repérant à l'aide d'une boussole pour la direction générale, et des pointages avec le GPS dès qu'un signal était disponible. Les tracés des transects effectivement réalisés étaient parfois assez différents de ceux définis à partir des images en raison de la difficulté de garder le signal GPS sous le couvert très dense des palétuviers.

Placés bout à bout, ces 21 transects ont pour longueur 8 km environ, lesquels sont subdivisés en 800 blocs ou placeaux (dont 659 blocs caractérisés par la présence de palétuviers). Les transects sont placés en bandes continues de 5 m de large et 10 m de long. Les coordonnées géographiques ont été relevées tous les 5 blocs à l'aide d'un GPS (avec parfois les difficultés évoquées précédemment). A cet effet, une corde de 60 m de longueur est utilisée, et il faut en réserver 5 m au début et à la fin, et la nouer tous les 10 mètres correspondant à chaque bloc (Figure 19).

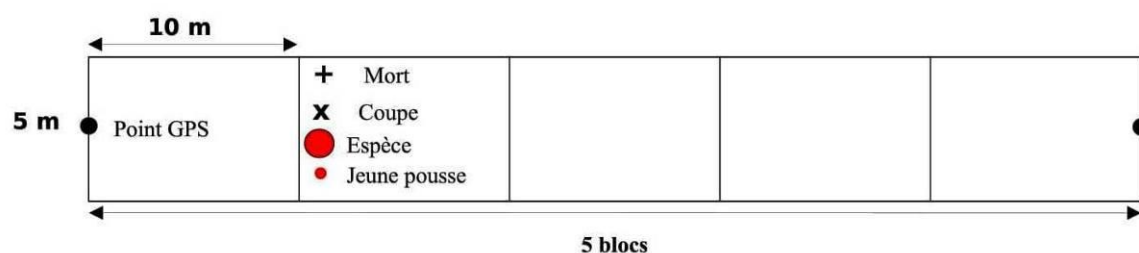


Figure 19 : Une représentation d'un transect de 5 blocs
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Dans chaque bloc, ont été inventoriés tous les individus présents avec leur espèce, leur diamètre à hauteur de poitrine (dhp) avec un pied à coulisse ou compas forestier, les jeunes pousses, définies comme les individus de moins 1 m de hauteur (à noter qu'avec une bonne condition biophysique, les palétuviers peuvent atteindre 5 mètres en deux ans) et ayant un dhp < 1 cm, le nombre d'individus morts par coupe et mort sur pieds par sénescence à partir de 70 ans (Jiménez *et al.*, 1985 ; Fromard *et al.*, 1998; Leopold, 2012) ainsi que la hauteur dominante d'un individu dans un bloc. Des photographies illustratives ont été prises systématiquement pour chaque bloc.

Ce travail de terrain a été réalisé avec le concours d'un agent forestier, d'un guide membre de la VOI (Vondron'Olona Ifotony) ou COBA (COmmunauté locale de BAse) pour

chaque site et un étudiant en licence de biodiversité, chacun ayant une tâche spécifique assignée à réaliser de concert.

III.1.1.1 L'état de santé en général - Structure démographique

L'indice de végétation (NDVI), qui sera présenté plus loin, a permis de déterminer la densité et par conséquent de connaître l'état de santé en général des formations végétales, notamment d'un peuplement de palétuviers. Mais avant tout, sur le terrain, la structure démographique des palétuviers permet de juger le bon état de santé des mangroves. Elle peut être estimée à partir d'un graphe sous forme d'histogramme représentant les effectifs des classes de diamètre. Dans notre cas, 4 classes de diamètre ont été prises en compte pour la structure démographique et elles sont les suivantes : 1-10 cm; 10-21 cm; 21-36 cm; > 36 cm.

Une courbe par site a été établie à partir de ces classes ; si la courbe est en forme de lettre J inversée, ceci indique que la régénération est bonne et le peuplement en bonne santé et dans le cas contraire ceci traduit la présence d'une perturbation au sein de la population.

A noter que l'on estime qu'il y a perturbation de la régénération s'il manque une ou plusieurs classes de diamètres.

III.1.2 Les mesures et analyses physico-chimiques

Avec la contribution d'Aurélia Mouret (Laboratoire de Planétologie et Géodynamique-BIAF de l'Université d'Angers), des études physico-chimiques de l'eau de surface et/ou en profondeur ont été réalisées sur 66 échantillons généralement le long des transects mais aussi dans les herbiers marins, dans les chenaux, dans les dépressions interdunaires, dans les marais et à proximité des résurgences. Habituellement, le prélèvement de l'échantillon a été fait à marée basse : à partir des flaques pour l'eau de surface (si c'est possible), à partir d'un trou d'une cinquantaine de centimètres de profondeur creusé par le biais d'une tarière manuelle et exfiltré à l'aide d'une seringue, une fois le trou bien rempli.

Cependant les résultats des mesures et analyses ne sont pas exploitables de manière systématique dans ce travail, car les échantillons prélevés une seule fois ne sont pas représentatifs de ces milieux changeants selon la marée ou la saison. Par exemple, la salinité

peut varier suite à une forte pluie ou une hausse de température. De même pour le phosphore dont la teneur peut augmenter à cause de l'utilisation des engrais chimiques en amont. Néanmoins, ces données qui donnent des indications générales, ont été utilisées pour caractériser et différencier les types de mangroves par exemple.

III.1.2.1 Les mesures et analyses de la Salinité et du pH

D'une année à l'autre, d'une saison à l'autre, d'une heure à l'autre, la salinité et le pH du sol peuvent varier en lien avec le régime hydrique des marées et l'influence des pluies. Les valeurs de salinité et pH issues des mesures effectuées lors de cette étude ne sont donc pas représentatives des conditions moyennes, mais reflètent l'état à un moment donné, celui du prélèvement réalisé. Néanmoins, ces conclusions donnent des indications et des clés de compréhension de l'organisation en général des palétuviers, les préférences d'une espèce, l'apport des résurgences et des chenaux d'eau douce, etc....

La mesure en surface ou en profondeur de la salinité et du pH a été réalisée à l'aide d'un conductimètre à sonde (Figure 20) directement sur le terrain, mais la salinité a été ensuite recalculée à partir du sodium au laboratoire de l'IHSM-Université de Toliara grâce aux échantillons d'eau prélevés.



Figure 20 : Une séance de mesure de la salinité et du pH au niveau d'une dépression dunaire (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les espèces de palétuviers étant plus ou moins sensibles à la salinité en tant que paramètre, c'est un facteur fondamental qui explique leur disposition et zonation. A Madagascar, les *Rhizophora* sont limités dans leur distribution par des salinités moyennes de l'eau supérieures à 30‰ (Rasolofoharinoro *et al.*, 1998) et les espèces *Avicennia* peuvent se rabougir lorsque la salinité de l'eau approche de 60‰ (Rakotomavo et Fromard, 2010). Certains auteurs comme Walter et Steiner (1936) dans leur travail sur les mangroves africaines, ont montré que plus les espèces de palétuviers s'éloignent de la mer, plus elles sont euryhalines et sont soumises à des variations de salinité de plus en plus fortes.

Bien que les mangroves soient bien adaptées pour survivre dans des conditions salines, la croissance, la stature et la productivité déclinent avec l'augmentation de la salinité (Ball et Farquhar, 1984; Lovelock *et al.*, 2004; McKee *et al.*, 2002; Naidoo, 2006). Par ailleurs, de nombreuses espèces réduisent la taille des feuilles à mesure que la salinité augmente (Naidoo, 2016). Les espèces de mangrove montrent souvent une stimulation de la croissance à faible salinité (25‰ d'eau de mer), puis un déclin avec l'augmentation de la salinité (Clough, 1984; Downton, 1982; Naidoo, 1987; Burchett *et al.*, 1989; Karim et Karim, 1993; Aziz et Khan, 2001).

III.1.2.2 Les mesures et analyses physico-chimiques des autres éléments

En même temps que la salinité (recalculée à partir du sodium) et à partir des 66 échantillons d'eau prélevés sur terrain, la concentration des différents éléments suivant : le nitrite, le nitrate, le phosphate, le Baryum, le fer, le manganèse, le phosphore, le silicium, le calcium, le potassium, le magnésium, le strontium et le sulfate par colorimétrie (certaines méthodes seront présentées en annexe) ont été analysés et mesurés au laboratoire de l'IHSM-Université de Toliara.

Certains de ces éléments peuvent être des éléments essentiels pour la mangrove et leur carence est un problème majeur limitant la croissance des palétuviers (Feller *et al.*, 1999 ; Reef *et al.*, 2010) tandis que d'autres, tel que le phosphore, est l'un des éléments le plus limitant (Reef *et al.*, 2010; Wachnicka *et al.*, 2010 ; Jian *et al.*, 2017).

Des études sur le mécanisme anatomique des plantes ont démontré que l'ajout de nutriments pourrait améliorer l'apport en eau aux feuilles et augmenter la conductivité hydrique en stimulant la croissance des racines et/ou en améliorant certains aspects de la voie conductrice (Nadini *et al.*, 2000 ; Lovelock *et al.*, 2004 ; Lovelock *et al.*, 2006)

III.1.3 L'analyse des substrats des mangroves

Les caractéristiques granulométriques des sols influent sur la composition des espèces d'une forêt (Ibrahim et Hashim, 1990) ainsi que leurs répartitions. Nous avons prélevé des échantillons de sols dans les sites significatifs de la plupart des mangroves de notre zone d'étude et réalisé leur analyse granulométrique en laboratoire pour en définir les caractéristiques générales.

III.1.3.1 Le choix des points d'échantillonnage

Lors de la mission de terrain effectuée d'avril à juin 2016, 96 carottes de sédiments ont été prélevées dans différents types de formations à palétuviers sur la totalité des 5 sites d'étude, soit 36 à Manombo-Fitsitike, 15 à Ambondrolava, 12 à Ankiembe, 24 à Sarodrano et 9 dans le site d'Andriambe. Plusieurs paramètres ont conditionné le choix de ces points de prélèvement : ils doivent être pris dans les transects prédéfinis en amont durant l'inventaire floristique, ils doivent être représentatifs des différentes compositions floristiques (homogénéité et hétérogénéité des espèces) ainsi que des substrats rencontrés dans les sites d'études.

III.1.3.2 Les techniques de prélèvement des échantillons de sol

Les prélèvements des échantillons de sol ont été géolocalisés à l'aide d'un GPS. Ils ont été réalisés à marée basse à l'aide d'une tarière manuelle qui a pour avantages d'être facile à manipuler et d'être adaptée aux différents types de sol. Cette tarière est composée d'une rallonge et d'une poignée en T reliées ensemble au moyen de raccords permettant de les démonter facilement (Figure 21). Le prélèvement se fait à faible profondeur (de 0 à 1 m) en enfonçant manuellement la tarière dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Une fois la tarière enfoncée sur toute sa longueur (50 cm), elle est retirée du sol et l'échantillon est recueilli en renversant la tarière. Pour chaque point, la tarière a été enfoncée 2 fois, et 3 échantillons ont été prélevés pour chacun. Deux échantillons sont prélevés dans la première carotte, le premier de 0 à 30 cm et le deuxième de 30 à 50 cm. Un échantillon a été prélevé dans la deuxième carotte de 50 à 100 cm.

Une fois prélevés et mis dans des sacs en plastique zippés, numérotés et nommés, les échantillons frais de 500 g chacun sont conservés à l'abri de la lumière du soleil puis

transportés au laboratoire d'analyse pédologique du FOFIFA à Tsimbazaza-Antananarivo où ils ont été analysés.



Figure 21 : Le montage de la tarière manuelle pour le prélèvement des échantillons de sol.
(Andriatsiaronandroy, 2018)

III.1.3.3 Les analyses granulométriques au laboratoire

Cette opération consiste à caractériser au laboratoire les proportions d'argile, de limon et de sable contenues dans les échantillons de sol. La méthode utilisée est basée sur le procédé densimétrique. Elle nécessite en premier lieu la destruction de la matière organique des échantillons. Après séchage à l'étuve à une température de 30°C au maximum, les échantillons sont broyés à l'aide d'un mortier afin de casser les mottes en faisant attention à ne pas réduire les éléments grossiers en fraction granulométrique plus fine. Ces matériaux sont ensuite tamisés à 2 mm et les refus pesés. Environ 10 g de la fraction inférieure à 2 mm sont pesés dans un bécher. Après l'ajout de 25 ml de H_2O_2 (30%), il faut l'agiter et la laisser agir à froid durant 24 h. Ensuite, il faut ajouter à nouveau 50 ml de H_2O_2 et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 200 ml de hauteur. L'ensemble est chauffé à 70°C jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'effervescence. Puis, il y a l'ajout 10 ml d'eau oxygénée concentrée avant de tout laisser au repos pendant 1 heure à 70°C. Enfin, lorsque le surnageant qui est composé

des matières organiques décomposés et d'excès d'H₂O₂ est limpide, il faut procéder à son élimination à l'aide d'une pipette en verre munie d'une poire d'aspiration.

Pour la granulométrie, elle a été réalisée en deux étapes. Après séchage des échantillons débarrassés de leur matière organique à 30°C pendant 48 heures à l'étuve, 50 g de sol sont prélevés pour l'analyse granulométrique.

III.1.3.3.1 Le principe de la méthode au densimètre de Bouyoucos

Tout d'abord, les différentes particules du sol sont dispersées par une solution diluée de métaphosphate de sodium. Ensuite, la détermination de la proportion des sables, des limons et des argiles dans le sol se base sur le principe selon lequel les particules mises en suspension dans un liquide se sédimentent avec une vitesse V telle que :

$$V = \frac{2 r^2 (D_s - D_l)}{9 \cdot \eta} \quad (\text{Loi de Stokes})$$

r : rayon des particules supposées sphériques

D_s : densité du solide

D_l : densité du liquide

η : viscosité du liquide

Une fraction de terre est dispersée dans l'eau, puis abandonnée à elle-même un certain temps. La vitesse de sédimentation est proportionnelle au carré du rayon des particules. Les sables se déposent beaucoup plus rapidement que les limons, et les limons beaucoup plus vite que les argiles. Au bout d'un certain temps défini, la quantité de particules restantes dans l'eau est mesurée à l'aide d'un densimètre de Bouyoucos.

La procédure est réalisée sur 50 g de sol traité (après destruction de la matière organique). Après avoir ajouté 50 ml d'hexamétaphosphate de sodium 5% (pour disperser les particules en dénaturant les liaisons métalliques comme le : Fe, Al , ...), bien mélangé et laissé au repos pendant une nuit, et suite à l'ajout de 100 ml d'eau distillée ; la solution va être agitée pendant 5 mn à l'aide d'un mixeur. Le tout est transvasé dans un cylindre de 1 L et à l'aide de l'eau de rinçage et le volume est complété jusqu'au trait de la jauge. Ce dernier est laissé se reposer quelques minutes afin d'obtenir l'équilibre thermique avec le milieu ambiant. Après avoir bouché le cylindre, il est ensuite retourné vivement à plusieurs reprises pendant 1 mn. Après 2 lectures sont faites : la première après 40 secondes et la deuxième

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

s'effectue après 2 heures de repos, le densimètre est introduit dans le liquide surnageant et sa lecture est réalisée (soil hydrometer). A noter que l'introduction du densimètre dans le liquide se fait 10 secondes avant la lecture. S'il y a formation de mousse à la surface, quelques gouttes d'alcool amylique seront ajoutées pour la faire disparaître.

La lecture avec le densimètre se fait à intervalles de temps définis :

- L_{B40} : lecture après 40 secondes de blanc : (Eau déminéralisée + Hexametaphosphate) : la valeur est généralement 1
- L_{B2h} : lecture après 2 heures de blanc : (Eau déminéralisée + Hexametaphosphate) : la valeur est généralement 1
- L_{40} la lecture après 40 secondes de l'échantillon : (Eau déminéralisée + Hexametaphosphate + échantillon de sol) : composition en Argile + limon
- L_{2h} la lecture après 2 heures de l'échantillon : (Eau déminéralisée + Hexametaphosphate + échantillon de sol) : Argile

La température du milieu à intervalles réguliers a été prélevée également (après 40 secondes et après 2 heures) pour faire la correction dans le calcul parce que généralement la lecture de densimètre doit s'effectuer à 20°C.

Le pourcentage de chacune des fractions granulométriques des échantillons analysés se calcule à partir de ces lectures réalisées à intervalles réguliers et le pourcentage d'argile, de sable et de limon pour chaque échantillon sont ainsi obtenu.

- $\% \text{ sable} = 100 - 2 [L_{40} - L_{B40} + 0.36 (T_{40}^{\circ} - 20)]$
- $\% \text{ argile} = 2 [L_{2h} - L_{B2h} + 0.36 (T_{2h}^{\circ} - 20)]$
- $\% \text{ limon} = 100 - (\% \text{ sable} + \% \text{ Argile})$

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux en pourcentage. Afin de pouvoir les interpréter, la méthode du triangle textural est utilisée.

Bien qu'il puisse se faire manuellement, il est plus facile se rendre directement sur le site de http://unt.unice.fr/uoh/degsol/swf/index_avec_style.php?titre=Triangle%20textural&source=triangle-fox-fr pour gagner du temps.

III.1.4 Les enquêtes

Des enquêtes ont été menées dans la plupart des villages aux environs des sites d'études, notamment à Manombo, Fitsitike, Tsihake, Ambondrolava, Ambotsibotsike, Andranonakanga, Belitraky Tanambao, Belitraky Tanindraza, Belalanda, Ankiembe bas, Ankiembe haut, Ankilimarovahatry, Ankilibe, Sarodrano, Ambanilia, Tapadalan-dreviky, Saint-Augustin et Andriambe, avec la participation de deux étudiants en licence professionnelle de la biodiversité à la faculté des sciences (1 étudiant pour les villages de la mangrove dans la partie nord : Manombo-Fitsitike et Ambondrolava ; 1 étudiant pour la partie sud : Ankiembe, Sarodrano et Andriambe). Basé sur la Méthode Accélérée de Recherche Participative ou MARP, les enquêtes et les entretiens ont été réalisés en présence du Chef de village, du président des VOI, et d'une partie des habitants. Alors qu'une journée par village a été nécessaire pour réaliser une enquête, le nombre de questionnaires dûment remplis est de 16 pour l'ensemble des sites.

Les enquêtes (dont le questionnaire est en annexe) ont pour but d'étudier les aspects socio-économiques relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et notamment de la mangrove, de connaître les activités exercées dans et aux alentours de la mangrove ainsi que de prendre en considération la présence ou non de réglementations locales portant sur l'exploitation des mangroves. Ainsi, en plus des réponses aux questions d'ordre général axées sur chaque village telles que son historique, l'organisation de la société dans la vie quotidienne avec les activités et la démographie en évoquant la taille des ménages, ces enquêtes ont aussi permis de mettre en évidence l'utilisation actuelle et passée des mangroves. Par ailleurs, on a identifié la chaîne de valeur ou chaîne de commercialisation des poissons avec tous les acteurs reliés les uns aux autres, inventorié les espèces les plus capturées, et déterminé les usages des palétuviers (tronc, feuilles, écorce), en essayant de quantifier notamment la production de bois (pour la fabrication de clôtures et de charbon par exemple), des autres plantes (*Typha angustifolia*) et des animaux (*Scylla serrata*). Il convient aussi de souligner que la réalisation des enquêtes par des étudiants issus de la région a permis de prévenir la réticence des locaux (la plupart du temps quand les autochtones aperçoivent des étrangers dans leur village, ils cherchent à fuir par peur, surtout quand les visiteurs sont en voiture) et de les rassurer ; par conséquent leurs réponses au questionnaire durant les enquêtes ont été plus précises et plus poussées.

III.2. L'approche par la géomatique

L'ensemble des données collectées sur le terrain ont été croisées dans un système d'information géographique avec des données issues de traitements d'images satellites et photographies aériennes de différentes dates.

III.2.1 L'apport de la Télédétection

La télédétection par satellite est un outil efficace qui a été adopté de plus en plus pour la détection, la description, la quantification et le suivi des ressources et milieux naturels de la Terre (Green *et al.*, 2000 ; Kovacs *et al.*, 2004, 2005 ; Chauhan et Dwivedi, 2008). Les données de télédétection ont été utilisées dans un large éventail d'applications telles que la surveillance de la biodiversité et de la richesse des espèces (Seto *et al.*, 2004), la cartographie des zones humides (Rao *et al.*, 1999 ; Prigent *et al.*, 2001), la caractérisation des corridors fluviaux (Lejot *et al.*, 2011), la surveillance des changements dans les forêts de mangrove (Ramasubramanian *et al.*, 2006), l'évaluation de l'effet des traités environnementaux (Fragkias et Seto, 2007), l'évaluation forestière (Koch, 2012), l'étude de la succession forestière à grande échelle (Hall *et al.*, 1991b), la gestion durable des écosystèmes côtiers tropicaux (Dahdouh-Guebas, 2002; Neukermans *et al.*, 2008; Satyanarayana *et al.*, 2011; Nfotabong-Atheull *et al.*, 2013 ; Van *et al.*, 2015), etc. C'est un outil fréquemment utilisé pour cartographier les dynamiques d'évolution des milieux, car il fournit une vue synoptique de vastes zones et une couverture régulière à différentes résolutions temporelles permettant d'établir des suivis diachroniques jusqu'aux années 1970 (et au-delà avec les photographies aériennes). La télédétection satellitaire joue ainsi un rôle important et efficace dans l'évaluation et le suivi des couverts forestiers de mangrove (Giri *et al.*, 2007), en fournissant notamment des informations quantitatives sur leurs surfaces et leur répartition spatiale ainsi qu'une évaluation de leur état de santé, surtout quand les documents cartographiques disponibles sont anciens, voire même inexistantes. C'est en effet parfois le seul moyen d'accéder à des données sur des terrains difficiles d'accès voire inaccessibles comme peuvent l'être les forêts de mangroves en raison des systèmes de racines des palétuviers et de la fluctuation des marées (Giri *et al.*, 2011 ; Kuenzer *et al.*, 2011 ; Heumann, 2011; Fatoyinbo et Simard, 2013; Carney *et al.*, 2014). L'accès y est laborieux et aussi coûteux en termes de temps et d'argent, et certaines méthodes d'investigation sont destructives (Green *et al.* ; Bréda, 2008; Kamal *et al.*, 2015) car il est

parfois nécessaire de couper des arbres pour accéder à l'intérieur de la mangrove et y amener des matériaux. La télédétection a été régulièrement utilisée pour des cartographies statiques et diachroniques rétrospectives de mangrove, à échelle locale, comme dans les travaux de Diop *et al.* (1997) ou Moreau (2004) sur l'évolution des mangroves du Delta du Saloum, ou de Guillet *et al.* (2008), Noel *et al.* (2008) sur la mangrove de la Mahajamba (Nord-Ouest de Madagascar), à échelle régionale comme dans ceux de Vasconcelos *et al.* (2002) sur les paysages de mangrove de Guinée-Bissau, Proisy *et al.* (2007) sur les mangroves de la Guyane Française, ou à échelle globale comme Spalding *et al.* (2010) ainsi que Giri *et al.* (2011) cartographiant les mangroves de toutes les côtes de la planète à 30 m de résolution spatiale. La télédétection apporte en effet une vision globale des mangroves car tous les territoires peuvent être observés par satellite et la télédétection satellitaire permet la mise en place de méthodes d'étude généralisables et reproductibles.

Les nombreux travaux de télédétection appliqués aux mangroves réalisés ces dernières années s'avèrent particulièrement utiles pour ces écosystèmes difficilement pénétrables. Ils prennent en compte différents types de capteurs, et appliquent des méthodes diverses. Ainsi, Chauvaud *et al.* (1998) préconisent l'utilisation de photos aériennes digitalisées de haute résolution (pixel 5*5 mètres). Rasolofoharinoro *et al.* (1998), Gao (1998), Afidégnon (1999) ou encore Robin *et al.* (2010) ont utilisé des données Spot, Proisy *et al.* (2000) se sont servis des images radar, Mougin *et al.* (1999) ainsi que Blasco *et al.* (2001) ont exploité des données Landsat TM tandis que Li *et al.* (2002) ont opté pour des données CBERS (CBE RS-1 CCD). D'autres auteurs combinent des données de nature différente comme Héry *et al.* (1993) ainsi que Ramsey *et al.* (1998) qui ont travaillé avec des données optiques et des données radar, Ramsey et Laine (1997) ont eu recours à des photographies aériennes associées à des données Landsat TM, Green *et al.* (1997) ont œuvré avec des scènes Landsat TM et Spot, Kuenzer *et al.* (2006) ont combiné des données : Landsat, Ikonos, CASI, SAR, Spot et enfin Li *et al.* (2006) ont fusionné des données TM et SAR. En ce qui concerne le traitement des images, plusieurs méthodes sont utilisées. Certains auteurs travaillent directement à partir des images brutes (Afidégnon *et al.*, 1999), d'autres à partir de néocanaux calculés à l'aide de différents indices (NDVI, IB, SAVI, LAI, ...) (Huete *et al.*, 1992 ; Brondizio *et al.*, 1996; Green *et al.*, 1997). Andrieu et Mering (2008) ont élaboré une procédure par emboîtement de classifications non dirigées, Robin *et al.* (2010) ont opté pour une approche orientée objet tandis que Alatorre *et al.* (2011), Dieye *et al.* (2013) ont

préférent la classification supervisée. Appliquées à des milieux équivalents, ces méthodes de traitement à l'aide des indices montrent souvent des résultats différents. Cela montre l'importance du choix des données et de la méthode utilisée pour chaque type d'écosystème étudié (Green *et al.*, 1997).

Les outils de la télédétection satellitaire ont été utilisés dans ce travail pour reconnaître les différents écosystèmes marins et côtiers de la région de Toliara ainsi qu'une évaluation de leur état de santé, et quantifier les surfaces couvertes. En s'appuyant sur cette cartographie des mangroves et des différents écosystèmes associés, l'objectif était aussi à terme de mettre à la disposition de tout décideur un outil d'aide à la décision.

Il ne s'agissait donc pas de développer dans ce travail de nouvelles méthodologies de traitement d'images satellites, mais d'appliquer des traitements simples et classiques, notamment des classifications non dirigées et dirigées, des indices thématiques ou des analyses en composantes principales, pour obtenir ces informations sur les mangroves de la région de Toliara.

Pour cela, le logiciel utilisé pour le traitement des images satellites a été « Idrisi TerrSet ». C'est la 18^{ème} version d'Idrisi, logiciel conçu en 1987 par le Professeur J. Ronald Eastman du département de géographie de l'Université de Clark. Il est maintenant développé par Clark Labs, un institut de recherche et d'éducation de l'université du Massachusetts (USA). Bien qu'il soit capable de gérer et d'éditer des données vectorielles, il s'agit avant tout d'un SIG raster destiné à l'analyse géographique et au traitement d'image.

III.2.1.1 Les données utilisées

III.2.1.1.1 Les images satellites

En général, la disponibilité, la performance et le coût des données images d'un capteur donné guident leur choix (Mayaux *et al.*, 2000).

Dans notre cas, la spatialisation des mangroves et le suivi de leur dynamique d'évolution ont été réalisés à partir de trois dates d'images satellitaires SPOT (Figure 22) multi bandes acquises à titre gracieux dans le cadre du programme Planet Action d'Astrium pour les 2 scènes de 1987, 2 scènes de 1998 et 2 scènes de 2012 ; tandis que les 2 scènes de 2014 ont été fournies gratuitement par la SEAS-OI (Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour l'Océan Indien) de la Réunion (Tableau I et Tableau II). Ces dernières étaient des images programmation alors que les 3 autres dates étaient des images d'archive. Les données SPOT ont déjà été utilisées par différents auteurs pour réaliser avec succès des cartographies

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

de zones côtières tropicales (Belsher *et al.*, 1990; Bour *et al.*, 1986; Courboulès *et al.*, 1987, 1988; Loubersac et Populus, 1986 ; Chauvaud *et al.*, 2001). La zone d'étude étant vaste, pour chaque date, 2 scènes Spot ont été nécessaires. Sur l'ensemble des scènes Spot a été extrait cinq fenêtres où se localisaient les cinq sites d'études représentatifs des mangroves du littoral du sud-ouest de Madagascar. In fine, ce sont 15 images qui ont été traitées. Par ailleurs, une ortho-image bénéficiée également grâce au SEAS-OI datant de 2013 a servi aux corrections géométriques des deux scènes de 2014 tandis que les 6 scènes de 1987, 1998 et 2012 qui ont été acquises déjà géoréférencées en Universal Transverse Mercator zone 38S étaient donc théoriquement superposables.



Figure 22 : L'acquisition des images satellites (Spot) par télédétection passive (Andriatsiaronandroy, 2018)

Tableau I : Tableau récapitulatif des images satellites utilisées

Satellites	Capteurs	Date	Correction	Résolution
Spot 1	HRV 1	11/12/1987	2A	20 m
Spot 4	HRVIR 1	30/05/1998	2A	20 m
Spot 5	HRG 2B	05/05/2012	2A	5 m
Spot 5	HRG 1	30/06/2014	1A	10 m
Spot 5 (Orthobase)	HRG 2B HRG 1	2012 à 2013	Orthorectifiées (MNT IGN de Mada) Normalisées	2.5 m (Panchromatique)

Tableau II : Les Canaux de chaque image satellite Spot

Canaux	Longueur d'onde en Micromètre	Domaine spectral
Canal 1	0.50 à 0.59	Visible (bleu et vert)
Canal 2	0.61 à 0.68	Visible (rouge)
Canal 3	0.79 à 0.89	Proche Infrarouge
Canal 4*	1.58 à 1.75	Moyen Infrarouge

* Comme le canal 4 ou le Moyen Infrarouge n'était pas disponible pour les scènes Spot de 1987 et 2012 et que pour les autres dates, ce canal présente des défauts (stries), il n'a pas été exploité bien qu'il soit extrêmement intéressant et présente des intérêts indéniables pour la mangrove. Des études ont mis l'accent sur l'intérêt de ce canal pour la détection et l'estimation des surfaces de mangroves (Wickramasinghe *et al.*, 2012 ; Pagkalinawan, 2015 ; Taureau, 2017) puisque l'absorption du Moyen Infrarouge est bien supérieure par rapport au reste de la végétation (Taureau, 2017).

III.2.1.1.2 Les mosaïques de photographies aériennes

McTainsh *et al.* (1986) ont montré l'utilité des photographies aériennes pour suivre l'évolution des mangroves dans le sud-est du Queensland (Jones *et al.*, 2004). Pour notre étude, des mosaïques de photographies aériennes ont été utilisées pour spatialiser et estimer la superficie des mangroves de la région de Toliara en 1949.

Ces photographies aériennes en noir et blanc, ont été fournies par la FTM (Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara ou Institut Géographique et Hydrographique de Madagascar). Une fois les photographies aériennes scannées et géoréférencées sous ArcGis (Figure 23), une analyse par photo-interprétation a été appliquée. Bien que les résultats de cette approche soient imprécis, du fait de l'absence d'orthorectification sur les photographies et que l'analyse visuelle reste très subjective et ne suivent pas les mêmes chaînes de traitement que les images satellites, ils apportent néanmoins une information relative fondamentale sur l'état des mangroves et les surfaces couvertes en 1949.

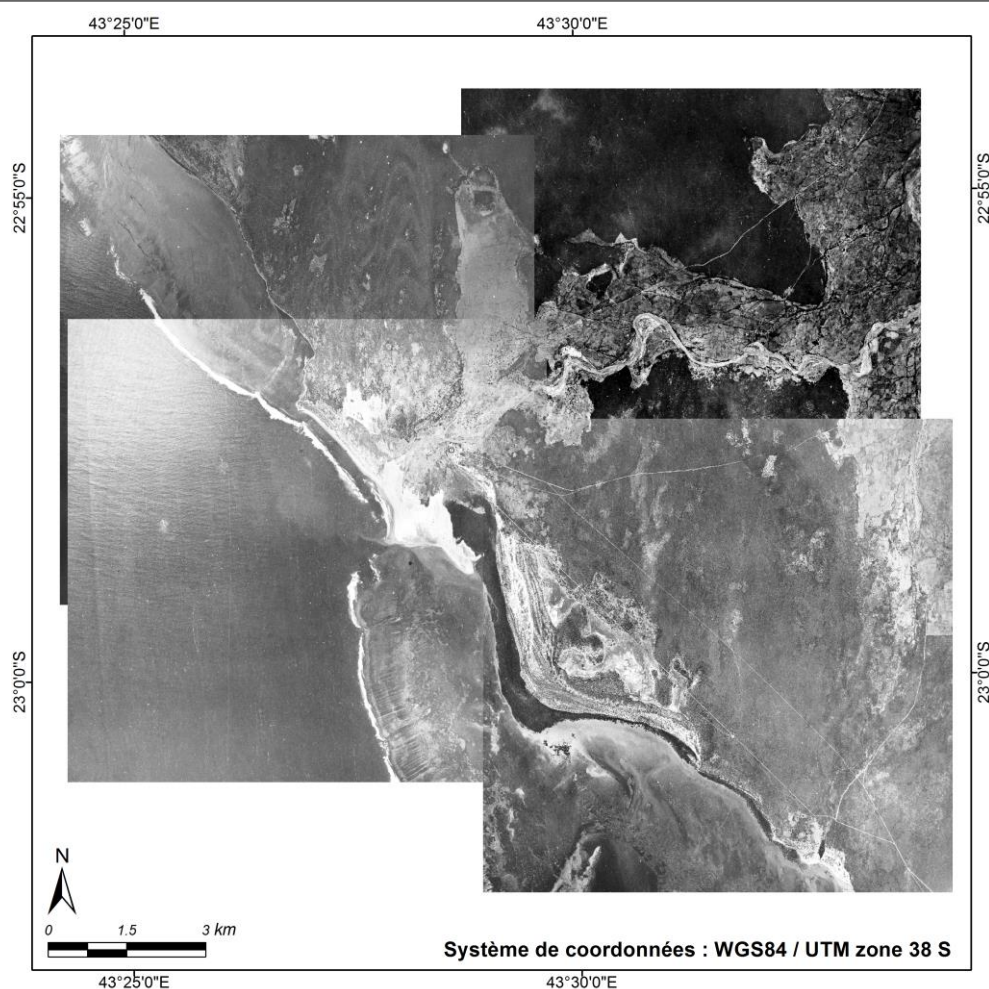


Figure 23 : Une mosaïque des photographies aériennes datant de 1949 du site de Manombo-Fitsitike (Andriatsiaronandroy, 2018)

III.2.1.2 Les prétraitements des images et des photographies aériennes

III.2.1.2.1 Les critères de photo-interprétation qualitative des mosaïques de photographies aériennes

De manière générale, de par sa position en bordure littorale, la limite des peuplements de palétuviers est facilement discernable. Associée à une bonne visibilité (quasi absence de nuage), la mangrove de la région de Toliara en général est facilement discriminable. Cependant, différents critères de photo-interprétation ont été utilisés afin de permettre la cartographie des mangroves de la région.

La reconnaissance des mangroves est la clé de l'interprétation et de l'extraction d'information.

La photo-interprétation permet, par l'observation de l'ensemble de l'image, l'identification d'objets, la délimitation des ensembles homogènes et le dénombrement d'objets sur la base de critères de texture et structure, de couleur et d'organisation spatiale des objets. Les forêts de palétuviers ont été discriminées par leur texture moutonnée (plus

ou moins douce ou rugueuse) et par leur structure homogène à très homogène. Parfois également, les individus isolés peuvent être identifiés par leur texture granuleuse fine à grossière. La tonalité des forêts de palétuviers quant à elle, varie du gris clair au gris foncé et permet aussi de différencier des densités de mangrove, puisque plus la densité est forte, plus les teintes seront foncées. Le critère de forme des contours des forêts de palétuviers a aussi été utilisé, ces formations ayant des contours irréguliers et non géométriques.

L'analyse par photo-interprétation est complétée par des recherches documentaires et les connaissances de l'expert. La photo-interprétation assistée par ordinateur combine itérativement ces analyses visuelles à des traitements numériques (Fosting, 1988) après avoir scanné les photographies aériennes à haute résolution. Aujourd'hui elle se réalise sous SIG raster ou vecteur.

Bien que géoréférencées, les mosaïques de photographies aériennes de 1949 ne sont pas parfaitement superposables avec les images Spot, parce qu'elles n'ont pas pu être orthorectifiées. Toutefois, il est possible de réaliser des analyses et des interprétations qualitatives. Les valeurs de surfaces couvertes par les mangroves notamment, ne seront utilisées qu'à titre indicatif, mais elles s'avèrent indispensables pour comprendre l'évolution de ces mangroves.

III.2.1.3 Les prétraitements d'images satellites

Lors de l'achat ou de l'acquisition d'images satellitaires, différents niveaux de correction peuvent être distingués :

- 1A où l'image est brute, sans aucune correction. C'est le cas pour les images de 2014.
- 2A où la scène est rectifiée dans la projection cartographique standard (UTM WGS 84), sans utiliser cependant de points d'appui. C'est le cas pour les images de 1987, 1998 et 2012.

Selon le niveau de correction, différents prétraitements numériques ont été appliqués aux images avant les traitements proprement dits. Des corrections radiométriques ont été appliquées à chaque scène préalablement à des corrections géométriques.

III.2.1.3.1 Les corrections radiométriques par 6S

Le logiciel 6S ou « Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum » est une version améliorée de 5S ou « Simulation du Signal Satellite dans le Spectre Solaire »,

développé par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique, une unité mixte de recherche située sur le campus de l'Université Lille 1 à Villeneuve d'Ascq, il y a une dizaine d'années.

C'est un modèle de simulation du transfert radiatif à travers l'atmosphère non-nuageuse (Kergomard, 2000) destiné à simuler le signal mesuré par le satellite visant une cible (surface au sol) de réflectance connue et dans des conditions géométriques, atmosphériques et spectrales définies. La principale difficulté concrète d'utilisation du logiciel réside dans le calcul de la réflectance de la surface à partir de la connaissance du signal satellitaire fourni par étalonnage en réflectance des données. Le logiciel est accessible sur le site : <http://www-loa.univ-lille1.fr/Wsixs/>. L'interface du logiciel permet aux utilisateurs de définir successivement : les conditions géométriques, les modèles atmosphériques, les conditions spectrales ainsi que les conditions de surface.

a. Les conditions géométriques

Elles sont définies soit par l'entrée directe au clavier des angles solaires (zénithal et azimuthal) et des angles de visée radiométrique, soit par l'entrée des date, heure, longitude et latitude nécessaires au calcul des angles solaires et des conditions de visée propres à un satellite donné. Pour Landsat et SPOT, la visée du satellite est supposée verticale. Dans le cas d'une image SPOT en visée dépointée, il est donc nécessaire d'utiliser la première option : Geometrical conditions (Hrv / Spot), Month (06 pour le mois de juin), Day (30 pour le 30 juin), GMT decimal hour (h.d), Longitude (degrees) : 23.01, Latitude (degrees): 43.67

b. Les modèles atmosphériques

Ils déterminent l'absorption et la diffusion. Pour les composants gazeux, l'utilisateur a le choix entre un modèle d'atmosphère (tropical, latitude moyenne d'hiver ou d'été, subarctique d'hiver ou d'été, et standard US 62), l'entrée de données de radiosondage ou l'entrée de données des contenus intégrés en vapeur d'eau et en ozone de l'atmosphère (exprimés respectivement en g/cm^2 et en cm.atm). Pour les aérosols, l'utilisateur choisit un modèle d'aérosols (continental, maritime ou urbain) ou définit son propre modèle à partir des proportions (%) des constituants possibles (poussières, constituants solubles, particules océaniques et suies de carbone). Il définit également le paramètre le plus important, la concentration des aérosols, à partir soit de la visibilité horizontale, soit de l'épaisseur optique des aérosols à la longueur d'onde de 550 nanomètres.

Dans cette étude, les modèles utilisés sont :

- Atmospheric Profile : Tropical
- Aerosol Model : Maritime Model
- Visibility (km): 320

c. Les conditions spectrales

L'utilisateur a de nouveau le choix entre des conditions spectrales prédéfinies correspondant aux canaux des satellites et capteurs les plus usuels (en particulier NOAA, Landsat MSS, TM et SPOT HRV en mode multispectral) et l'entrée de conditions spectrales définies par une longueur d'onde, une bande spectrale définie par ses bornes supérieure et inférieure et éventuellement par une fonction-filtre entrée au clavier par intervalle de 0,005 μm (trajet et altitude des capteurs, réflectance au sol, source du signal).

d. Les conditions de surface

La surface peut être considérée comme homogène ou hétérogène (pour la détermination des effets d'environnement). Si la surface est homogène alors la réflectance de la surface peut être considérée comme constante sur l'intervalle spectral préalablement déterminé ou spectralement variable : il faut alors entrer la réflectance par intervalle de 0,005 μm . L'utilisateur a également la possibilité d'utiliser des courbes de réflectance prédéfinies pour l'eau claire, l'eau de lac, le sable et la végétation verte. Par contre si la surface est hétérogène, comme dans notre cas, cette dernière est simulée en supposant une cible circulaire de rayon à fournir et de réflectance à définir dans les mêmes conditions que pour une surface homogène, dans un environnement de réflectance différente à définir également.

Après calcul, le logiciel fournit en sortie les éléments suivants: des valeurs intégrées de la réflectance apparente (en %) de la surface visée, de la luminance totale ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$) mesurée par le capteur et de la transmittance gazeuse, les valeurs normalisées (en %) de l'irradiation solaire au niveau du sol (% de rayonnement direct, diffus et en provenance de l'environnement de la cible) et de la réflectance mesurée au niveau du satellite (contributions de l'atmosphère, de l'environnement et de la cible), les valeurs absolues correspondantes en W.m^{-2} pour l'irradiation au niveau du sol et en $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ pour les

luminances au niveau du satellite, la fonction-filtre et l'éclairement solaire (hors atmosphère) intégrés sur la bande spectrale considérée.

A partir de ces valeurs calculées par le modèle 6S, l'évolution du signal de son entrée dans l'atmosphère à la surface et au capteur à bord du satellite peut être donc reconstituée ce qui constitue l'objectif des physiciens. Pour la plupart des utilisateurs thématiques en revanche, la difficulté réside dans l'absence de données précises concernant l'atmosphère et la nécessité d'inverser le problème pour déterminer les conditions de la surface à partir du signal satellitaire (Kergomard, 2000).

III.2.1.3.2 Le géoréférencement et la correction géométrique

Lors de l'achat ou de l'acquisition d'images satellitaires, différents niveaux de correction peuvent être distingués :

➤ 1A où l'image est brute, sans aucune correction. C'est le cas pour les images de 2014.
2A où la scène est rectifiée dans la projection cartographique standard (UTM WGS 84), sans utiliser cependant de points d'appui. C'est le cas pour les images de 1987, 1998 et 2012. Ces emplacements sont éparpillés en équidistance aux quatre coins de l'image : intersections de routes, coin d'un champ établi, coins de rues, coins des maisons coloniales, bureau des postes, piste d'avion. Durant les missions de terrain, j'ai rassemblé ces points de référence invariants dans le temps. Ces points de contrôle ont permis d'appliquer une transformation polynomiale de second degré qui déplace le jeu de données raster de son emplacement actuel vers l'emplacement correct avec des RMS qui étaient de 0.00006 à 0.00008.

III.2.1.3.3 L'extraction des fenêtres images des sous zones d'étude

L'ensemble des scènes image étant trop vastes et trop volumineuses pour être traitées dans leur ensemble, la sélection de zones à mangroves représentatives de cette zone côtière a été nécessaire, à partir de la bibliographie, du terrain et des images de Google Earth. Les traitements d'images ont donc été réalisés séparément sur les cinq zones de Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Sarodrano et Andriambe à l'embouchure de l'Onilahy.

III.2.1.3.4 Le rééchantillonnage

Les différentes dates d'images issues de capteurs différents présentaient des résolutions spatiales différentes. Le suivi diachronique et notamment la quantification des surfaces de mangrove nécessitait donc d'harmoniser la résolution spatiale des pixels des images de 1987, 1998, 2012 et de 2014, pour les rendre comparables. Le principe a été de rééchantillonner les pixels des images de 2012, originellement à 5 m de résolution, à 20 m, ce qui correspond à la résolution spatiale des images de 1987 et 1998. En effet, même si on perd en précision, l'inverse aurait créé des artefacts qui auraient biaisé les quantifications (Robin, 2002; Payet, 2015). Par contre, pour les images de 2014, qui ont servi pour la caractérisation fine de l'état actuel des mangroves et pour les classifications supervisées, puisque cette date coïncidait avec une mission de terrain et n'ont pas été utilisées pour les suivis diachroniques, on a décidé de conserver leur résolution spatiale originelle à 10 m pour éviter la perte de précision.

La technique de rééchantillonnage utilisée est celle du plus proche voisin puisque c'est la méthode la plus rapide, la mieux adaptée aux données catégorielles ou thématiques et qu'elle ne modifie pas la valeur des cellules en entrée.

III.2.1.4 Les traitements des images

Les traitements d'images mis en œuvre ont été très interactifs et basés sur des combinaisons et itérations de classifications non supervisées, supervisées, d'Analyses en Composantes Principales et d'indices thématiques, interprétés visuellement et selon les signatures spectrales des objets identifiés.

Pour la présence/absence de mangrove, les images de 1987, 1998, 2012, 2014 ont été traitées sur le même mode opératoire. Par contre, l'image de 2014 a subi plus de traitements afin d'avoir plus d'informations sur l'état actuel des mangroves.

III.2.1.4.1 Les classifications non supervisées

En télédétection, la classification d'image est une synthétisation de l'ensemble de l'information spectrale apportée par plusieurs canaux ; elle affecte à l'ensemble des pixels ayant des valeurs spectrales similaires de l'image une classe ou une thématique (Caloz et Collet, 2001).

Les méthodes de classification se divisent en deux catégories : la classification non dirigée et la classification dirigée (Caloz et Collet, 2001; Mather, 2004). Les classifications non dirigées ou non supervisées ont été utilisées pour les images de 1987, 1998 et 2012. Le principe est que chaque pixel de l'image est attribué à une classe homogène, en fonction de leurs caractéristiques spectrales, sans aucune information à priori sur la nature des objets à classer. L'opérateur humain intervient seulement pour fixer le nombre de groupes, ainsi que les valeurs seuils. La méthode la plus courante est la méthode ascendante hiérarchique ou la méthode des centres mobiles (Mather, 2004). Dans leur synthèse bibliographique sur les méthodes de traitement d'images pour la cartographie des mangroves, Green *et al.* (1998) avaient recensé 4 études ayant utilisé les classifications non supervisées.

Pour les classifications non supervisées mises en œuvre ici, le maximum de classes a été demandé au logiciel « Idrisi ». Et ces classes ont été créées à partir du module CLUSTER qui travaille à partir d'une composition colorée (combinaison des trois bandes d'une manière à avoir une image ayant une valeur entre 0 et 225). A noter que, CLUSTER utilise la technique de sélection des pics des différents histogrammes de l'image à classifier.

Ensuite, l'interprétation thématique des classes issues de ces classifications non supervisées des trois dates de 1987 à 2012 a été réalisée à partir de la photo-interprétation visuelle d'images Quickbird de 2012 à très haute résolution spatiale (centimétrique) disponibles sur Google Earth, ainsi que de quelques cartographies issues de la bibliographie et de la webographie.

III.2.1.4.2 Le reclassement en 6 classes

L'ensemble des classes issues des classifications non supervisées ont été dans un deuxième temps reclassées en 6 classes par regroupement thématique. Elles comprennent les forêts de mangroves proprement dites, les tannes, les vasières, les dunes et sables plus ou moins vifs et une classe « autres » regroupant notamment les cultures, les villages et

maisons et les fourrés. Cependant, ces classes thématiques restent encore très imparfaites, avec de nombreuses confusions entre objets au sein de chaque classe et entre les classes.

III.2.1.4.3 La création de masques pour chaque thème

Pour affiner la discrimination de chacun des objets, les pixels correspondant à chaque classe thématique définie précédemment ont été « retravaillés » séparément. Pour cela, des masques binaires (0 – 1) ont été créés pour chaque classe thématique dans un premier temps, où l'objet masqué est mis à 1 et le reste à 0. Ce masque est ensuite multiplié par les 3 canaux des images brutes, l'objet masqué conservant ses valeurs spectrales d'origine et les autres objets étant mis à 0 (Renou, 2003).

III.2.1.4.4 L'analyse en composantes principales des 3 canaux masques thématiques

Par la suite, ces no-images masquées ont été traitées par une Analyse en Composantes Principales (ACP) permettant de différencier entre eux des groupes de pixels précédemment englobés dans la classe parente masquée. Pour cela, les travaux d'Andrieu et Mering (2008) étaient des sources d'inspiration. L'objectif est d'augmenter les contrastes numériques entre les pixels d'une même classe. En effet, les différentes bandes multispectrales des images satellites, qu'elles soient brutes ou masquées comme dans notre cas, présentent en général un fort degré de corrélation. Cette forte corrélation indique que si la réflectance est élevée pour un pixel dans un canal, elle est également élevée dans un autre canal pour le pixel considéré. À l'extrême, si deux bandes sont parfaitement corrélées, elles décrivent la même information, elles sont redondantes. L'analyse en composantes principales (ACP) permet alors de réorganiser les données de telle manière qu'elles ne soient plus corrélées et qu'elles deviennent indépendantes. Compte tenu de l'abondance d'informations à traiter sur les images, le but de l'ACP (ou transformation de Hotelling) est de condenser les données originelles en nouveaux groupements de façon à ce qu'ils ne présentent pas de corrélation entre eux et soient ordonnés en termes de pourcentage de variance apportée par chaque composante (Scanvic, 1983). Ainsi, la première composante principale contient les informations relatives à la variance maximale, la deuxième contient les informations relatives à la variance suivante et ainsi de suite pour les autres composantes. Pour le cas des images SPOT utilisées, trois composantes principales ont été

obtenues à chaque date, redistribuant l'information thématique des 3 canaux bruts utilisés. La mise en œuvre d'une analyse en composantes principales (ACP) à chaque date sur les images masquées pour chaque thème, a permis de retravailler les pixels ciblés grâce aux masques et de réduire considérablement le volume de données à traiter en ne conservant que les composantes les plus significatives. Chaque composante ainsi créée a tendance à « regrouper » des informations thématiques et peut ensuite être utilisée comme un néo-canal.

III.2.1.4.5 La classification non dirigée des 3 composantes d'ACP

Par la suite, après plusieurs expérimentations, toujours par photo-interprétation à partir des images téléchargées sur Google Earth, il a été constaté que la classification non supervisée des 3 composantes principales des images masquées permettait d'obtenir une bonne discrimination finale des objets thématiques recherchés.

Le principe de la classification non dirigée appliquée sur les 3 composantes d'ACP est identique à celui décrit précédemment.

La réinterprétation visuelle une seconde fois des néo-images ainsi obtenues, en les comparant avec les images Quickbird de Google Earth et les cartographies récupérées dans la bibliographie, a permis de confirmer que les discriminations thématiques étaient nettement améliorées.

III.2.1.4.6 L'addition de tous les masques et carte de l'occupation du sol

In fine, toutes les néo-images masquées thématiques issues des étapes précédentes ont été additionnées 2 à 2 jusqu'à obtenir un document cartographique correspondant à l'occupation du sol aux différentes dates.

Parfois, certaines zones continentales qui présentaient fréquemment des confusions avec les objets thématiques ciblés, ont été également masquées manuellement par digitalisation d'un polygone dont les pixels ont été mis à 0.

III.2.1.4.7 La quantification des surfaces couvertes par chaque objet thématique à chaque date

Connaissant la taille et le nombre des pixels de chaque classe, la quantification des surfaces couvertes par chaque objet thématique a ensuite pu être réalisée à partir de ces

néo-images. La méthode de calcul se fait simplement en multipliant le nombre de pixel de chaque classe par 0,04 ha (soit 400 m² correspondant à la surface d'un pixel de 20 m de côté) pour les images de 1987, 1998, 2012 ainsi que pour les mosaïques de photographies aériennes et 0,01 ha pour l'image de 2014 ayant 10 m de résolution, afin d'obtenir la surface exacte de chaque classe.

Il est important de noter que ces quantifications restent relatives, car comme indiqué précédemment, le fait de ne pas avoir réalisé de vérification sur terrain pour les 3 dates anciennes de 1987, 1998 et 2012, mais seulement des validations à partir des images Google Earth de dates différentes (année, mois et heure), laisse supposer qu'il existe encore des discriminations incomplètes et des confusions entre objets sur les classifications finales. Cependant, ces documents permettent malgré tout de mettre en évidence et de comprendre les dynamiques d'évolution des mangroves et des écosystèmes associés dans cette région du sud-ouest de Madagascar, ce qui est bien l'objectif de notre travail.

Des calculs effectués entre les 3 dates d'images satellites et les photographies aériennes ont permis dans un second temps de mesurer les changements ayant affecté chaque objet thématique depuis le milieu du XX^e siècle (1949-1987-1998-2012).

III.2.1.4.8 Les analyses diachroniques

La comparaison des données de télédétection enregistrées à deux ou plusieurs périodes différentes est un moyen efficace pour évaluer les changements (Mouat *et al.*, 1993, Dale *et al.*, 1996 ; Jones *et al.*, 2004). Dans notre cas, une analyse diachronique entre 1949-1987, 1987-1998, 1998-2012 a été réalisée. Elle a permis de mieux comprendre les dynamiques spatio-temporelles telles que la progression, la régression ou encore la stabilité des forêts de palétuviers ainsi que ses écosystèmes et milieux associés (dunes, saline et vasières).

A titre d'exemple pour la période 1998-2012, la mangrove de 2012 a été classée en 1 et celle de 1998 en 2, les non mangroves à ces deux dates ont été mises à 0. A partir de l'outil « Calculatrice Raster d'ArcGis » ou de l'outil « Image Calculator d'Idrisi », ces deux images ont été additionnées et 3 valeurs ont été obtenues :

- 0 pour les non mangroves entre 1998-2012
- 1 pour les nouvelles mangroves de 2012 et qui sont absentes en 1998
- 2 pour les mangroves de 1998 et qui ont disparu en 2012

- 3 pour les mangroves qui sont présentes entre 1998-2012

III.2.1.4.9 La classification supervisée

Les images programmation de 2014, couplées à une mission de terrain, ont été traitées selon une méthodologie différente. En effet, si la classification non supervisée itérative précédente visait à réaliser des cartes de présence/absence de mangroves et à en quantifier également les surfaces aux différentes dates, la classification supervisée a surtout été utilisée pour réaliser des cartographies de la distribution des différents groupements d'espèces de palétuviers présentes dans chaque site ainsi que leur répartition spatiale, associées à leur densité, à partir des informations géolocalisées collectées sur le terrain.

La classification supervisée est très largement employée pour cartographier les écosystèmes et milieux « naturels » dont les formations de mangroves (Cadamuro, 1999). Le principe général de la technique de classification supervisée est de comparer la signature spectrale de chaque pixel de l'image à classer à celle d'objets parfaitement connus à partir de parcelles tests.

Des photographies aériennes ou des données de terrain sont usuellement utilisées pour définir ces zones d'entraînement, ainsi que pour évaluer la précision de la classification obtenue. Les différentes méthodes rencontrées dans la littérature pour la classification supervisée, notamment des mangroves, sont le maximum de vraisemblance, la distance minimale, la distance de Mahalanobis (basée sur la corrélation entre des variables par lesquelles différents modèles peuvent être identifiés et analysés), les règles de décision, l'angle spectral, les k plus proches voisins, l'itération des modes conditionnels et la classification floue (Cadamuro, 1999 ; Vega, 2000, Saito, 2003 ; Vaiphasa, 2006 ; Liu, 2008 ; Mensah, 2013 ; Manguiencha, 2014 ; Heenkenda, 2014). Dans cette étude, les classifications supervisées ont été effectuées par l'intermédiaire de l'algorithme dit « du maximum de vraisemblance » (Fralit, 1981) qui affecte à une classe spectrale définie par des parcelles d'apprentissages (zones test) chaque pixel de l'image SPOT (acquise en juin 2014 coïncidant avec la mission sur terrain), chaque pixel étant attribué à la classe à laquelle ils ont la plus grande probabilité d'appartenir. Le nombre et type de zones test thématiques a été défini à partir d'analyses thématiques des données terrain et sert à calculer une référence spectrale moyenne pour un thème donné (pour le nombre de classe voir III.2.2.1. Analyse et traitement des données d'inventaires floristiques et de densité).

III.2.1.4.10 La caractérisation et cartographie des densités de peuplement par le NDVI

Les cartographies issues des traitements précédents portaient sur la présence/absence de forêt de mangrove et les espèces les constituant. Cependant ces informations sont insuffisantes pour caractériser ces mangroves. Ce sont notamment les paramètres de densité de ces formations végétales qui manquent, surtout parce qu'on n'a pas pu récupérer ces données sur le terrain car elles sont beaucoup trop complexes à relever dans le contexte inextricable des mangroves.

Le terme « densité » évoqué dans cette partie représente tout simplement « le taux de recouvrement » et ne doit pas être confondu avec « la densité de peuplement » qui désigne le nombre d'arbres ou d'individus sur une surface donnée. Cette densité ou taux de recouvrement exprime, relativement à une surface donnée, la proportion du sol couverte par les houppiers (ou couronnes) des arbres et des strates végétales inférieures par rapport à l'ensemble de la surface considérée. En télédétection, les différentes strates de végétation n'étant pas visibles, le taux de recouvrement représente le rapport entre les surfaces recouvertes par la végétation couvrante (surfaces dites végétales) et les surfaces de sols apparents (Taureau *et al.*, 2015).

Il existe différentes méthodes de terrain pour mesurer ce critère in situ. Une première méthode relativement simple, peu onéreuse, consiste à réaliser des mesures avec un lasermètre ou inclinomètre à main levée. Cependant elle n'est utilisée que pour une première approche. Il existe aussi une méthode plus développée pouvant donner des résultats plus fiables mais coûteuse et qui exige beaucoup de temps. Cette dernière nécessite notamment l'utilisation d'un scanner laser pour l'obtention d'une enveloppe complète des houppiers. Elle exige aussi beaucoup de temps pour recueillir les données car l'enveloppe du houppier d'une espèce ne peut être généralisée à l'ensemble de la zone, puisqu'elle dépend à la fois de chaque espèce de palétuvier et des différents types de peuplement. Les mesures obtenues doivent au moins comprendre l'enveloppe du houppier d'une espèce et sa position par rapport au site (zone externe, zone interne, à proximité d'un chenal de marée ou d'eau douce, sur substrat vaseux, sur substrat sableux, ...) et procéder de même pour toutes les espèces. Quelle que soit la méthode, il est en réalité extrêmement difficile de récupérer cette information de densité du couvert végétal sur le terrain du fait de

la difficulté d'accès et de circulation sous la canopée des mangroves. Elle n'a donc pas été relevée lors des missions de terrain.

Au cours de cette étude, le NDVI a donc été utilisé pour caractériser cette densité à partir des images satellites. Le NDVI est l'un des indices de végétation dérivés des images satellites les plus couramment utilisés, représentant la quantité de verdure ou de biomasse des formations végétales, dont les mangroves, qui à leur tour peuvent refléter leur état de santé ou leur activité photosynthétique (Bartholy et Pongracz, 2005; Kovacs *et al.*, 2005; Le Marie *et al.*, 2006; Fragkias et Seto, 2007). Dans la littérature scientifique, de nombreux auteurs ont utilisé le NDVI (« Normalized Difference Vegetation Index ») ou Indice de Végétation par Différence Normalisée ou Indice de Tucker (Tucker, 1979) pour obtenir l'information incontournable qu'est la densité de la mangrove, comme Umroh *et al.* (2016), Sari et Rosalina (2016), Satyanarayana *et al.* (2011), Kuenzer *et al.* (2011), Giri *et al.* (2007), Thu et Populus (2007).

Le NDVI est basé sur la différence entre l'absorption maximale du rayonnement dans le domaine du rouge, due à la chlorophylle, et la réflexion maximale du rayonnement dans le proche infrarouge (PIR). Présentant une forte corrélation avec la biomasse verte et la fermeture de la couronne, sa valeur varie entre +1 et -1 et peut être calculée à l'aide de la formule : $NDVI = (PIR - Rouge) / (PIR + Rouge)$:

- Entre -1 et 0, le NDVI indique l'absence de végétaux dans le milieu (roche, sol, eau, neige, nuages..., sol nu = 0) dont la réflectance dans le Rouge est supérieure à celle du proche infrarouge.
- Entre 0 et +1, il indique la présence de végétaux chlorophylliens. Plus les végétaux sont denses, plus ils sont en bonne santé, et plus la valeur du NDVI est proche de 1, tout ceci en liaison avec le pourcentage du taux de recouvrement de la canopée.

Le NDVI peut donc être utilisé pour distinguer la mangrove des autres formations végétales et caractériser leur état de santé, mais également pour mettre en évidence les densités de ces formations végétales.

Nous avons également tenté de déduire ce critère de surface de recouvrement par les houppiers à partir des autres données terrain en notre possession, en l'occurrence le

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

nombre de pieds à l'hectare (NI), la somme des DHP à l'hectare (SD) et la surface terrière à l'hectare (ST) pour les zones investiguées avec les transects. A cet effet, il était indispensable d'essayer de démontrer l'existence d'une corrélation entre ces données collectées sur le terrain et le NDVI. Cette corrélation a été calculée uniquement pour les pixels inclus dans les transects de terrain.

Le coefficient de corrélation permet de mettre en évidence l'existence ou non d'une relation linéaire entre ces 3 variables (NI, SD et ST) et le NDVI (Tableau III). Ce coefficient varie de – 1 (corrélation négative) à 0 (pas de corrélation) et 1 (corrélation positive). Il a été calculé pour chaque site d'étude.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus ont montré qu'entre les trois variables, la corrélation la plus faible avec le NDVI était celle avec les surfaces terrières, ensuite avec le nombre d'individus, et que les valeurs plus ou moins satisfaisantes de corrélation étaient celles entre la Somme des Diamètres et le NDVI. Les trop faibles corrélations entre ces paramètres terrain et le NDVI nous ont amené à ne pas les utiliser pour tenter d'en dériver le recouvrement.

Tableau III : Les coefficients de corrélation entre NDVI et les 03 variables

Sites	Coefficients de corrélation avec le NDVI		
	ST	NI	SD
Manombo	0.15	0.38	0.33
Ambondrolava	0.22	0.22	0.29
Ankiembe	0.27	0.38	0.43
Sarodrano	0.32	0.47	0.49
Andriambe	0.11	-0.21	-0.05
Les 5 sites	0.33	0.23	0.39

Face à ces conclusions, la solution la plus pertinente choisie pour caractériser et spatialiser la densité a été d'utiliser les NDVI, méthode déjà mise en œuvre par d'autres auteurs et qui leur a permis d'obtenir de bons résultats, suffisamment précis et spatialement satisfaisants, bien que la méthode reste toutefois discutable (Taureau *et al.*, 2015). Aussi, notre bonne connaissance des milieux facilite et fiabilise-t-elle les résultats.

Pour cela, après avoir calculé les NDVI pour chaque site, les seuils de NDVI ont été déterminés de manière interactive à partir de l'outil d'ajustement spatial ArcGIS pour pouvoir distinguer différents niveaux de densité, puis une vérification visuelle de la densité

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

sur Google Earth a été effectué, en se basant sur la méthodologie développée dans les travaux d'Umroh *et al.* (2016) et de Thu et Populus (2007).

Etant donné notre bonne connaissance du milieu en 2014, j'ai commencé à travailler sur les images de cette date afin d'identifier sur les pixels correspondant aux transects de terrain, les seuils du NDVI pertinents (Tableau IV) pour distinguer les différents niveaux de densité. Ensuite, l'objectif était d'appliquer la méthode à l'ensemble des pixels des images et aux dates d'images plus anciennes pour lesquelles je n'avais pas de validation terrain ou Google Earth possible.

Tableau IV : Les seuils de NDVI et densité de la mangrove en 2014

Densité ou Recouvrement	NDVI
Peu dense ou Recouvrement faible	0 - 0.60
Dense ou Recouvrement moyen	0.60 - 0.74
Très dense ou Recouvrement fort	0.74 - 1.00

Malheureusement, l'application de ces seuils définis pour les images de 2014, n'a pas été satisfaisante pour les autres dates. Par exemple, pour les images de 2012, où la plus forte valeur de NDVI est seulement de 0.58, l'utilisation des seuils de 2014, impliquerait que la plupart des mangroves en 2012 étaient peu denses, ce qui n'est pas conforme à la réalité lorsqu'on se base sur une analyse visuelle indiquant la présence à cette date de mangroves très denses. Nos seuils sont d'ailleurs également très différents de ceux trouvés dans plusieurs littératures telles que : Thu et Populus (2007), Giri *et al.* (2007), Satyanarayana *et al.* (2011) et Umroh *et al.* (2015). Et puisque les limites supérieures des NDVI des images de chaque date (1987, 1998, 2012) sont différentes, les seuils de nos NDVI ont été donc définis pour chaque site et chaque date à partir d'une interprétation visuelle (Tableau V).

Tableau V : Le récapitulatif des seuils du NDVI pour la densité de la mangrove entre 1987-2012

Densité ou Recouvrement	NDVI en 2012	NDVI en 1998	NDVI en 1987
Peu dense ou Recouvrement faible	0 - 0.26	0 - 0.28	0 - 0.34
Dense ou Recouvrement moyen	0.26 - 0.38	0.28 - 0.35	0.34 - 0.51
Très dense ou Recouvrement fort	0.38 - 1.00	0.35 - 1.00	0.51 - 1.00

L'intégration de ce critère de densité reste encore dans le cas présent très imparfait et il faut en être conscient. Toutefois, il donne l'opportunité d'aller au-delà de la seule analyse de la

présence/absence des mangroves et va permettre de mettre en évidence leur disparition, leur maintien ou leur stabilité. Ainsi, une évolution qualifiée de disparition fera référence à des mangroves qui ont été présentes dans la période N et qui sont absentes en N+1 quelle que soit leur densité. Le maintien correspond à l'ensemble des mangroves qui sont présentes entre deux dates sans changement de densité. La stabilité fait référence à des mangroves qui sont présentes entre deux dates (N et N+1) et qui ont eu ou non les mêmes densités.

III.2.2 L'apport du Système d'Information Géographique

Les Systèmes d'Information Géographique ont été utilisés non seulement pour traiter les données collectées sur le terrain, mais également pour les croiser avec les données issues des traitements d'images précédents à l'aide du logiciel ArcGIS et QGIS.

Pour intégrer dans le Système d'Information Géographique les données concernant les peuplements de palétuviers acquises sur le terrain à partir des transects, chaque individu a été affecté d'une coordonnée géographique dérivée de celle enregistrée sur le terrain tous les 50 m (5 blocs). Pour y parvenir, par l'intermédiaire des observations et des photographies de terrain prises systématiquement dans chaque bloc, chaque individu a été replacé dans chaque bloc dans une grille subdivisée en 5 pour les coordonnées en X (abscisse ou colonne) et en 10 pour les coordonnées en Y (ordonnée ou ligne). Ensuite cette grille a été synchronisée avec la projection UTM 38 S (WGS84) grâce aux coordonnées en début et fin de chaque bloc et à l'outil d'ajustement spatial d'ArcGIS. Les coordonnées obtenues pour chaque individu, grâce à l'outil de calcul de champs (calcul de coordonnées), ont ensuite été exportées dans un fichier texte (ou «.txt») afin de pouvoir créer une couche vecteur points au format «shape». Chaque individu a également été caractérisé par son espèce et son diamètre (4 classes de diamètre ont été définies (1-10 cm; 10-21 cm; 21-36 cm; > 36 cm) dans Excel à partir de l'histogramme de fréquence de ces diamètres). A noter que les individus ayant moins d'un mètre de hauteur et moins d'un centimètre de diamètre ont été classés parmi les juvéniles.

Tous les blocs d'un transect (une ligne entière) ont été fusionnés pour avoir une seule couche, ensuite l'ensemble des couches correspondant à tous les transects ont aussi été fusionnées afin d'obtenir un seul « shape » pour toute la zone d'étude. La méthode a été

validée notamment en projetant les transects géolocalisés sur les images satellites et de Google Earth.

III.2.2.1 L'analyse et traitement des données d'inventaires floristiques et de densité

L'un des objectifs de notre étude était de cartographier non seulement la présence/absence des mangroves de la région de Toliara, mais aussi et surtout de réaliser ces cartes en fonction d'une typologie des espèces qui les composent et de leur densité. Dans ce but, nous avons réalisé des inventaires floristiques relevés sur les transects pour chaque site et dérivés des densités à partir des NDVI. Enfin, pour cartographier l'ensemble des mangroves de la région selon ces critères spécifiques, il a fallu récupérer les signatures spectrales des différentes associations végétales des transects en les croisant avec les images satellites, et appliquer des classifications supervisées sur ces dernières à partir de sites d'entraînement pris dans ces transects et représentatifs de ces différentes associations.

Préalablement à cette étape, il a fallu dans un premier temps définir cette typologie des espèces. En effet, si les forêts de mangroves sont composées de 7 espèces dans cette région, elles peuvent s'associer en combinaisons multiples qui nécessitent de définir des regroupements pertinents. Pour cela, indépendamment de toute contrainte et de toute indication sur le nombre de classes ou sur le type de distance souhaités pour regrouper les espèces, une méthode complètement supervisée, non hiérarchique, et basée sur les pourcentages d'espèces dans chaque bloc a été choisie.

On a défini 3 classes selon les types d'associations, spécifique, mixte ou composite, chacune subdivisée ensuite en sous classes. La classe « Spécifique » est caractérisée par le fait que le plus grand pourcentage d'une espèce dans un bloc est supérieur à 50%. Cette valeur a été choisie puisque mathématiquement, il n'y a qu'une seule espèce pouvant avoir un pourcentage supérieur à 50% dans un bloc. Celui-ci part donc du principe que si le bloc considéré n'est pas forcément constitué d'une seule espèce, il est cependant très « pur ». Un bloc classé dans la classe « Mixte » est caractérisé par le fait que la somme de ses deux plus grands pourcentages d'espèces est supérieure à 66 % sachant que le premier plus grand pourcentage est inférieur ou égal à 50 %. Dans la classe « Composite » va être classée un bloc qui ne se situe pas dans l'une des deux classes précédentes. Il sera composé en général de plusieurs espèces associées.

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

Pour l'ensemble des sites, 612 blocs sont « spécifiques », 44 sont « mixtes » et 3 « composites » (Tableau VI).

Tableau VI : Nombre de blocs par classes (première étape)

Classe	Effectif (blocs)
Spécifique	612
Mixte	44
Composite	3

Dans un deuxième temps, les deux premières classes « spécifique » et « mixte » ont été subdivisées à partir de critères affinés. Ainsi, les 612 classes « spécifiques » peuvent être divisées en sous-classes « Pures » lorsque le pourcentage d'une espèce est à 100% (261 blocs), « Très dominantes » quand le pourcentage d'une espèce est compris entre [70%-100%[(238 blocs) et « Dominantes » lorsque le pourcentage d'une espèce est entre]50%-70%[(113 blocs). Les 47 classes « mixtes » et « composites » peuvent être subdivisées en deux classes bien distinctes : « Codominantes » quand deux espèces dominent et que le pourcentage de chacune des deux espèces est compris entre]33.3-50] (23 blocs) et « Mixtes » pour les 24 autres blocs caractérisés par une espèce ayant un pourcentage situé entre [50-33.3[et les 2 ou 3 espèces restantes se répartissent ce qui reste du pourcentage (Tableau VII).

Tableau VII : Nombre de blocs par classe (deuxième étape) pour Ambondrolava

Site	Espèces	Classe	Densité	Nb blocs
A BONDROLAVA	<i>Avicennia marina</i>	dominante	dense	1
	<i>Avicennia marina</i>	pure	dense	6
	<i>Avicennia marina</i>	très dominante	dense	8
	<i>Avicennia marina</i>	dominante	peu dense	5
	<i>Avicennia marina</i>	pure	peu dense	39
	<i>Avicennia marina</i>	très dominante	peu dense	11
	<i>Avicennia marina</i>	très dominante	très dense	1
	<i>Avicennia marina-Rhizophora mucronata</i>	codominante	peu dense	2
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	dominante	peu dense	1
	<i>Ceriops tagal</i>	dominante	dense	2
	<i>Ceriops tagal</i>	pure	dense	2
	<i>Ceriops tagal</i>	très dominante	dense	2
	<i>Ceriops tagal</i>	dominante	peu dense	2
	<i>Ceriops tagal</i>	très dominante	peu dense	2
	<i>Ceriops tagal -Rhizophora mucronata</i>	codominante	peu dense	2
	<i>Lumnitzera racemosa - Sonneratia alba</i>	pure	peu dense	5
	<i>Lumnitzera racemosa - Sonneratia alba</i>	très dominante	peu dense	1
	Mixte (Am, Rm, Ct, Sa)	-	peu dense	3
	<i>Rhizophora mucronata</i>	pure	dense	3
	<i>Rhizophora mucronata</i>	très dominante	dense	4
	<i>Rhizophora mucronata</i>	pure	peu dense	8
	<i>Rhizophora mucronata</i>	très dominante	peu dense	3
	<i>Sonneratia alba</i>	dominante	dense	1
	<i>Sonneratia alba</i>	pure	dense	5
	<i>Sonneratia alba</i>	très dominante	dense	2
	<i>Sonneratia alba</i>	pure	peu dense	2
	<i>Sonneratia alba</i>	très dominante	peu dense	1

Dans un troisième temps, chacune de ces classes d'associations d'espèces a été associée aux 3 classes de densité « peu dense », « dense » et « très dense » définies précédemment à partir du NDVI. On a obtenu 205 nouvelles classes pour l'ensemble de tous les sites d'études comme « Mangrove à *Avicennia marina* pure dense », « Mangrove à *Avicennia marina* et *Sonneratia alba* codominantes très dense », « Mangrove à *Avicennia marina* très dominantes peu dense » ou « Mangrove mixte dense », etc. Cependant le nombre très important de combinaisons possibles, donc de classes, ne permettait pas de réaliser une cartographie lisible et compréhensible. Des regroupements de classes ont été

donc réalisés selon, d'une part, la dominance des espèces, et d'autre part, la densité des mangroves.

Ainsi un regroupement par dominance des espèces a été réalisé d'une part :

- Mangroves « monospécifiques » : regroupement des mangroves « pures » (c'est-à-dire une espèce compose 100% du bloc) avec des mangroves « très dominantes » (c'est-à-dire une espèce domine le bloc à plus de 70%).
- Mangroves « mixtes » : regroupement des mangroves « codominantes » avec des mangroves « mixtes »

Et un regroupement par la densité des mangroves d'autre part :

- Mangroves « denses » c'est-à-dire les mangroves ayant une couverture continue et fermée : regroupement des mangroves « très denses » et des mangroves « denses ».
- Mangroves « peu denses » laissées telles qu'elles.

Il est à noter que certaines classes n'ayant qu'un seul bloc n'ont pas été prises en compte car Idrisi ne peut pas traiter une zone d'entraînement avec un seul bloc.

Le but était d'obtenir 10 classes environ par site sachant que pour leur cartographie qui va suivre (Tableau VIII), normalement, l'œil humain distingue correctement seulement 10 à 12 niveaux de gris (Bariou et Lecamus, 1978; Rouffignat *et al.*, 1984; Provencher et Dubois, 2007) et que ce nombre se réduit à 7 ou 8 niveaux lorsque la répartition des tonalités est dispersée (Provencher et Dubois, 2007). A noter que le choix du nombre de classes doit être déterminé d'une façon bien réfléchie par rapport au contenu des images et du site que l'on cherche à classifier puisque si le nombre de classes est trop réduit, des éléments très hétérogènes vont être assemblés dans une même classe tandis qu'avec un nombre de classes assez élevé, une même classe va être scindée en plusieurs classes.

Tableau VIII : La liste des classes de mangrove par espèce et densité dans chaque site

Sites	Classes	Typologies
Manombo-Fitsitike	8	<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et peu dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> dominante et dense
		<i>Avicennia marina</i> monospécifique et dense
		<i>Avicennia marina</i> monospécifique et peu dense
		<i>Avicennia marina</i> dominante et dense
		<i>Sonneratia alba</i> monospécifique et dense
		Mixte (Am, Rm, Bg, Ct, Sa) dominante et dense
Ambondrolava	8	<i>Avicennia marina</i> monospécifique et dense
		<i>Avicennia marina</i> monospécifique et peu dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et peu dense
		<i>Sonneratia alba</i> monospécifique et dense
		<i>Sonneratia alba</i> monospécifique et peu dense
		<i>Lumnitzera racemosa</i> monospécifique et peu dense
		Mixte (Am, Rm, Ct, Sa) dominante et peu dense
Ankiembe	10	<i>Avicennia marina</i> monospécifique et dense
		<i>Avicennia marina</i> monospécifique et peu dense
		<i>Avicennia marina</i> dominante et dense
		<i>Avicennia marina</i> dominante et peu dense
		<i>Ceriops tagal</i> monospécifique et dense
		<i>Ceriops tagal</i> monospécifique et peu dense
		<i>Ceriops tagal</i> dominante et dense
		<i>Ceriops tagal</i> dominante et peu dense
		<i>Sonneratia alba</i> dominante et peu dense
		Mixte (Am, Rm, Sa) dominante et peu dense
Sarodrano	9	<i>Avicennia marina</i> monospécifique et dense
		<i>Avicennia marina</i> monospécifique et peu dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et dense
		<i>Rhizophora mucronata</i> monospécifique et peu dense
		<i>Bruguiera gymnorhiza</i> dominante et dense
		<i>Bruguiera gymnorhiza</i> monospécifique et dense
		<i>Ceriops tagal</i> dominante et dense
		<i>Sonneratia alba</i> monospécifique et peu dense
		Mixte (Am, Bg, Ct) dominante et dense
Andriambe	4	<i>Xylocarpus granatum</i> monospécifique et dense
		<i>Xylocarpus granatum</i> monospécifique et peu dense
		<i>Sonneratia alba</i> monospécifique et peu dense
		Mixte (Am, Bg, Xg) dominante et dense

III.2.2.2 La cartographie par espèce et densité

A partir de ces données, des classifications supervisées par espèce et densité de mangroves ont été réalisées à partir des images SPOT 5 de 2014 à 10 m de résolution. Des zones d'apprentissage ont été choisies pour les 4 à 10 classes pour chaque site. La méthode de classification par le maximum de vraisemblance ou MAXLIKE a été retenue pour la réalisation de la classification. C'est une méthode paramétrique à distribution dite normale qui s'appuie sur une fonction de répartition probabiliste des réflectances dans les sites d'entraînement, répartition basée sur la statistique bayésienne. Le programme évalue la probabilité d'appartenance d'un pixel à chacune des classes et l'affecte là où la probabilité est la plus forte. Le maximum de vraisemblance est la méthode la plus lente, mais dans le cas où les sites d'entraînement sont bons, c'est la plus précise.

III.2.2.3 La validation des classifications

La validation est un processus d'évaluation de l'exactitude des produits par des moyens indépendants (Justice *et al.*, 2000 ; Tian *et al.*, 2002). Ces produits pourraient être une carte ou la méthodologie, et dans notre cas, il s'agit en premier lieu de la validation de la méthode de classification non supervisée des images de 2014 et en second lieu de la validation de la classification supervisée à partir d'une matrice de confusion ou tableau de contingence.

A noter que dans les travaux sur la cartographie des mangroves, les précisions globales des classifications varient en général entre 70% et 98% : 78,32% et 81,62% pour Salam *et al.* (2007), 83% pour Dan *et al.* (2016), 84,4 % pour Rakotomavo et Fromard (2010), 84,82% pour Mensah (2013), 88,3% pour Satyanarayana *et al.* (2011) et 97% pour Conchedda *et al.* (2008).

III.2.2.3.1 La validation des classifications non supervisées et des cartes de présence/absence de mangrove

Pour valider les cartes de présence/absence de mangrove issues de classifications non supervisées des dates antérieures à 2014, pour lesquelles nous n'avons pas de vérité terrain, nous avons dans un premier temps validé ces cartes pour les images de 2014. La validation de la carte binaire de présence/absence de mangrove de 2014 issue de la

PREMIÈRE PARTIE - La méthodologie

classification non supervisée est réalisée à partir de parcelles de vérité-terrain qui ont été choisies à partir des transects réalisés en 2014. Pour cette étape, deux types de parcelles de vérité-terrain ont été définis, une série pour valider la présence de mangrove et d'autres pour valider l'absence. Si les parcelles « à mangrove » n'ont pas posé de problème, par contre les transects relevés ne proposaient pas suffisamment de blocs « non mangrove ». En effet, ces transects débutaient au niveau des lisières de forêts de palétuviers en front de mer ou de fleuve, et s'interrompaient à la lisière opposée. Par ailleurs, les peuplements présentent dans cette région relativement peu de « trous » en leur sein ou de taille inférieure à celle des blocs. Par conséquent, 3 blocs au début et à la fin des transects ont été ajoutés sous SIG. Ces blocs ont été utilisés comme parcelles d'entraînement « non mangrove », puisqu'il était certain qu'ils étaient sans mangrove, aucun palétuvier n'ayant été observé sur le terrain. Sur un total de 120 pixels, 115 sont bien classés, c'est-à-dire que la précision globale de la classification non supervisée est de 95,83 % soit $[(98+17)/120]*100$, valeur que l'on peut considérer comme assez satisfaisante (Tableau IX). Ensuite, comme la carte de 2014 est validée, alors la méthodologie appliquée pour l'obtenir va pouvoir être appliquée aux autres dates pour permettre d'obtenir des cartes issues de ces images antérieures de 1987, 1998 et 2012.

Tableau IX : Matrice de confusion (présence/absence) avec le nombre de pixel pour les images de 2014

Nombre de pixel	Image				
	Mangrove	Non mangrove	Total Ligne	Précision réalisateur	Erreur d'omission
Référence	Mangrove	98	02	100	98/100
	Non mangrove	03	17	20	17/20
	Total colonne	101	19	120	
	Précision utilisateur	98/101	17/19		
	Erreur commission	3/101	2/19		

III.2.2.3.2 La validation de la classification supervisée

La validation de la classification supervisée a été faite en comparant les résultats de la classification supervisée des images de 2014 avec les données classées des transects de la même date. Les précisions globales des classifications supervisées des cinq sites varient entre 92.50 à 98.90 (Tableau X).

À noter que ; primo, il est impératif d'utiliser les résultats issus de cette validation avec précaution car ils pourraient être biaisés, notamment légèrement surévalués. En effet, il y a des classes qui comportent peu de blocs (moins de 20 blocs) qui ont tous été utilisés comme des parcelles d'entraînement. Par conséquent, on a été obligé d'évaluer les résultats avec les mêmes sites d'échantillonnage. Secundo, on n'a pas calculé l'indice Kappa bien que son utilisation soit souvent recommandée en télédétection (Congalton, 1981 ; Congalton *et al.*, 1983 ; Monserud et Leemans, 1992 ; Congalton et Green, 1999 ; Smits *et al.*, 1999 ; Benfield *et al.*, 2005 ; Wilkinson, 2005 ; Nascimento *et al.*, 2013 ; Giri *et al.*, 2014 ; Carney *et al.*, 2014 ; Kordi et O'Leary, 2016) et dans d'autres domaines (Pontius et Millones, 2011). Cet indice compare l'accord entre le résultat cartographique et les données de validation pour que la précision globale ne soit pas due au hasard. Cependant, le pourcentage aléatoire peut donner des résultats trompeurs, car un faible kappa (i.e. 0) signifierait l'obtention d'un résultat pour un modèle avec un bon accord si une catégorie domine les données (Bennett *et al.*, 2013). De plus, des auteurs tels que Pontius et Millones (2011) ont conclu que cet indice Kappa est inutile, voire trompeur et/ou imparfait dans le cadre des applications pratiques en télédétection. Aussi a-t-il été critiqué pour son incapacité à localiser les erreurs (Kuhnert *et al.*, 2005).

Tableau X : Matrice de confusion de la classification supervisée de 2014 avec le nombre de pixel pour l'ensemble des sites

Site	Précision globale	Précision par pixel
Manombo-Fitsitike	93,78 %	181/193
Ambondrolava	93.45 %	100/107
Ankiembe	94.88 %	167/176
Sarodrano	98.90 %	90/91
Andriambe	92.50 %	37/40

L'adoption de méthodes cohérentes et rigoureuses au cours de cette thèse s'avère fondamental et essentiel par rapport à l'ensemble des objectifs fixés en amont. Il était impératif de pouvoir valider la fiabilité des résultats cartographiques et des quantifications faites. Pour cela, la recherche sur terrain assez conséquente a été l'un des principaux atouts de cette étude malgré le fait qu'il soit difficile d'accéder à l'intérieur de la forêt de mangroves en raison de ses systèmes racinaires, de la fluctuation des marées, des substrats

mous. En outre, l'accès y est laborieux et coûteux en termes de temps et d'argent, et certaines méthodes d'investigation sont destructives (Bréda, 2008). Les travaux sur terrain ont été réalisés à partir de transects qui ont permis de définir les différents faciès de la végétation, sur la base de la composition floristique et les paramètres structuraux de la végétation (densité, capacité de régénération). Les substrats prélevés dans les transects, décrits et commentés en se basant sur des résultats d'analyse au laboratoire, ont aussi été utilisés pour caractériser ces différents milieux. Enfin, en croisant ces données terrain avec la télédétection et le SIG, on a pu cartographier et caractériser les formations de mangrove à l'échelle régionale avec un bon degré de précision.



DEUXIÈME PARTIE

Après avoir circonscrit le cadre d'étude, délimité son cadre géographique et clarifié la méthodologie adoptée dans la précédente partie, la présentation plus approfondie de la mangrove ainsi que ses contextes et fonctions sont proposés ci-après. Cette deuxième partie s'organise autour de 2 chapitres, le premier montrant la complexité de cet écosystème et le second s'intéressant aux contextes et fonctions biophysiques des mangroves des sites d'étude. La complexité de cet écosystème va être éclairée à partir de la présentation des différentes espèces présentes dans la région, de son caractère d'interface dans un continuum terre-mer, de la présentation des écosystèmes associés. Les éléments relatifs au climat, à la pluviométrie, aux températures, à l'hydrologie fluviale et maritime, à la salinité ainsi qu'à la dynamique sédimentaire de la région d'étude s'avèrent aussi indispensable à présenter. Enfin, les fonctions et les valeurs socio-économiques des mangroves ainsi que les fonctions et les valeurs environnementales et biologiques seront considérées.

Chapitre I. Les mangroves : des écosystèmes complexes

En tant que milieux d'interface continent-océan, les mangroves sont de très bons enregistreurs des changements environnementaux, aux échelles locale et globale. Leur localisation, leur état et les espèces présentes dans les forêts de palétuviers et les écosystèmes associés sont étroitement reliés à différents facteurs écologiques. Blasco (1991) définit les mangroves comme des formations arborées hautement spécialisées propres aux strates supérieures de la zone intertidale que l'on retrouve au niveau des côtes et des fleuves tropicaux et subtropicaux. Ce sont des écosystèmes fragiles qui peuvent mourir brutalement dès que l'un des paramètres de leur environnement se modifie. Les variations spatiales des mangroves à toutes les échelles (globale, régionale et locale) dépendent directement de cet ensemble croisé de facteurs (Taureau, 2017).

I.1. Les peuplements à palétuviers du Sud-ouest de Madagascar

Dans le sud-ouest de Madagascar, on peut observer 7 espèces de palétuviers différentes.

I.1.1 *Avicennia marina* (Forsk.)

Cette espèce est également désignée sous le nom d'*Avicennia germinans* (Stearn, Vierhapper) ou *Avicennia nitida* (N.J. Jacquin). Elle appartient à la famille des Acanthaceae, et a pour nom vernaculaire « *Afiafy* », « *Mosotry* », « *Fanavitraina* », « *Tsingafiafy* », « *Honkofotsy* », « *Mosotro* » « *Palétuvier blanc* » ou « *Palétuvier gris* ».

Cet arbuste ou arbre très ramifié, à écorce blanche ou olive, à feuilles opposées et persistantes, émettant des racines horizontales, peut aller jusqu'à 30 m de hauteur dans les mangroves du sud-ouest de Madagascar (Figure 24). Il possède des fruits vert jaunâtre, de forme ovale et d'une longueur de 1.2 à 2.5 cm (Moldenke et Humbert, 1956).

Espèce pionnière, elle se présente le plus souvent en peuplements homogènes en front de mer et du côté de la terre ferme et possède une forte plasticité écologique lui permettant de supporter des conditions de salinité élevée et des textures de sols sableuses. Cette espèce présente différentes adaptations aux conditions du milieu. Tout d'abord ses pneumatophores minces, en forme de crayon, se lèvent verticalement à partir des racines (Naidoo, 2016). Ses racines tranchantes jouent également un rôle important dans l'implantation des individus sur un substrat instable. *Avicennia* dispose aussi d'un mécanisme de sécrétion du sel par l'intermédiaire de glandes foliaires ou de glandes salines sur les deux surfaces foliaires présentant un épiderme de racine lignifié, un exoderme et un endoderme qui diminuent l'absorption d'eau apoplastique (Nguyen *et al.*, 2015). Le sel excrété se cristallise alors sur les feuilles par évaporation. L'embryon pour cette espèce est vivipare. La viviparité se matérialise extérieurement par le développement de poils réfléchis au niveau de l'hypocotyle (Chapman, 1976 ; Trochain, 1980). Enfin, il est remarquable que les plantules de cette espèce soient capables de produire des graines (phénomène de néoténie). Leur multiplication s'effectue en effet par graine. Cette espèce est présente dans tous les sites de mangroves de la région.



Figure 24 : Espèce *Avicennia marina*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.2 *Sonneratia alba* (Sm.)

Elle appartient à la famille des Lythraceae, et a pour nom vernaculaire « *Songery* », « *Farafaka* », « *Farafata* » ou « *Manglier fleur* ». Cet arbre peut atteindre une vingtaine de mètres de hauteur et jusqu'à 1m50 de diamètre de tronc. Les *Sonneratia* ont des feuilles coriaces, pétiolées, épaisses, larges (de 5 à 8 mm selon Perrier de La Bâthie et Arènes en 1954) et arrondies (Figure 25). Espèce pionnière, elle se présente le plus souvent en peuplements homogènes en zone intertidale. Les principales adaptations de cette espèce aux conditions du milieu sont la présence de gros pneumatophores verticaux en forme de cône. Leur conservation et multiplication s'effectue par graine et il est remarquable que les plantules de cette espèce soient capables de produire des graines (phénomène de néoténie).

Cette espèce est localisée à Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Andriambe et Sarodrano.



Figure 25 : Des individus *Sonneratia alba*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.3 *Lumnitzera racemosa* (Willd.)

Cette espèce est désignée aussi sous le nom de « manglier à petite feuille » (Figure 26). Elle appartient à la famille des Meliaceae et a pour nom vernaculaire « Rogno », « Lovinjo » ou « Roneho ».

Cet arbuste très ramifié dès la base peut atteindre 2 m de hauteur. Il a des feuilles opposées décussées persistantes avec quelques échancrures et une nervure centrale peu apparente. Ses fruits sont sessiles ou subsessiles, glabres, petits, prolongés par le réceptacle persistant et épais. C'est une espèce immergée à forte marée ou souvent dans les zones à forte résurgence. Sa conservation et son multiplication s'effectuent par le biais de propagules très fines.

Cette espèce est localisée à Ambondrolava, Manombo et Andriambe.



Figure 26 : Un pied de *Lumnitzera racemosa* au milieu de *Typha angustifolia* (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.4 *Bruguiera gymnorhiza* (Lam.)

Désignée aussi sous le nom de manglier latte, *Bruguiera gymnorhiza* appartient à la famille des Rhizophoraceae et a pour nom vernaculaire « *Tangampoly* », « *Tsitolomy* » ou « *Tangamainty* », « *Vahona* », « *Lavasiko* » (Figure 27).

Les *Bruguiera*, arbres qui peuvent aller jusqu'à 10 m de hauteur, ont des feuilles ovales pointues, en verticille, aux apex alternés. Ce sont des palétuviers à contreforts avec des racines coudées. Leur conservation et multiplication s'effectuent par graine. Cette espèce se rencontre dans les mangroves de Manombo-Fitsitike, Ambondrolava et Sarodrano.



Figure 27 : Un pied de *Bruguiera gymnorrhiza*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.5 *Ceriops tagal* (C.B. Rob.)

Ceriops tagal ou *palétuvier jaune* est l'une des espèces d'arbre les plus cosmopolites des forêts de mangroves, puisqu'on la trouve depuis la côte est de l'Afrique, en passant par l'Asie et l'Australie, jusqu'aux Philippines (Chapman, 1976 ; Tomlinson, 1986 ; Smith III, 1988). Désignée aussi sous le nom *Ceriops condolleana* ou *Ceriops boviniana*, c'est une espèce vivace à longue durée de vie (Huang *et al.*, 2012) qui appartient à la famille des Rhizophoraceae, et a pour nom vernaculaire « *Farafaka* », « *Tangavavy* » ou « *Honkovavy* » (Figure 28).

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

Cet arbre peut aller jusqu'à 8 m de hauteur et jusqu'à 1m50 de diamètre et se distingue des autres espèces par son inflorescence fléchissante, ses fruits avec des lobes calsés persistants, des hypocotyles angulaires à crêtes (Tomlinson, 1986; Sheue *et al.*, 2010), des feuilles ovales plus ou moins allongées et surtout des pneumatophores coudés. Leur conservation et multiplication s'effectuent par le biais de propagules à grosses côtes mesurant environ 10-20 cm (Tomlinson, 1986). Leurs semis vivipares sont flottants, vraisemblablement capables d'une dispersion à longue distance par les océans. Cette espèce est localisée dans les zones à immersion quotidienne (zone intertidale) à forte marée avec atterrissements vaseux. C'est aussi une plante très tolérante au sel et pourrait être cultivée au bord de la mer où il recevrait une inondation diurne avec peu de changements dans la salinité du sol (Aziz et Khan, 2001).



Figure 28 : Quelques pieds de l'espèce *Ceriops tagal*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.6 *Rhizophora mucronata* (Lam.)

Cette espèce est désignée aussi sous le nom de *palétuvier rouge*. Elle appartient à la famille des Rhizophoraceae, et a pour nom vernaculaire «*Tangamarotagna* », «*Honkolahy* », «*Tangalahy* », «*Voandrano* » ou «*Anabovahatra* » (Figure 29).

Cet arbre peut aller jusqu'à 20 m de hauteur et jusqu'à 1m50 de diamètre. Les espèces *Rhizophora mucronata* ont de grandes feuilles ovales allongées, opposées, dotées d'une nervure centrale très apparente en relief sur la face inférieure, épaisses, vertes et des racines échasses sous forme d'accotement ailé jouant le rôle d'un contrefort. Il produit un système extensif de racines de soutien aérien qui permet à l'espèce de s'épanouir dans des sites gorgés d'eau et de se stabiliser dans les substrats mous comme la vase.

Leur conservation et multiplication s'effectuent par le biais de leurs propagules à grosses côtes lorsqu'il y a apparition d'un collier jaune due à l'étirement et signifiant leur maturité. Cette espèce est localisée à Manombo-Fitsitike, Ambondrolava et Sarodrano.



Figure 29 : Un peuplement à *Rhizophora mucronata*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.7 *Xylocarpus granatum* (König.)

L'espèce désignée aussi sous le nom *Carapa obovata*, appartient à la famille des Meliaceae (ex Combretaceae), et a pour nom vernaculaire « Fobo », « Foby », « Latak'Antalaotra », « Sarigoavy » ou « Manglier patience ».

Cet arbre à écorce lisse, rougeâtre ou orange, s'écaillant par endroits, peut aller jusqu'à 15 m de hauteur (Figure 30) et présente des feuilles en nombre pair composées de 2 à 4 paires de folioles, ovales de couleur vert clair. Il est remarquable par ses gros fruits globuleux pesant jusqu'à 3 kilogrammes, bruns avec des graines liégeuses généralement au nombre de 8 à 10 dans un seul fruit.

C'est le palétuvier le plus caractéristique des mangroves d'Andriambe. Leur conservation et multiplication s'effectuent par graines.



Figure 30 : *Xylocarpus granatum*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.2. L'enracinement et l'alimentation en oxygène

L'une des formes d'adaptation les plus spectaculaires des palétuviers est la présence de racines à l'air libre. Elles sont particulières car elles assurent la respiration et la fixation des arbres sur un substrat mou. Malheureusement, leur faible profondeur (en moyenne 2 m)

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

fragilise les palétuviers en cas de forte vague, de vent ou de tempête. De multiples pores qui s'ouvrent existent à leur surface, permettant l'oxygénation du système racinaire.

Ces racines prennent des formes différentes.

Les espèces *Rhizophora mucronata* possèdent des racines échasses, racines aériennes en forme d'arceau qui naissent à la base du tronc (Figure 31). Du point de vue évolutif, ces racines échasses peuvent être assimilées à des racines archaïques (Schnell, 1971) et favorisent la stabilité de la mangrove en période de submersion (Blasco, 1996).



Figure 31 : Des racines échasses de l'espèce *Rhizophora mucronata* (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les espèces *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza* et *Sonneratia alba* sont des palétuviers caractérisés par des pneumatophores. Ce sont des excroissances aériennes des racines latérales des palétuviers. Ce sont les pneumatophores qui assurent l'activité respiratoire la plus intense en facilitant la pénétration de l'oxygène par les racines (Blasco, 1996). Les espèces *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorrhiza* et *Sonneratia alba* ont des pneumatophores différents :

- *Avicennia marina* est une espèce caractérisée par de petits pneumatophores grêles, flexibles (non ligneux) et très nombreux (Figure 32).



Figure 32 : Les petits pneumatophores de l'espèce *Avicennia marina* (Andriatsiaronandroy, 2018)

- *Sonneratia alba* est pourvue de gros pneumatophores peu nombreux, coniques et rigides (lignifiés) (Figure 33).



Figure 33 : Les gros pneumatophores de l'espèce *Sonneratia alba* (Andriatsiaronandroy, 2018)

- *Bruguiera gymnorrhiza* se distingue par des pneumatophores à l'apparence de genoux pliés ou en forme de coude (Figure 34).



Figure 34 : Les pneumatophores à l'apparence de genoux de l'espèce *Bruguiera gymnorhiza* (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les espèces *Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorhiza* (Figure 35) présentent des contreforts ailés.



Figure 35 : Un système racinaire en contrefort de l'espèce *Bruguiera gymnorhiza* (Andriatsiaronandroy, 2018)

Tandis que l'espèce *Xylocarpus granatum* a des contreforts comprimés latéralement (Figure 36).



Figure 36 : Un système de racine en contrefort comprimés latéralement chez l'espèce *Xylocarpus granatum* (Andriatsiaronandroy, 2018)

Par contre l'espèce *Lumnitzera racemosa* ne présente pas un ancrage particulier, raison pour laquelle elle se rencontre surtout près de la terre ferme.

Grâce à ces racines aériennes, les palétuviers sont capables d'absorber de l'oxygène atmosphérique et de rejeter le gaz carbonique du sol. En effet, les sols de mangrove sont perpétuellement gorgés d'eau, d'où le milieu riche en gaz carbonique et pauvre en oxygène dissout. Par ailleurs, les feuilles de *Rhizophora* sont couvertes de duvets protecteurs ayant pour rôle de limiter l'évapotranspiration, et les pneumatophores des espèces *Bruguiera*, *Sonneratia* et *Avicennia* comportent des lenticelles et des parenchymes lacuneux assurant des échanges gazeux avec l'atmosphère (Lemée, 1978).

I.3. La reproduction

Selon la germination et la dispersion des graines et des plantules, les palétuviers sont regroupés en deux catégories, les espèces vivipares et les espèces non vivipares.

Dans les populations de plantes littorales, où les conditions sont souvent défavorables à la germination, la viviparité est avantageuse car elle évite la germination dans un environnement salin (Joshi *et al.*, 1972 ; Robert *et al.*, 2015). Les espèces vivipares possèdent

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

des semences qui germent sur la plante mère. C'est un phénomène caractéristique des Rhizophoraceae. Après la fécondation, les graines commencent leur germination sur la plante mère, l'hypocotyle perce le fruit (Figure 37). A maturité, ces plantules se décrochent de leur géniteur et se fixent dans la vase en tombant et s'y s'enracinent et continuent à y croître. La taille de ces propagules varie selon les espèces et suivant les conditions du milieu. Les propagules ont une grande viabilité et résistent à une flottaison prolongée grâce aux caractères spongieux du noyau. Ainsi, elles peuvent s'implanter loin de la plante mère à marée basse.



Figure 37 : Un début de germination chez l'espèce *Ceriops tagal*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Les espèces non vivipares, telles qu'*Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, *Xylocarpus granatum* ont des organes de dissémination qui sont transportés par l'eau, c'est l'hydrochorie. Les marées sont donc le principal agent de dissémination des graines et des plantules de ces espèces de palétuviers. Le fruit de l'espèce *Avicennia marina* est cordiforme légèrement comprimé à style et calice persistant qui lui permet de flotter facilement sur l'eau. Le fruit de l'espèce *Xylocarpus granatum* est en forme de flotteur sphérique nécessitant la présence d'un obstacle assez fort pour pouvoir germer. L'obstacle va casser le péricarde et les graines vont être libérées. Quant au fruit de l'espèce *Sonneratia alba*, c'est

une baie globuleuse en forme de toupie qui flotte grâce au calice, c'est à dire des sépales recourbés et persistants. Lorsque celui-ci se détache, le fruit coule et la graine peut germer sur le fond.

La zoochorie est le second agent de dissémination, elle est réalisée par l'intermédiaire des espèces animales comme les chauves-souris.

I.4. Les milieux associés

Les mangroves sont constituées de forêts de palétuviers associées à d'autres écosystèmes. Ces milieux associés dans et autour des formations à palétuviers interagissent avec elles en permanence. Par ailleurs, certaines définitions de la mangrove les associent. Il faut donc comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes associés pour pouvoir étudier les mangroves.

I.4.1 Les récifs coralliens

Sous forme de reliefs sous-marins des mers chaudes, les récifs coralliens sont des constructions biologiques secrétées par des organismes et constituées d'empilements d'exosquelettes calciques d'algues rouges, de mollusques et de coraux qui sont largement dominants et qui donnent aux récifs un aspect rocheux. L'écosystème des récifs coralliens n'est pas à proprement parler associé à l'écosystème de la mangrove ; toutefois, les deux ont une relation étroite et interdépendante puisque la présence du premier influe fortement sur le développement du second. Les récifs coralliens protègent la mangrove contre les déferlements des vagues en créant des lagons où les eaux sont calmes et les conditions pour le développement de la mangrove sont favorables. Telle une zone de tampon, la mangrove stabilise le niveau de salinité dans les eaux côtières, empêche la sédimentation et la pollution terrigènes des récifs coralliens par l'interruption des écoulements d'eau douce provenant de l'intérieur des terres, qui sont parfois riches en sédiments ou en nutriments.

A Madagascar, les récifs coralliens couvrent en totalité une superficie estimée à 2400km² (Cook *et al.*, 2000) et s'étendent le long de la côte sur environ 1400km, dont 1050 km le long de la côte occidentale, auxquels s'ajoutent les bancs coralliens et hauts fonds du large. Pour, la côte sud-ouest, qui est une des zones de développement des récifs les plus importantes à Madagascar (Figure 38), lesquels récifs sont actuellement menacés de destruction puisqu'ils subissent plusieurs types de dégradation d'origine anthropique et naturelle. Parmi les récifs

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

du sud-ouest malgache, il y a les récifs de la Baie de Toliara, les récifs littoraux de Fiherena à Ifaty, les récifs de la Baie de Ranobe et les récifs à craie de Nosy Ve. Les récifs du sud-ouest se divisent en plusieurs secteurs appartenant à des types physiographiques extrêmement variés (Battistini, 1958, 1964a; Pichon, 1972 a, 1973; Salomon, 1987) dont des récifs barrières, des récifs frangeants et quelques îlots des bancs coralliens éparpillés dans le lagon. Toutefois, le plus important et le plus étudié à travers le monde (Pichon, 1964 ; Picard, 1967 ; Thomassin, 1969 ; Gravier *et al.*, 1970, Laroche et Ramananarivo, 1995 ; Arfi *et al.*, 2007 ; Brenier *et al.*, 2009 ; Andréfouët *et al.*, 2013) est le « Grand Récif » de Toliara, troisième plus grand récif barrière au monde avec 18 km de longueur et 3 km de largeur ; il est séparé de la côte par un chenal d'environ 10 mètres de profondeur (Harmelin-Vivien, 1979).

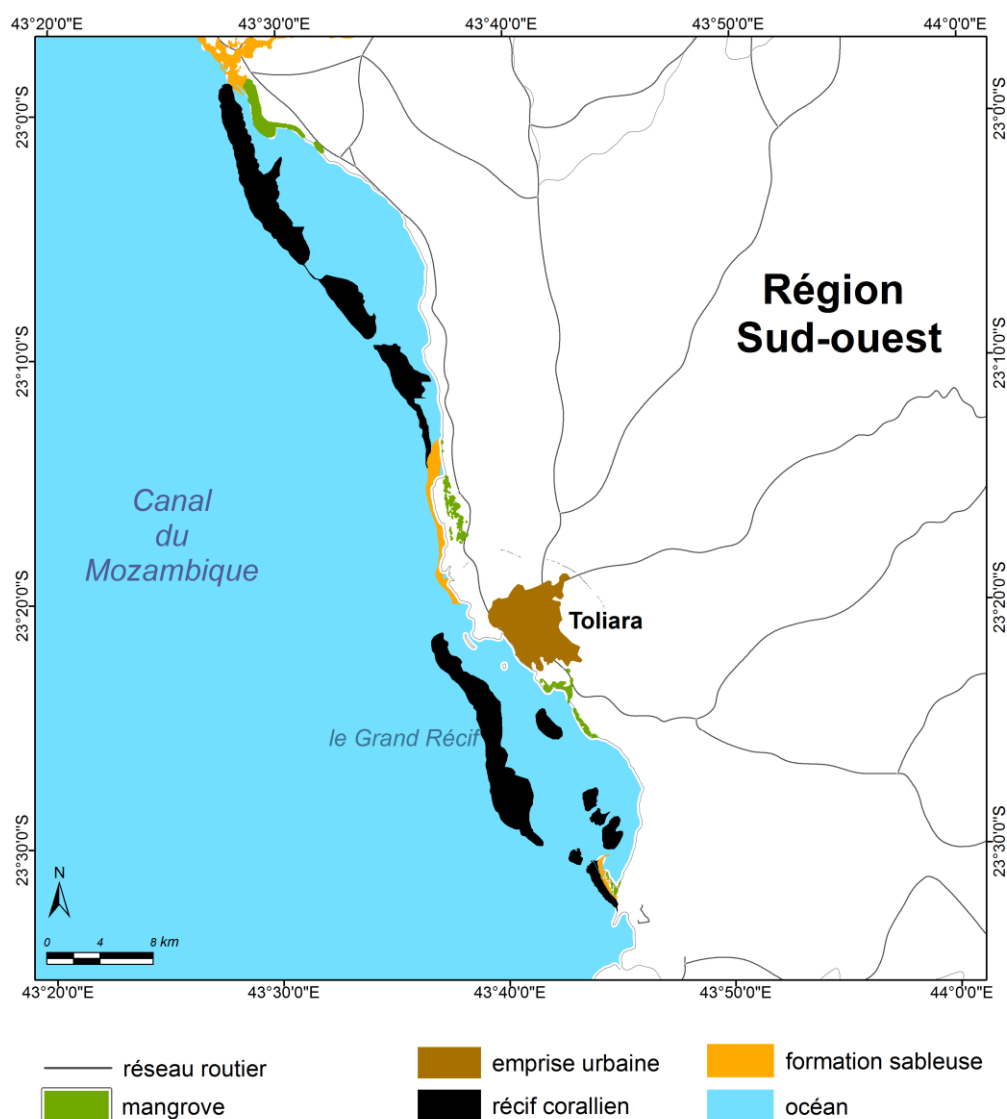


Figure 38 : Carte des récifs coralliens du littoral du Sud-ouest de Madagascar (Sources : BD 500, Spot Image, Google Earth)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.2 Les vasières nues

Les vasières composées de dépôts fins, argileux, plus ou moins calcaires, constituent le milieu de formation des marais maritimes sur les rivages des mers à marée (Figure 39). Une vasière qualifie une accumulation sous-marine de matériaux pélitiques, soit au large (vasière au large), soit sur l'estran (vasière nue ou slikke) correspondant à une zone de sédimentation naturelle. Elle consiste ainsi en un rivage en pente douce, de basse énergie, surtout composé de sédiments fins. Si les houles participent à la formation des sables et des galets, la marée par contre contrôle les particules fines en suspension dans les eaux marines et fluviales, et la sédimentation de ces particules fines produit de la vase (Coque, 1984). Au début, la vase est d'abord mobile et fluide, puis, associée au développement de biofilms (composés de microorganismes), elle se consolide sous la forte influence des houles et marées (tandis que le sable n'a de cohérence que lorsqu'il est humide). Une fois la vase consolidée, les palétuviers pionniers qui constituent les forêts de mangrove peuvent y pousser même si dans certains cas, comme celui des vasières de Dahomey (Guilcher, 1959), les palétuviers ne sont point présents.

Les vasières et marais littoraux constituent des écosystèmes très riches sur le plan biologique. Les fluctuations de la salinité, le rythme des marées et l'envasement important y créent des conditions de vie très particulières auxquelles ne sont adaptées que peu d'espèces vivantes, y compris les espèces de palétuviers qui couvrent parfois sa surface. Par contre, l'apport important de matière organique végétale de la mangrove dans les vasières assure une nourriture abondante aux espèces animales qui supportent de telles conditions. Les densités en individus sont considérables pour les différentes espèces qui les colonisent, notamment de mollusques, vers et crustacés. Cette profusion d'organismes attire de nombreux prédateurs, des oiseaux à marée basse, et joue également un rôle primordial pour la pêche côtière.

La colonisation des vasières par la mangrove est le résultat de plusieurs processus à la fois biologiques et biogéochimiques. Etant donné que la vase est encore fluide et mobile aux alentours des embouchures ou des mangroves, alors la houle et la marée contribuent à leur consolidation. Associée aux microorganismes et à la faune, elle forme un dépôt sédimentaire qui favorise le développement des palétuviers.



Figure 39 : Les vasières en bordure de la mangrove d'Ankiembe
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.3 Les herbiers de phanérogames marines

Les herbiers de phanérogames marines constituent l'un des écosystèmes les plus remarquables et les plus répandus des zones littorales du globe, aussi bien en milieu tempéré qu'en milieu tropical (Harmelin-Vivien, 1983) et sont parmi les systèmes biologiques les plus productifs. Ils forment un petit groupe d'une soixantaine d'espèces (68 espèces, 4 familles) de plantes à fleurs monocotylédones, dont les ancêtres terrestres sont retournés dans le milieu marin il y a environ 100 millions d'années. Dans la région du Sud-ouest de Madagascar, il existe 8 espèces de phanérogames marines constituant des pelouses mixtes à *Thalassia hemprichi*, *Cymodocea rotundata*, *Cymodocea serrulata*, *Halodule univervis* et *Syringodium isoetifolium* (Picard, 1967; Pichon, 1978; Thomassin, 1978; Harmelin-Vivien, 1983). Malgré ce petit nombre, elles jouent un rôle considérable dans le domaine côtier dans lequel elles se développent à travers le monde. La fréquente position centrale des herbiers entre les mangroves et les récifs leur confère un rôle particulier à la fois comme zone de transit, de puits et de source pour les flux de matière et d'énergie dans les lagons. Les herbiers sont en effet des systèmes ouverts qui exportent, directement par les débris de feuilles ou indirectement via les organismes qui y vivent, de la matière et de l'énergie aux écosystèmes adjacents, sédiments lagonaires, récifs et mangroves. Les herbiers

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

détiennent un rôle prépondérant sur la dynamique de la mangrove puisqu'ils jouent un rôle fondamental dans la stabilité des fonds meubles en amortissant les houles et en piégeant les sédiments. Ils constituent également des habitats pour de nombreux poissons, mollusques, échinodermes.

A Madagascar, si ces phanérogames ne font pas l'objet d'une utilisation particulière par les populations, il n'y a pas par exemple d'écotourisme lié aux herbiers comme dans d'autres îles de l'Océan Indien ; ils sont cependant dégradés par les pêcheurs (de poissons, poulpes, mollusques, échinodermes) à pieds ou à filets. Ces herbiers peuvent être localisés le long du littoral de Toliara notamment à Manombo-Fitsitike (Figure 40), Toliara ou Ifaty.



Figure 40 : Les herbiers à posidonies de Manombo-Fitsitike à marée basse (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.4 Les tannes

Les tannes, appelés aussi « sols salés » par Derijard (1963), « plaine à sira-sira » par Trouchaud (1965), « zone salée intermédiaire » par Hervieu (1968), sont définis comme des étendues dénudées ou herbeuses derrière la mangrove dans les régions tropicales soumises à une longue saison sèche (Vieillefon, 1977 ; Marius, 1979). Les tannes forment une zone de transition entre la mangrove et la terre ferme et reposent généralement sur des sols sulfatés-acides. Ils résultent parfois du dépérissement et de la disparition des palétuviers qui

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

couvraient autrefois cette surface (Lebigre et Marius, 1984) d'où leur appellation de « cimetière de palétuviers ».

Selon la marée qui les submerge, ils peuvent être vifs ou humides. Les tannes vifs sont exceptionnellement ou occasionnellement inondés à marée haute ou lors de grandes marées tandis que les tannes humides sont fréquemment inondés. Des fois, il existe à la surface de ces derniers des microfaunes de cyanobactérie qualifiées par des chercheurs comme le stade primaire des palétuviers.

A Madagascar, les tannes existent de l'extrême sud à l'extrême nord de l'île couvrant une surface de 1000 ha environ (Iltis et Ranaivoson, 1998). Il en existe deux types : les tannes vifs ou à surface nue qui occupent en général l'essentiel des surfaces, et les tannes végétalisés ou couverts par un tapis herbeux peu épais en association avec des buissons.

Les origines des tannes sont diverses. Ils peuvent faire suite à des exploitations abusives des mangroves (Gachet, 1959), à des défrichements (Gledhill, 1963) ou à l'extraction traditionnelle du sel (Paradis, 1979). Ils peuvent être aménagés et mis en valeur car ils constituent de vastes surfaces aménageables (favorables à l'implantation des grandes fermes aquacoles), nues et assez plates ce qui permet de limiter les coûts de construction et à sols à dominante argileuse généralement très homogènes (donc imperméables). Ils peuvent notamment être convertis en zone d'exploitation du sel.

Outre leurs caractéristiques topographiques et pédologiques, les sols de tannes présentent en général une acidité potentielle nettement moins forte que les sols de mangrove et en même temps une salinité plus forte jusqu'à 100‰.

Dans nos cinq sites d'étude, il n'existe qu'un seul tanne véritable qui se trouve à Manombo-Fitsitike au sud de la mangrove (Figure 41). Dans la région de Toliara, il y en a aussi au niveau de la ville de Toliara I. Généralement dans le nord de Toliara, il existe des dépressions interdunaires qui peuvent être confondue avec des tannes même si des activités liées au sel et à la spiruline y sont pratiquées.



Figure 41 : Un petit tanne ensablé à Manombo-Fitsitike
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.5 Les formations à *Typha*, *Cyperus*, *Scirpus* et *Phragmites*.

Principalement au niveau du site de Manombo-Fitsitike et d'Ambondrolava, favorisées par la proximité des embouchures des fleuves comme le Fiherena et le Manombo (Figure 42), se discernent des formations d'eau saumâtre à *Typha angustifolia*, *Cyperus papyrus*, *Scirpus pterolepsis* et *Phragmites australis* sur des substrats souvent argileux, quelquefois marneux ou limoneux. Dans ces formations qui se forment en bordure des mangroves et parfois même en zone limitrophe entre la mangrove et la terre ferme, on découvre des espèces de palétuviers telles que *Lumnitzera racemosa*. Bien qu'elles soient des formations naturelles à la base, elles tendent à être anthropisées puisque des associations villageoises (la population locale) plantent des typhas destinés à la vente pour la population plus vulnérable de la région.



Figure 42 : Des formations à *Typha*, *Cyperus*, *Scirpus* et *Phragmites*. À gauche au niveau de Manombo-Fitsitike ; à droite au niveau d'Ambondrolava (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.6 Les pelouses à chiendent

Dans certaines zones telles qu'Ankiembe, Ambondrolava et une partie de Manombo (Figure 43) il existe de vastes pelouses à chiendent composées principalement par des espèces *Cynodon dactylon* ou « Kidresy » qui assurent la transition entre les dunes fixées et les mangroves. Ces pelouses peuvent se rencontrer également dans les parties déprimées des systèmes dunaires ainsi que sur des îlots sableux de faible épaisseur.

À noter que ces formations à chiendents forment une pelouse herbacée très appréciée par le bétail.



Figure 43 : Les pelouses à chiendent de Manombo-Fitsitike (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.7 Les formes et les formations sableuses côtières

À Madagascar, plusieurs systèmes dunaires quaternaires se rencontrent. Ils sont bien développés dans la région de l'Androy où quatre systèmes dunaires se superposent avec les dunes karimboliennes, tatsimiennes, flandriennes et actuelles (Besarie et Colligon, 1971). Dans la région de Toliara, les dunes karimboliennes sont associées aux dunes qui longent la faille de Toliara. Il s'agit de dunes anciennes, à sols rubéfiés, avec des horizons de calcaires consolidés (Q1) et de grès calcaires du Quaternaire (Razakamanana *et al.*, 2014). Des dunes tatsimiennes sont observées aux tombeaux royaux de Miary. Les dunes flandriennes se rencontrent dans la région de Maninday et dans la forêt des Mikea. Les dunes récentes (Q3), vives beiges, d'origine éolienne et souvent remaniées (Razakamanana *et al.*, 2014) se rencontrent sur le littoral ainsi que les dunes actuelles vives blanches de type barkhane. La côte sud-ouest malgache est caractérisée par des accumulations sableuses traduisant un phénomène d'accrétion (Figure 44). En effet, si de manière globale, environ 70 % des rivages mondiaux sont en recul (Paskoff, 1993 ; Pirazzoli, 1993 ; Salomon, 2009), par contre, Madagascar présente un bilan global où l'accrétion l'emporte nettement sur le recul des côtes (Salomon, 2009). La première cause de cette accrétion est l'alimentation massive des littoraux en sédiments par les fleuves en lien avec l'érosion accélérée sur leurs bassins versants continentaux (Salomon, 2009) favorisée par leurs formations géologiques (socle ancien et une couverture sédimentaire percée de venues volcaniques fortement altérées) et les transformations de l'occupation du sol.

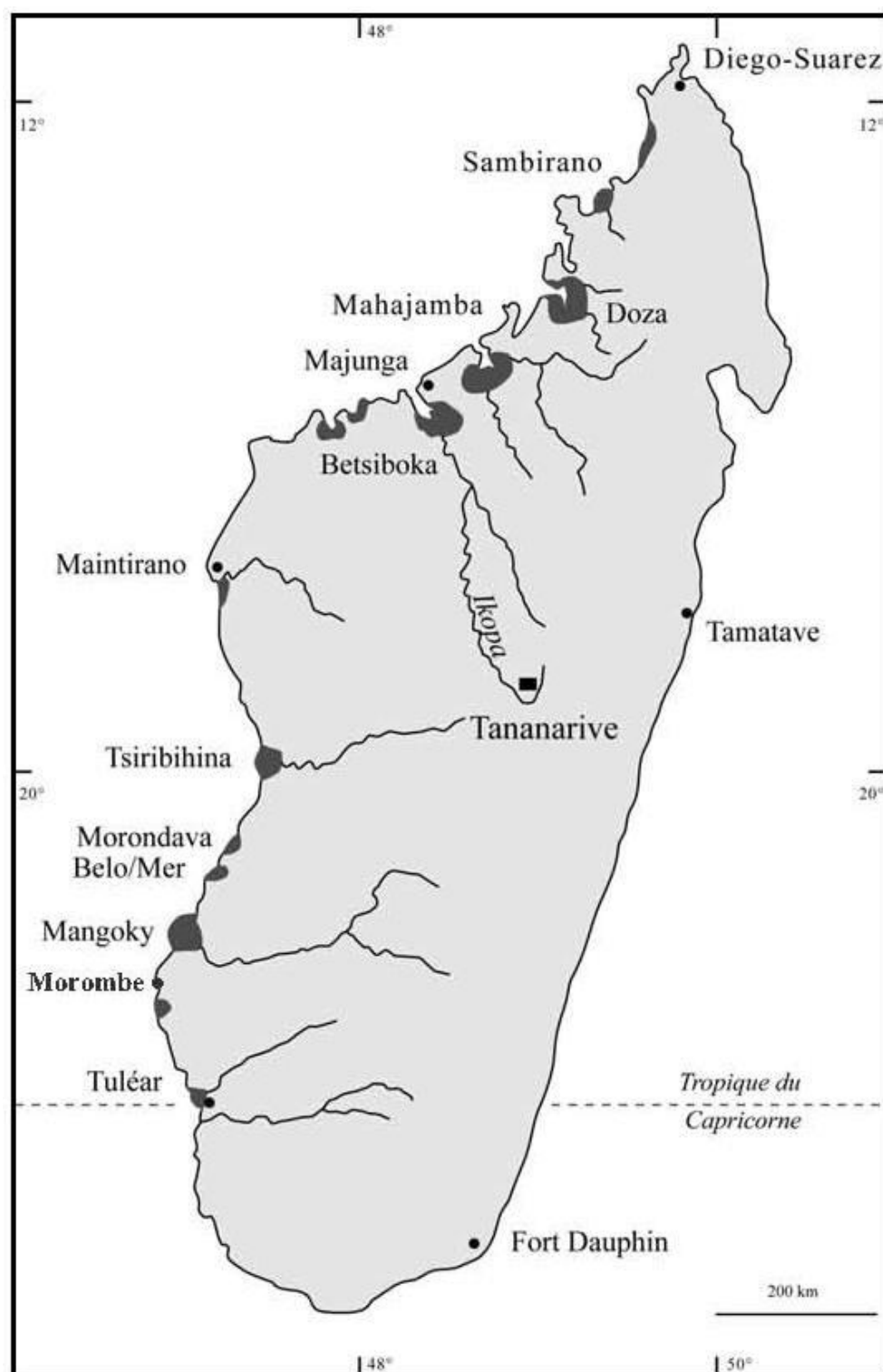


Figure 44 : Les principales zones d'accrétion de la côte Ouest de Madagascar (Salomon, 2009)

Ces accumulations sableuses prennent des formes diverses selon la configuration de la côte, la présence ou non de fosses profondes sous-marines dans le prolongement des fleuves (Onilahy et Fiherena), ou de récifs coralliens, la dérive littorale et les vents dominants. Elles sont vives ou fixées par de la végétation.

Elles interagissent avec les mangroves de différentes manières. Elles peuvent les protéger lorsque les mangroves se développent à l'arrière de flèches sableuses comme à Sarodrano ou Ambondrolava. Elles peuvent aussi les ensabler lorsque le sable est repris par le vent comme à Toliara en arrière de la plage de la batterie.

Les formations alluviales apportées par les fleuves à la côte y sont reprises avant tout par la dérive littorale, car les secteurs où les vagues ont la possibilité de déferler directement sur la plage sont peu nombreux (Salomon, 2009). Ces formations sableuses sont ensuite remaniées également par le vent.

I.4.7.1 Les flèches sableuses

Une flèche sableuse est un corps sédimentaire attaché au littoral se terminant librement dans l'océan et alimenté en matériaux par un fort transport longitudinal (Evans, 1942). Les flèches sableuses à pointe triangulaire de la région du sud-ouest sont accrochées pour une part directement à l'embouchure des 3 fleuves notamment le Manombo, le Fiherena et l'Onilahy. Les embouchures des fleuves Manombo et Fiherena présentent chacune 2 flèches qui s'étirent vers le nord et le sud et qui présentent une dynamique extrêmement active (Figures 5 et 8). Celle de Manombo, ayant une dynamique moins active que celle d'Ambondrolava borde vers le nord la mangrove de Manombo et borde par translation le tiers de la mangrove de Fitsitike vers le Sud (Figure 5). Pour la flèche d'Ambondrolava, vu sa dynamique, elle a réussi à border l'ensemble de la mangrove du même nom vers le nord et commence actuellement à border la moitié de la mangrove de la ville de Toliara (Figure 8).

Mis à part la petite flèche de Saint-Augustin (Figures 12 et 45), l'embouchure de l'Onilahy est plus complexe du fait de la configuration géomorphologique de la côte et de la fosse profonde allant jusqu'à 2600 m (Battistini *et al.*, 1975) proche de la côte ne favorisant guère l'installation de formes d'accumulation. Néanmoins, la flèche de Sarodrano composée de sable vif, unique, de direction nord-ouest, peut être reliée à l'embouchure de l'Onilahy, bien qu'elle en soit déconnectée par un appendice rocheux. Cette flèche sableuse n'est par ailleurs connectée au continent que par sa base, et isole une baie très ouverte au fond de laquelle se trouvent les mangroves (Figure 12).



Figure 45 : La flèche sableuse de Saint Augustin
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.7.2 Les dunes vives éoliennes

Associées à ces flèches sableuses se développent des dunes vives qui résultent de la reprise des formations sableuses par le vent. Elles se localisent sur ou sous le vent des flèches sableuses.

En perpétuel mouvement, les dunes vives (barkhanes) changent constamment de profil dans la zone de Toliara (Figure 46) par l'intermédiaire du vent de sud-ouest, le « *Tsiok'antimo* », provoquant le déplacement de ces dunes vers le nord-est. Leur rôle d'interface entre le monde marin et le monde terrestre est important, particulièrement lorsque la surface terrestre qu'elles abritent est située à une faible altitude. Ces dunes vont alors empêcher l'eau de mer d'envahir les terres en cas de tempêtes ou de fortes marées.

Même si certaines espèces comme *Avicenia marina* peuvent se maintenir et se reproduire dans des secteurs envahis par des dunes dans la région de Toliara, la plupart des espèces de palétuviers n'arrivent pas à survivre dans un secteur submergé par des dunes littorales.



Figure 46 : La dune vive d'Ambondrolava
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.7.3 Les dunes végétalisées

Il arrive que, sur la bordure terrestre des cordons dunaires, le mouvement du sable se ralentisse suffisamment pour permettre l'installation d'une végétation assez dense (Thomasson et Théodore, 1997) constituée d'espèces psammophiles adaptées à l'instabilité du substrat en disposant notamment de longues racines traçantes. Ces fourrés xérophiles sont plus ou moins ouverts et associés à quelques arbustes du genre euphorbe ainsi que quelques espèces lianescentes et ligneuses telles que *Leptadenia reticulata*, *Ipomoea pes-caprae*, *Opuntia stricta*, *Tamarindus indica*, *Cynodon dactylon*, *Sclerodactylon macrostachyum*, *Didierea madagascariensis*, *Jatropha mahafalensis*, ...

Si certaines de ces dunes littorales végétalisées semblent correspondre à d'anciennes flèches sableuses, notamment en position d'arrière mangrove comme à Manombo (Figure 47), il existe aussi dans la plaine de Toliara, 3 systèmes dunaires plus anciens associés chacun à l'une des 3 transgressions marines (Battistini, 1964) : la grande dune rouge tatsimienne, la petite dune jaune karimbolienne, et la dune bordière beige flandrienne.



Figure 47 : La dune végétalisée de Manombo-Fitsitike
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.7.4 Les dépressions interdunaires ou les hygrosères dunaires

Associées à ces systèmes dunaires, il existe des dépressions interdunaires où affleure la nappe phréatique quand elles sont creusées par le vent. Sur le littoral de la région de Toliara ces dépressions interdunaires sont généralement de petite taille, et localisées en arrière des dunes végétalisées ou vives, notamment à Manombo-Fitsitike (Figure 48), Ambondrolava, La batterie et Ankiembe.

Elles sont la plupart du temps inondables et souvent associées à des espèces typiques et inféodées à ces zones humides telles que *Juncus maritimus*, *Sporobolus virginicus*, *Fimbristylis abbreviata*, etc. Ces dépressions sont parfois en voie de comblement suite aux apports sableux et favorisant alors le développement de prairies.



Figure 48 : Une dépression interdunaire à Manombo-Fitsitike
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.4.8 Les fourrés xérophiles

Cette région du Sud-ouest malgache est une région sèche où se développe une flore présentant divers systèmes d'adaptation xérophytique avec un taux d'endémisme très élevé. En zone continentale, sur les affleurements calcaires et les dunes se développent des fourrés xérophytiques. Selon Morat (1969), le fourré xérophile est une forme d'adaptation de la forêt dense sèche décidue aux conditions sévères de sécheresse, liées au climat subaride de la région du sud et du sud-ouest de Madagascar. Caractérisé par une très forte endémicité et de très nombreuses espèces de plantes médicinales, le fourré présente des hauteurs variables des espèces ligneuses : 1 à 2 m pour les buissons et 3 à 4 m pour les petits arbres, l'absence de stratification associée à une forte densité de la végétation et la dominance de formes biologiques extrêmement spécialisées. En arrière des mangroves, dans la zone littorale, il existe un fourré xérophile bas arbustif à *Euphorbia stenoclada* qui représente le groupement le plus xérique. Sa hauteur dépasse rarement 4 m. Il occupe des stations exceptionnellement sèches, situées sur des sols très filtrants ou des lithosols de dalles calcaires marneuses ou gréseuses. Ce groupement est très dense du fait de l'intrication des rameaux des différentes plantes qui le composent. Cependant, il ne couvre pas totalement son substrat et se présente sous forme de mosaïques de sols nus et de touffes de végétation

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

très denses. Au-delà, vers l'intérieur des terres, trois groupements de fourré xérophile ont été déterminés : le haut fourré xérophile arbustif dense à *Didierea madagascariensis* (Figure 49), *Adansonia fony*, *Commiphora lamii*, le haut fourré xérophile arbustif ouvert à *Didierea madagascariensis*, *Commiphora monstrosa*, et le haut fourré xérophile arboré à *Didierea madagascariensis*, *Euphorbia laro*, *Commiphora arafi* qui occupe les séries dunaires sublittorales constituées de sables roux à roux-rouge.



Figure 49 : *Didierea madagascariensis* à Sarodrano
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Dans la région de Toliara, ces types de végétation abritent généralement des sites funéraires (Figure 50).



Figure 50 : Des exemples de sites funéraires dans les fourrées : à gauche le site funéraire d'Ankirio à Ambondrolava; à droite le site funéraire de Sarodrano
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.5. La faune

Contrairement à la flore, la faune des mangroves est particulièrement diversifiée et abondante. Cependant, la majorité des Mammifères (*Dugong dugong*, *Propithecus verreauxi*, *Pteropus*, *Epomorphus*), Oiseaux et Reptiles (*Chelonia midas*, *Eretmochelys imbricata*, *Crocodylus niloticus*) des mangroves ne sont pas inféodés à ce milieu. Ils proviennent souvent des milieux voisins et n'y séjournent que pour s'alimenter. Plusieurs oiseaux endémiques réputés menacés y trouvent refuge comme le héron de Humbolt (*Ardea humbloti*), la sarcelle de Bernier (*Anas bernieri*), l'aigle pêcheur (*Haliaeetus vociferoides*), le crabier blanc (*Ardeola idae*) (Figure 51), l'ibis à cimier (*Lophotibis cristata*), le pluvier à bandeau noir (*Charadrius thoracicus*). Enfin, des échassiers (Ardéidés, Flamants roses) migrateurs fréquentent les mangroves pour chasser les mollusques, crustacés et petits poissons.



Figure 51 : Un *crabier blanc* sur une branche de palétuvier d'Andriambe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Plusieurs espèces de Crustacés utilisent également l'écosystème des mangroves comme nourricerie jusqu'au stade adulte, en particulier les crevettes (*Fenneropenaeus indicus*, *Penaeus monodon*, *Alpheus crassimanus*, *Alpheus edwardsii*, etc.), ou comme habitat

DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

pour les crabes violonistes ou *Uca pugilator* (Figure 52). L'espèce la plus commune est certainement le crabe de palétuviers, *Scylla serrata*, dont le potentiel est évalué à 7 500 tonnes pour la totalité des mangroves de Madagascar. Parmi les autres crustacés figurent les crevettes Eneides qui y séjournent aux stades post larve et juvénile. Les poissons comptent des espèces de valeur commerciale : Mugelidae, Serranidae, Carangidae, Gerridae, Hemiramphidae, Plectrorhynchidae et Elopidae dont certaines se font de plus en plus rares, telles que *Mugil macrolepis* ou *Zompona*. Des Gastéropodes rares (*Oncidium verruculatum* et *Cassidulia labrella*) sont encore présents dans certaines mangroves de la région de Toliara.

Parmi les rares habitants permanents de la mangrove, il y a le périophtalme, ou gobie des marais, petit poisson sauteur facilement reconnaissable à ses deux gros yeux globuleux. A la fois adapté à la vie aquatique et aérienne, il consomme des insectes et des petits animaux d'eau. Dans le nord de Madagascar, du côté de Boanamary, il existe une espèce de papillon inféodée aux mangroves le *Borocera madagascariensis* dont les fils qu'il produit peuvent être valorisés pour la confection de tissu naturel.



Figure 52 : Un crabe violoniste de l'espèce « *Uca pugilator* » des palétuviers (Andriatsiaronandroy, 2018)

Comme la plupart des palétuviers dans le monde, les 7 espèces de palétuviers de la région du sud-ouest de Madagascar arrivent à s'adapter à différentes conditions aussi



DEUXIÈME PARTIE - Mangroves : des écosystèmes complexes

difficiles que possible. Ce chapitre a permis d'éclaircir ces éléments en montrant la complexité de ces écosystèmes et d'expliquer les interconnexions des palétuviers avec leur environnement ainsi que les milieux qui l'entourent et qui sont souvent méconnus. En effet certains considèrent les forêts de palétuviers comme isolées ou indépendantes des vasières, des salines, des dunes, des formations à Typha, ... alors que tous ces écosystèmes sont étroitement reliés entre eux et font partie d'un même écosystème plus vaste.

Chapitre II. Les contextes et les fonctions biophysiques des mangroves des sites d'étude

Les formations végétales que constituent les mangroves se trouvent sous la dépendance de facteurs hydro-sédimentaires qui déterminent l'installation des espèces pionnières, la succession des différents peuplements et l'évolution vers un équilibre. Les moindres changements environnementaux peuvent alors être préjudiciables aux mangroves (Blasco, 1983 ; Thomas *et al.*, 1997; Diaw, 1997; Ndour, 2005). Ainsi, Sow *et al.* en 1994 confirment que les paramètres déterminants pour l'installation des palétuviers sont la vitesse de sédimentation, la pluviométrie et la température. Ces écosystèmes sont en effet construits à partir d'importantes décharges détritiques drainées par les fleuves tropicaux jusqu'à la mer et redistribuées par les agents marins que sont la marée et la dérive littorale (Aksomkoe, 1993). Par ailleurs, les mangroves, complexes de zones humides sous les latitudes tropicales et sub-tropicales, rendent de nombreux services à la société. Depuis peu, les organisations internationales, les gouvernements, les autorités locales, les organisations non gouvernementales (ONG), les communautés côtières et les scientifiques, s'entendent pour dire que les mangroves sont non seulement particulières en raison de leur capacité d'adaptation, mais également de par les multiples fonctions qu'elles remplissent sur les plans écologique, économique et social (Bandaranayake, 1998).

Cette notion de fonction peut être définie de plusieurs façons. De Groot *et al.* (2002) ont défini les fonctions des écosystèmes comme « la capacité des processus et des composantes écosystémiques de fournir des biens et services pour satisfaire, directement ou indirectement, les besoins des êtres humains ». Pour Maltby *et al.* (1996) et Smith *et al.* (1995), les fonctions sont les actions qui ont lieu naturellement dans les zones humides, résultantes d'interactions entre la structure de l'écosystème et les processus physiques, chimiques et biologiques.

II.1. Les contextes biophysiques des mangroves des sites d'étude

La répartition des mangroves est déterminée par des conditions d'existence écologique dont divers facteurs tels que le climat, la salinité, les marées, la sédimentation et l'énergie provenant des vagues (Feller et Sitnik, 1996).

II.1.1 Le climat

Allongée entre les parallèles 12° S et 23°30 S, Madagascar est presque entièrement comprise dans la zone intertropicale. Cependant, cette situation est modulée en latitude, et sa partie sud subit l'influence de la zone tempérée australe. D'autre part, l'immensité de l'Océan Indien d'un côté et l'étroitesse relative du Canal de Mozambique de l'autre côté, ainsi que l'exposition aux alizés, créent une dissymétrie des faces est et ouest de l'île.

La région du Sud-ouest fait partie du domaine et des régions sahéliens caractérisés par une longue saison sèche de 7 à 9 mois succédant à une brève saison des pluies, parfois aléatoire, relativement pauvre en précipitations soit 384 mm d'eau par an entre 1960 et 2012 et avec un maximum de sécheresse dans la partie sud du secteur littoral (Dufournet, 1972). Ainsi, la région peut être alors la subdiviser selon les cinq (5) sous régions (TBE, 2008) suivantes : une sous-région sub-humide à hiver très frais, une sous-région semi-humide et chaude, une sous-région semi-humide à hiver tempéré, une sous-région semi-aride à hiver tempéré et enfin une sous-région sub-aride et chaude du domaine littoral sub-côtier du bush, nettement xérophile où sont localisés nos sites d'études

II.1.1.1 La pluviométrie

L'évolution des régimes pluviométriques est susceptible d'influencer la distribution, l'étendue ainsi que le taux de croissance des palétuviers (Gilman *et al.*, 2008). En général, si la diminution des précipitations augmente l'évapotranspiration, accroît la salinité du sol et par conséquent diminue la survie des juvéniles (Field 1995, Duke *et al.* 1998), par contre, chaque espèce réagit de manière différente et spécifique à son augmentation à l'instar des espèces *Sonneratia alba* qui montrent un taux de croissance élevé alors qu'aucune réponse n'a été observée chez les espèces *Brugieira gymnorrhiza* (Ward *et al.*, 2016).

Partout dans le Sud-ouest, la moyenne des précipitations annuelles est très faible, et inférieure à 700 mm avec une décroissance régulière du nord au sud (Morombe: 455 mm; Toliara: 384 mm; Soalara: 274 mm) et au contraire une nette augmentation au fur et à mesure que l'on pénètre vers l'intérieur à l'est (Toliara : 384 mm ; Sakaraha: 733 mm).

Plus que leur quantité totale, c'est la répartition des pluies sur l'année qui dicte le régime climatique. Le régime climatique de la région du Sud-ouest est régi par l'alternance de la saison sèche et de la saison de pluie. Une courte saison de pluie, se répartissant sur 45 à 59 jours (Dufournet, 1972) débute au mieux au mois de novembre et s'étend jusqu'au mois de

mars, le mois de janvier étant le plus arrosé, est suivie d'une longue saison sèche qui va du mois d'avril à octobre.

Comme dans toutes les régions tropicales subarides, la variabilité interannuelle des précipitations est fortement marquée, jusqu'à 1600% en excédent et 90% en déficit et des extrêmes de 59.9 mm (1979) à 726 mm (1968) par an (Figure 53).

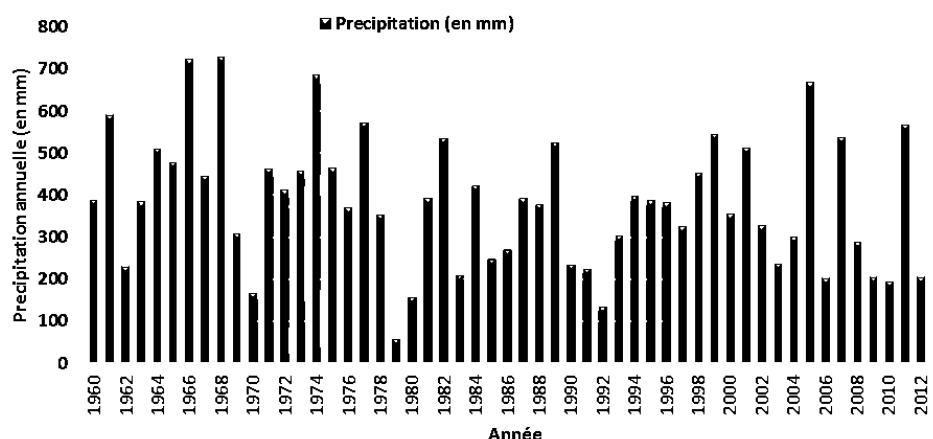


Figure 53 : La variation des précipitations entre 1960 et 2012 dans la région de Toliara
(Source : Station météorologique de Toliara)

II.1.1.2 Les températures

Le développement et la délimitation globale des mangroves sont conditionnés par la température moyenne de l'eau de mer ainsi que la température moyenne de l'air du mois le plus froid. Pour l'eau de mer, elle doit être supérieure à 20°C (Alongi, 2009; Duke, 1992; Duke *et al.*, 1998; Taureau *et al.*, 2015) tandis que pour l'air, la température moyenne doit être supérieure à 16° C (Cantera et Arnaud, 1997 ; Lee, 1999). Néanmoins, des fluctuations de 5°C autour de ces valeurs constituent les limites supportables pour les palétuviers. Les graines des palétuviers dont le mode de dissémination est l'hydrochorie, sont très sensibles aux gelées et au froid (Chapman 1984) ; cependant, une trop forte température perturbe la pression osmotique et entraîne la mort sur pied des palétuviers la plupart du temps ; elle favorise en effet l'évaporation du sol, ce qui provoque l'élévation de leur salinité et empêche par la suite la régénération naturelle des mangroves (Selvam *et al.*, 2012). Toliara et ses environs font partie des régions les plus chaudes du sud-ouest de Madagascar, entre 1960 et 2012, la température moyenne annuelle de l'air varie de 23.1 à 25.6°C avec une amplitude thermique annuelle de 5.7 à 8.6°C (Figure 54).

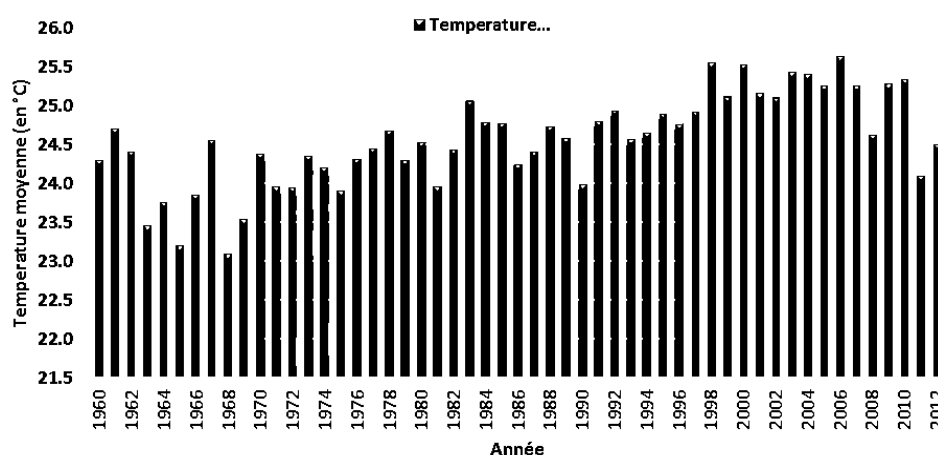


Figure 54 : La moyenne annuelle de la température de l'air entre 1960 et 2012 de la région de Toliara
(Source : Station météorologique de Toliara)

Pour cette température de l'air, la saison chaude s'installe entre octobre et avril avec un maximum en dessous de 35°C durant le mois de janvier et février. La saison fraîche s'étale de mai à septembre avec un minimum enregistré aux alentours de 10°C pendant les mois de juin et juillet. Cependant, la différence de températures entre le mois le plus chaud et le mois le plus frais n'est pas très importante. Ces variations des températures sont dues à la continentalité et à l'altitude de la région. Ces fortes températures favorisent une forte évapotranspiration qui, couplée à l'insuffisance des pluies, renforce le problème du manque d'eau quasi permanent dans la région du sud-ouest. La pluviométrie et l'évapotranspiration conditionnent la richesse, l'étendue des mangroves ainsi que leur distribution par rapport au gradient de salinité (Blasco 1991). Dans une région à saison sèche et chaude comme le sud-ouest de Madagascar, la mangrove est ainsi moins dense ; elle est parfois réduite par des zones sursalées ayant une salinité qui peut dépasser celle de l'eau de mer (Betouille, 1982 : Andriamalala, 2007).

La température de l'eau de mer pour les deux saisons de la région sud-ouest de Madagascar est respectivement au-dessus ou en dessous de 26 °C (Lavitra *et al.* 2006).

On note aussi que selon la décomposition par moyenne mobile (Kendall et Stuart, 1983) permettant de rechercher la tendance, Rakotoarisoa (2017) a pu démontrer qu'il y a une certaine croissance pour les températures moyennes maximales journalières (Figure 55).

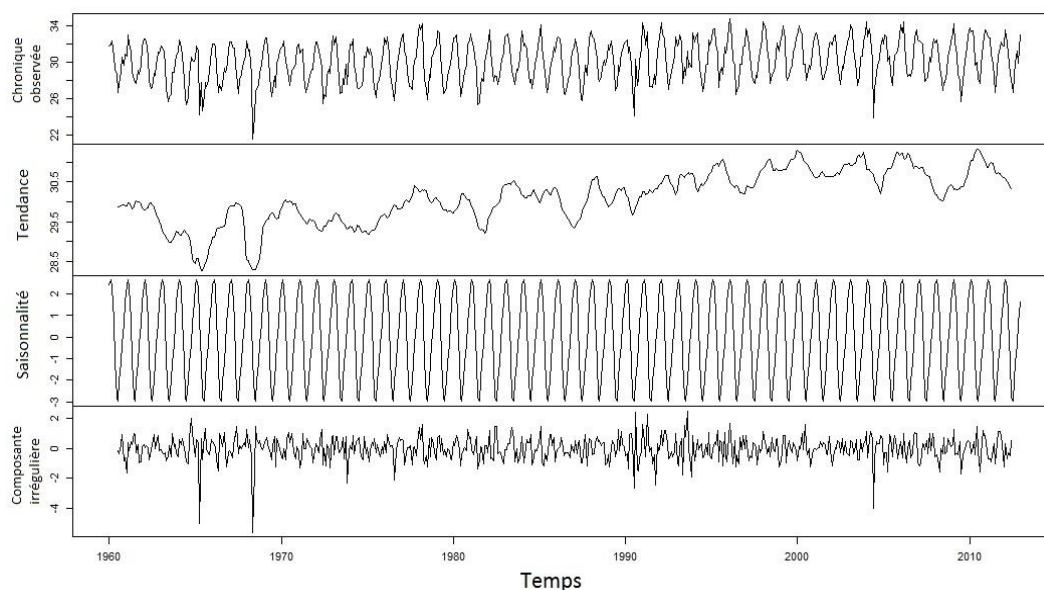


Figure 55 : Décomposition de la série des températures maximales journalières (Rakotoarisoa, 2017)

II.1.1.3 Le vent

Les vents vont influencer sur le développement des mangroves car ils participent au contrôle des houles et des courants, des surcotes et de décotes marégraphiques, et du transport éolien des sédiments sur l'estran et dans les dunes.

Dans tout l'extrême Sud, le vent dominant a une direction sensiblement parallèle au tracé du littoral. L'alizé aborde le littoral méridional de l'Androy en direction du nord-ouest au-delà de Cap Sainte Marie. A partir d'Androka, le vent dominant a une direction complètement sud-nord (Battistini, 1964). Le vent du Sud ou « *Tsiok'antimo* » suit une direction sud-nord en hiver et sud-est en été ; il peut souffler en rafale sans discontinuité pendant plusieurs jours (Battistini, 1964) et de nombreuses formations dunaires du littoral du Sud-ouest témoignent de l'action importante du vent dans le régime sédimentologique littoral.

II.1.2 L'hydrologie

Les paramètres hydrologiques, que ce soit fluviaux ou marins, sont fondamentaux pour expliquer la disposition et l'organisation spatiale et structurale des mangroves.

II.1.2.1 L'hydrologie fluviale

L'ensemble du sud-ouest de Madagascar a un climat semi-aride avec de pluies d'été et, dans de telles conditions, les cours d'eau jouent un rôle important.

DEUXIEME PARTIE - Les contextes et les fonctions biophysiques

L'alimentation en eau douce des mangroves s'effectue soit par des petits chenaux émanant du fleuve manombo (cas de Manombo-Fitsitike), soit par des fleuves (cas d'Andriambe), soit par des points d'eau douce favorisés par l'eau de mer qui fait monter à faible profondeur la nappe phréatique par l'intermédiaire d'un phénomène hydrostatique (Koechlin, 1975), ainsi que par des résurgences karstiques dans les formations calcaires.

II.1.2.1.1 Les fleuves

Cette zone littorale est drainée par plusieurs fleuves intermittents ou pérennes comme le Manombo, le Fiherena et l'Onilahy (Figure 56).

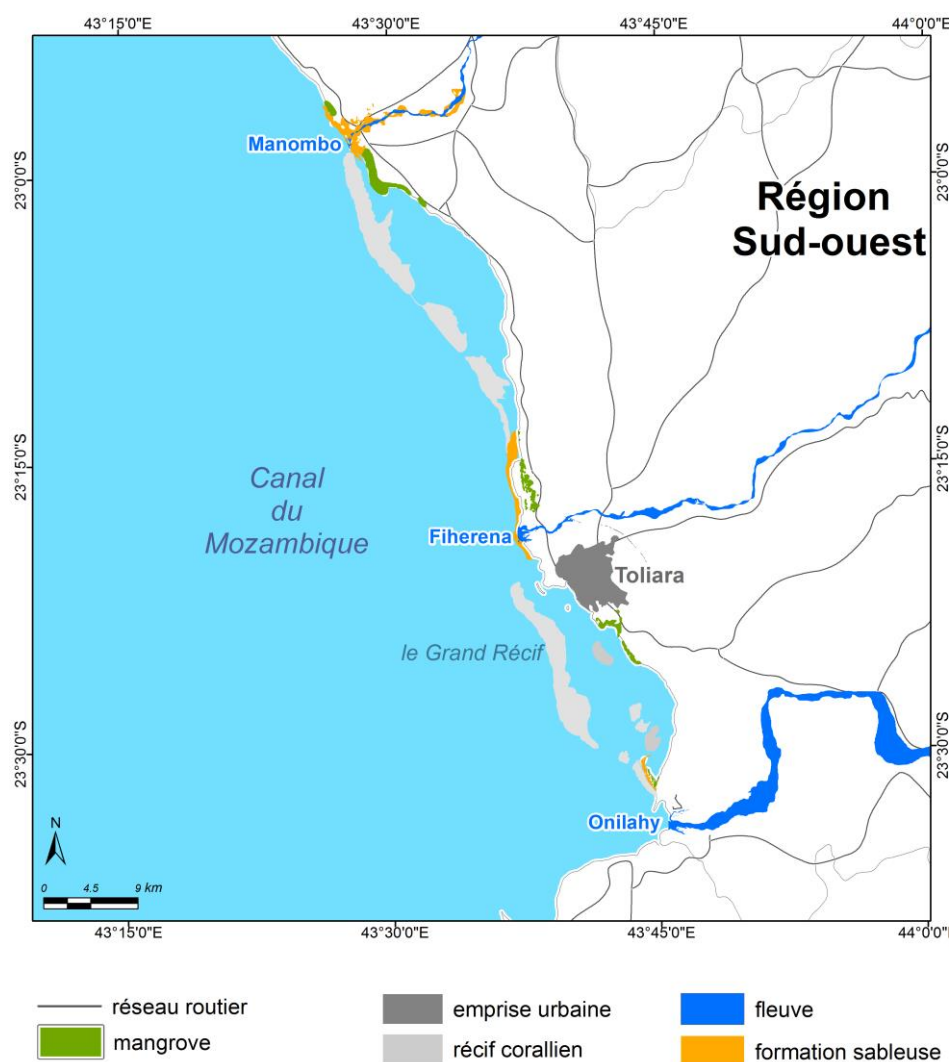


Figure 56 : Les 3 fleuves de la région de Toliara (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les fleuves alimentent les mangroves en eau douce, mais ils sont aussi les principaux pourvoyeurs de sédiments du littoral, leur charge sédimentaire dépendant de l'érosion s'exerçant sur les bassins versants (Battistini *et al.*, 1975).

DEUXIEME PARTIE - Les contextes et les fonctions biophysiques

Le fleuve Onilahy signifiant « fleuve mâle » se trouve au sud de la ville de Toliara ; c'est un cours d'eau pérenne à bassin versant mixte d'une surface de 32 225 km² et 400 km de longueur (ONE, 2013) dont les 2/3 sont situés dans le domaine cristallin et le 1/3 restant en terrains sédimentaires (Figure 57). De par sa puissance, il est considéré comme l'un des plus grands fleuves de Madagascar et couvre ainsi une grande partie du centre jusqu'au sud de l'île. Son cours inférieur traverse en gorges, sur environ 70 km, un vaste plateau karstique façonné dans les calcaires marins tertiaires, avant de se jeter dans la baie de Saint Augustin ouverte sur le Canal de Mozambique. L'Onilahy débouche sur un canyon sous-marin dont la tête pénètre à l'intérieur même de la baie de Saint Augustin, dans l'exact prolongement de la vallée fluviale (Randriamalala, 2009). Le débit moyen mensuel du fleuve, observé sur une période de 5 ans à Tongobory (à 60 km de l'embouchure), varie de 45 m³/s en saison sèche à 378 m³/s en saison humide. Il peut atteindre 1 000 m³/s en période de crue et peut descendre à 25 m³/s en période d'étiage (Battistini *et al.*, 1975).



**Figure 57 : Le fleuve Onilahy
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Le fleuve Fiherena se déverse dans le Canal du Mozambique juste à quelques kilomètres au nord de la ville de Toliara (Figure 58). Il présente une longueur de 138 km et draine un bassin versant de 6750 km² inscrit dans des terrains sédimentaires. Son

DEUXIEME PARTIE - Les contextes et les fonctions biophysiques

alimentation est conditionnée par une pluviométrie moyenne variant entre 300 et 600 mm/an et une importante évapotranspiration qui amoindrit souvent la disponibilité en eau. Les crues sont par contre assez fortes et violentes. Elles suivent en effet de quelques heures les fortes pluies soudaines qui s'abattent en amont sur le bassin versant. Le Fiherena est ainsi un fleuve intermittent, alimenté par les précipitations abondantes en provenance de la mer durant l'été austral d'arrière-pays. En hiver, l'écoulement de surface s'interrompt à quelques dizaines de kilomètres de la mer pour laisser la place à un inféoflux. Le module spécifique du fleuve n'est pas connu précisément, mais estimé inférieur à 30 m³/s (Lebigre, 1997). L'ordre de crue maximum enregistré est de 10000 m³/s enregistré lors du cyclone Angèle en 1978 (Chaperon *et al.*, 1993). L'ensemble des auteurs (Pallas, 1984 ; Chaperon *et al.*, 1993; Salomon, 2009) s'accorde à dire que malgré une superficie du bassin versant nettement inférieure à celle des fleuves voisins, la capacité potentielle d'érosion du Fiherena est supérieure à celle des autres fleuves du Sud-ouest de Madagascar (Payet *et al.*, 2011). L'ensemble du bassin versant est inscrit sur des terrains relativement peu pentus, avec une moyenne des pentes de l'ordre de 7 % à l'exception des reliefs du massif de l'Analavelona culminant à 1 343 m d'altitude disséqués par les affluents du Fiherena et les buttes-témoins à 1030-1040 m d'altitude localisées sur les hauts plateaux formant le Col du Tapia et qui définissent la ligne de partage des eaux entre le Fiherena et l'Onilahy (Payet *et al.*, 2011).



Figure 58 : Le fleuve Fiherena
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Le fleuve Manombo (signifiant « qui fait prospérer ») à 50 km au nord de Toliara, est un cours d'eau coulant sur un terrain sédimentaire. De moindre importance que le Fiherena et l'Onilahy quant à son débit et sa longueur, il se jette également dans le Canal du Mozambique. Toutefois, il prend sa source à une centaine de kilomètres à l'Est dans le massif calcaire de Mikoboka (Lebigre, 2016) et se développe sur des surfaces inondables plus vastes à la fin de son parcours entre Ankilimalinika et Ankililoaka.

II.1.2.1.2 Les résurgences

De manière générale, la région de Toliara est une région bien pourvue en eaux souterraines (Domergue, 1973), les conditions techniques et stratigraphiques essentielles étant réunies pour qu'elles existent, notamment les calcaires éocènes qui constituent les séries sédimentaires du littoral de la région du sud-ouest favorisent la mise en place d'un système karstique, bien qu'il ne se manifeste pas morphologiquement dans les paysages. Lorsqu'ils viennent plonger directement dans le canal de Mozambique au sud de Toliara et jusqu'au-delà de l'embouchure de l'Onilahy, les calcaires éocènes expliquent la présence de résurgences qui jouent un rôle majeur pour l'alimentation en eau douce des mangroves de ces zones en venant compenser les excès de salinité.

On trouve ainsi des eaux souterraines résurgentes le long de la falaise particulièrement au niveau des palétuviers de Sarodrano (Figure 59) où la salinité est inférieure à 10‰ et qui subit des influences marines (Lebigre, 1990) puisqu'il y a une variation de la salinité entre la marée haute et la marée basse. Il se peut qu'elles aient favorisé le développement d'espèces telles que les espèces *Bruguiera gymnorrhiza*.



Figure 59 : Une résurgence au niveau des palétuviers de Sarodrano (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.2.2 L'hydrologie marine

Le littoral de la côte ouest de Madagascar est délimité par le Canal de Mozambique, un bras de mer de l'océan Indien qui sépare Madagascar de l'Afrique de 1600 km de long et 419 km de large. La marée, le niveau de la mer, la houle et les vagues ainsi que la salinité et la température de l'eau sont des facteurs naturels déterminants pour la colonisation et l'évolution des mangroves. La zonation floristique des palétuviers est liée à leur capacité d'adaptation plus ou moins grande face à ces éléments (Lebigre, 1990). Ces paramètres sont eux-mêmes en partie influencés par la morphologie côtière. Ainsi, dans le sud-ouest de Madagascar, la zone de plage est prolongée par la plage sous-marine en continuité avec la plate-forme continentale qui descend en pente douce vers le large (de 2 à 10 m de profondeur).

Ces paramètres d'hydrologie marine, sont aussi les principaux facteurs naturels agissant dans la dynamique sédimentaire notamment par le biais des courants qu'ils génèrent.

II.1.2.2.1 Les marées

Par définition, les marées sont les mouvements périodiques de montée et de descente de l'eau de mer provoqués par l'attraction de l'eau océanique par la lune et le

soleil. Le marnage est par définition la différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer successive. Dans la région de Toliara, il est de type semi-diurne, d'une amplitude pouvant atteindre 3,10 m en période de vives eaux.

Les marées sont un facteur majeur influant sur la localisation et les espèces présentes car l'inondation quotidienne et plus sporadiquement des eaux de crues associées aux cyclones, fournissent des sources importantes de nutriments pour les mangroves (Lugo et Snedaker 1974, Davis *et al.*, 2003). C'est un élément à prendre en compte dans le fonctionnement des systèmes littoraux de la région, notamment dans le développement des mangroves, puisqu'il favorise la capacité d'échange et de transfert de sédiments par les vents marins. Ces mouvements influencent aussi le développement et la répartition de la mangrove par l'intermédiaire de la salinité.

II.1.2.2.2 La salinité

Les mangroves sont constituées d'halophytes facultatifs qui complètent leur cycle de vie dans des conditions salines (Krauss et Ball, 2013). Avec le type de substrat, la fréquence et la durée des submersions, la salinité est l'un des facteurs primordiaux et déterminants pour leur existence et la base de leur disposition spatiale (Watson, 1928 ; Taureau, 2017) ; cependant, elle correspond en fait à la fois à un facteur de survie, à une contrainte pour les palétuviers puisque leur croissance et leur métabolisme ralentissent avec l'augmentation de la salinité (Ball, 2002 ; Vovides *et al.*, 2014) et à un important facteur limitant la germination des propagules, la croissance des plantules et la reproduction des mangroves (Lovelock *et al.*, 2004 ; Naidoo, 2006). La salinité modérée stimule les croissances des espèces telles que *Avicennia marina* (Clough, 1984 ; Chen et Ye, 2014), allonge les tiges de *Sonneratia alba* (Ball et Pidsley, 1995) ; par contre, une variation excessive provoque des cas de stress extrême tels que l'augmentation des taux de mortalité des semis ou la diminution des taux de production de feuilles entraînant finalement la mort des plantes (Ball et Pidsley, 1995 ; Munns et Termaat, 1986 ; Suarez et Medina, 2005).

Le décroissement de la salinité fait disparaître progressivement les palétuviers au profit d'une colonisation de la végétation de l'intérieur des terres (Hervieu, 1966 ; Renou, 2011) tandis que son excès peut provoquer un stress osmotique et réduire la disponibilité de l'eau (stress hydrique naturel permanent), entraînant une fermeture stomatique et une

réduction de l'apport en dioxyde de carbone (Tanaka *et al.*, 1999 ;Li *et al.*, 2008 ; Chen et Ye, 2014).

Néanmoins, afin de s'adapter aux fluctuations de cette salinité, plusieurs types de palétuviers tels que les *Ceriops*, les *Lumnitzera* et les *Rhizophora* développent une succulence foliaire qui diminue les concentrations d'ions internes, accroît la capacité calorifique des feuilles, réduit le refroidissement par évaporation et augmente ainsi la tolérance au sel (Naidoo, 2016). En effet la salinité de l'eau de mangrove fluctue en fonction de la marée et peut être deux fois celle de la mer lorsque l'eau s'évapore à marée basse. Les mangroves peuvent d'ailleurs vivre dans de l'eau hypersaline et tolérer jusqu'à 100 fois plus de sel que la plupart des autres plantes (Valiela *et al.*, 2001).

Dans les mangroves de la région du sud-ouest, la salinité varie entre 4.4 ‰ (au nord de la mangrove de Manombo) et 45 ‰ (à Ankiembe). La faible valeur de la salinité est principalement expliquée par le grand chenal d'eau douce émanant du fleuve Manombo, et la forte valeur du côté d'Ankiembe est influencée par la marée et l'évaporation en contexte de températures élevées. Dans les milieux saumâtres (roseaux, typha) la salinité est très faible, aux alentours de 1 ‰. Enfin, au niveau de la résurgence de la mangrove de Sarodrano, la salinité est de 7.7 ‰.

II.1.2.2.3 La houle et les vagues

Par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche des côtes, d'une part, la houle et les vagues constituent un agent primordial de la dynamique littorale ; d'autre part elles consolident la vase et conduisent l'installation des palétuviers sur le littoral.

Généralement, il existe deux types de houles que sont les houles du large (ou swell en anglais) créées par des dépressions à plusieurs milliers de kilomètres de la côte et qui se propagent ensuite sous forme d'ondes dont les périodes sont longues, et le clapot ou mer de vent de périodes plus courtes généré localement par le vent. Leurs caractéristiques (longueur d'onde, hauteur, période, célérité) dépendent de la vitesse du vent, de la durée pendant laquelle il souffle et de l'étendue d'eau qu'il affecte.

Les vents de direction sud-ouest prédominent nettement dans la région de Tuléar. Ces vents ont les caractères d'une brise marine assez forte, se levant dans le courant de la matinée et atteignant leur maximum d'intensité au milieu de l'après-midi (Pichon, 1964). Cette brise

sud-ouest provoque une houle de même direction, courte mais forte, qui se superpose alors à une houle de direction sud beaucoup plus longue, d'origine océanique.

II.2. Les fonctions et les valeurs environnementales et biologiques des mangroves

De manière globale, les zones humides, dont les mangroves, remplissent d'importantes fonctions hydrologiques (ressources en eau et prévention des inondations), biogéochimiques (épuration des eaux) et d'accueil pour la biodiversité (Chen *et al.*, 2003).

En raison de leur localité stratégique, les mangroves constituent un espace tampon et forment une première ligne de défense de la zone côtière contre les vecteurs de destruction d'origine marine (vagues ou vents de tempête), ou d'origine terrestre (eaux turbides). Parmi les services écologiques fournis par les mangroves se trouvent : la protection de la zone côtière contre les vents (Varnell *et al.*, 2003), la stabilisation des rivages (Lee et Shih, 2004 ; Willis *et al.*, 2005) contre l'érosion côtière (Mazda *et al.*, 2002; Kathiresan et Rajendran, 2005 ; UNEPWCMC, 2006; Souza-Filho *et al.*, 2006; Nascimento *et al.*, 2013 ; Carney *et al.*, 2014) (cas des Iles Rodrigues en 1990, où les habitants ont planté des palétuviers pour lutter contre ce désastre), la réduction de l'impact dévastateur des catastrophes naturelles (Giri et al, 2007) en dissipant l'énergie des vagues entrantes, des ondes de tempête et des tsunamis (Barbier *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2012). D'ailleurs, à la suite du tsunami de l'Océan Indien de 2004, le rôle protecteur des mangroves contre les catastrophes naturelles est devenu une généralité (Giri *et al.*, 2007b; Giri *et al.*, 2015).

L'écosystème de mangrove est composé de deux sous-espaces superposés, l'un aérien, formé par les houppiers des arbres de la mangrove ralentissant la vitesse des vents des tempêtes soufflant de la mer, l'autre aquatique, constitué par la partie immergée à marée montante de leur système racinaire hors-sol. Ces racines agissent sur les sédiments en filtrant et en limitant la turbidité des eaux, en retenant les polluants notamment les métaux lourds et autres éléments toxiques contenus dans l'eau, en piégeant les particules, en retenant les alluvions et en permettant à la terre ferme de gagner la mer. Pour tamponner concrètement les effets des changements climatiques, les mangroves jouent un rôle dans la gestion des gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone. En effet, elles ont été reconnues comme l'un des écosystèmes les plus importants pour la séquestration du carbone à long terme (Alongi, 2012 ; 2014), à la fois dans sa biomasse aérienne et

souterraine (Donato et al, 2011 ; Del Vecchia *et al.*, 2014) et leur destruction entraîne souvent la libération d'énormes quantités de dioxyde de carbone responsable de l'effet de serre. Enfin, les mangroves peuvent agir comme une couche parasismique pour les bâtiments des régions exposés à un risque élevé. En 2011, Guéguen *et al.* ont révélé qu'à Belleplaine (Guadeloupe), les anciennes couches souterraines de mangroves constituent une réelle protection contre les séismes tout en réduisant leurs forces de cisaillement. En effet, comme des caoutchoucs, la flexibilité de ces couches réduit la déformation, la distorsion et le stress dans la couche supérieure sableuse, et réduit par conséquent le potentiel de liquéfaction du site pendant un tremblement de terre.

II.2.1 Les fonctions biogéochimiques

Telle une station d'épuration, les mangroves filtrent différentes matières organiques, certains polluants et des éléments nutritifs. De grandes quantités de ces derniers tels que le phosphore et l'azote pouvant provenir des ruissellements des activités (agricoles, extraction minière) en amont sont efficacement éliminées par les mangroves grâce à l'oxydo-réduction. Elles préviennent ainsi en aval le processus d'eutrophisation qui peut favoriser la croissance rapide de plantes et d'algues et provoquer un appauvrissement du taux d'oxygène dans le milieu marin.

L'activité chlorophyllienne des phytoplanctons aux niveaux des racines des mangroves ont la particularité de fixer des carbones inorganiques. Ces mêmes racines peuvent absorber le sel que contient le sol et l'éliminent sur les feuilles ; ainsi, l'ONG sénégalaise Oceanium est en train de planter des *Avicennia* pour atténuer les effets néfastes de la salinité prononcée du sol dans certaines zones de la Casamance (Oceanium, 2013 ; Carney *et al.*, 2014).

Les rôles des matériaux foliaires des mangroves sont loin d'être négligeables ; dans leur fond vaseux, des bactéries et des champignons vont décomposer les feuilles qui vont fournir à leur tour des éléments nutritifs aux animaux microscopiques tels que les planctons (phytoplancton ou zooplancton) situés à la base de la chaîne trophique, lesquels seront ensuite consommés par les alevins.

II.2.2 Les fonctions écologiques

De par leurs états et fonctions principalement écologiques, les écosystèmes de mangroves représentent des valeurs inestimables pour le milieu marin et côtier ; environ

30% de tous les poissons commerciaux se trouvent dépendants de la mangrove (Naylor *et al.*, 2000 ; Nagelkerken *et al.*, 2015), en particulier la pêche aux crevettes (Turner, 1977 ; Saifullah, 1982 ; Saifullah *et al.*, 1989) et ces valeurs sont estimées à 1,6 milliard de dollars par an (Polidoro *et al.*, 2010 ; Thornton *et al.*, 2015). Ces valeurs des zones de mangroves peuvent être définies ou classées en différentes catégories : les valeurs d'usage directes résultant des avantages obtenus par l'utilisation directe de l'écosystème de mangrove, et les valeurs d'usage indirectes résultant des fonctions environnementales des mangroves si nous ne citons que leur rôle dans le maintien de l'équilibre écologique du milieu côtier et marin.

En effet, elles forment une mosaïque d'habitats terrestre et aquatique interdépendants, abritant une multitude de crustacés, de mollusques, de poissons, de reptiles, de mammifères et d'oiseaux (Kathiresan et Rajendran, 2006 ; Simard *et al.*, 2008) qui profitent de ce milieu riche en nourriture, due à l'abondante matière organique piégée dans les sédiments des vasières.

Suivant la périodicité de fréquentation des forêts de palétuviers, les faunes peuvent être classées en cinq catégories : les espèces qui y vivent en permanence comme les coquillages et les crustacés, les espèces qui viennent s'y nourrir à chaque marée montante, les espèces qui ne le font qu'épisodiquement telles que les poissons dont le séjour en mangrove est lié au cycle de reproduction et enfin les espèces qui comme la majorité des crevettes et certains petits poissons herbivores comme les clupéidés, vivent en haute mer et ne migrent à la côte que pour y passer leur stade juvénile (les mangroves leur assurant des conditions optimales de croissance). S'il n'y avait plus de mangrove, les oiseaux migrateurs ne pourraient plus s'arrêter sur les zones côtières pour y faire leurs nids, dormir et se nourrir. A Madagascar, cinq espèces d'oiseaux aquatiques en danger d'extinction sont présentes dans les mangroves notamment *Ardea humboldti* ou Héron de Madagascar, *Anas bernieri* ou La Sarcelle de Madagascar, *Threskiornis bernieri* Ibis Malagache, *Charadrius thoracicus* ou Gravelot de Madagascar, et *Haliaeetus vociferoides* ou Pygargue de Madagascar (Razafimanjato *et al.*, 2013). Dans le cas des mammifères, deux espèces habitent les mangroves : la chauve-souris de Madagascar, *Pteropus rufus*, qui dort dans les palétuviers, et *Delphinus sp.* En outre, les mangroves représentent un habitat important pour les invertébrés, les plus importants du point de vue économique sont le crabe *Scylla serrata* et deux espèces de crevettes : *Penaeus indicus* et *Penaeus monodon* (FAO, 1994). Les huîtres, les éponges et les balanes s'accrochent aux racines de palétuviers.

II.2.3 Les fonctions d'atténuation du changement climatique

Au niveau du globe, si les effets des changements climatiques sont mal cernés, notamment en raison de la multiplicité des facteurs en jeu, un certain consensus semble se dégager sur un accroissement de la vulnérabilité des territoires aux risques naturels avec la hausse des températures, des événements cycloniques et des sécheresses plus fréquents, la hausse du niveau de la mer, etc. Pour les écosystèmes marins et côtiers, à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère s'ajoutent le facteur d'acidification des océans due à une plus forte absorption de CO₂ (Ifremer, 2015). Ce dernier est nuisible pour les récifs coralliens en engendrant la calcification des organismes, et provoque la migration des espèces.

Selon le classement Maplecroft de 2012, Madagascar est le cinquième pays le plus vulnérable au changement climatique, car le pays possède plus de 5000 km de littoral. Dans le contexte de montée du niveau de la mer liée aux changements climatiques de ce siècle (GIEC, 2007 ; Alongi, 2008; Gedan *et al.*, 2009; Carney *et al.*, 2014), les mangroves protègent les localités, les habitations côtières et les infrastructures littorales qui se trouvent particulièrement exposées à cette élévation. C'est notamment le cas de Toliara où nombreux sont les quartiers situés au-dessous du niveau de la mer (Houssay-Holzschuch, 1994).

Dans ce contexte, les mangroves jouent un grand rôle puisqu'elles constituent une zone de piégeage de carbone (Donato *et al.*, 2011) à long terme (Alongi, 2012, 2014), estimé à 1000 tonnes de carbone par hectare. La mangrove représente donc un important puits de carbone, de faible étendue comparativement aux autres forêts du monde, mais extrêmement efficace par unité de surface (Spalding *et al.*, 2010).

II.3. Les contextes et fonctions socio-économiques des mangroves des sites d'étude

La richesse en ressources des mangroves (poissons, crustacés, coquillages, bois, etc.) en fait une source de nombreux usages (nourriture, médicaments, matériaux, énergie) par les populations locales (Cormier-Salem 1999) et donc des milieux très convoités et intensément exploités (Iltis et Ranaivoson, 1998).

II.3.1 La population

En 2015, la population de la région du Sud-Ouest est composée d'environ 1 388 971 habitants (INSTAT, 2016) qui se répartissent sur 66 220 km², soit une densité moyenne de 21 habitants par km², dont 894 885 habitants représentant 49,9% de la population totale se trouvent sur la zone côtière.

En 1995, Rejo-Fienena a recensé une dizaine de groupes ethniques vivant dans la région, les plus nombreux étaient les Vezo, les Mahafaly, les Tanalana et les Masikoro. De nos jours, les recherches ont pu montrer qu'il existe d'autres groupes ethniques qui ont immigré dans le Sud-ouest il y a fort longtemps et constituent aujourd'hui une partie de la population à part entière de la région, notamment les Bara, les Betsileo, les Korao, les Antandroy et la 19^{ème} ethnie.

Les Vezo (leur nom vient du verbe « ramer ») vivent le long du littoral du Sud-ouest de Madagascar, de Manombo au sud de Toliara. Cette communauté, parfois considérée comme très proche des Masikoro et des Sakalava de par sa culture, donc par sa langue, est souvent définie comme un simple groupe social lié à un genre de vie et à un système de production, la pêche (Koechlin, 1975 ; Lebigre, 2016).

Ils sont quotidiennement en contact avec l'eau et vivent traditionnellement de la pêche. Leur culture est profondément rattachée à la mer et même si certains font de l'agriculture, la plupart des Vezo pratiquent comme activité principale la pêche traditionnelle. Généralement les Vezo ne s'intéressent pas à la scolarisation qu'ils conçoivent comme une perte de temps, ils pensent que les enfants apprennent mieux en accompagnant leurs aînés à la pêche. Le taux d'analphabétisme est très accentué au sein de ce groupe à cause de leur mode de production économique (la pêche) à cycle court qui ne synchronise pas avec la scolarisation qui est un cycle long.

DEUXIEME PARTIE - Les contextes et les fonctions biophysiques

Les Masikoro vivant en arrière mangrove, sont réputés pour être des éleveurs et des agriculteurs et sont considérés comme les premiers occupants de la région en peuplant le bord des grands fleuves qui sillonnent la Région. Ils parcourent notamment les vastes plateaux herbacés de la région propices au pâturage et à l'élevage extensif. Les Masikoro étant plus sédentaires que les Vezo, ont échappé à l'analphabétisme puisque la scolarisation, tout comme l'agriculture, est à cycle long. Quand les Masikoro ne se trouvent pas occupés dans leurs champs, ils sont au marché pour vendre leurs récoltes. Leurs gains servent à construire des maisons en dur, à financer la scolarisation de leurs enfants et surtout à l'organisation des grandes festivités où l'on exhibe ses richesses.

Il convient de noter que les Mikea sont des descendants des Masikoro. Ils occupent « la forêt des Mikea » et conservent leur spécificité culturelle.

Les Mahafaly (signifiant « qui rend tabou ») viennent du district d'Ampanihy et de Betioky. Il en existe un sous-groupe dont les membres s'appellent les « Tagnalana ou Tanalana » qui vivent au sud de l'Onilahy et sont composés de 3 clans principaux appelés le « Toko Be Telo » ou « gros trépied ». Bien que leur nombre soit assez conséquent, les Tagnalana ne font pas partie officiellement des 18 ethnies de Madagascar. Ce sont des éleveurs (bovins, ovins et caprins) et des agriculteurs.

Les Antanosy ou Ntanosy « ceux de l'Anosy » est une ethnie qui ont fui, sous la direction des Seigneurs Zafiraminia, la répression du gouverneur merina de Fort-Dauphin de 1845-1850 et ont occupé la région du Moyen Onilahy jusqu'à Bezaha.

Les Bara sont un peuple de pasteurs semi-nomades, des éleveurs et parfois aussi des voleurs de zébus de par leur tradition. Ils sont considérés aujourd'hui comme originaires d'Ankazoabo, une localité autrefois peuplée par les Sakalava et les Masikoro. Ils occupent toute la partie orientale du Sud-ouest Malgache.

Les Betsileo, faute de terres suffisantes sur les Hautes Terres, se seraient installés autour de Beroroha et de Manja dès le 18^{ème} Siècle. Ce sont les Betsileo qui ont contribué au développement de la riziculture dans la région et beaucoup d'entre eux sont passés du statut de métayer à celui de propriétaire.

Les Korao sont les peuples du sud-est tels que les Antaisaka, les Antaifasy, à l'exception des Antanosy. Ils se sont installés dans le sud du district de Manja, à Ankiliabo et à Befandriana Sud en pratiquant la culture du poids du cap.

Les Antandroy ou Tandroy « ceux des épines » sont originaires de l'Androy. Poussés par d'incessants événements comme les sécheresses qui affectent régulièrement le sud (Lebigre 2016), ils sont remontés vers le nord à la recherche de terres à mettre en valeur ou à la recherche d'un emploi rémunérateur tel que salarié agricole, gardien, tireur de pousse-pousse. Hoerner (1986) les compare aux Mossis de la Côte d'Ivoire qui passent pour accepter n'importe quel travail, si rebutant soit-il. A la base, dans leur région d'origine qui est l'Androy, les Antandroy sont de grands éleveurs de zébus et un seul homme peut en avoir à lui seul une centaine. Mais dans le sud-ouest, ils pratiquent les cultures commerciales telles que la culture d'arachide et le coton. Les Antandroy ont la particularité d'habiter dans des petites cases durant leur vie, qu'ils soient riches ou pauvres. Même les riches vivent tels des miséreux, et ce n'est qu'à leur décès qu'ils se reposent dans de somptueux tombeaux en béton et décorés avec raffinement. Eparpillés dans la région des Masikoro, ils y sont complètement assimilés.

Les Merina, les Indo-pakistanaïes ou « Karany » (la 19^{ème} ethnie de Madagascar) et les Européens constituent la population minoritaire dans la région. Ils occupent les emplois tertiaires et de cadres pour les Merina, sont commerçants, grossistes, quincaillers, ... pour les « Karany », et enfin hôteliers ou restaurateurs pour les Européens.

Dans la région du sud-ouest de Madagascar, lors d'une période lointaine, les Masikoro étaient les propriétaires des zones à palétuviers et leur aval s'avérait nécessaire quant à quiconque ayant l'intention d'utiliser les mangroves et les ressources y afférentes. Actuellement, ce sont les Vezo qui sont le principal peuple tributaire de la mangrove (Figure 60). Dans une région où le niveau de vie est relativement bas, les Vezo en même temps que d'autres ethnies plus minoritaires qui ont pu s'intégrer à la communauté par le biais du mariage ou bien qui se sont tournées vers les mangroves suite à l'insuffisance des ressources dans les fourrés utilisent les palétuviers d'une manière plus traditionnelle et la plupart du temps à des fins plutôt domestiques que commerciales notamment pour leurs besoins quotidiens.

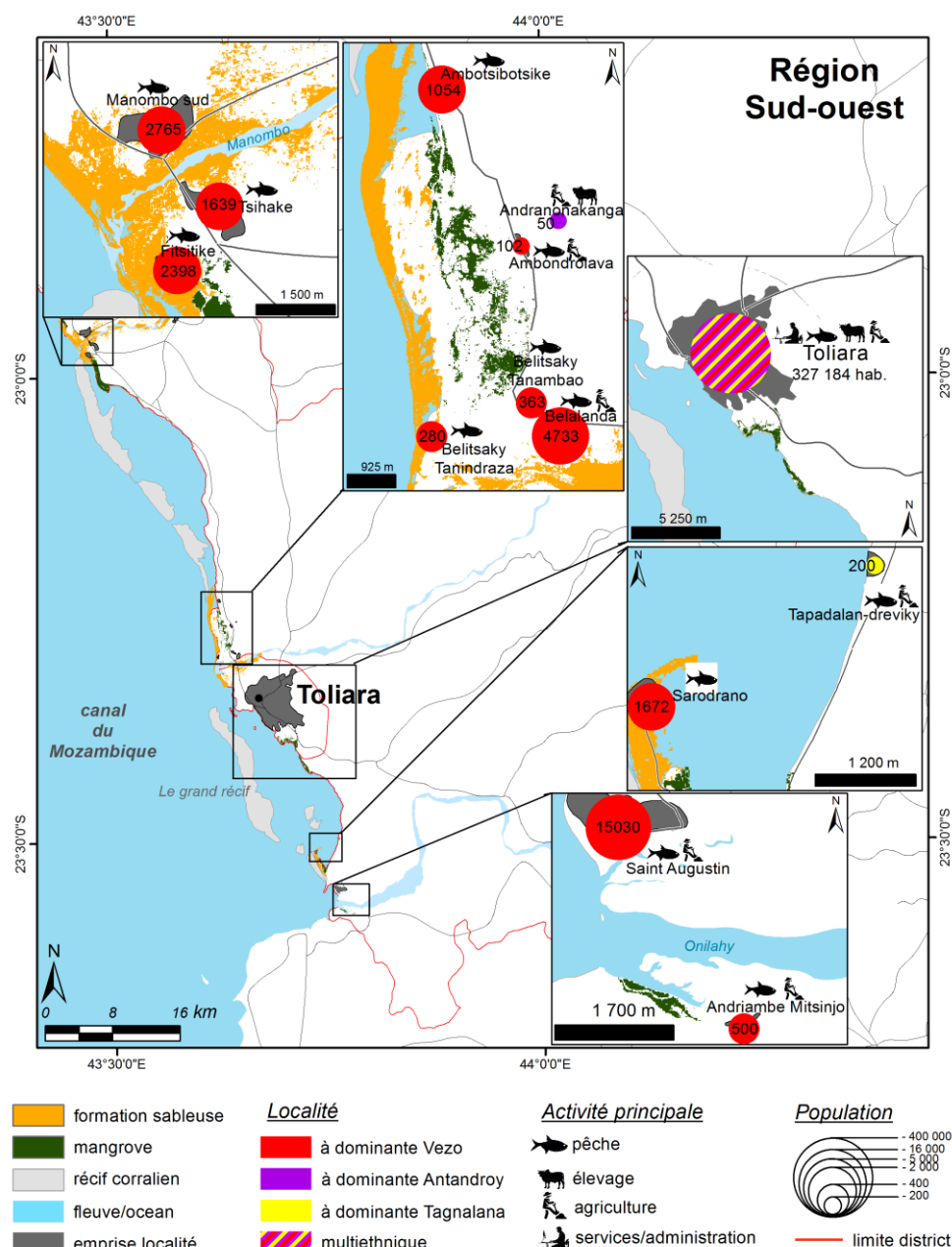


Figure 60 : Une carte représentative : peuplement et activités dominantes des localités d'études (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth) (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.3.2 Les principales activités économiques

Selon le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche malgache (MAEP) lors de la campagne agricole 2004-2005, la majeure partie, soit 96,09% de la population active de la région Sud-ouest, était employée dans le secteur primaire (agriculture, élevage, pêche), 0,55% dans le secteur secondaire et 3,37% dans le secteur tertiaire.

En effet, la région, avec ses 800 km de côtes, est propice à la pêche, et dispose également de territoires favorables à l'agriculture et à l'élevage.

DEUXIEME PARTIE - Les contextes et les fonctions biophysiques

L'agriculture, malgré le climat semi-aride, bénéficie de terrains arables parmi les plus productifs et elle joue un rôle primordial dans la vie quotidienne des habitants, même pour les Vezo pourtant pêcheurs de tradition. Dans la région, divers types de cultures sont pratiqués : la culture vivrière (le riz, le manioc, les patates douces, le pois du cap, le maïs et le sorgho), la culture industrielle (le coton depuis 1975, le jatropha, la canne à sucre, l'arachide intéresse depuis 1993), la culture de rente annuelle (le haricot, le pois du cap, les fruits). Dans nos sites d'études, l'exploitation (plantation, coupe et vente) du « *Vondro* » ou *Typha angustifolia* et du « *Vinda, Boboky* » ou *Cyperus alternifolius*, dans les régions d'Ambondrolava (Ambondrolava, Andranonakanga, Belitsaky Tanambao, Belalanda) et de Manombo-Fitsitike mérite aussi d'être mise en exergue (Figure 61) parce qu'elle implique parfois, comme à Manombo, la coupe des palétuviers. En effet, dans les régions d'Ambondrolava, la production est de l'ordre de 40 paquets, contenant 45 à 50 bottes, par ménage et par jour. Ces bottes dont la vente varie de 40 000 Ar (vente locale) à 100 000 Ar (vente à Toliara), sont destinées à la confection de maisons préfabriquées. Même si la plupart des villages à proximité des mangroves disposent de terres propices à d'autre type d'agriculture, ils doivent faire face régulièrement au débordement des lits des 3 fleuves en saison pluvieuse.



Figure 61 : Des bottes de l'espèce *Typha angustifolia*
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Dans le Sud-ouest de Madagascar, le terme élevage est associé généralement à l'élevage bovin. Les bovidés sont de loin les animaux les plus nombreux. Les autres types de bétail sont généralement relégués au second plan et ne jouent qu'un rôle de complémentarité des activités économiques des paysans. Néanmoins, l'élevage caprin est un peu plus développé que l'ovin car l'élevage de moutons est tabou pour beaucoup de populations de la zone, surtout pour les Vezo. Pilier de l'économie de la région, l'élevage, surtout extensif, rencontre quelques facteurs de blocage : principalement le vol à grande échelle provoquant une insécurité bien plus que préoccupante, et les maladies (le besoroky ou charbon bactérien ; l'Azomberaboky ou tuberculose bovine). Ces troupeaux exercent sur les mangroves une pression directe en les utilisant comme pâturage, mais aussi indirecte. Ainsi, les fruits des *Avicennia* servent de nourriture pour les zébus et les chèvres.

Bien que les activités agro-pastorales soient importantes, la pêche demeure l'occupation principale des hommes Vezo, tandis que les femmes vendent les poissons au marché, et il en est de même pour tous les gens qui habitent le long du littoral. Elle s'effectue aussi bien en eau douce (lacs et rivières) qu'en mer (au niveau des récifs et du lagon) ou dans les mangroves. De type traditionnel elle se pratique en pirogue (Figure 62) ou à pied. La pirogue n'est pas seulement utilisée pour la pêche, c'est aussi un moyen de transport pour les villageois du littoral. La pêche à pied s'effectue selon la localisation des ressources visées, et cible les poissons, les crustacés (crevettes, crabes, langoustes, chevaquines), les oursins et les holothuries. Plusieurs outils et méthodes de pêche sont ainsi utilisés, dont certains sont destructeurs par rapport aux ressources halieutiques et aux écosystèmes comme le retournement des coraux, l'usage de filets à petites mailles, l'empoisonnement par des euphorbes...

Les espèces de poisson capturées en eau douce sont les *kobatroky*, *toho*, *kivary*, *joho*, *besisiky*, *ambaora*, *torovoke*, *kabily voa*, *lagnilagny*. A ces espèces s'ajoutent les crustacés et les anguilles.



Figure 62 : La pirogue « vezo », une pirogue traditionnelle de la région de Toliara (Andriatsiaronandroy, 2018)

De nouvelles activités se sont développées ces dernières années, avec de l'algoculture et de la pisciculture. Elles sont destinées à devenir des activités génératrices de revenus complémentaires et surtout monétarisées pour la population vivant sur le littoral du sud-ouest de Madagascar et partant réduire les pressions exercées sur les écosystèmes marins et côtiers. L'algoculture est définie tout simplement comme la culture des algues. Ces activités d'élevage d'algues marines telles que *Kappaphycus alvarezii* ont débuté à Madagascar au cours des années 1980, où les essais de culture ont démontré sa faisabilité (Todinanahary *et al.*, 2017). Dès lors, deux types d'algues ont été cultivés dans la région : l'algue rouge et la spiruline.

La pisciculture est tout simplement l'élevage de poissons. Dans la zone d'étude, il existe quelques bassins appartenant à l'association Mamelohonko d'Ambondrolava ainsi qu'à Bezaha.

Concernant le secteur secondaire, il occupe 0,55% de la population de la Région et regroupe l'industrie, l'artisanat et le tourisme. La fermeture des industries ces dernières années (Sumatex : Sud Madagascar Textile, Hasyma : Hasy Malagasy ou Vifotsy) a engendré la perte de plusieurs milliers d'emplois et a provoqué un réel problème pour la biodiversité de la région puisque, sans moyen pour subvenir à leurs besoins, la population s'est tournée vers l'exploitation des ressources naturelles. Le développement de l'écotourisme, qui représente aujourd'hui l'un des piliers de l'économie malgache (Boulier, 2009) avec toutes les activités afférentes pourrait être une solution pour pallier cette exploitation, surtout si la

communauté locale aux alentours des mangroves se trouve dans l'incapacité à investir. Mais le principal problème auquel les activités touristiques font face est l'insécurité vis-à-vis des infrastructures et des touristes. A cela s'ajoutent aussi le mauvais état des routes, le prix élevé de la location de moyens de transport, les problèmes d'hygiène, l'approvisionnement en denrées alimentaires des hôtels, et surtout la prépondérance du secteur informel.

Le tourisme de nature est notamment un créneau porteur particulièrement sur cette côte qui a été classée depuis 2003 par l'UNESCO comme « réserve de biosphère du littoral de Toliara » dans le cadre du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB), la reconnaissant comme zone modèle conciliant la conservation de la biodiversité et le développement durable. Couvrant 200 470 ha, la réserve est limitée au nord par la commune de Manombo, à l'ouest par les récifs coralliens, au sud par la commune de Beheloka et à l'est par les Sept Lacs le long du fleuve Onilahy. Elle regroupe des villes, des lacs, des récifs, des forêts claires, des forêts denses sèches à humides sempervirentes, des fourrés xérophiles, des forêts rupicoles, des forêts littorales, des savanes, des sables, ... et des mangroves.

Le secteur tertiaire regroupe quant à lui un secteur formel public (Banque Centrale, centres fiscaux, douanes, police, gendarmerie, enseignement et commune, préfecture et Région) et privé (banques ; agences de microfinance et d'assurances, prestataires de services, cabinets médicaux, grossistes, églises et écoles) et informel qui est devenu un véritable problème, voire un vrai fléau, pour l'économie malgache en général et pour l'économie de la Région du Sud-ouest en particulier. En effet, plus de la moitié des entreprises évoluent actuellement dans le secteur informel, ce qui représente une véritable économie parallèle où tous les domaines sont concernés. Il est dû essentiellement à l'inflation, à l'inexistence de véritable banque de développement aux taux d'intérêt concessionnel (période d'amortissement plus longue, moins d'exigence en matière de garanties, assistance technique offerte) et à l'absence de guichet unique au niveau régional, car le guichet unique, à savoir l'EDBM (Economic Development Board of Madagascar) ne se trouve qu'à Antananarivo.

II.3.3 Les fonctions et valeurs paysagères, économiques, sociales et culturelles des mangroves

Les mangroves sont des milieux riches, variés, complexes, mais aussi hostiles parfois, que l'homme exploite depuis des centaines d'années (Monénembo, 2008 ; Courtin *et al.*, 2011). La mangrove est aussi une formation arborée aux usages multiples et à plusieurs fonctions propres aux strates supérieures de la zone intertidale de ces côtes et fleuves tropicaux et subtropicaux (Skinner *et al.*, 1994). Elle offre des valeurs esthétiques, historiques et culturelles importantes (Gilbert et Janssen, 1998 ; Rist et Dahdouh-Guebas, 2006 ; Conchedda *et al.*, 2008), et procure des biens et des services écosystémiques pour la population.

Le classement depuis 2003 par l'UNESCO de la zone côtière de Toliara comme « réserve de biosphère du littoral de Toliara », montre d'une certaine manière la valeur économique de cette zone puisqu'elle la reconnaît ainsi comme conciliant la conservation de la biodiversité et le développement durable.

Du point de vue économique, la valeur des écosystèmes de mangrove varie géographiquement entre 200 000 \$ et 900 000 \$ le km² par an (Simard *et al.*, 2008) et est estimée à 1,6 milliard de dollars par an (Polidoro *et al.*, 2010 ; Thornton *et al.*, 2015). Ce capital économique est difficilement chiffrable car il est uniquement composé de ressources naturelles, par définition non monnayables. L'un des moyens d'obtenir une partie des estimations serait de considérer le coût des structures technologiques telles que les ouvrages anti-érosion, les frayères et les récifs artificiels, qui devraient être mises en place pour pallier l'éventuelle destruction des mangroves. Il est probable que l'élaboration d'un tel système nécessiterait des investissements considérables qui, en outre, seraient majorés par des dépenses périodiques, couvrant la maintenance des infrastructures.

Les mangroves fournissent une source de richesse grâce à des activités telles que l'aquaculture et la pêche (Thu et Populus, 2007). Les eaux en leur sein et aux alentours sont généralement riches en nutriments et son cadre protecteur permet la présence de frayère, de nurserie, d'abris pour des juvéniles de poissons ou crustacés dont les adultes sont trouvés plus au large. Parmi les crustacés très appréciés sur le plan du commerce international figurent les crevettes Eneides qui y séjournent aux stades post larve et juvénile.

Cette richesse favorise le développement de différents types de pêcheries artisanale ou commerciale de poissons. Dans le monde, environ 30% de tous les poissons commerciaux se

trouvent dépendants de la mangrove (Naylor *et al.*, 2000 ; Nagelkerken *et al.*, 2015). L'homme y prélève également des crabes, des mollusques ou des huîtres. Ce sont les femmes qui récoltent les mollusques pour recueillir la chair. Ces divers types de pêcheries contribuent fortement à améliorer la réponse aux besoins alimentaires de la population environnante de la mangrove.

De la fin du 19^e siècle aux années 1950, des centaines de milliers d'hectares de mangrove ont été détruites pour leur tanin un peu partout sous les tropiques (Asie : Philippines, Indonésie, Sarawak, Penang ; Australie, Mozambique, Tanzanie, Afrique de l'Ouest, Amérique Latine) (Lebigre, 2013), pour leur cire ou gomme laque (fournie par la sécrétion d'une cochenille le *Gascardia madagascariensis*) et pour la fabrication du papier (la mangrove est abondante, facile à exploiter et à demi-maritime) (Guillaumin, 1928). Entre 1902 et 1918, l'exploitation des écorces de palétuviers de Madagascar s'est élevée jusqu'à 200 000 tonnes (Guillaumin, 1928). A Madagascar, ce sont les Allemands qui importaient des palétuviers de Madagascar vers Hambourg. Compte tenu du monopole des Allemands, les Français par l'intermédiaire du laboratoire de chimie de la colonie à Antananarivo ont extrait des tanins sur place avant l'exportation vers la France (Le Courrier Colonial ; Les Nouvelles, 2017). Même si les tanins de palétuviers ont ainsi fait l'objet d'une forte demande industrielle, cela n'est plus le cas, car de nos jours les tanins chimiques sont désormais utilisés.

L'une des activités lucratives privilégiées dans les régions tropicales est celle de la crevetticulture (Mulekom *et al.*, 2006). En général, cette activité s'installe dans les mangroves parce que les bassins reçoivent naturellement des larves de crevettes depuis la mer et c'est dans cet endroit propice que les crevettes vivent naturellement (nourriture, ...). La production de crevettes crée des millions d'emplois à travers le monde (Binh *et al.*, 2005) et actuellement, plus de cinquante pays possèdent des bassins d'élevage. Originaire du Japon dans les années 1930 par le biais de l'élevage et la reproduction du *Penaeus japonicus* (Rönnbäck, 2001), la crevetticulture industrielle a pris de l'importance particulièrement vers la fin des années 60 et le début des années 70. En 1975, la crevetticulture produisait seulement 2,5 % des crevettes consommées, alors que dans les années 90, cette production représentait plus de 30 % de la consommation (Rönnbäck, 2001). A Madagascar, la crevetticulture s'est développée depuis 1992 et il existe actuellement sept fermes aquacoles dans le pays (Rasoanandrasana *et al.*, 2013). Cette activité se concentre dans la région de

Mahajanga et produit annuellement 6 000 tonnes de crevettes (moins de 1 % de la production mondiale) qui génèrent grâce à sa qualité un chiffre d'affaires de 100 millions d'euros par an (Le Monde, 2009). Le prélèvement de crabes de mangroves est une autre activité à signaler. Depuis 2013, l'ouverture d'une ligne aérienne vers la Chine a permis l'essor rapide de l'exportation des crabes vivants vers les pays asiatiques.

Toutefois, la région de Toliara ne possède pas de ferme aquacole. En effet, l'utilisation des mangroves par les communautés locales s'y effectue de façon traditionnelle. Les mangroves sont exploitées pour leur bois afin de produire du charbon à grande valeur calorifique, construire des maisons et parfois fabriquer des cercueils (*Xylocarpus granatum*), réaliser des clôtures et fournir du bois de chauffe pour la cuisson, etc... Le bois de mangrove est apprécié pour sa résistance à la pourriture et aux dégradations causées par certains invertébrés marins. En outre, ses racines portent des huîtres, consommées directement ou valorisées économiquement par le tourisme notamment dans la zone d'Ambondrolava. Dans la même zone, il existe quelques ruches de l'association villageoise puisque les mangroves font partie des milieux favorables aux abeilles mellifères.

La valorisation touristique est tentée par l'association « Honko », basée à Ambondrolava, qui a installé avec des financements de fondations internationales, un circuit de découverte pédestre à l'intérieur des mangroves reboisées (Figure 63) à 10000 Ar (3 euros) par personne. Ils veulent ainsi valoriser les valeurs paysagères en faisant découvrir la beauté des mangroves aux touristes mais aussi aux scolaires. La région connaît également une promotion du tourisme par le biais de la pêche récréative en partie associée aux mangroves. Finalement, l'écotourisme, malgré le fait qu'il ne soit pas encore très développé dans ces milieux, semble gagner en popularité en tant qu'alternative économique durable. Les mangroves attirent les touristes principalement en raison de leur caractère unique et de la faune qui les habite et les fréquente.



**Figure 63 : Le circuit pédestre dans la mangrove d'Ambondrolava
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Du point de vue social, partout dans le monde, les communautés vivant à proximité des mangroves ont toujours traditionnellement exploité ces écosystèmes. Le tanin de *Bruguiera* est ainsi utilisé pour traiter les maux d'estomac en Afrique occidentale, les cendres de *Rhizophora racemosa* et *Avicennia* sont utilisées en savonnerie, en Nouvelle Calédonie les plantules des *Rhizophora* sont consommées pelées, râpées, longuement lavées, immergées une nuit, cuites avec ou sans crème de coco, la «moelle» de ces plantules de *Rhizophora* est aussi consommée aux Antilles (Rollet, 1975); aux Philippines, l'écorce de *Ceriops tagal* est mélangée au vin de Nipa pour éviter qu'il tourne en vinaigre, cette écorce diminuant l'acidité et augmentant la teneur alcoolique des solutions de sucre; les graines de *Heritiera littoralis* renferment une amande utilisée comme produit antiseptique, elles sont portées directement sur les plaies, ou sont broyées pour l'application en onguent; les pneumatophores de différentes espèces de mangrove ont une variété d'utilisations traditionnelles et médicinales, telles que l'application dans la fabrication des bouchons, des flotteurs de pêche, des parfums et des condiments (Bandaranayake, 1998); traditionnellement en Inde, la décoction de l'écorce des espèces *Ceriops tagal* est utilisée pour traiter les hémorragies et les ulcères malins; sur la côte africaine, une décoction des pousses et des racines des espèces *Ceriops tagal* sert de substitut à la quinine; en Chine,

l'écorce des espèces *Ceriops tagal* est utilisée contre les plaies et est également utilisée dans le traitement du paludisme (Yang *et al.*, 2015).

A Madagascar, et dans la région du Sud-ouest, chaque espèce de mangrove est utilisée de manière différente. Les graines et les feuilles d'*Avicennia marina* sont utilisées en tant que médicaments. Les feuilles d'*Avicennia marina* séchées ou vertes sont infusées et consommées pour abrégé des troubles gastriques ou diarrhées, des troubles intestinaux, combattre le paludisme, la jaunisse (la recette consiste à faire bouillir 7 feuilles dans 2 litres d'eau et boire jusqu'à la disparition des symptômes) et la fatigue. Ces mêmes feuilles d'*Avicennia marina* sont couramment broutées par les animaux comme en Australie, en Somalie, en Inde, en Australie tropicale, en Nouvelle Zélande. En outre, ses racines sont utilisées pour alléger les douleurs des femmes avant et après l'accouchement ou pour nourrir le bétail. Ses troncs servent aussi à fabriquer des cercueils, des clôtures, des roues de charrette et de la chaux.

Pour les espèces *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal*, les écorces sont utilisées pour traiter les brûlures, les fatigues musculaires. Leurs troncs, les tiges et les gaulettes sont utilisés pour fabriquer des mâts de pirogue, des chaises, des tables, des lits, du charbon, des clôtures, des roues de charrette, pour cuire les repas (en tant que bois de chauffe) ou construire des maisons. Les écorces sont utilisées dans des lotions pour traiter des ulcères buccaux et les tanins pour préserver des cuirs et les filets de pêche.

Pour les *Sonneratia*, les feuilles servent de nourriture au bétail, les troncs servent pour la construction des cercueils, pour la fourniture du charbon et de la chaux, les maisons sont construites à partir des troncs et les gaulettes servent de bois de chauffe.

Les feuilles de *Xylocarpus* bouillies servent à guérir la lombalgie et la fatigue.

Les écorces de l'espèce *Lumnitzera racemosa* bouillies atténuent les maux de ventre présentant des ballonnements.

Les mangroves ont aussi des valeurs culturelles notamment aux Comores où elles sont considérées comme des lieux de relégation des Djinns. Elles sont aussi perçues comme des lieux hostiles (habitat pour les mauvais esprits) et les autochtones ont tendance à les protéger ou à les détruire. Pour la plupart des Malagasy, le « *Tsiny* » qui peut être traduit comme une punition pour non-respect de la tradition (ressentiment ou rancune), est jeté dans les mangroves. De même, chez certains Sakalava il est interdit de manger des crabes des mangroves car ils appartiennent aux ancêtres. Du côté d'Antrema (Mahajanga), la

mangrove est l'habitat de *Propithecus verreauxi coronatus* ou « *Sifaka* » ou *Propithèques couronnés* qui représentent l'incarnation des ancêtres et donnent au roi le pouvoir de guérir certaines affections comme les brûlures et les fractures. La population viable de *Propithèques couronnés* est aujourd'hui estimée à 750 individus. Pour ces raisons, la mangrove est protégée.

Par ailleurs, dans l'ensemble de la région, la population se sert de gros tronc d'*Avicennia* ou de *Sonneratia* pour la fabrication des cercueils. Or, traditionnellement, du côté de Manombo, les forêts de palétuviers appartenaient aux Tsagnala (clans des Masikoro). Une autorisation de leur part est donc requise pour l'accès à la mangrove et l'utilisation des palétuviers car un rituel préalable est indispensable. Les croyances stipulent que toute initiative non conforme à cette règle provoquera des calamités telles que la montée de la mer et la famine à l'encontre des autochtones.

Ce chapitre explique que l'un des traits remarquables du sud-ouest malgache est d'être une région aride aux conditions drastiques où tout porte à croire que la diversité floristique présente est réservée aux végétaux spécifiques qui forment le fourré xérophile. Malgré cela, le littoral du sud-ouest constitue un domaine de prédilection des palétuviers, conséquence de la contribution de mécanismes généraux en étroite interdépendance tels que la présence de fleuves et de récifs, le climat, la pluviométrie, la température, ... Les conditions créées par ces derniers facteurs conditionnent l'installation des palétuviers.

Pendant longtemps, les mangroves sont apparues aux yeux de l'humanité comme des zones sans aucune valeur ni utilité, malodorantes et remplies de bêtes (moustiques, serpents, ...). De nos jours, sous l'influence d'études scientifiques récentes et de campagnes de sensibilisation, cette perception est en train de changer, montrant que les mangroves possèdent des caractéristiques uniques et des fonctions d'une importance capitale. Les mangroves représentent l'un des écosystèmes naturels les plus productifs de la planète (Spalding *et al.*, 1997) et leurs fonctions sont multiples et assez diversifiées (Doyen et Agboba, 1985). Même si les rôles socioéconomiques des mangroves sont quasi-identiques à travers le monde (Soegiarto, 1991 ; Doyen et Agboba, 1985 ; Ndour *et al.*, 2012), les mangroves de Madagascar et de la région de Toliara possèdent quelques spécificités.



TROISIÈME PARTIE

Diagnostics et dynamiques d'évolution

La troisième partie présente les résultats issus des travaux de terrain et par télédétection et SIG ainsi que leur discussion. Tout d'abord, le chapitre des résultats va être subdivisé en deux sous chapitres, le premier décrit l'état actuel des mangroves du sud-ouest malgache étudiées et le second donne un bilan de leur dynamique d'évolution récente. Ensuite, le chapitre relatif à la discussion se focalisera sur les dimensions anthropiques et naturelles des pressions sur les mangroves avant de se concentrer sur les différents facteurs d'évolution spécifiques de chaque site.

Chapitre I. Les résultats

Premièrement, le chapitre résultat sera scindé en deux sous chapitres, dont le premier portera sur l'état actuel des mangroves où les 05 sites vont être caractérisés par l'intermédiaire des transects et des images satellites. Deuxièmement, il fournira un solide résultat sur les dynamiques d'évolution récentes de la mangrove durant les six dernières décennies, notamment sur leur progression, leur régression et leur stabilité.

I.1. L'état actuel

La caractérisation de l'état actuel de la mangrove de Toliara s'est donc appuyée sur les différents paramètres, décrits dans la partie précédente, de la présence/absence (à partir d'images satellites), de la densité (par l'intermédiaire du NDVI), ainsi que des associations de taxons (par classifications et données terrain). La robustesse des cartographies produites s'appuie sur la complémentarité de traitements d'images avec un travail de terrain poussé. Dans un premier temps, l'analyse des données relevées sur le terrain à partir des transects a pu donner une idée sur l'organisation générale des espèces de palétuviers dans l'ensemble des sites d'étude. Sur les 20 754 individus inventoriés dans tous les transects de la mangrove de la région de Toliara, il existe sept espèces de palétuviers (Figure 64). Cette diversité floristique est comparable à l'ensemble de Madagascar (en considérant *Heritiera littoralis* comme une espèce associée).

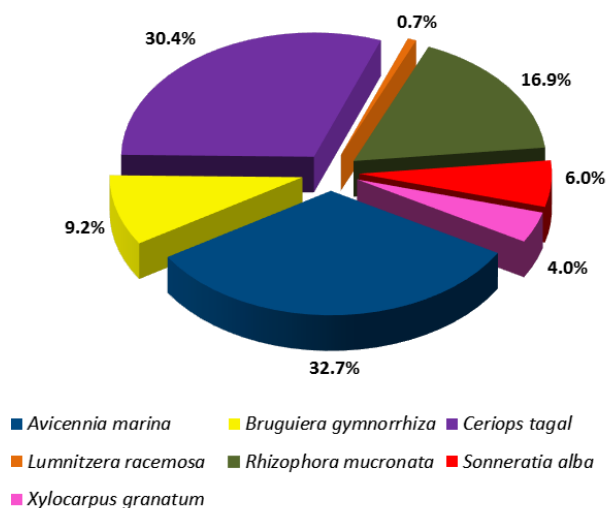


Figure 64 : Pourcentage des espèces relevées sur l'ensemble des 5 sites

Plus spécifiquement, 6 794 individus d'*Avicennia marina* ont été recensés soit 32.7% de tous les palétuviers, avec un diamètre moyen de 4.7cm. Cette espèce occupe tous les sites ainsi que tous les transects que ce soit en bordure des mangroves ou à l'intérieur, sur tous les types des substrats (sableux, sablo-limoneux, argileux, sablo-argileux ...), et quels que soient la salinité et le pH. Elle compose la moitié des espèces dans le site de Manombo-Fitsitike puisqu'elle constitue 49.8% des peuplements.

Les espèces *Ceriops tagal* représentent 30.4% des palétuviers recensés (6 310 individus). Ils présentent un diamètre moyen de 2.65 cm. Recensée un peu partout dans la région, cette espèce est présente particulièrement dans les sites d'Ankiembe (58.6% des palétuviers y sont des *Ceriops*), de Manombo-Fitsitike, d'Ambondrovala, de Sarodrano où quelques individus ont été trouvés dans le transect C, et à Andriambe avec des individus au milieu du transect B.

Les 3 505 individus de *Rhizophora mucronata* (soit 16.9% des palétuviers), dont le diamètre moyen est de 3.33 cm, sont présents dans tous les sites, principalement dans les parties qui sont submergées par la marée haute (durée de submersion inférieure par rapport aux *Sonneratia alba*) ainsi qu'en bordure des chenaux à l'intérieur des mangroves. Parfois, ces chenaux font office d'allée piétonne à marée basse favorisant les pressions anthropiques. Les mangroves de Manombo-Fitsitike sont composées à 47.8% de *Rhizophora mucronata* favorisés par la présence de chenaux à l'intérieur de la zone.

Les 1 905 individus de *Bruguiera gymnorrhiza*, soit 9.2% des palétuviers des transects, caractérisés par des diamètres moyens de 2.67 cm, se trouvent dans quatre des cinq sites

d'études. Cette espèce se trouve en abondance dans les transects B et C de Sarodrano où ils représentent plus de 46% des espèces totales présentes dans ce site.

Les espèces *Sonneratia alba* représentent 6% des palétuviers avec 1 253 individus. Avec 8.32 cm de diamètre en moyenne, ils présentent la plus grande moyenne de diamètre de tous les sites. Cette espèce peut être trouvée dans les cinq sites et colonise principalement les zones ayant le plus long temps de submersion, c'est-à-dire les premières à être couvertes par la marée haute et les dernières à être exondées (touchées par la marée au moment de son retrait ou marée basse) et principalement dans la frange extérieure de la mangrove.

Les 835 individus de *Xylocarpus granatum* constituent 4% de l'ensemble des palétuviers et présentent un diamètre moyen de 4.79 cm. Cette espèce a été trouvée principalement dans la mangrove d'Andriambe où sa proportion est de 86% des espèces présentes. Egalement quelques pieds de *Xylocarpus granatum* ont été observés à Manombo-Fitsitike et à Ambondrolava même si elle n'était pas dans les transects. Dans la région, cette espèce tend à coloniser les zones où l'eau douce abonde avec une faible salinité de 1.1‰ et un pH basique de 8.6. Elle est présente sur des substrats ayant une texture dominée par des argiles.

Enfin, les espèces *Lumnitzera racemosa* est l'espèce minoritaire de la région avec 151 individus qui représentent 0.7% de l'ensemble des palétuviers. Avec ses 2.67 cm de diamètre moyen, cette espèce est repérée principalement dans la partie sud d'Ambondrolava, c'est-à-dire dans le transect D, dans les formations à typhas à Manombo-Fitsitike et au pied des falaises à Andriambe.

Du point de vue des substrats, les sols de mangroves se caractérisent avant tout par leur caractère hydromorphe et un taux de salinité plus ou moins élevé (Hervieu, 1965) à cause de la présence de l'eau de mer. Même si les caractéristiques édaphiques semblent avoir une influence assez limitée sur la répartition des différentes essences (Renoux, 2011), les sols sont généralement riches en éléments minéraux mais pauvre en oxygène. La granulométrie des sols de mangrove est très variable selon leur localisation (en front de mer, estuarienne...) et leur position (en surface ou en profondeur). Dans la région de Toliara, la granulométrie des sols des mangroves est influencée par les importants apports sédimentaires des fleuves, notamment sableux, et par la présence des récifs coralliens. Ainsi

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

les sols analysés montrent systématiquement des proportions de sable de 40 à 97% et des débris coquillers dans tous les échantillons.

Du point de vue de la texture, elle varie de sableuse (en surface au nord et au centre de Manombo, au nord d'Ambondrolava, dans la partie centrale de Sarodrano), sablo-limoneuse (en surface au sud d'Ambondrolava) ou sablo-argileuse (en profondeur à Ankiembe), limono-sablo-argileuse (en profondeur ou en surface à Andriambe, en profondeur à Ankiembe), argilo-sableuse (en profondeur comme en surface dans la partie centrale à Ankiembe) jusqu'à argileuse (en profondeur comme en surface d'Andriambe, au centre de la partie nord de Manombo-Fitsitike)(Figure 65).

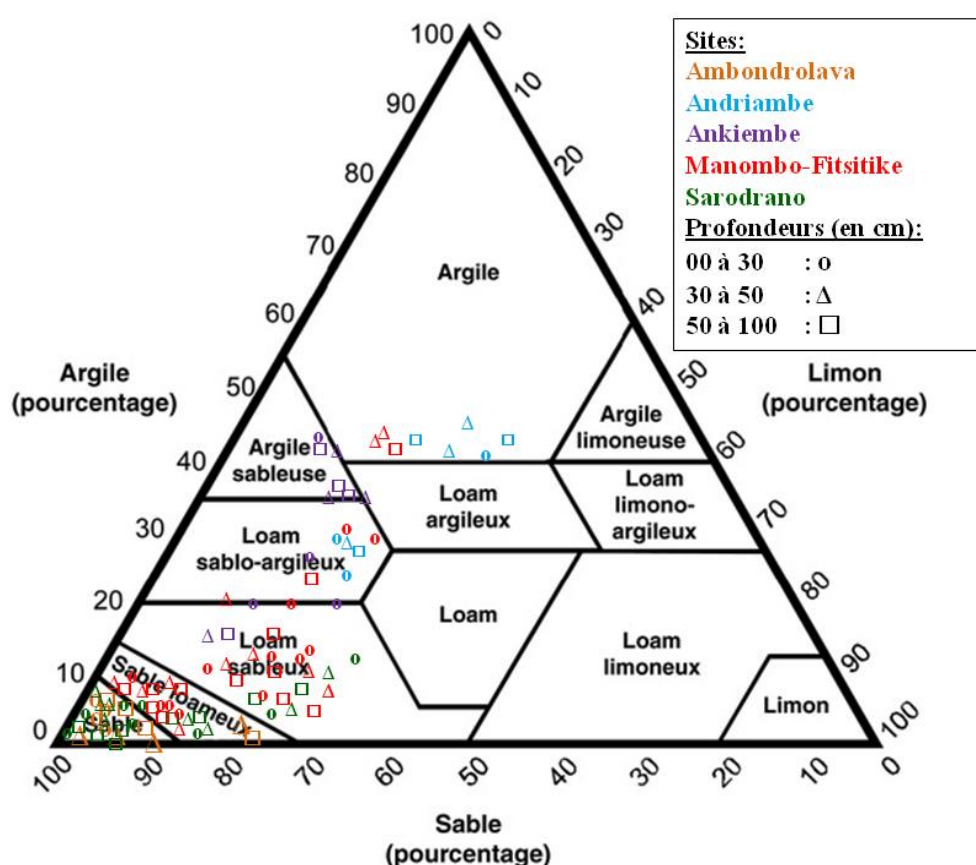


Figure 65 : Caractéristiques granulométriques des substrats relevés à 3 profondeurs sur l'ensemble des sites

I.1.1 Le site de Manombo-Fitsitike

Les mangroves de Manombo-Fitsitike sont les plus étendues et les plus diversifiées de la région.

I.1.1.1 La caractérisation par les transects

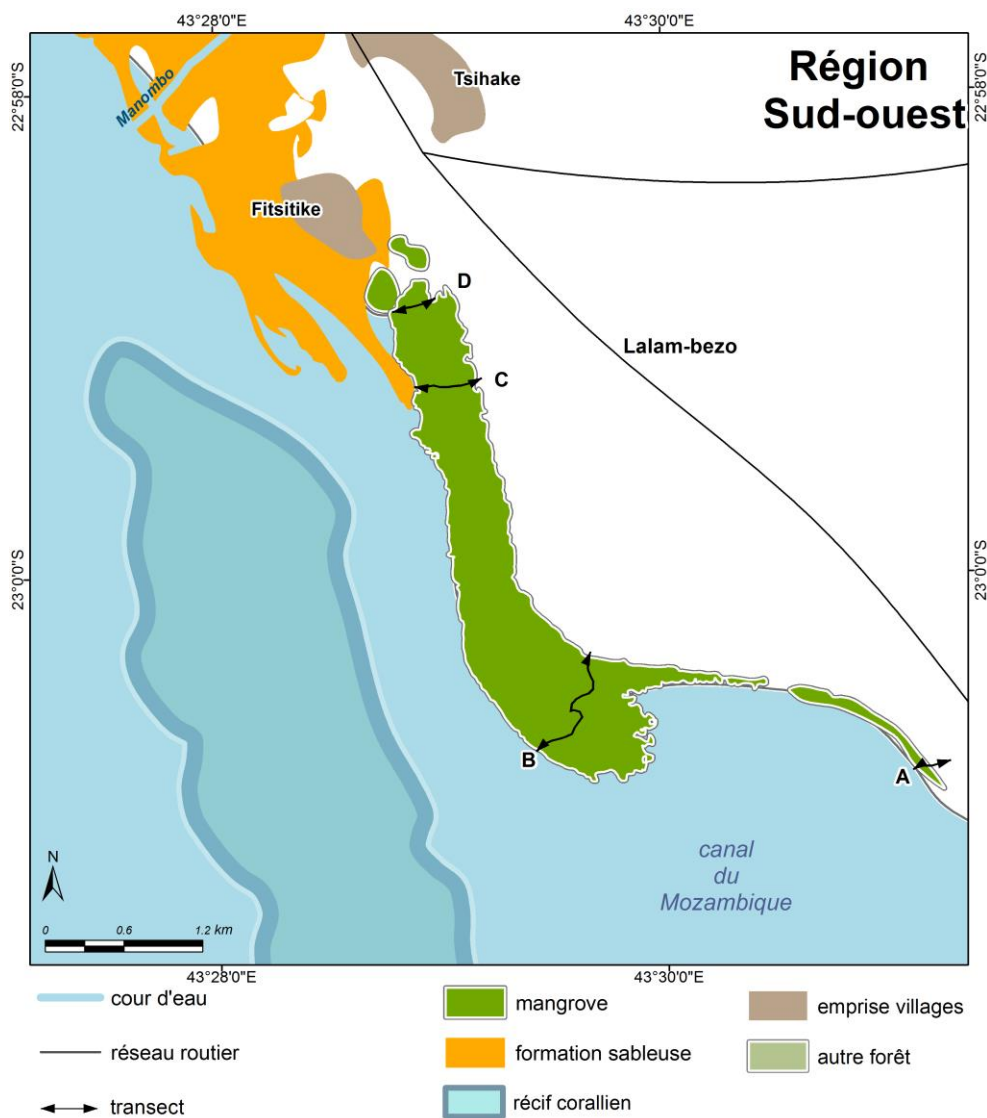


Figure 66 : Transects du site de Manombo-Fitsitike (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)

Les transects réalisés dans les mangroves de Manombo-Fitsitike possèdent sept espèces de palétuviers (Figure 67).

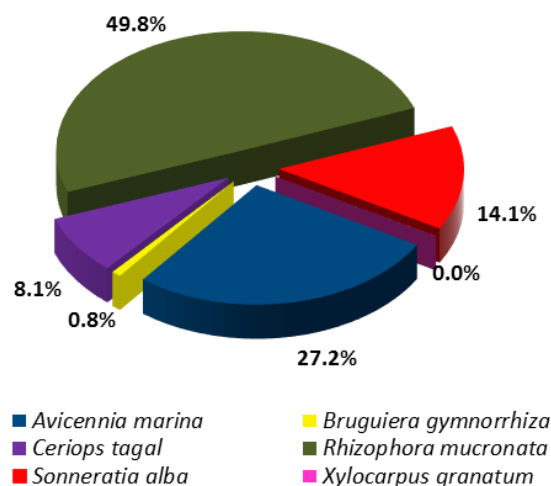


Figure 67 : Pourcentage total par espèces de palétuvier de Manombo-Fitsitike

Ces mangroves de type littoral sont constituées de 49.8% de *Rhizophora mucronata* qui se trouvent dans les 4 transects et surtout en grande quantité dans toute la partie est du transect B (Figure 68), qui traverse une mangrove dont la partie centrale est façonnée par un réseau de chenaux inondés à marée haute mais facilement exondés à marée basse.

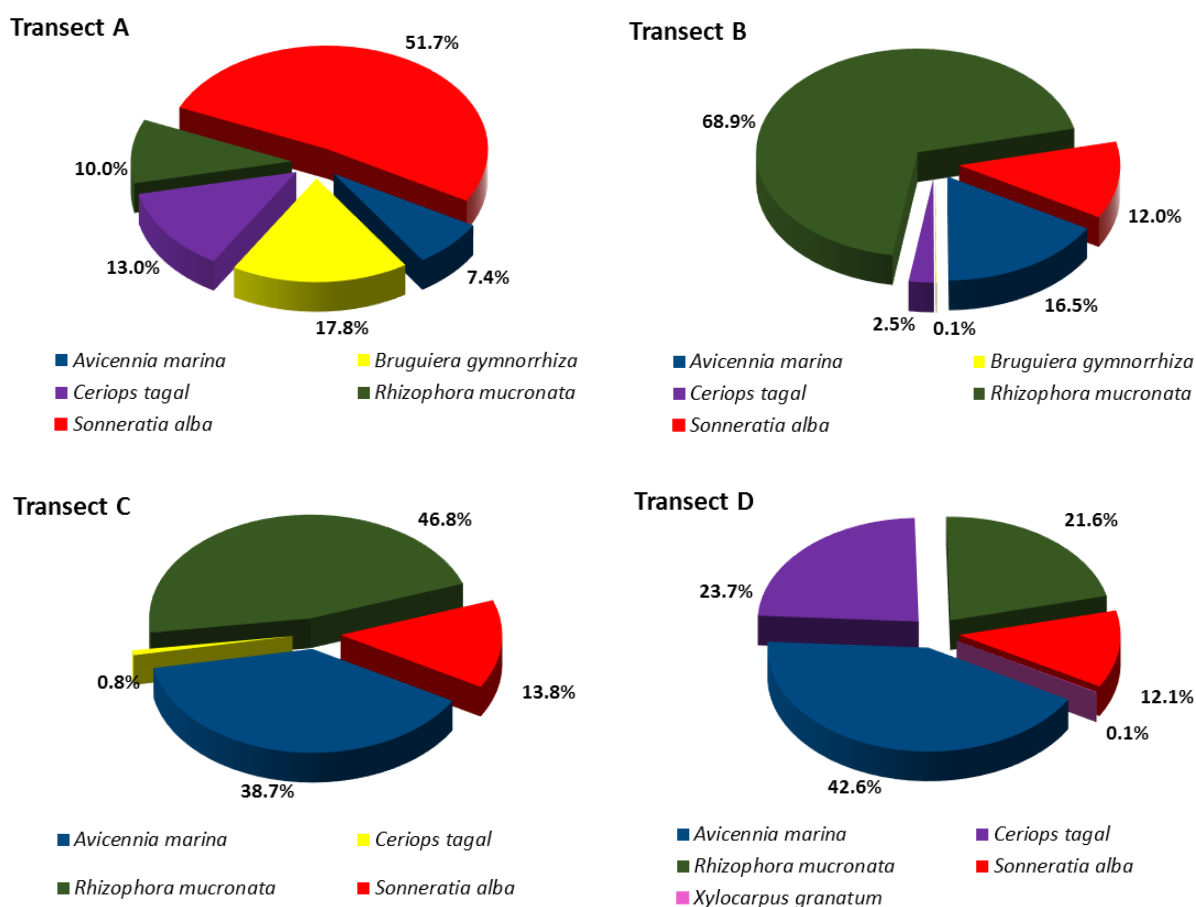
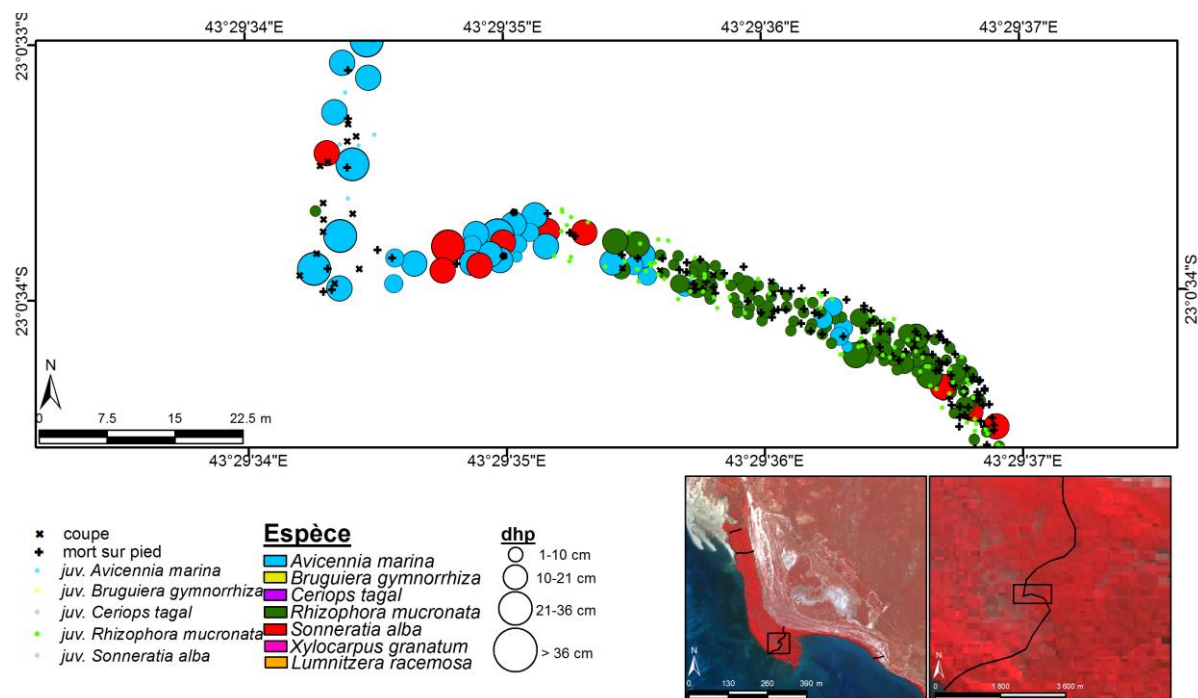


Figure 68 : Pourcentage des espèces relevées pour chacun des 4 transects de Manombo-Fitsitike

Dans ces transects, *Avicennia marina* représentent 27.2% des palétuviers localisés sur l'ensemble les transects C et D, en lisière terrestre dans le transect A et B (limite entre mangrove et la dune littorale) ainsi que dans la partie centrale de ce dernier transect sur des substrats sableux (Figure 69).



On compte également 14.1% de *Sonneratia alba* qui se localisent préférentiellement en lisière maritime des mêmes transects A et B (Figure 70 et Figure 71) où elles sont en contact direct avec la marée ainsi que sur l'ensemble des transects C et D associées avec d'autres espèces telles que *Rhizophora mucronata*.

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

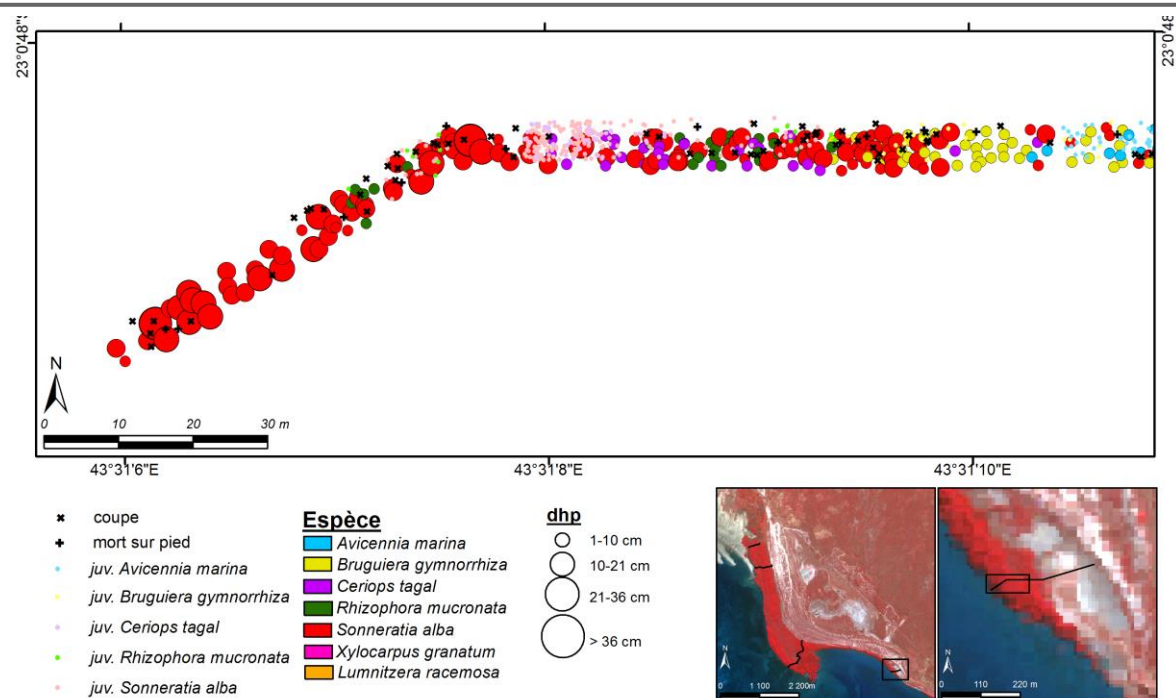


Figure 70 : Une partie en lisière maritime du transect A de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

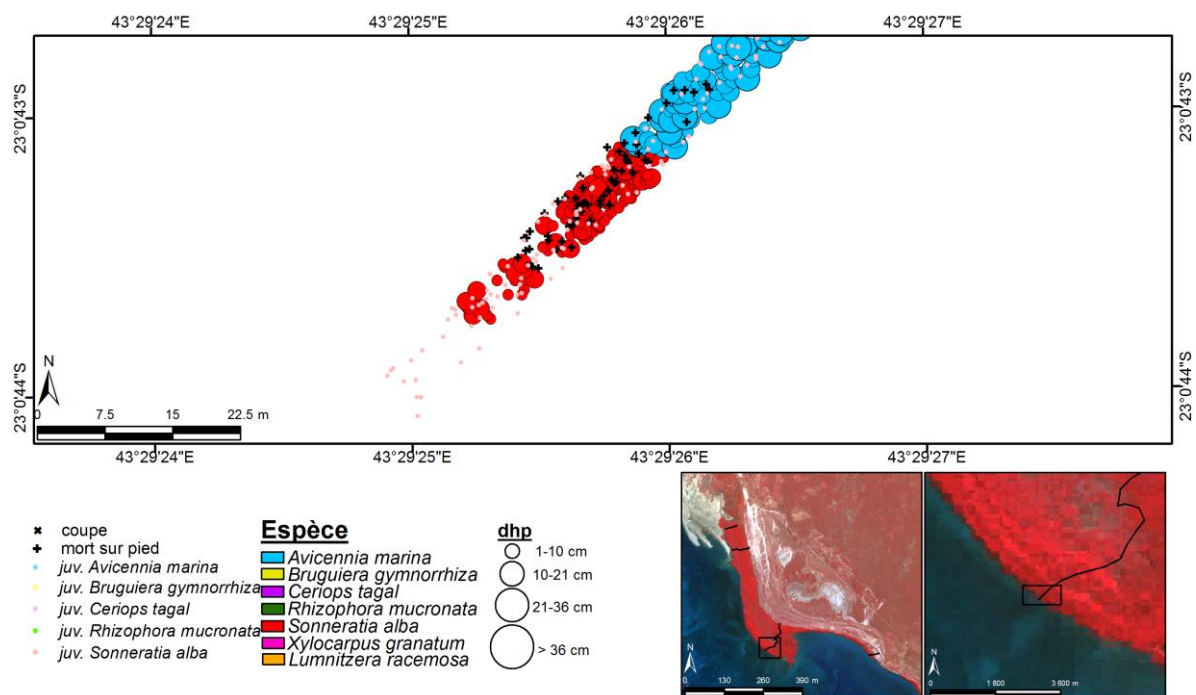


Figure 71 : Une partie en lisière maritime du transect B de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

La quatrième espèce est composée de *Ceriops tagal* (8.1%) recensée sur l'ensemble du transect D ainsi que dans la partie centrale du transect A en hétérogénéité avec des espèces *Rhizophora mucronata*. Les deux dernières espèces présentes sont en très faible

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

effectif avec 0.8% de *Bruguiera gymnorrhiza* localisés préférentiellement dans la partie centrale des deux transects A et B, et 0.01% de *Xylocarpus granatum* observés dans le transect D favorisé par la proximité du chenal d'eau douce émanant du fleuve Manombo. Enfin, bien qu'on n'ait pas trouvé de *Lumnitzera racemosa* dans nos transects, quelques pieds se rencontrent sporadiquement dans les formations à typhas en arrière mangrove, en raison de leur exigence écologique qui leur fait préférer les faibles salinités (5‰) (Figure 72).

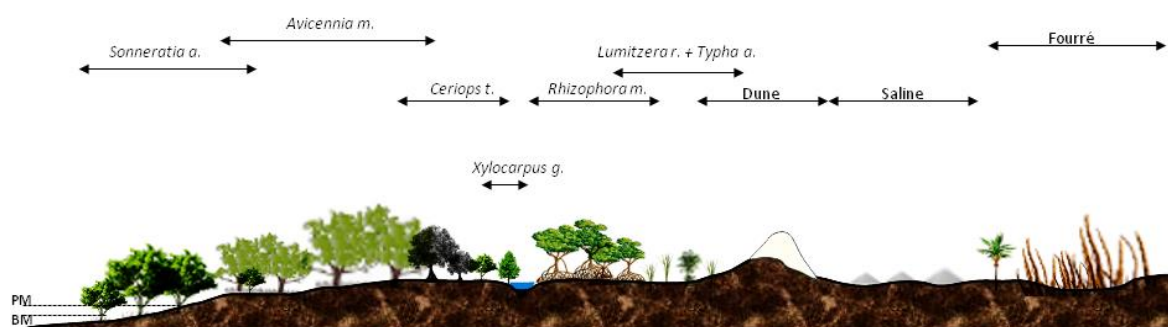


Figure 72 : Coupe schématique de la mangrove de Manombo-Fitsitike (Andriatsiaronandroy, 2018)

Du point de vue du diamètre ou DHP, la mangrove de Manombo-Fitsitike est dominée par des petits individus de 1 cm à 10 cm (84,16 %) dont plus de la moitié est dominée par des espèces *Rhizophora mucronata* (Figure 73). Les autres classes restent minoritaires, avec 11,14 % de diamètres de 10 cm - 21 cm, 4,31 % de 21 cm – 36 cm et 0,38% de plus de 36 cm.

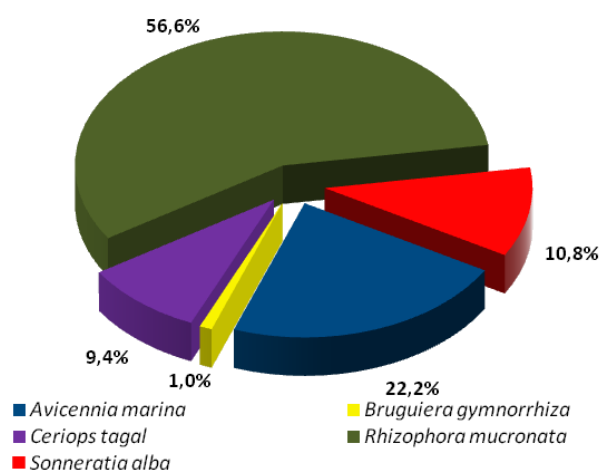


Figure 73 : Pourcentage des petits individus (1cm-10cm)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

La structure démographique des palétuviers (en forme de lettre J inversée) indique un bon état sanitaire, cette formation présentant une bonne régénération (Figure 74).

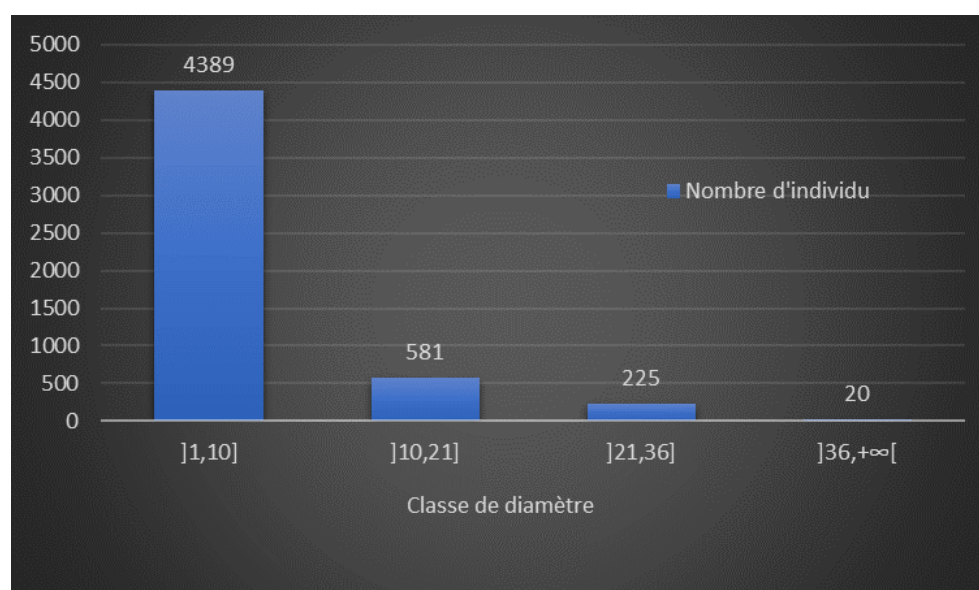


Figure 74 : Structure démographique des palétuviers de Manombo-Fitsitike

En effet, une régénération naturelle adéquate requiert un minimum de 2500 semis bien répartis par hectare (Srivastava et Bal, 1984 ; Bosire *et al.*, 2008) soit 13 semis sur 50m² correspondant à la taille de nos blocs. Or, dans le site de Manombo-Fitsitike, le nombre de juvéniles par bloc est en moyenne de 20.7 dans tous les transects, dont la moitié est composée par des jeunes *Rhizophora mucronata* qui peuvent atteindre jusqu'à 94 juvéniles dans un bloc. C'est dans le transect B qu'on trouve le moins de juvéniles par bloc avec 14.39 alors que les autres transects montrent 20 juvéniles pour le transect A et 29 par bloc pour le transect D. Ainsi, de même que pour le pourcentage des individus ayant entre 1 et 10 cm de diamètre ; celui des juvéniles est dominé par l'espèce *Rhizophora mucronata* qui indiquent une mangrove plus stable du point de vue floristique (Figure 75).

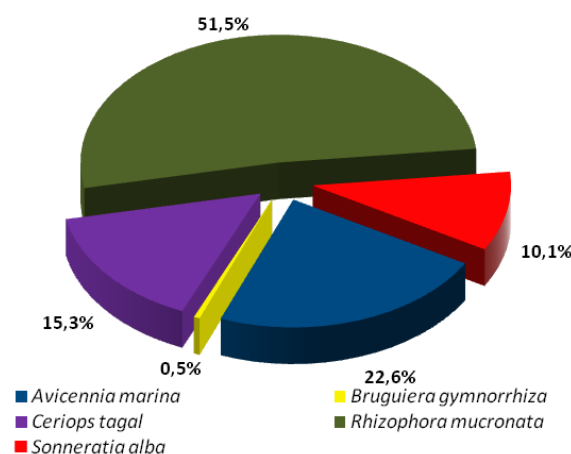


Figure 75 : Pourcentage par espèce des juvéniles

Les plus gros individus sont les espèces de *Sonneratia alba* possédant une moyenne de diamètre de 10.78 cm et un maximum de 77 cm. Viennent ensuite les espèces *Avicennia marina* avec 8.52 cm en moyenne et 48 cm pour les plus gros. Par contre les autres espèces ont des moyennes de diamètre entre 1 et 3 cm.

Par ailleurs, dans cette mangrove de Manombo-Fitsitike, l'inventaire a permis de montrer qu'en moyenne on avait 5.7 palétuviers morts sur pied par bloc (avec un maximum de 35 morts sur pied dans un bloc). Ce nombre varie beaucoup entre les 4 transects. En effet, en moyenne 9 pieds morts par bloc ont été recensés pour le transect B, alors que seulement 1.52 morts par bloc ont été inventoriés pour le transect A, 2.4 pour le transect C et 2.5 pour le transect D. Cette mortalité plus élevée dans le transect B est le résultat soit d'un processus d'ensablement de cette partie de la mangrove (d'après nos analyses, le substrat de cette partie est composé de 75% de sable en lien avec les apports terrigènes du fleuve Manombo dans le contexte d'accrétion décrit dans la précédente partie) qui viendrait perturber l'adaptation des palétuviers, soit par la sénescence, suggérée par les diamètres importants de *Sonneratia alba* et *Avicennia marina*. Pour cette dernière, la présence de nécroses dans leur système vasculaire a été constatée.

Associée à cette mortalité naturelle, il y a aussi des coupes anthropiques, avec en moyenne sur l'ensemble de la zone 5.3 coupes par bloc et un maximum de 33 coupes dans un bloc. Les coupes les plus fréquentes s'observent dans le transect D (avec 8.4 coupes par bloc en moyenne), transect le plus à proximité des villages. Cette valeur diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des villages de Manombo, Fitsitike et Tsihake. Ainsi, la moyenne des coupes est de 6.2 pour le transect C, 3.3 pour le transect B et 2.9 pour le transect A.

I.1.1.2 La caractérisation par les images satellites

À partir des traitements d'images satellites, on peut avancer que la mangrove de Manombo-Fitsitike occupait une surface de 297.9 ha en 2014 et peut être qualifiée comme étant en bonne santé. Ce bon état sanitaire était déjà le diagnostic de Lebigre à la fin des années 1980 (Lebigre, 1990). En effet, cette mangrove est dominée par des formations de palétuviers denses (143.4 ha) à très denses (140.1 ha) jusqu'à 95% de la surface totale de la mangrove de la zone (Figure 76).

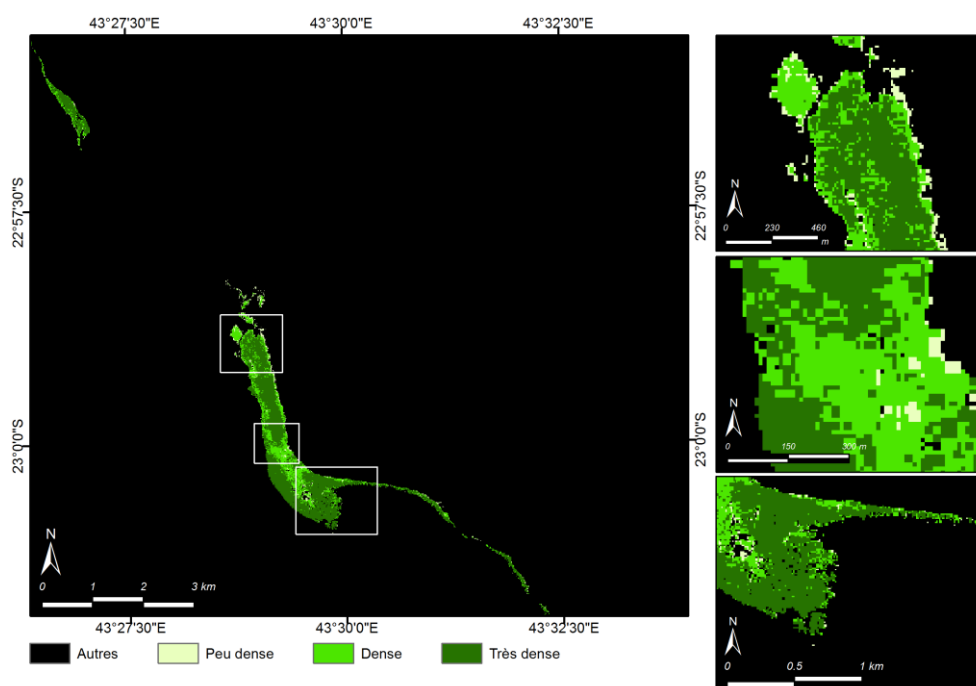


Figure 76 : Densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike en 2014 (Source : NDVI, Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Ce bon état est favorisé par la situation de la mangrove dans une zone calme protégée des houles et des vagues par des récifs coralliens. C'est alors un espace de décantation des particules fines des vases. Aussi, la présence d'un réseau de chenaux facilement inondables à marée haute est-il un autre élément d'explication. Les zones de mangroves peu denses, qui ne couvrent que 14.5 ha, se situent la plupart du temps le long de la lisière terrestre et également dans toute la partie au nord à proximité des villages, ainsi que dans la partie centrale des peuplements les plus larges du sud, dont certaines portions sont même totalement dépourvues de palétuviers. Cette dernière zone, à substrat très sableux est également très fréquentée car à marée basse, quand les chenaux sont exondés,

cela favorise leur transformation en allée piétonne à l'intérieur de la mangrove permettant l'accès aux zones d'avant mangrove pour les pêcheurs et les ramasseurs de coquillages.

Cette mangrove est composée de trois entités distinctes. Un premier peuplement de taille réduite se localise au nord du fleuve Manombo et des villages et est totalement déconnecté des 2 autres. La deuxième unité forme un gros appendice massif et large au sud du fleuve Manombo et il se prolonge par une troisième entité très étroite qui s'étire de manière plus ou moins discontinue vers le sud-est le long de la côte.

De manière générale, cette mangrove est composée en premier lieu de peuplements monospécifiques à *Rhizophora mucronata* présentant différentes densités. Pour les formations à *Rhizophora mucronata* denses qui couvrent 63.4 ha, elles sont localisées sur la façade maritime des deux petites entités à l'extrême nord et sud d'une part ; dans la deuxième entité, sur toute sa partie sud ainsi que dans sa partie nord en position plus interne d'autre part. Le même peuplement à *Rhizophora mucronata* monospécifiques mais à faible densité sont rencontrées sur l'ensemble de Manombo-Fitsitike sur une surface de 37.8 ha mais de façon remarquable dans la partie nord de la deuxième entité, à proximité des villages. Ces derniers sont associés avec un autre peuplement à *Rhizophora mucronata* dominants à forte densité sur 47.3 ha.

Ensuite, il y a la communauté d'*Avicennia marina* monospécifiques qui constituent les deuxièmes peuplements de cette zone mais se concentrent plus dans le gros appendice massif. Ils couvrent 54.8 ha à faible densité et 12.7 ha à forte densité. La formation à *Avicennia marina* monospécifiques denses se trouvent dans la même position que celle à *Rhizophora mucronata* monospécifiques denses tandis que le peuplement à *Avicennia marina* monospécifiques peu denses tendent à combler les zones de l'appendice qui ne sont pas occupées par les groupements à *Rhizophora mucronata* et à *Avicennia marina* monospécifiques denses. Il y a aussi des peuplements à *Avicennia* dominants et denses (21 ha) que l'on trouve dans l'ensemble du site bien que particulièrement dans la partie nord avec les formations mixtes et denses de 21 ha environ.

Le troisième groupement présent sur ce site est composé de *Sonneratia alba* en peuplements monospécifiques à faible densité (41 ha) délimités sur l'ensemble de la zone et préférentiellement dans les zones qui sont en contact direct avec la marée sous forme d'un rideau et parfois en hétérogène avec des peuplements à *Rhizophora mucronata* denses dans la partie sud de l'appendice ainsi que sur toute sa partie centrale (Figure 77).

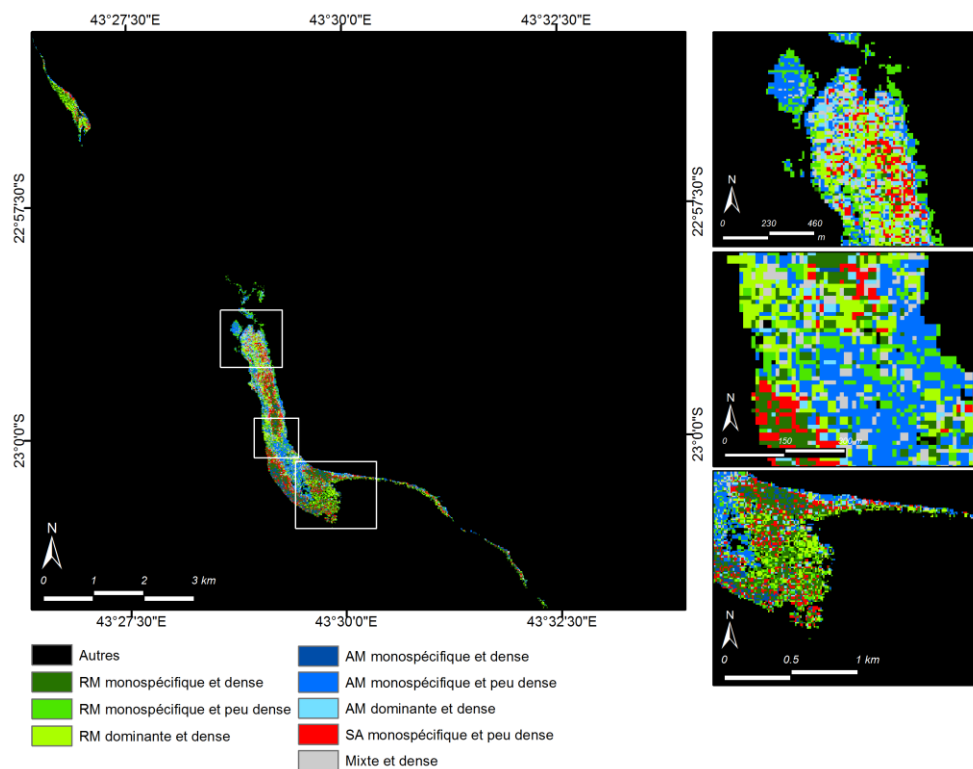


Figure 77 : Classification supervisée par espèce et densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike en 2014
 (Source : Spot Image)
 (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.2 Le site d'Ambondrolava

Les mangroves de ce site ont pour caractéristique d'être morcelées en multiples peuplements plus ou moins disjoints.

I.1.2.1 La caractérisation par les transects

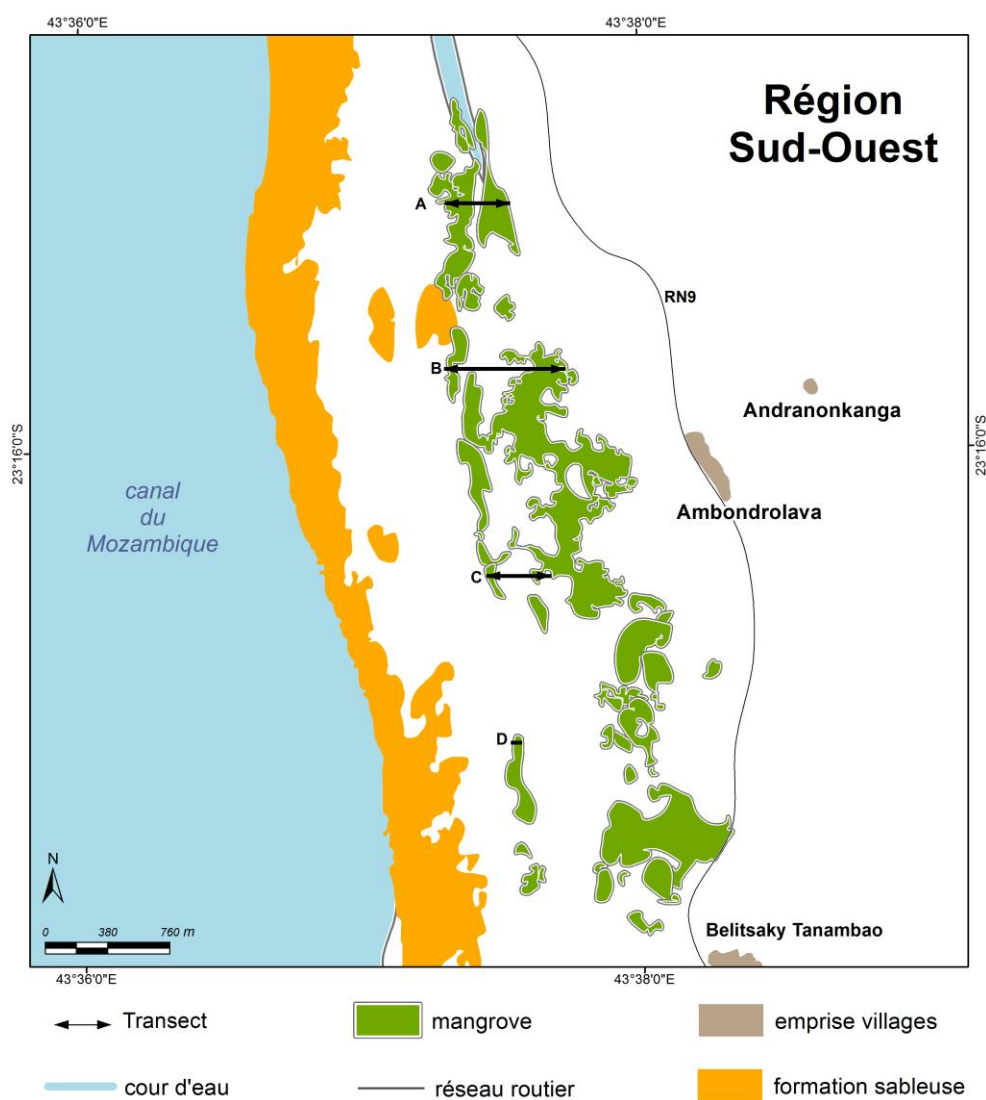


Figure 78 : Les transects du site d'Ambondrolava (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)

Cette mangrove localisée en arrière du cordon dunaire d'Ambondrolava est composée essentiellement de 6 espèces de palétuviers (Figure 79).

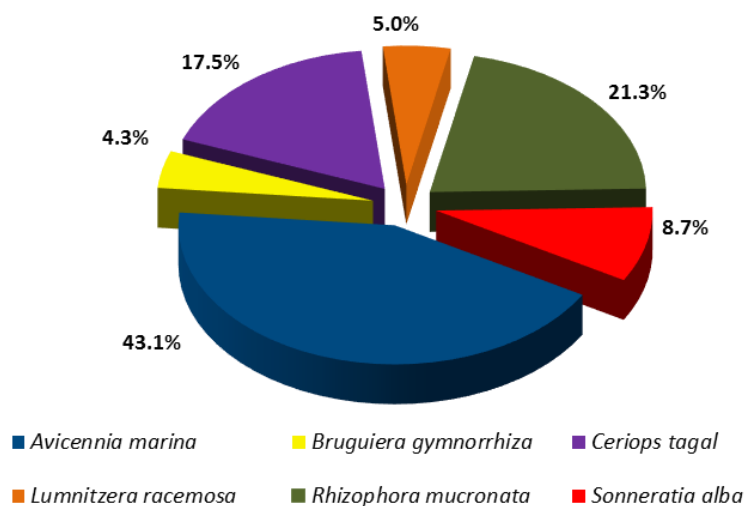


Figure 79 : Pourcentage des espèces d'Ambondrolava

Même si elle n'est pas recensée dans nos transects, il faut aussi mentionner la présence de quelques pieds de *Xylocarpus granatum* plantés de manière sporadique par la population locale et l'ONG « Honko » le long de circuits pédestres.

Comme les mangroves ne se trouvent pas en contact direct avec le Canal de Mozambique, elles sont alimentées en eau salée quotidiennement depuis le nord à marée haute par le biais du chenal étroit. Malheureusement les palétuviers de cette zone en sont cependant de plus en plus déconnectés en raison de la fermeture du site par l'allongement vers le nord de la flèche sableuse derrière laquelle se trouve la mangrove. Ils évoluent désormais en condition d'eau de plus en plus douce provenant du débordement ou de sous écoulements du fleuve Fiherena au sud.

Ces mangroves sont composées à 43.1% d'*Avicennia marina* repérés sur l'ensemble des transects B et C ainsi que dans la partie l'est en contact avec le chenal principal et au pied de la flèche sableuse au niveau du transect A (Figure 80).

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

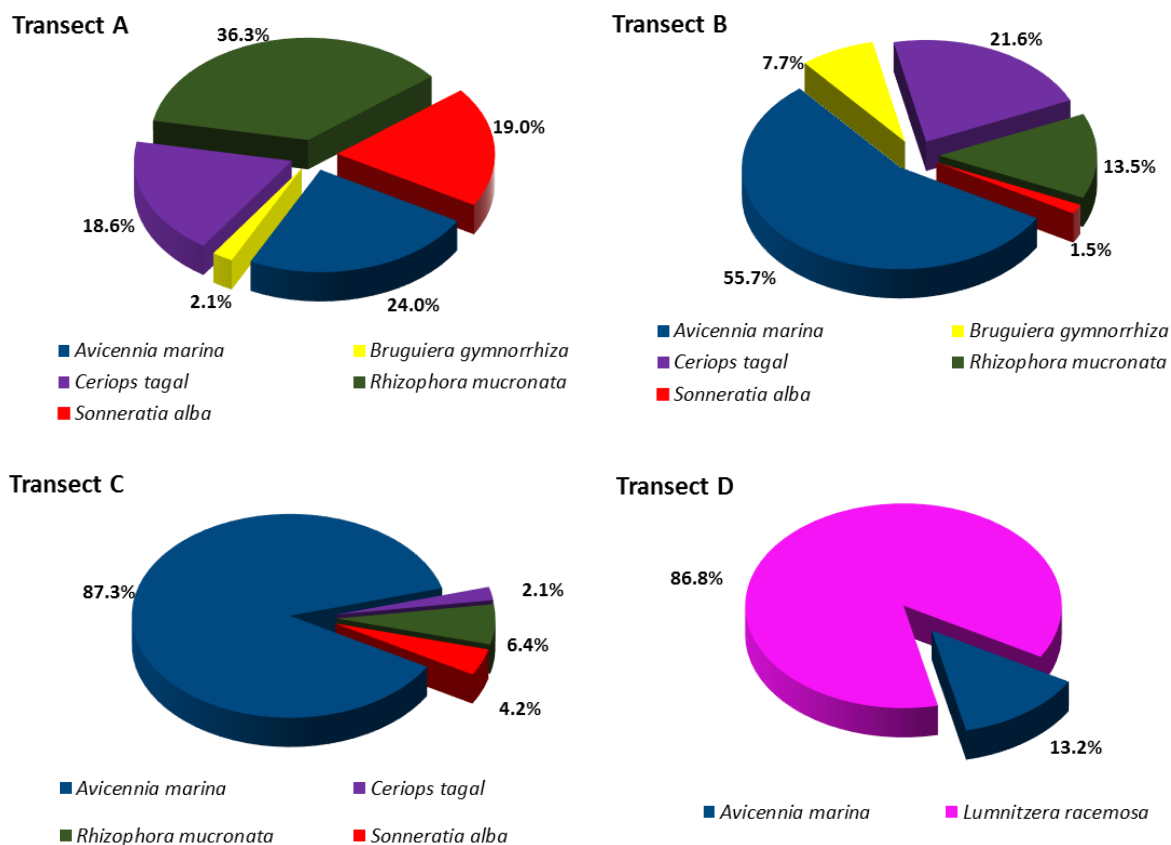


Figure 80 : Les pourcentages des espèces relevées sur l'ensemble des transects d'Ambondrolava

La deuxième espèce représentée est *Rhizophora mucronata* (21.3%) localisée généralement sur l'ensemble du transect A sauf sous la flèche dunaire ; elle est aussi présente d'une manière discontinue au niveau du transect B. De même que dans le transect B, des *Rhizophora* sont présentes à l'ouest du chenal dans le transect C (Figure 81).

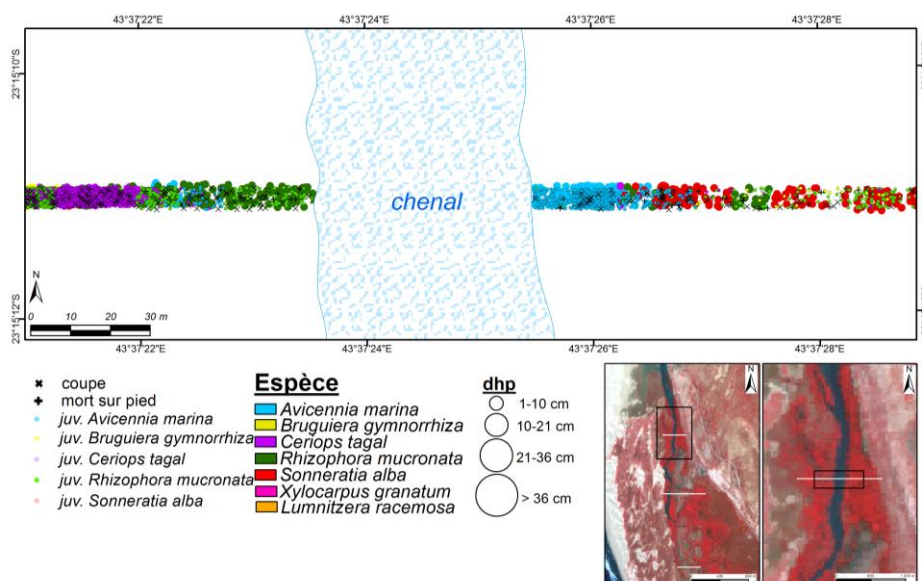


Figure 81 : Milieu du transect A d'Ambondrolava (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Ensuite, il y a les espèces *Ceriops tagal* qui représentent 17.5% des individus. Elles sont toutes recensées dans la partie ouest du chenal. Tandis que, les espèces *Sonneratia alba* constituent 8.7% des palétuviers, présents dans tous les transects A, B et C ; mais ils sont les plus abondants dans le transect A. Les espèces *Lumnitzera racemosa* composent seulement 5% des peuplements et sont implantés uniquement dans le transect D (Figure 82), où leur présence est favorisée par l'existence d'eau de résurgence à faible salinité (entre 1.1 ‰ et 4.4 ‰).

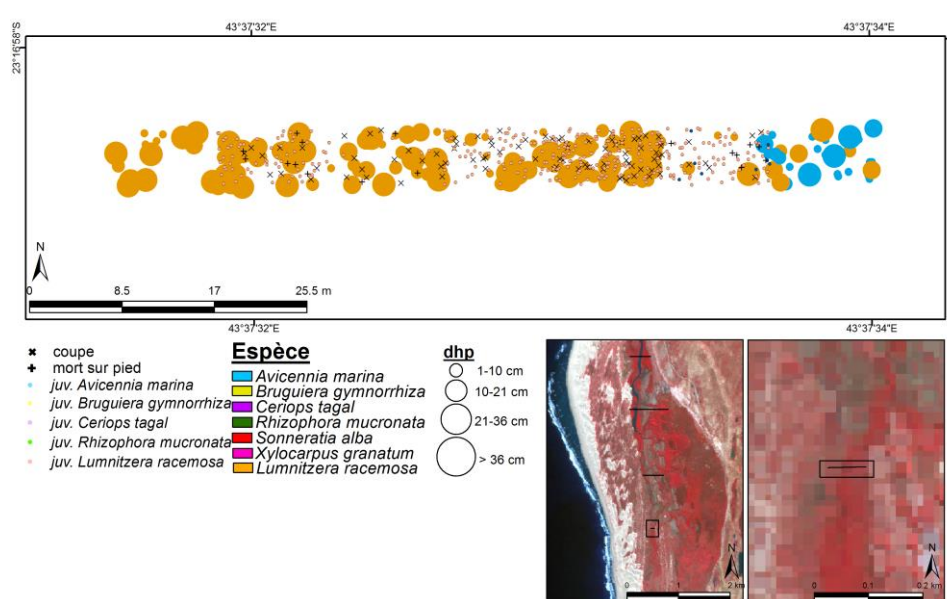


Figure 82 : L'ensemble du transect D d'Ambondrolava (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Enfin 4.3 % de *Bruguiera gymnorrhiza* recensée ne sont présents que dans les transects A et B où ils sont généralement associés à des espèces *Avicennia marina* (Figure 83).

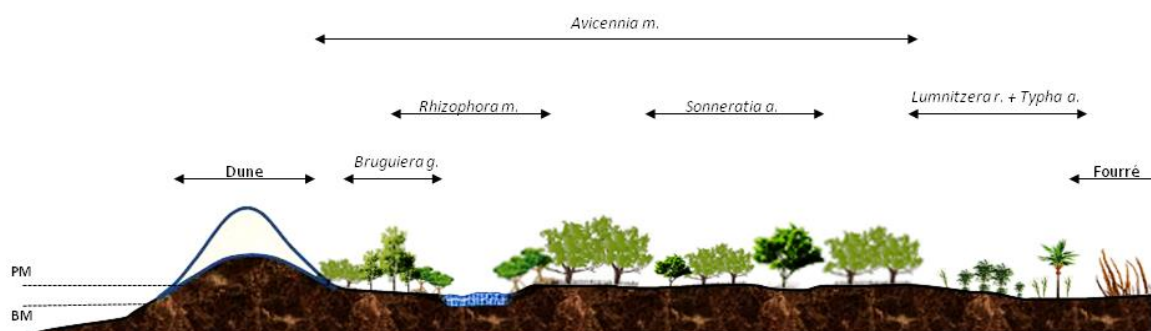


Figure 83 : Une coupe schématique de la mangrove d'Ambondrolava (Andriatsiaronandroy, 2018)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Du point de vue des diamètres, même si ceux des espèces *Avicennia marina* peuvent atteindre jusqu'à 46 cm, la mangrove d'Ambondrolava est dominée par les espèces *Sonneratia alba* avec une moyenne de 5 cm, tandis que les autres espèces ont une moyenne de diamètre entre 2.5 cm et 3.5 cm. Sur ce site, 98.9 % des individus ont un diamètre compris entre 1 cm et 10 cm. Les autres classes ne représentent que 1.1 % pour les diamètres de 10 cm-21 cm et 0.03 % pour les plus 36 cm. La classe des 21 cm-36 cm n'est pas représentée. L'absence de cette classe de diamètre 21 cm-36 cm et la très faible représentation de la classe supérieure à 36 cm indiquent la présence d'une perturbation par la coupe ou la mort naturelle des gros individus (Figure 84).

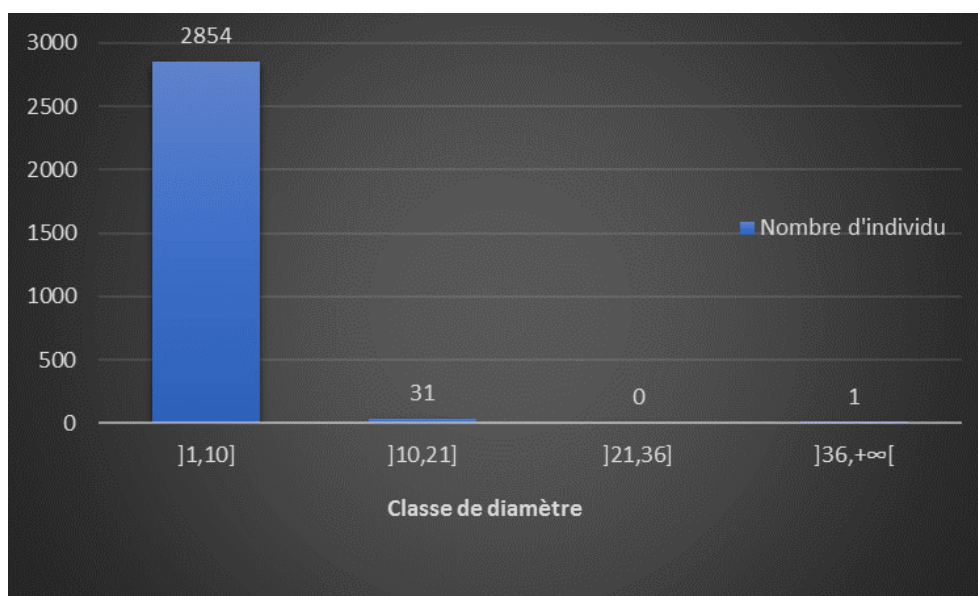


Figure 84: La structure démographique des palétuviers d'Ambondrolava

En effet, dans la mangrove d'Ambondrolava, en moyenne 2.1 morts sur pied par bloc ont pu être comptés, avec un maximum de 13 morts dans un bloc. Ce nombre est quasiment le même sur les 3 transects B, C et D avec en moyenne 2 morts sur pied par bloc, le transect A ayant une moyenne plus faible de 1.6 morts par bloc. Cette légère différence s'explique par le fait que le transect A est plus proche de l'embouchure du chenal et que par conséquent le taux de mortalité est plus forte pour les palétuviers plus éloignés, moins bien inondés.

Pour les coupes, il y en a en moyenne 4.7 par bloc sur l'ensemble de la zone, avec un maximum de 39 coupes dans un bloc dans une zone soumise à forte utilisation par la population. Cependant, un pic de 11.6 coupes par bloc en moyenne ont été enregistrées pour le transect D et seulement 7 coupes par bloc de moyenne pour le transect A. Pour les deux autres transects B et C qui se trouvent entre les deux, ils ont respectivement 3.6 et 2.1

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

coupes par bloc. Les forts taux de coupe dans les transects D et A s'expliquent par le fait que ces deux transects sont les plus éloignés du bureau des ONG, donc moins contrôlés. Par ailleurs, le transect D est facile d'accès par rapport aux villages de Belitsake Tanindraza et Belalanda.

Cependant, tout cela est associé à une très forte capacité de régénération naturelle de ce site avec un nombre moyen de 102.8 juvéniles par bloc. Ces derniers sont composés principalement de *Ceriops tagal* et *Avicennia marina* qui peuvent atteindre jusqu'à 1031 juvéniles dans un bloc. Il est à noter que le pourcentage des juvéniles par bloc diminue au fur et à mesure que l'on se dirige parallèlement vers l'aval de l'embouchure du chenal d'un côté et perpendiculairement au chenal de l'autre côté. Cette diminution pourrait être liée à l'éloignement de cette partie au chenal où l'alimentation en eau de mer est de plus en plus difficile. Ainsi, il y a 137.9 juvéniles par bloc pour le transect A, 109 juvéniles par bloc pour le transect B, 59 juvéniles par bloc pour le C et 43.3 juvéniles par bloc pour le transect D.

1.1.2.2 La caractérisation par les images satellites

Couvrant une surface de 156.1 ha en 2014, la mangrove d'Ambondrolava est caractérisée par des formations à palétuviers avant tout peu denses et denses à 98% (Figure 85). Le reste (2%) est composé de formation très dense qui se localise préférentiellement dans les parties centrales favorisées par la présence des chenaux de marée.

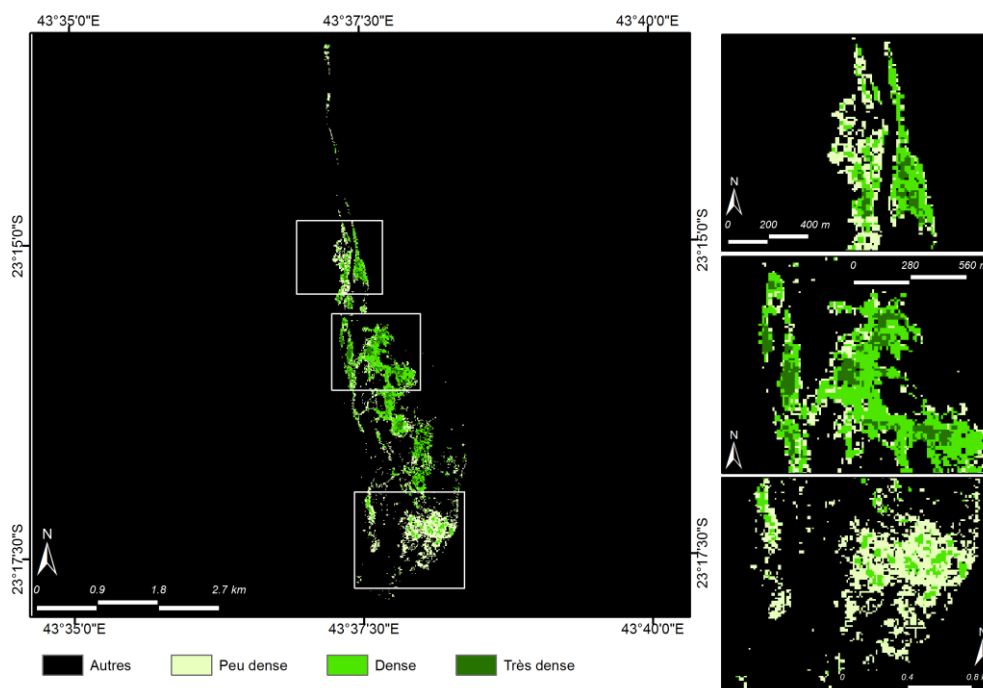


Figure 85 : La densité de la mangrove d'Ambondrolava en 2014 (Source : NDVI, Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

L'une des caractéristiques du site d'Ambondrolava est le fait qu'on ne peut pas identifier une succession des espèces de palétuviers dans l'espace comme pour les autres sites. Les espèces se côtoient sans apparente logique à part la distinction de la partie sud de la mangrove à *Sonneratia alba* et *Lumnitzera racemosa* par rapport aux autres espaces à *Rhizophora mucronata* et *Avicennia marina*. Cela est dû probablement aux nombreuses campagnes de reboisements, qui ne semblent pas avoir de logique bien claire, par l'association Honko et la population locale.

Cependant, la classification supervisée a permis de montrer que cette mangrove est dominée par des peuplements à *Avicennia marina* monospécifiques qui peuvent être trouvées un peu partout dans l'ensemble de la zone d'Ambondrolava, en formations peu denses (42.8 ha) et denses (49.5 ha). La deuxième communauté importante est celle de *Rhizophora mucronata* en peuplements monospécifiques denses (33.6 ha) et peu denses (3.9 ha) qui se trouvent dans l'ensemble de la région mais principalement de part et d'autre de la bordure du chenal. Moins nombreuses que les formations à *Avicennia marina*, elles forment avec celles-ci une communauté hétérogène. Pour les peuplements à *Sonneratia alba* monospécifiques, elles couvrent 4.9 ha en formations denses et 7.7 ha peu denses d'une manière sporadique un peu partout dans la zone. Enfin, l'une des spécificités de la zone est la présence de la formation à *Lumnitzera racemosa* monospécifiques peu denses sur 13.28 ha localisées essentiellement dans la partie sud de la mangrove d'Ambondrolava (Figure 86).

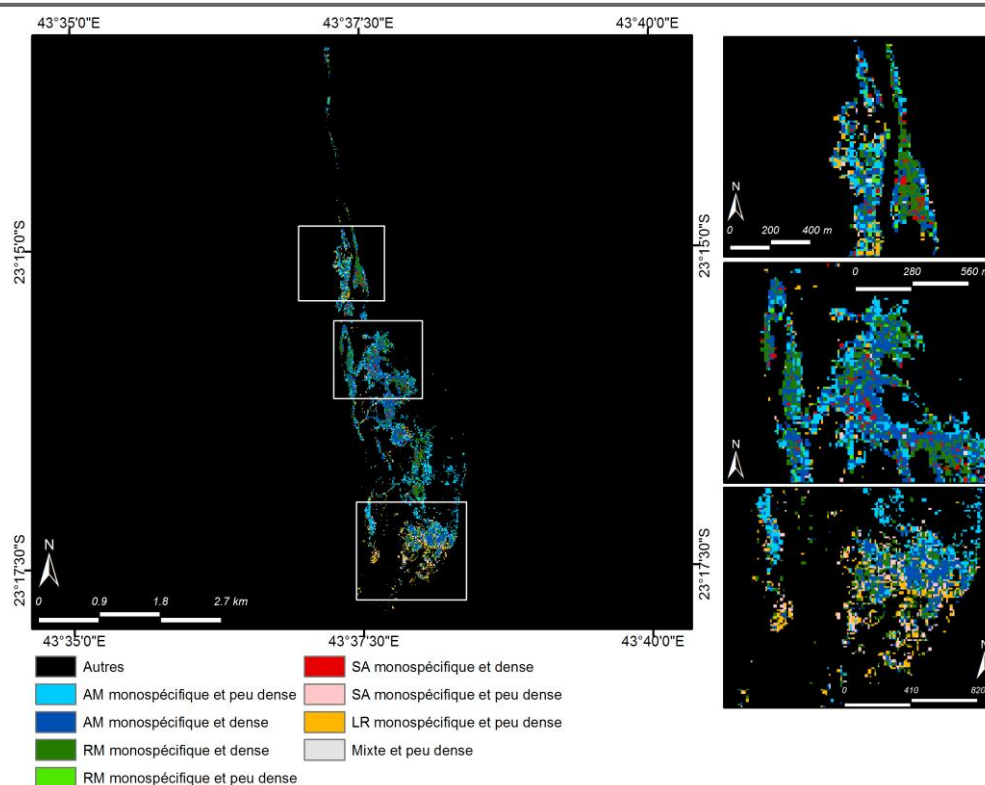
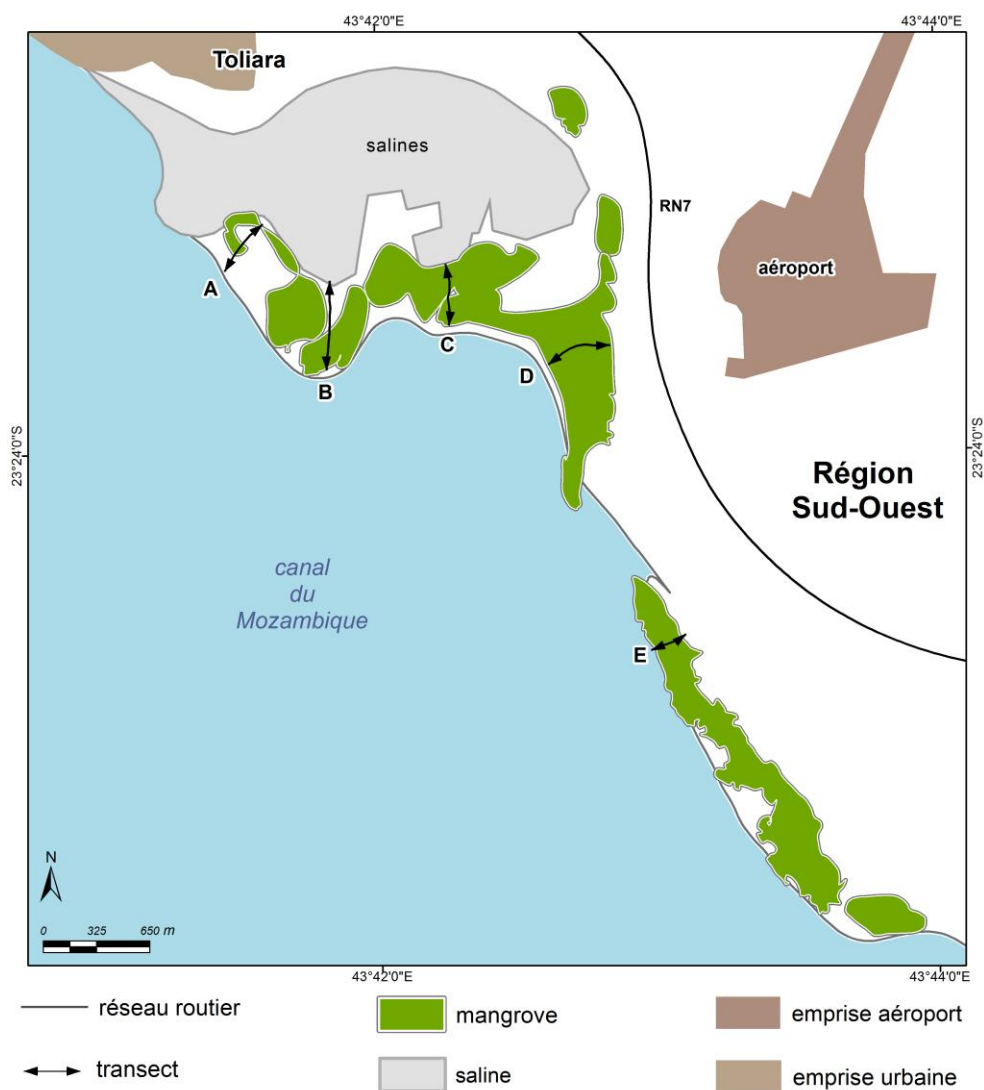


Figure 86 : La classification supervisée par espèce et densité de la mangrove d'Ambondrolava en 2014
 (Source : Spot Image)
 (Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.3 Le site d'Ankiembe

La mangrove d'Ankiembe se trouve en situation périurbaine au sud de la commune urbaine de Toliara I et elle a la particularité de ne pas être directement alimentée par un fleuve comme la plupart des autres mangroves de la Région.

I.1.3.1 La caractérisation par les transects



**Figure 87 : Les transects du site Ankiembe (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

La mangrove de type littoral du site d'Ankiembe se répartie en deux entités, une entité plus massive au nord, en contact avec la ville de Toliara ainsi qu'une autre, plus fine et

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

linéaire beaucoup plus au sud. Dans son ensemble, les mangroves de ce site possèdent quatre espèces de palétuviers (Figure 88).

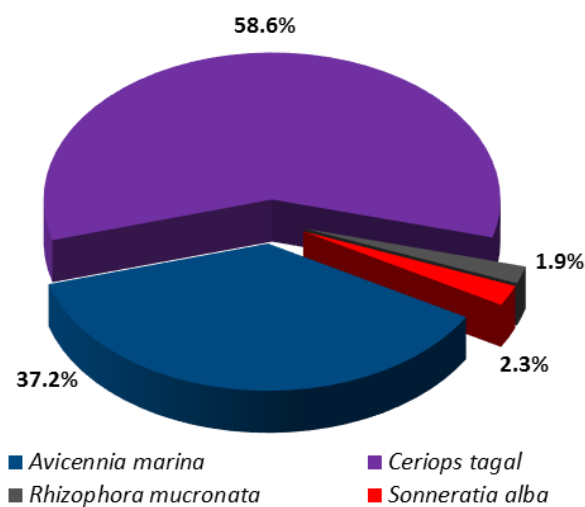
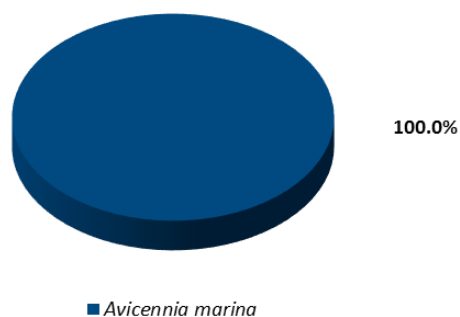


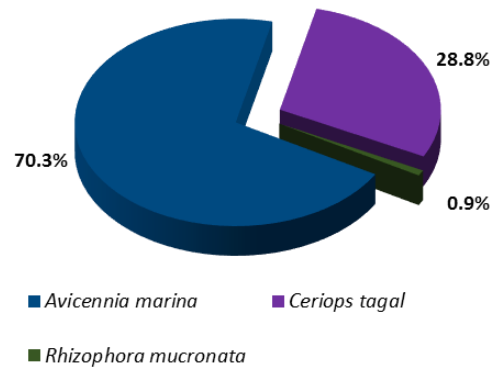
Figure 88 : Le pourcentage des espèces à Ankiembe pour l'ensemble des transects

Ainsi, les palétuviers d'Ankiembe sont constitués à 58.6% de *Ceriops tagal*, qui se repèrent dans 4 transects sur 5 et surtout en grande quantité dans toute la partie est du transect C (Figure 89).

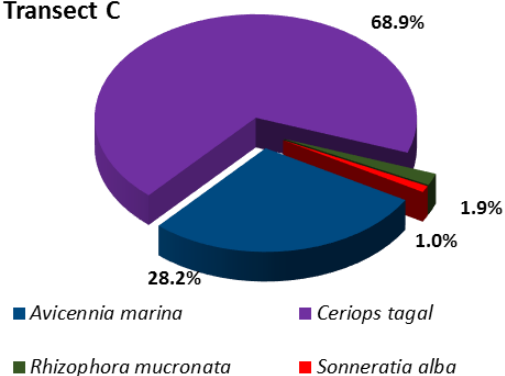
Transect A



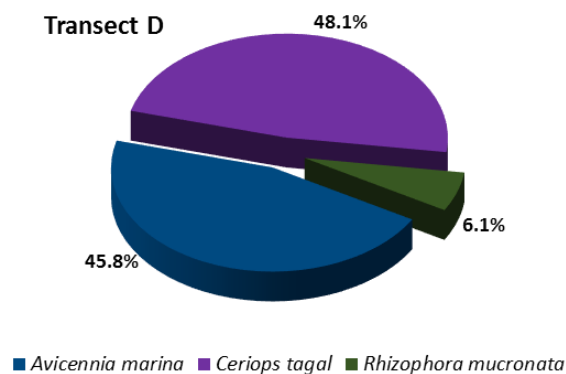
Transect B



Transect C



Transect D



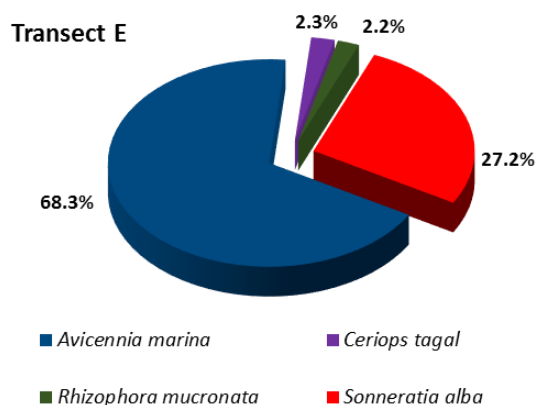


Figure 89 : Les pourcentages des espèces relevées sur chacun des transects d'Ankiembe

Ensuite, les espèces *Avicennia marina* sont localisées dans une proportion de 37.2% sur l'ensemble du site, à 100% dans le transect A et à 70% dans le transect E (Figure 90).

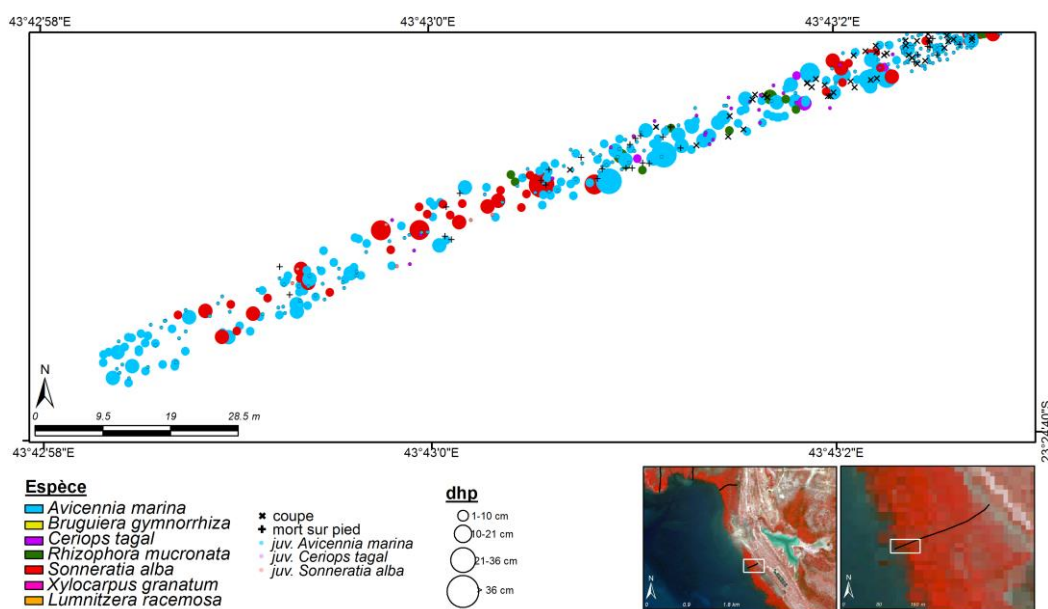


Figure 90 : Le début du transect E d'Ankiembe (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

En quatrième lieu viennent 2.3% de *Sonneratia alba* avec des gros individus qui ne sont présents qu'au sud de la mangrove (Transect C et D) dans les zones en contact direct avec la marée ayant des substrats vaseux, et 1.9% de *Rhizophora mucronata* implantés beaucoup plus à l'intérieur, où ils sont associés à des espèces *Ceriops tagal* (Figure 91).

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

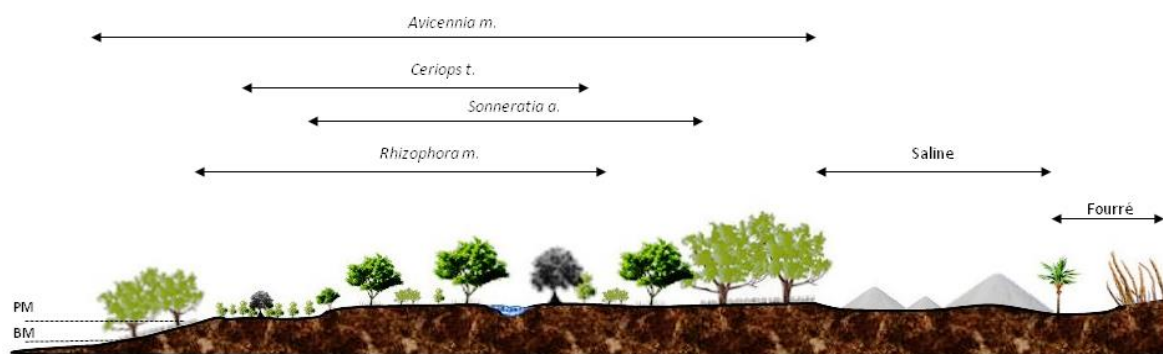


Figure 91 : La coupe schématique de la mangrove d'Ankiembe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Le DHP est dominé par des petits individus (1 cm -10 cm) à 99,2%, ce qui témoigne d'une bonne régénération naturelle (en moyenne 32.9 juvéniles par bloc dans tous les transects) mais aussi d'une forte pression sur les gros individus (Figure 92).

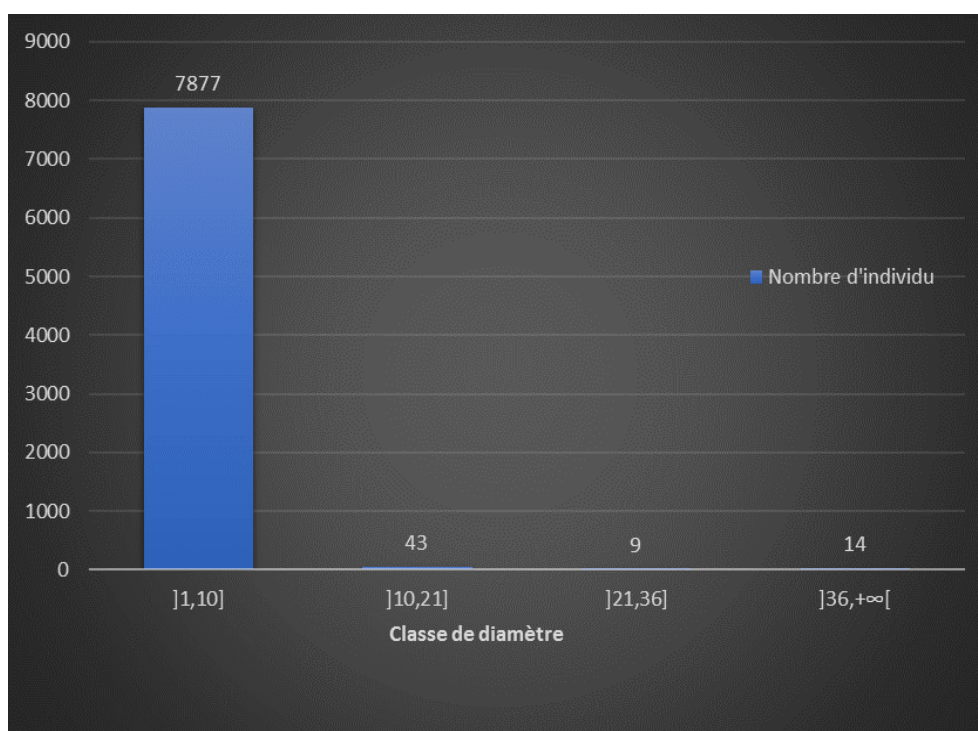


Figure 92: La structure démographique des palétuviers d'Ankiembe

Les mangroves d'Ankiembe sont surtout en pleine régénération puisqu'elle est caractérisée par un très grand nombre de juvéniles ainsi que des palétuviers de petites tailles. Le transect A localisé le plus au nord et ayant un substrat plus sableux, présente un faible nombre moyen de juvéniles par bloc (0.3), alors que les transects du milieu

notamment B et C (avec une texture de substrat plus vaseuse), ont le plus fort nombre de juvéniles, avec 52 juvéniles par bloc.

Par contre, 4 coupes en moyenne par bloc (avec un maximum de 24 coupes dans certains blocs) ont été comptabilisées sur l'ensemble de la zone de la mangrove d'Ankiembe, avec un pic de 5.9 coupes par bloc en moyenne pour le transect A et 5.3 pour le transect E. Ce pic est lié au fait que ces transects sont faciles d'accès depuis les quartiers, les villages et la route. Le nombre de coupe est moins important pour les trois autres transects, avec 2.5 pour le transect B qui de toute façon est composé de petits individus peu intéressants, 2.2 pour le transect C d'accès difficile (à marée haute, une pirogue est nécessaire pour y accéder) et 3.4 pour le transect D. Pour les palétuviers morts sur pied, ils sont effectivement visibles à Ankiembe et se traduisent par la mort des palétuviers dont les racines sont découvertes ou due à des coupes qui constituent 2.4 morts/blocs en moyenne.

I.1.3.2 La caractérisation par les images satellites

Les mangroves d'Ankiembe peuvent être qualifiées en bonne santé puisqu'elles sont dominées par des forêts de palétuviers denses à très denses d'une grande ampleur couvrant 84% de la surface totale de cette mangrove (Figure 93) De manière générale, les zones peu denses, excentrées, se situent la plupart du temps en arrière dans les peuplements de la partie nord, en transition vers la terre ferme et surtout dans les zones les plus accessibles depuis les agglomérations et routes.

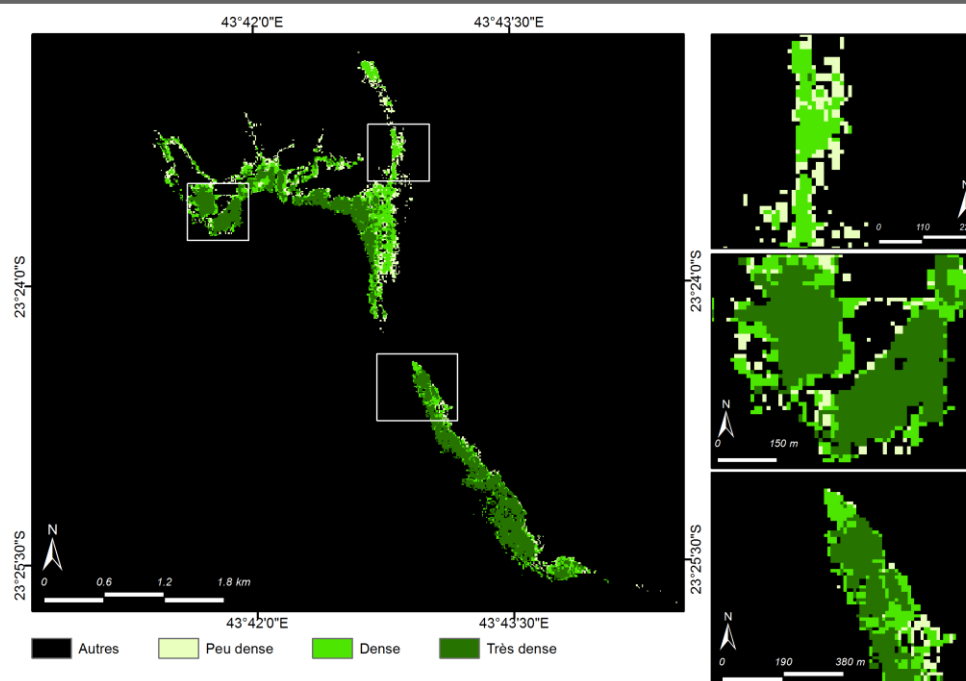


Figure 93 : La densité de la mangrove d'Ankiembe en 2014 (Source : NDVI, Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les 155.1 ha de mangrove en 2014 du site d'Ankiembe sont dominés d'une part par des peuplements à *Avicennia marina*, sur des substrats à texture sablo-argileuse en surface et à texture argilo-sableuse en profondeur, et d'autre part par des formations à *Ceriops tagal* sur des substrats à texture sablo-argileuse en surface et sablo-limoneuse en profondeur. Les formations à *Avicennia marina* monospécifiques denses (61.8 ha) et peu denses (16.4 ha), et les peuplements à *Avicennia marina* dominants denses (25.4 ha) et peu denses (7.7 ha) sont implantés dans l'ensemble de la zone, tandis que le groupement de *Ceriops tagal* monospécifiques denses (41.4 ha) se concentrent dans la partie plus centrale et la communauté de *Ceriops tagal* monospécifiques peu denses (0.1 ha) vers le nord en transition vers les formations à *Avicennia marina*. La présence de la formation à *Ceriops tagal* dominants peu denses (0.1 ha) et denses (1.5 ha) associés à un peuplement à *Ceriops tagal* monospécifiques est aussi identifiée. La formation à *Sonneratia alba* dominants et denses sur environ 0.5 ha ainsi que les peuplements mixtes denses sur 0.1 ha environ sont éparpillés d'une manière sporadique dans l'ensemble de la zone (Figure 94).

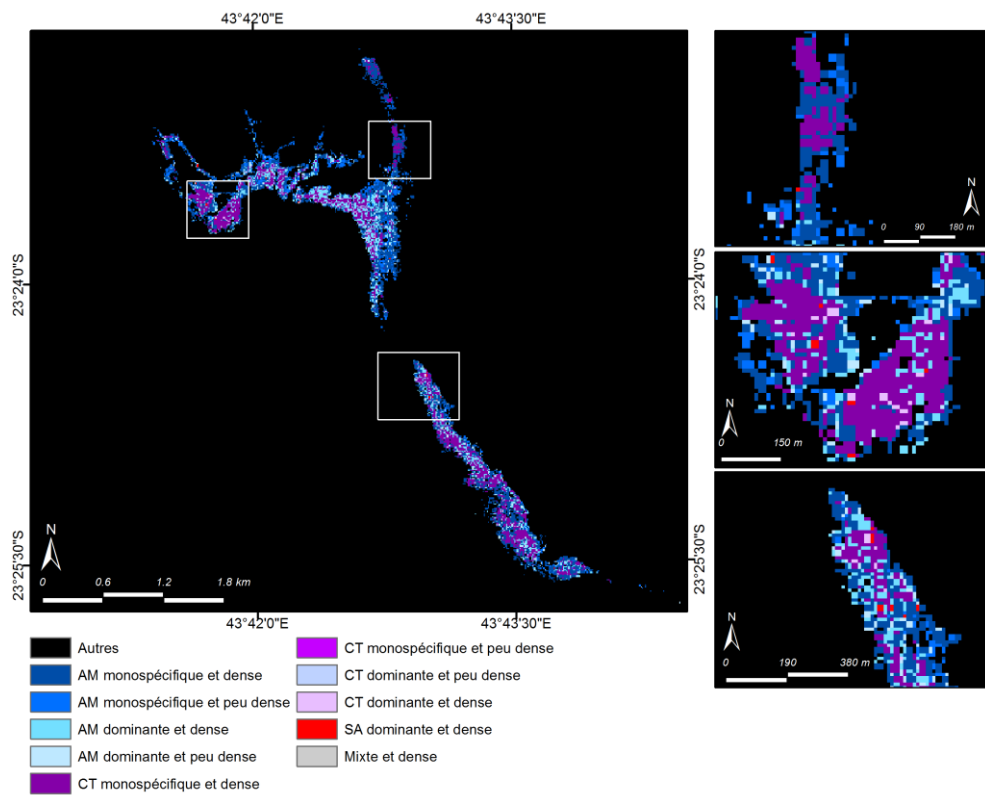
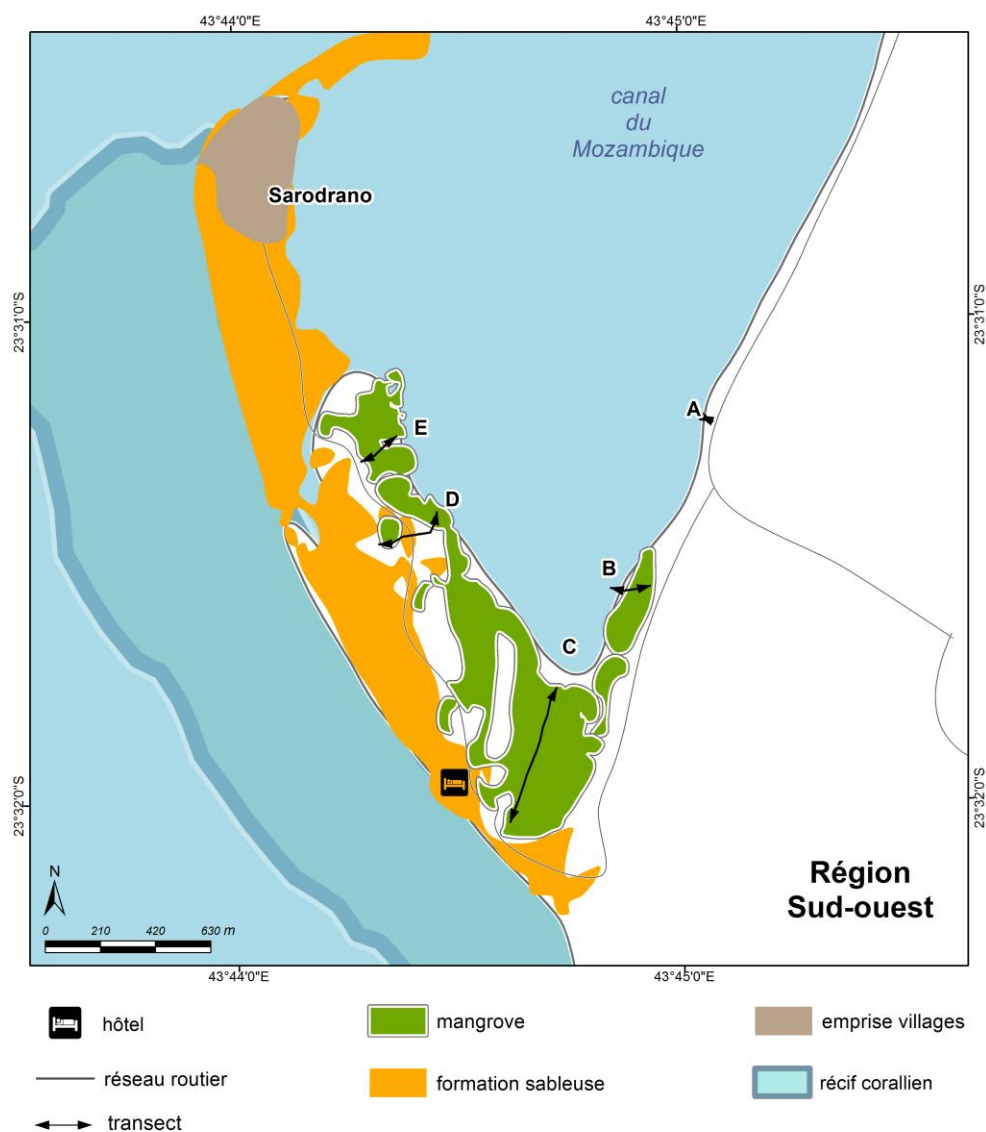


Figure 94 : La classification supervisée par espèce et densité de la mangrove d'Ankiembe en 2014 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.4 Le site de Sarodrano

La mangrove de Sarodrano, au nord de l'embouchure de l'Onilahy, est protégée à l'intérieur d'une baie par une flèche sableuse à l'extrémité de laquelle s'est installé le village de Sarodrano et limitée à l'est par des falaises calcaires d'où sortent des sources karstiques.

I.1.4.1 La caractérisation par les transects



**Figure 95 : Les transects du site de Sarodrano (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)**

Les mangroves du site de Sarodrano localisées en fond de baie, possèdent cinq espèces de palétuviers (Figure 96).

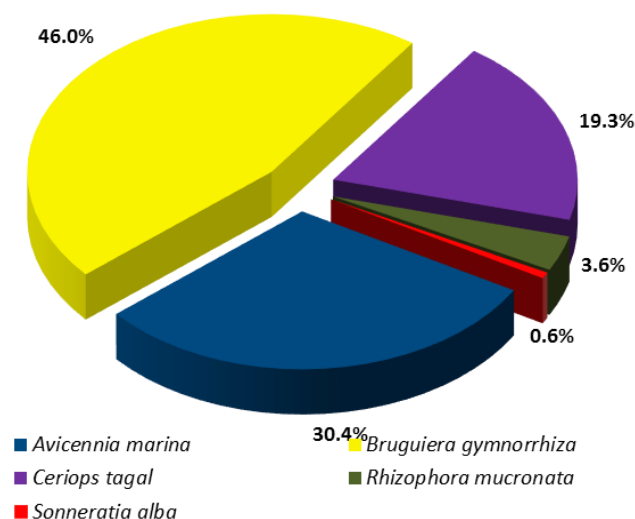


Figure 96 : Le pourcentage des espèces à Sarodrano

Elles sont composées de : 46% de *Bruguiera gymnorhiza* que l'on trouve sur l'ensemble de la zone mais préférentiellement dans toute la partie sud-est de la mangrove de Sarodrano, au pied de la falaise (fin du transect B) (Figure 97 et Figure 98) d'un côté ainsi que dans la partie centrale (milieu du transect C), 30.4% d'*Avicennia marina* se trouvent localisés sur l'ensemble des transects mais se cantonnent surtout sur la flèche de Sarodrano, 19.3% de *Ceriops tagal* sont en hétérogène avec *Bruguiera gymnorhiza* dans la partie sud-est de la mangrove et sporadiquement dans la partie est, 3.6% de gros individus de *Rhizophora mucronata* sont localisés surtout en front de mer pour le rideau de palétuviers au pied de la falaise accompagnés par quelques pieds d'*Avicennia marina*, et enfin 0.6% de *Sonneratia alba* sont situés en front de mer dans les deux extrémités de la mangrove au niveau des zones touchées par la mer en marée haute (Figure 99 et Figure 100).

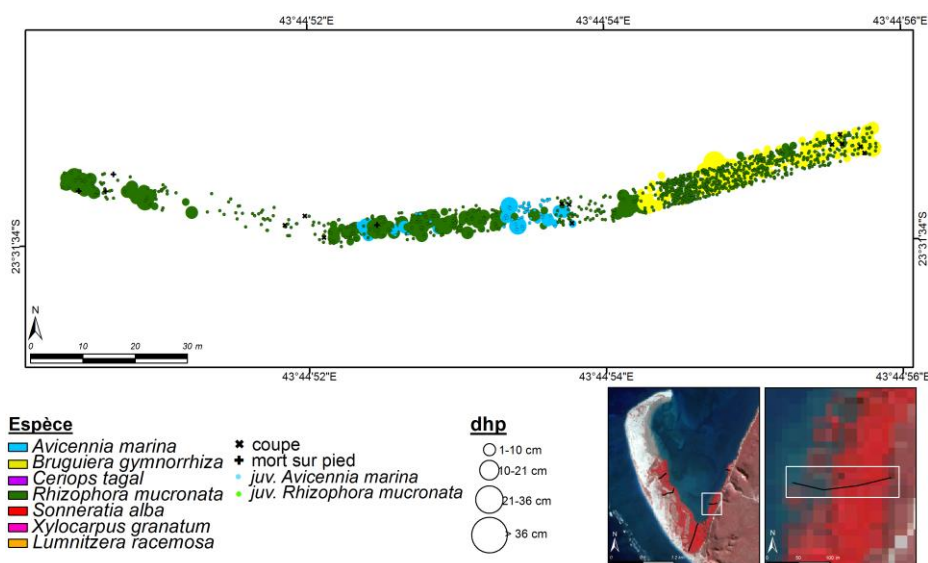


Figure 97 : Le transect B de Sarodrano (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

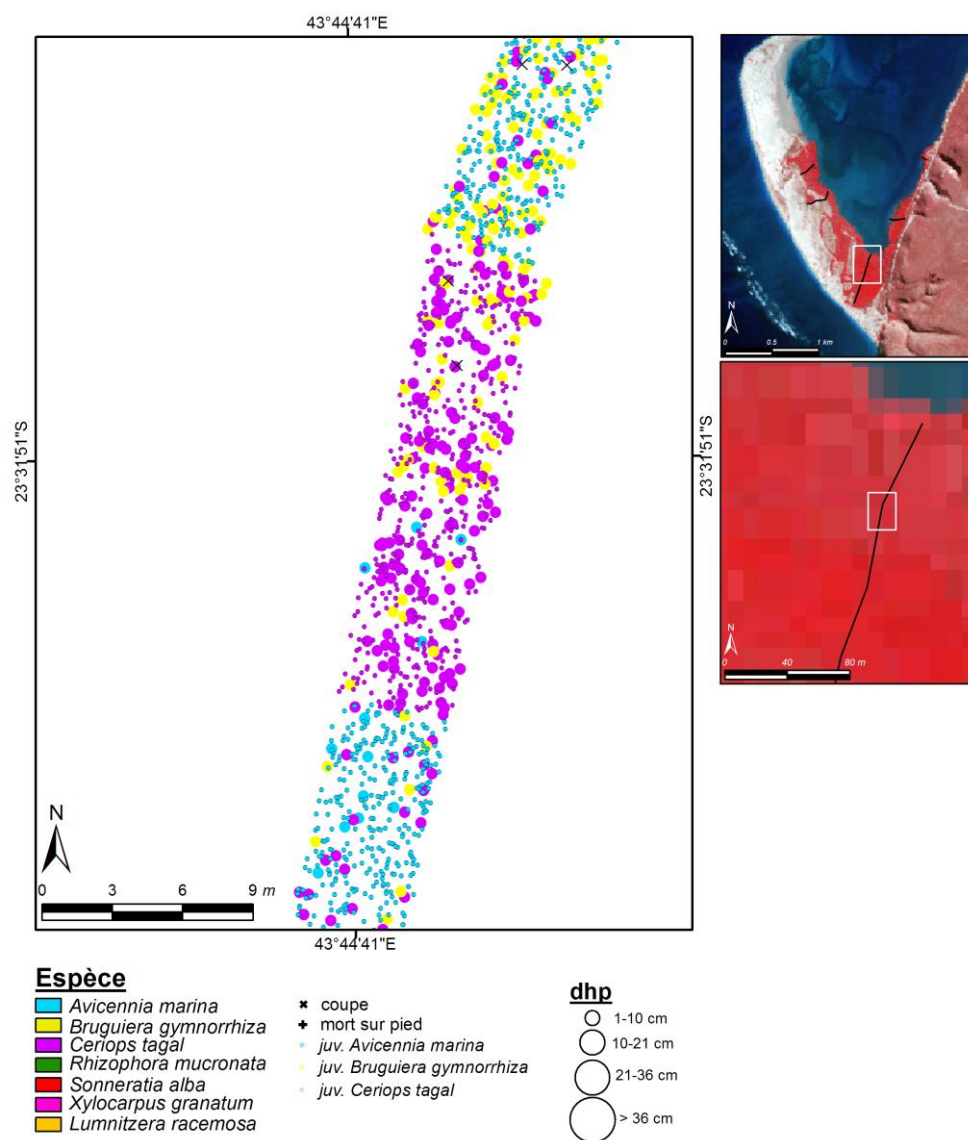


Figure 98: Le milieu du transect C de Sarodrano (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

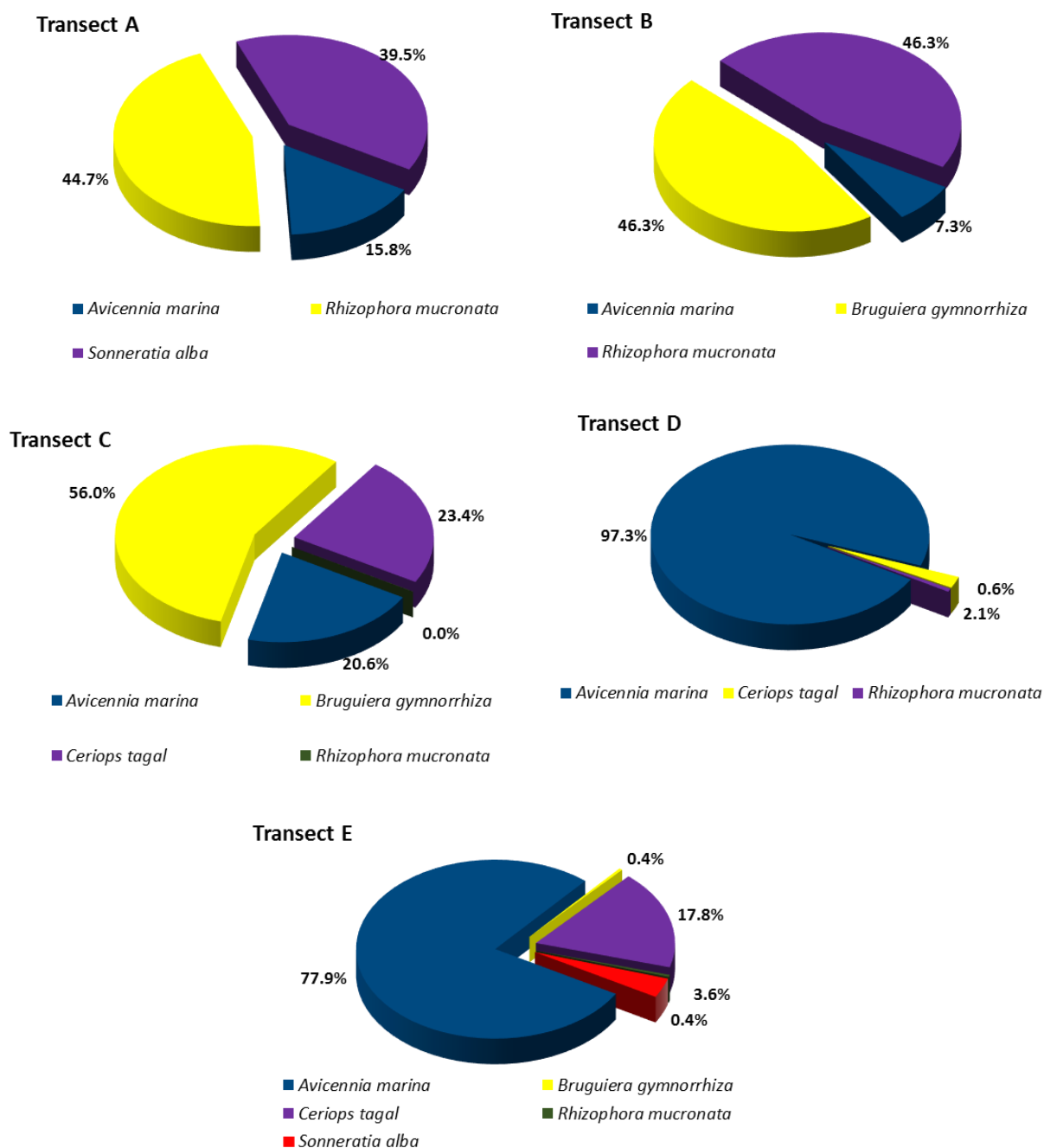


Figure 99 : Le pourcentage des espèces relevées sur chaque transects de Sarodrano

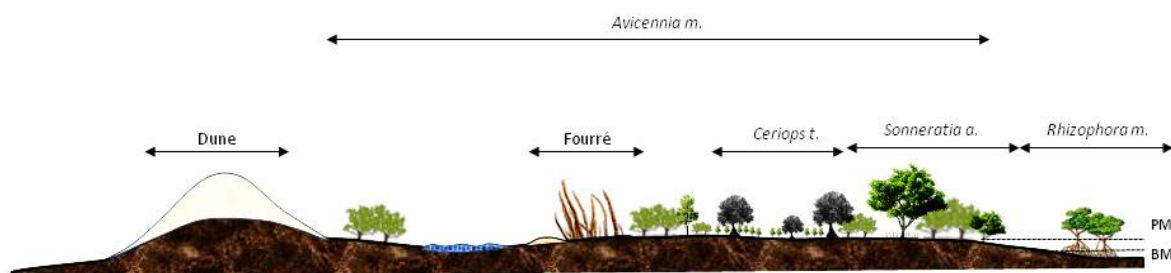


Figure 100 : La coupe schématique de la mangrove de Sarodrano (Andriatsiaronandroy, 2018)

Du point de vue des diamètres, les plus gros individus rencontrés sur le site de Sarodrano sont les espèces *Sonneratia alba* avec une moyenne de 11.33 cm et un maximum de 45 cm, même si seulement 24 pieds sont comptés dans l'ensemble de la zone tandis que les espèces *Avicennia marina* ont des DHP moyens de 4.28 cm et un maximum de 36 cm. Les diamètres des autres espèces sont compris entre 2 et 3 cm de moyenne. Les DHP de 1 cm - 10 cm sont dominants. Ces petits individus représentent 97,3% de l'ensemble des peuplements. Les autres classes de 10 cm-21 cm représentent 2,1% des individus, 0,5% pour les DHP de 21 cm -36 cm, et 0,1% de plus de 36 cm. Cette répartition montre une régénération active de cette mangrove et prouve qu'elle est par ailleurs en bonne santé (Figure 101). La très forte capacité de régénération naturelle est d'ailleurs associée avec une moyenne de 108 juvéniles par bloc dans tous les transects et la plupart sont des jeunes *Avicennia marina* qui peuvent atteindre jusqu'à 283 juvéniles dans un bloc. Comme le cas de Manombo-Fitsitike, la dominance de juvéniles d'*Avicennia marina* indiquent un peuplement qui se transforme en cette espèce.

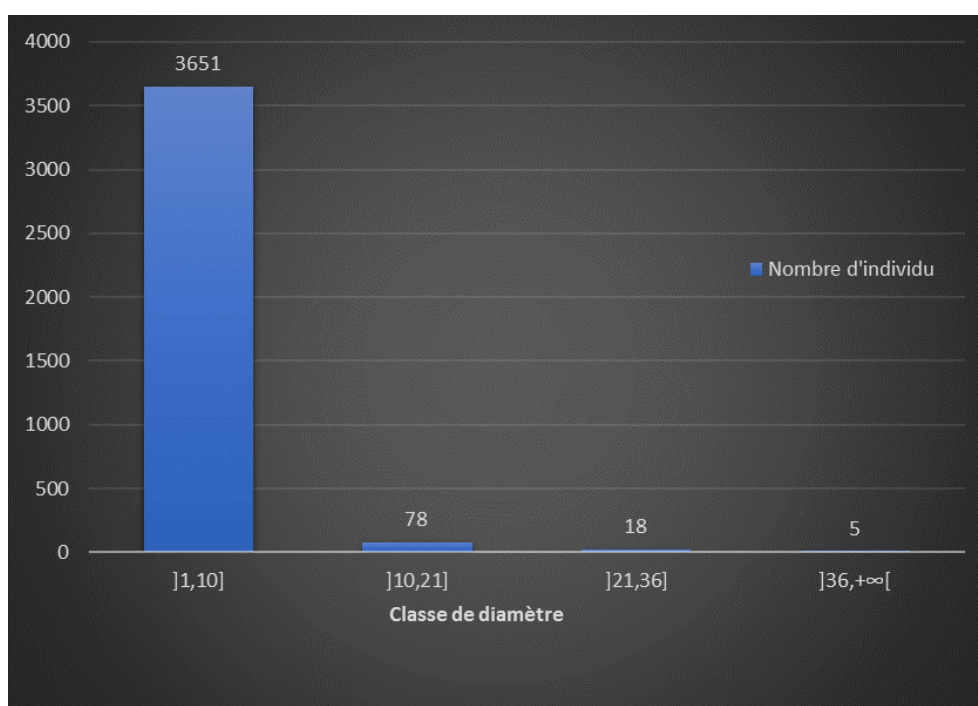


Figure 101: Structure démographique des palétuviers de Sarodrano

En effet, dans toute la mangrove de ce site a été comptée un nombre moyen assez faible de 0.12 morts sur pied par bloc et un maximum de 3 morts dans un bloc. Ce faible

nombre peut s'expliquer par le fait que nos transects ne s'étendent pas au-delà de la fin des mangroves et ne passent pas par la partie sud de Sarodrano où les sables ont peut-être ensevelis des souches de palétuviers morts sur pied. De plus, c'est dans le transect D qu'il y a le plus fort taux de mortalité.

Pour les coupes, il y en a en moyenne 3 par bloc sur l'ensemble de la zone avec un maximum de 31 coupes dans un bloc et un pic de 4.9 coupes par bloc en moyenne dans le transect C. Ce nombre moyen plus important de coupes s'explique par le fait que c'est dans cette partie que la mangrove est la plus dense et qu'elle est facile d'accès. Localisée à côté de chemins et sans chenaux profonds, les habitants n'ont pas de mal à pénétrer dans cette mangrove afin de se ravitailler en bois. Par contre, ce nombre de coupes diminue pour les autres transects, avec entre 0.8 et 0.7 pour les transects A et B. Néanmoins, il est en légère augmentation pour les transects D et E qui sont les plus proches du village de Sarodrano, avec une moyenne de coupe qui varie entre 1.3 et 2.

I.1.4.2 La caractérisation par les images satellites

En 2014, les 45 ha de mangroves de Sarodrano sont dominés par des forêts de palétuviers denses (21.5 ha) à très denses (18.5 ha) couvrant jusqu'à 89% des mangroves de la zone. Les 5 ha restant sont composés par des mangroves peu denses qui se trouvent sur le long de la partie sud généralement dans des zones ensablées (Figure 102). Par contre les mangroves très denses se situent dans la partie centrale et au pied de la falaise qui n'est pas facile d'accès ni par la mer ni par la falaise car pour cela il faut traverser la mer à marée haute, marcher une centaine de mètres dans la vase, ou descendre de la falaise par une très forte pente.

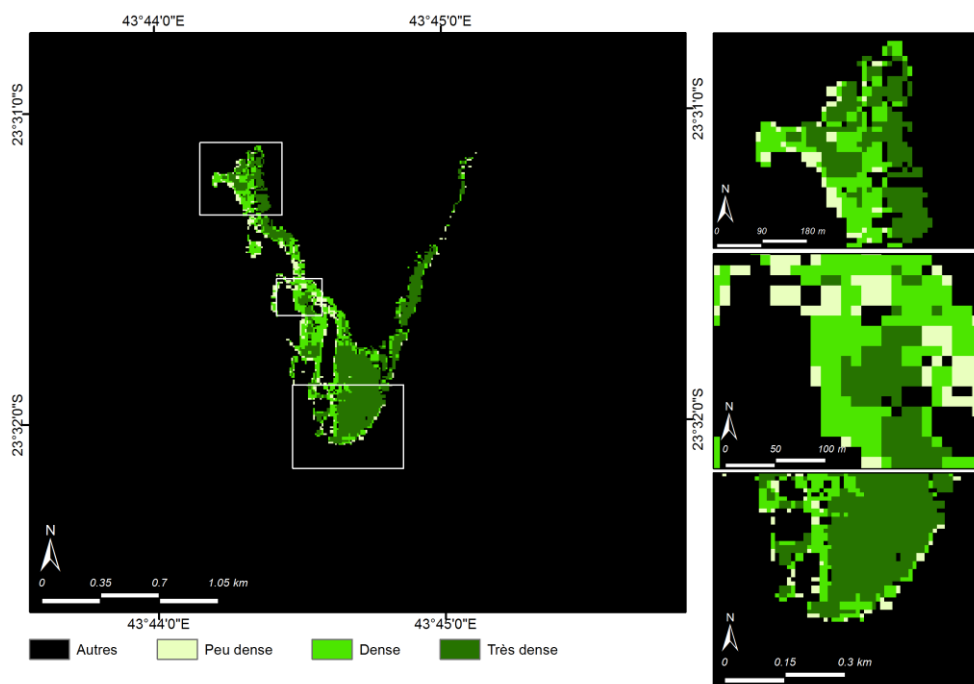


Figure 102 : La densité de la mangrove de Sarodrano en 2014 (Source : NDVI, Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

La mangrove de Sarodrano est composée de formations à *Avicennia marina* monospécifiques denses (24 ha) et peu denses (9.6 ha) qui se trouvent dans l'ensemble de la zone. Cependant, le peuplement à *Avicennia marina* monospécifiques peu denses se localisent plus du côté de la flèche sableuse. Dans la zone, il existe aussi un groupement à *Rhizophora mucronata* monospécifiques peu denses (0.03 ha) correspondant à quelques pieds en bas de la falaise, et un autre groupement de *Rhizophora mucronata* monospécifiques denses (0.05 ha) dont quelques gros individus du côté de la falaise. Une autre formation d'environ 6.3 ha de *Bruguiera gymnorhiza* monospécifiques ayant une forte densité et un peuplement de 4.38 ha de *Bruguiera gymnorhiza* dominants et denses sont localisés dans la partie centrale de cette mangrove. Parfois il y a aussi un peuplement à *Ceriops tagal* dominants peu denses (0.1 ha) présents d'une manière sporadique dans toute la zone. Au nord, de la « branche » ouest de cette mangrove, on trouve quelques *Sonneratia alba* formant des peuplements monospécifiques peu denses (0.02 ha) et de la mangrove mixte dense (0.6 ha) (Figure 103).

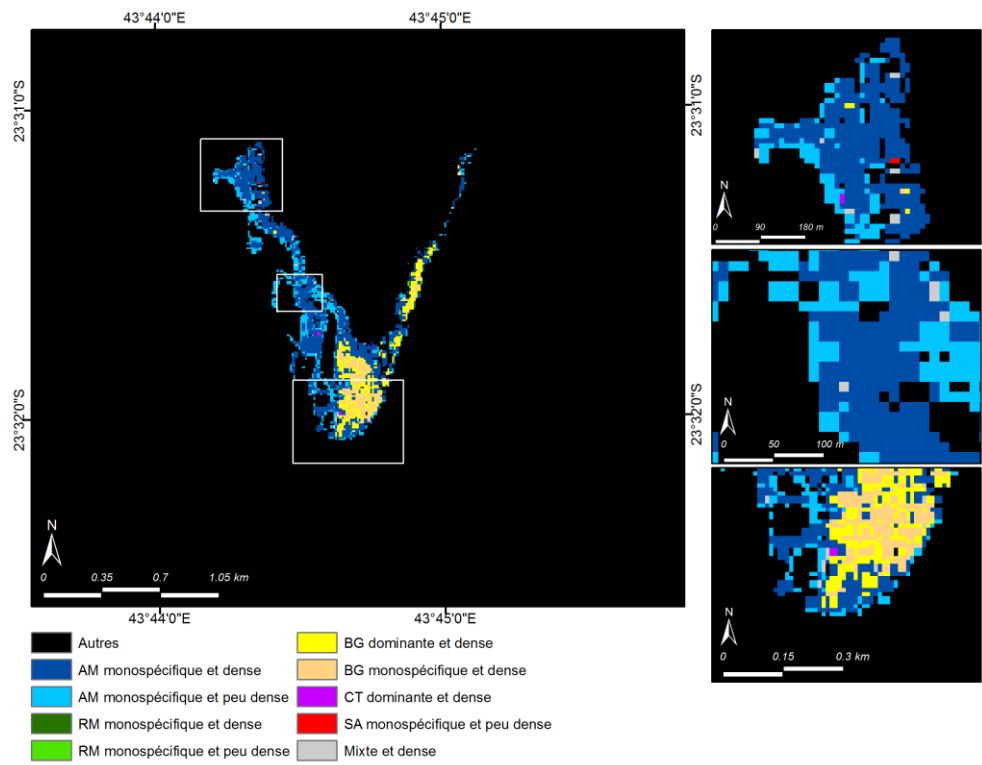


Figure 103 : La classification supervisée par espèces et densité de la mangrove de Sarodrano en 2014
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.1.5 Le site d'Andriambe

La mangrove d'Andriambe se situe à une trentaine de kilomètre au sud de la ville de Toliara. Très étroite, elle se trouve à l'intérieur même de l'embouchure du fleuve Onilahy, bordée au sud par des falaises calcaires.

I.1.5.1 La caractérisation par les transects

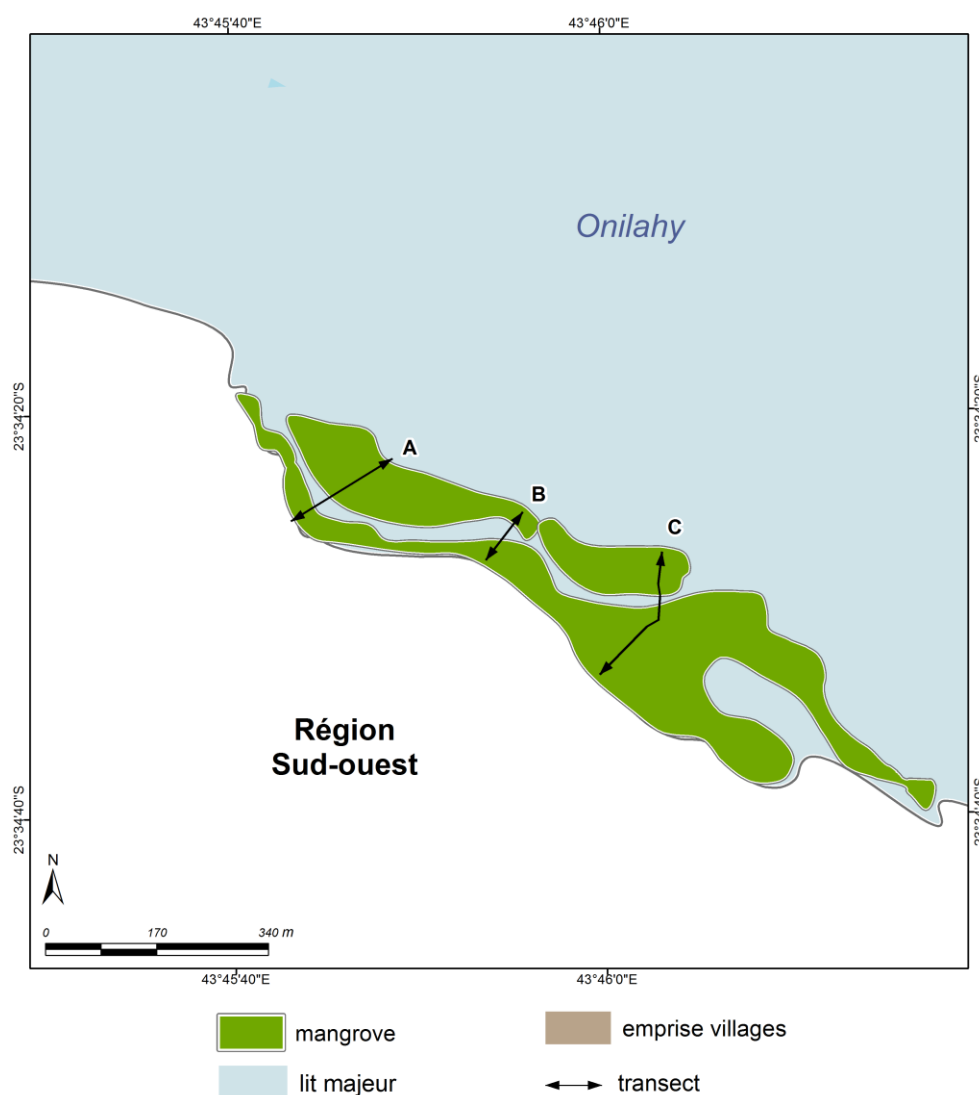


Figure 104 : Les transects du site d'Andriambe (Sources : BD 500 et Spot Image)
(Andriatsiaronandroy et Champin, 2018)

Les mangroves de type fluvio-estuarien du petit site d'Andriambe sont composées de sept espèces de palétuviers (Figure 105).

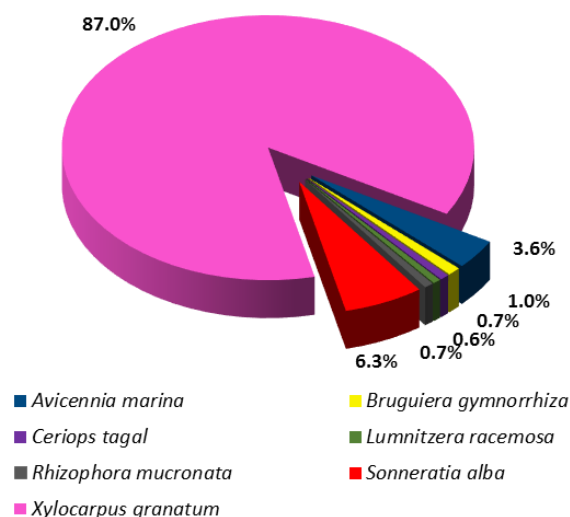
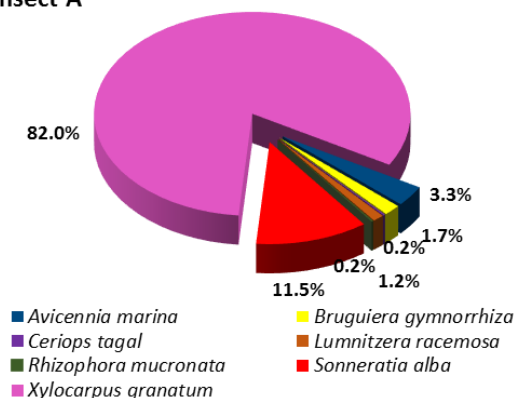


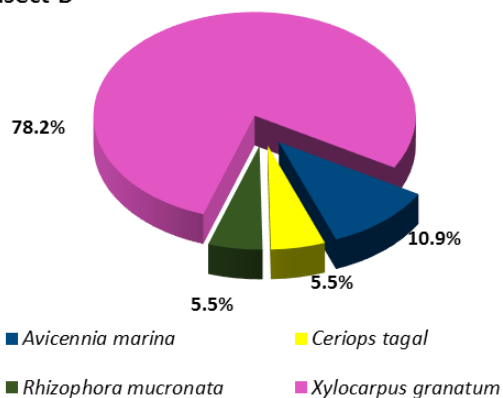
Figure 105 : Le pourcentage des espèces à Andriambe pour tous les 4 transects

Elles sont constituées principalement de 87% de petits, moyens et gros individus (jusqu'à 33 cm de dhp) de *Xylocarpus granatum* qui sont localisés partout dans le site et tout le long des 3 transects réalisés sur ce site (Figure 106).

Transect A



Transect B



Transect C

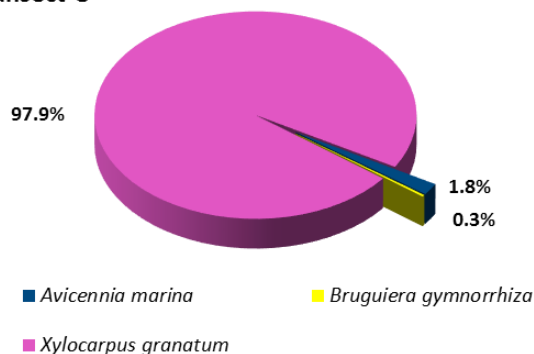


Figure 106 : Les pourcentages des espèces relevées sur chacun des transects d'Andriambe

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Elle est aussi complétée par 6.2% de gros individus de *Sonneratia alba* formant un rideau du coté fleuve dans le transect A et 3.6% de gros individus d'*Avicennia marina* implantés de manière discontinue sur les trois transects (Figure 107).

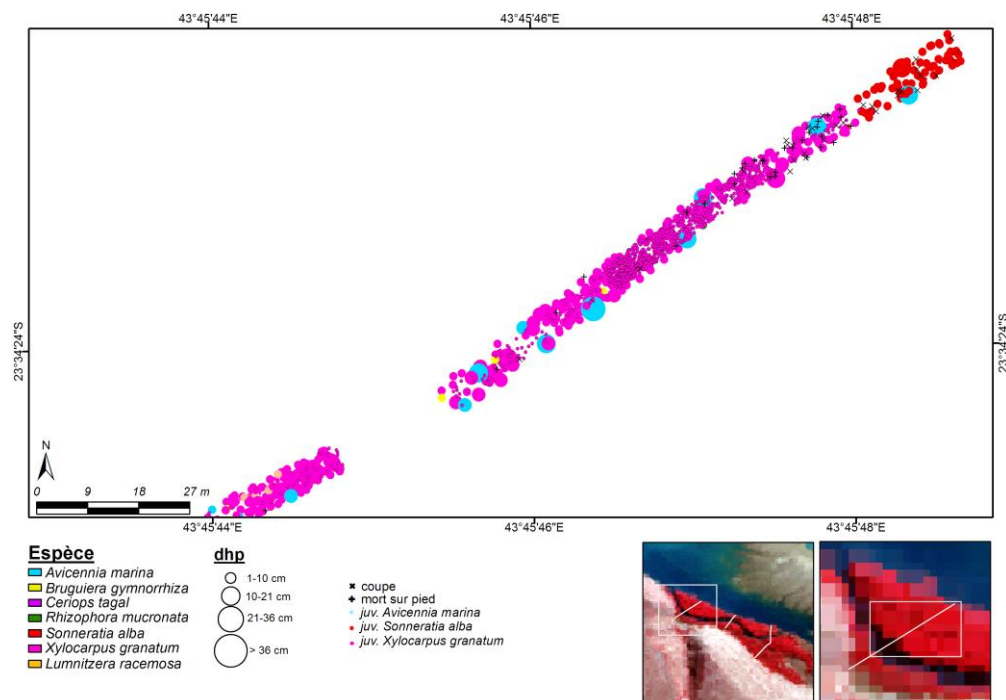


Figure 107: Le transect A d'Andriambe (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Les 4 autres espèces se partagent les 3.2% restants. Les espèces *Bruguiera gymnorrhiza* se trouvent uniquement dans la partie ouest de la mangrove qui est sous l'influence directe de la mer, quelques pieds de *Ceriops tagal* et de *Rhizophora mucronata* s'observent à proximité du chenal qui traverse la mangrove, et des *Lumnitzera racemosa* se dressent au pied de la falaise (Figure 108).

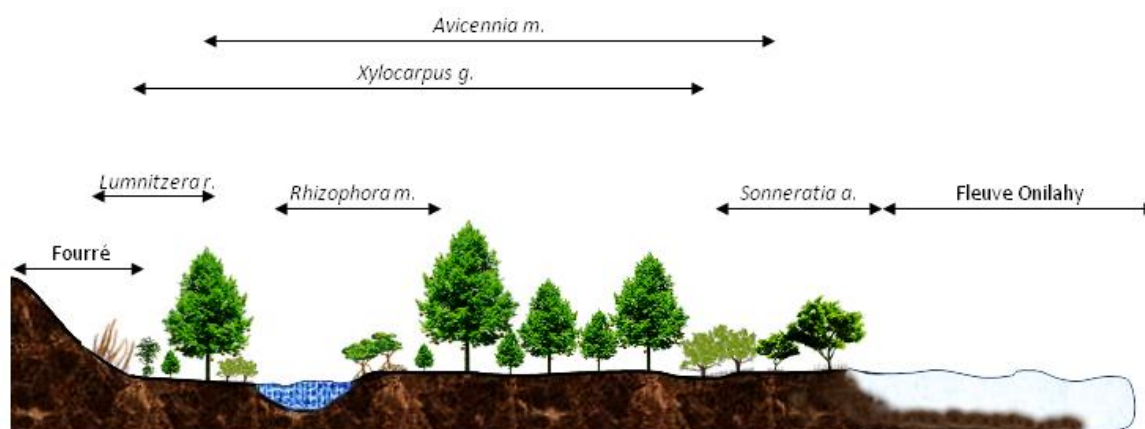


Figure 108 : La coupe schématique de la mangrove d'Andriambe
(Andriatsiaronandroy, 2018)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Du point de vue des diamètres, de manière générale, les classes de DHP montrent une prédominance de petits individus de 1 cm -10 cm (87,8%). Les autres classes minoritaires, sont de 8,6% pour les DHP 10 cm-21 cm, 3,3% pour les 21 cm -36 cm et 0,2% pour les plus de 36 cm. La régénération générale de ce site est à niveau et la mangrove globalement en bonne santé malgré le faible nombre de gros individus (Figure 109).

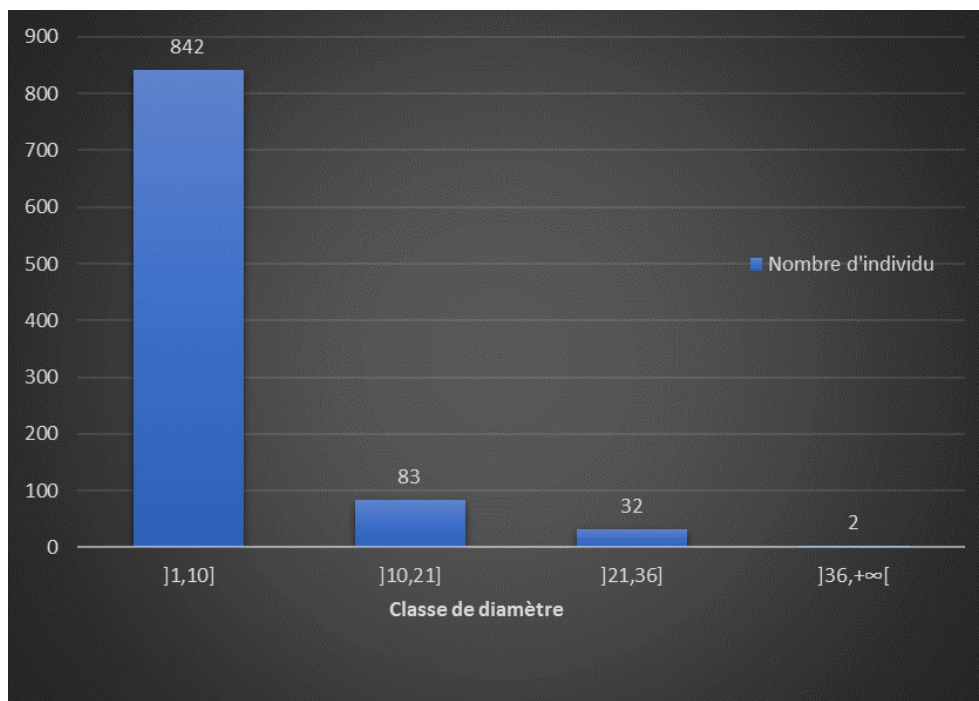


Figure 109 : Structure démographique des palétuviers d'Andriambe

Du point de vue de la régénération naturelle, les espèces *Xylocarpus* d'Andriambe ont une bonne capacité de régénération avec une moyenne de 35 juvéniles/blocs. Ce chiffre peut atteindre 310 dans certaines parties. Cette bonne régénération est corroborée par le constat que dans toute la mangrove d'Andriambe, on a pu compter une moyenne de 1 mort sur pied par bloc (et un maximum de 10 morts sur pied dans un bloc). Cependant, il faut rappeler que cette mangrove, par ailleurs étroite, est soumise aux crues du fleuve Onilahy avec une érosion fréquente des berges qui peut expliquer la disparition des souches des palétuviers morts sur pied.

Pour les coupes, il y a en moyenne 2.6 coupes par bloc (et un maximum de 9 coupes dans un bloc) sur l'ensemble de la zone, avec un pic de 3.7 coupes par bloc en moyenne pour le transect C, ce qui s'explique par la proximité de cette zone avec le village d'Andriambe

Mitsinjo. Les deux autres transects sont caractérisés par une moyenne de 1.7 et 1.8 coupes par bloc.

I.1.5.2 La caractérisation par les images satellites

Les mangroves d'Andriambe sont dominées par des formations très denses occupant 65% de la surface totale et localisée surtout dans la partie centrale (Figure 110). Elles se composent alors de gros individus de *Xylocarpus granatum*.

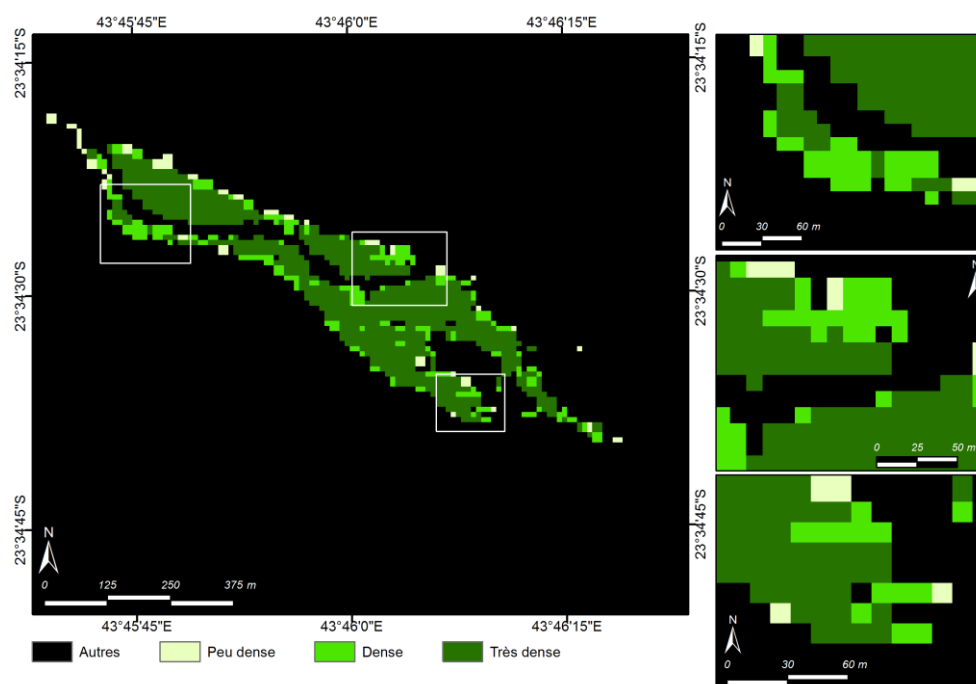


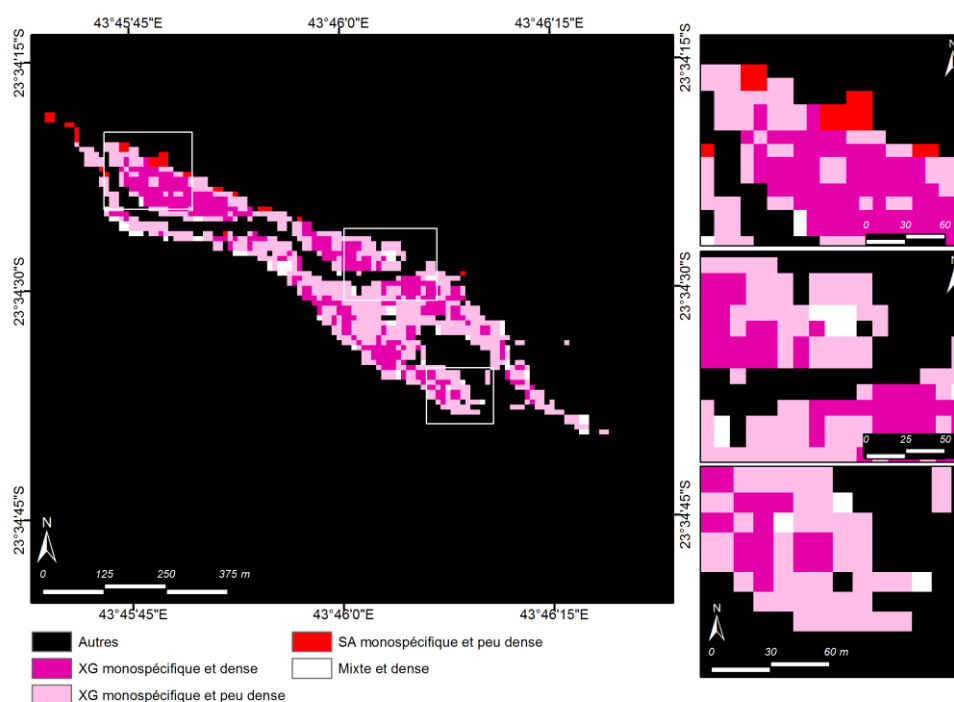
Figure 110 : Densité de la mangrove d'Andriambe en 2014 (Source : NDVI, Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les mangroves denses couvrent 28% de la zone, notamment au pied de la falaise calcaire. Le reste est constitué par des mangroves à faible densité composées par des îlots de palétuviers notamment de l'espèce *Avicennia marina* ainsi que de l'espèce *Sonneratia alba* en contact direct avec le fleuve de l'Onilahy.

L'une des caractéristiques de la mangrove d'Andriambe est la prépondérance de *Xylocarpus granatum*, espèce favorisée par l'eau douce de l'Onilahy. Les peuplements à *Xylocarpus granatum* sont la plupart du temps monospécifiques denses (4.1 ha) dans la partie centrale entourée et passent en périphérie à des formations de plus faible densité sur une surface de 4.5 ha. Du côté du fleuve, en contact direct avec l'Onilahy, sont localisés des formations à *Sonneratia alba* monospécifiques peu denses couvrant 0.4 ha. Du côté du

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

plateau au pied des falaises sont implantées des peuplements mixtes denses de 0.7 ha (Figure 111).



Ce premier sous chapitre qui fait les diagnostics de l'état actuel des mangroves par le terrain et par les images satellites montre des variations de peuplement dans cette région, que ce soit des densités et des associations d'espèces. Ainsi d'après les transects, le site d'Ankiembe possède la plus grande moyenne en termes de densité du peuplement (nombre de pied sur 50m²) par bloc avec 44.6 palétuviers, suivi de Sarodrano avec 33 palétuviers, les moyennes des 3 autres sites étant aux alentours de 20 palétuviers. Du point de vue diamètre, les palétuviers de Manombo-Fitsitike sont les plus imposants avec en moyenne une DHP de 5.8 cm, avec notamment des gros individus de *Sonneratia alba* et d'*Avicennia marina* qui atteignent jusqu'à 77 cm. Il est suivi par les espèces *Xylocarpus granatum* du site d'Andriambe avec une moyenne de 5.2 cm. Ce même site de Manombo-Fitsitike domine aussi dans la catégorie des individus morts sur pied par bloc avec en moyenne 5.8 morts par bloc (dont le pic se trouve au niveau du transect B) soit plus du double de celui d'Ankiembe et d'Ambondrolava avec respectivement 2.4 et 2.1 morts par bloc en moyenne. Pour les moyennes de coupes, l'ensemble des sites présentent plus ou moins les mêmes valeurs par bloc. Elles varient entre 4.8 à 6 coupes par bloc sauf pour le cas du site d'Andriambe avec ses

2.6 coupes de moyenne par bloc. Enfin du point de vue régénération naturelle, le site d'Ambondrolava domine avec en moyenne 87.5 juvéniles par blocs (le transect A possède en moyenne 137 juvéniles par bloc), suivi par les sites de Sarodrano, Andriambe, Ankiembe et Manombo-Fitsitike avec respectivement 76.6 ; 40.7 ; 29.2 et 22.2 juvéniles par bloc.

I.2. Les dynamiques d'évolutions récentes

Etudier l'évolution récente de la mangrove de Toliara nécessite la prise en considération de deux paramètres. En premier lieu, un paramètre quantitatif qui est la présence/absence permettant de déterminer l'évolution de la surface globale de la mangrove, et en second lieu un paramètre qualitatif pour connaître d'une manière générale l'état de santé (dégradation ou densification) du peuplement de chaque site à chaque période.

Dans un premier temps, il faut bien saisir le sens des termes qui seront utilisés dans ce chapitre sur l'évolution de la mangrove entre deux période N et N+1 :

On utilisera le terme « Disparition » pour désigner des mangroves qui ont été présentes dans la période N et qui sont absentes en N+1 et ceci quelle que soit leur densité à la période N. Sur les cartographies diachroniques, la densité des mangroves de la période N sera précisée. Le « Maintien » correspond à l'ensemble des mangroves qui sont présentes entre deux dates. La « Stabilité » désigne les mangroves qui sont présentes aux deux dates (N et N+1) et qui ont conservé la même densité. Cette densité sera précisée dans la légende des cartographies. La « Dégradation » fait référence aux mangroves qui sont présentes aux deux dates, mais où elles ont une densité plus forte à la date N, la plus ancienne, par rapport à N+1. La « Densification » est utilisée pour les mangroves qui sont présentes entre les deux dates, mais où la densité à N+1 est plus forte qu'à la période N. Enfin, « Extension » désigne des surfaces où il n'y a pas de mangrove en N mais il y a présence de nouveaux pieds de palétuviers en N+1, que ce soit une colonisation ou une recolonisation. La densité (peu dense, dense ou très dense) de ces nouvelles mangroves à N+1 est indiquée dans la légende des cartographies. À noter que dans toutes les cartographies proposées, quand il y a dégradation dense entre 1987 et 2012, alors la mangrove était très dense en 1987 et elle est devenue dense en 2012.

De manière globale, les dynamiques d'évolution des mangroves du sud-ouest de Madagascar sont très contrastées selon les sites et selon les périodes 1949-1987, 1987-1998

et 1998-2012. Trois types de dynamiques d'évolution ont pu être différenciés dans cette région de Toliara avec des mangroves « en progression », des mangroves « stables » et des mangroves « en régression ». Cependant, même les mangroves dites « stables » sont caractérisées par des transformations importantes. Cette stabilité fait référence aux surfaces couvertes, mais elle peut aussi être la résultante de processus de translations, déplacements, ouvertures ou fermetures des mangroves.

I.2.1 Les mangroves en progression

D'une manière générale, la dynamique d'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike et celle de la mangrove d'Ankiembe notamment, ont connu une nette augmentation de leur surface entre 1949 et 2012. Par contre, en regardant de plus près, il y a deux types de tendance d'évolution entre ces deux sites. Pour Manombo-Fitsitike, la surface connaît une nette progression entre 1987 et 2012 après une phase de régression entre 1949 et 1987. Par contre, pour Ankiembe, la surface a augmenté entre 1949 et 1987, a connu une faible régression entre 1987 et 1998, puis est restée stable entre 1998 et 2012.

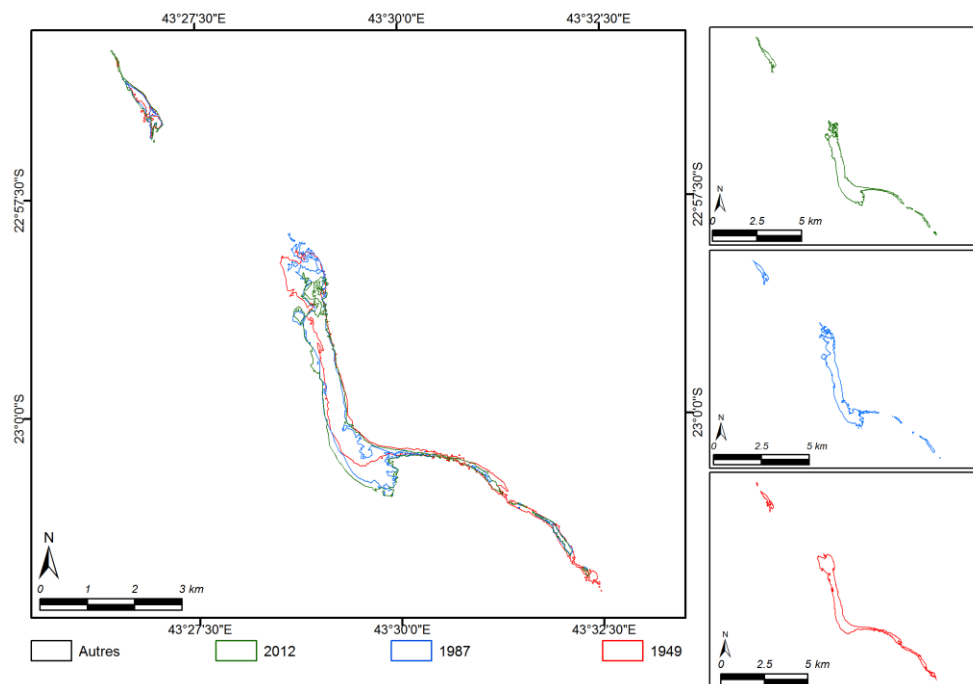
I.2.1.1 La mangrove de Manombo-Fitsitike

D'un point de vue général, la dynamique de la mangrove de Manombo-Fitsitike a connu une progression de sa surface entre 1949 et 2012 puisqu'elle est passée d'une surface estimée à 277 ha en 1949 à 293.6 ha en 2012 (Tableau XI), soit un accroissement de 16 ha par rapport à sa surface initiale. Pourtant, examinée de plus près, cette dynamique n'est pas linéaire, et deux phases différentes peuvent être distingué ; une phase régressive de 1949 à 1987 et une phase progressive de 1987 à 2012 (incluant 1998) (Figure 112).

Tableau XI : Récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949-2012

	Disparition	Maintien			Extension	Surface totale (en ha)	Evolution globale
		Avec densité stable	Avec densification	Avec dégradation			
1949						277	
1949/1987	107.7		169.5*		86.4	256	↘
1987/1998	43.9	77.8	121.4	12.8	51.2	263.4	↗
1998/2012	42	142.7	25.1	53.4	72.3	293.6	↗

* : L'impossibilité de différencier des degrés de densité en 1949, en raison de la mauvaise qualité des photographies, ne permet pas de distinguer ces 3 classes.



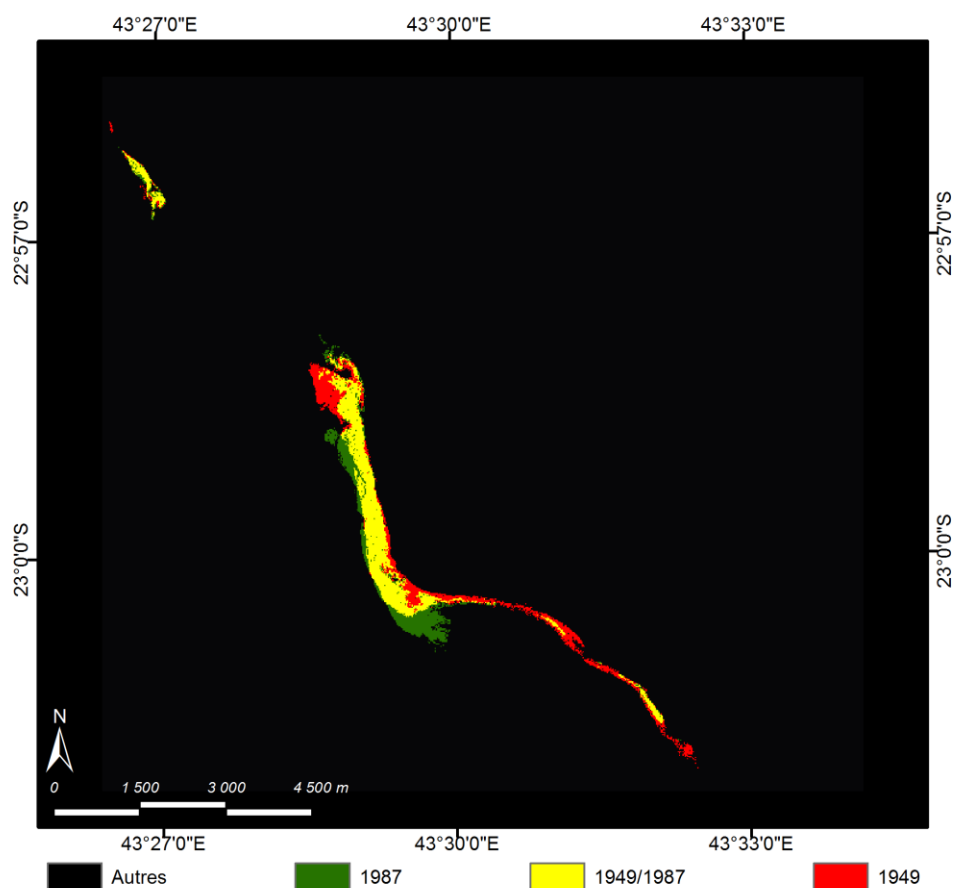
**Figure 112 : L'évolution de l'emprise de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949 et 2012 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Sur les photographies aériennes de 1949, la mangrove de Manombo-Fitsitike de 277 ha, malgré une forme plus étroite par rapport à sa forme actuelle qui est plus large, était globalement à forte densité et présentait une structure bien homogène. Ces caractéristiques indiquent de faibles perturbations anthropiques. Cependant, à cette période des forçages naturels comme l'ensablement qui persiste jusqu'à ce jour peut-être déjà mis en évidence. Au fur et à mesure que le temps passe les palétuviers continuent actuellement à coloniser la façade marine où il y a influence des marées alors que la partie nord s'est ouverte. Il est à noter qu'en 1949, ni tanne, ni saline n'ont pu être observé dans cette zone.

Entre 1949 et 1987, la mangrove de Manombo-Fitsitike montre une régression de sa surface initiale de 21 ha, passant de 277 ha en 1949 à 256 ha en 1987. Cependant, en réalité, cette perte cache des modalités d'évolution plus complexes puisque sur les 277 ha de mangrove de 1949, 169.6 ha se sont maintenus (dans la partie centrale), de nouvelles mangroves de 86.5 ha se sont développées à la pointe sud et sur la façade ouest, zones en contact permanent avec la marée où elles profitent de bonnes conditions biophysiques, et 107.9 ha ont disparu, dont 23.4 ha remplacés par des vasières et le reste par d'autres formations tels que les formations dunaires. En réalité, cette dynamique correspond globalement à une translation de la mangrove vers le sud et l'ouest, principalement sur des zones

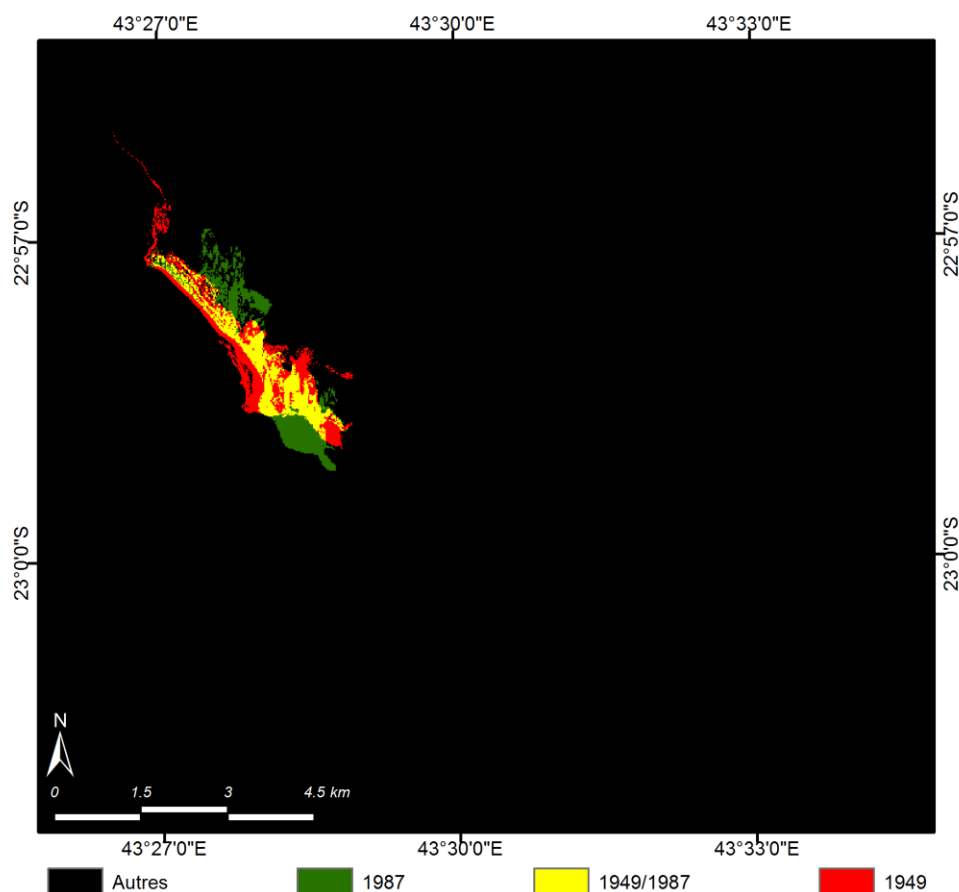
TROISIÈME PARTIE - Les résultats

précédemment de vasière (environ 40 ha). La mangrove qui s'est maintenue se trouve dans la partie centrale qui est en général difficile d'accès, tandis que les zones où elle a disparu, sont celles, au nord, qui sont en contact avec les dunes vives et à proximité des villages, et celles au sud qui s'étirent en un liseré très étroit (Figure 113).



**Figure 113 : L'analyse diachronique de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949-1987 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

La dynamique sédimentaire de cette zone littorale, combinaison de processus fluviaux, marins et éoliens, influe fortement sur celle des mangroves. L'analyse diachronique des formations sableuses vives entre ces périodes montre ainsi une diminution de leurs surfaces de quelques 22 ha en 25 ans (Figure 114) et une translation vers le sud et vers l'est. Cette diminution est la conséquence de la fixation des dunes vives par des végétaux. Elle résulte peut-être aussi d'une réduction des apports sédimentaires émanant du fleuve Manombo.



**Figure 114 : L'analyse diachronique de la dune vive de Manombo-Fitsitike entre 1949-1987 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Les vasières montrent, elles, au contraire une augmentation de leurs surfaces sur cette période. Par contre ces résultats n'ont pas été exploités étant donné qu'il y a une forte incertitude sur leur fiabilité découlant des différences probables de marée entre les deux dates notamment. Il faut cependant les évoquer car ce sont ces milieux qui sont colonisés par les mangroves, et leurs dynamiques sont donc intimement mêlées.

Pour les salines et les tannes, absentes en 1949, elles apparaissent sur les images de 1987 ; les premières se trouvent dans les dépressions interdunaires, et les seconds sont localisés à l'extrême sud de la mangrove de Manombo-Fitsitike, entre les palétuviers et la formation sableuse végétalisée (Figure 115).

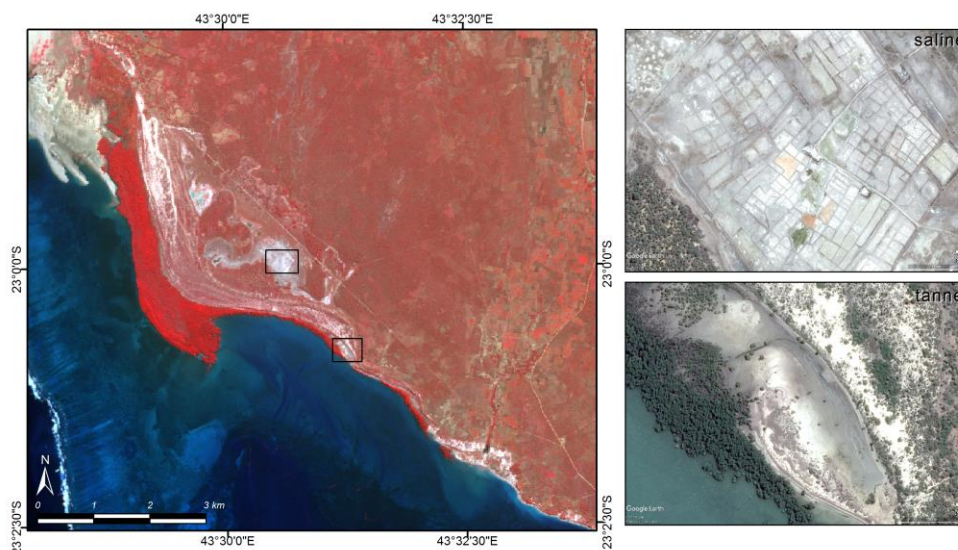


Figure 115 : Les salines dans les dépressions interdunaires et le tanne dans le site de Manombo-Fitsitike
(Source : Spot Image, Google Earth)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Pour la période 1987-1998, contrairement à la période précédente, la mangrove de Manombo-Fitsitike a connu une faible progression de 7.3 ha. Là encore, cette évolution cache une dynamique plus complexe puisque c'est le résultat d'une combinaison d'extension, de maintien et de disparition croisée de mangroves.

On observe ainsi une extension de 51.2 ha qui se localise essentiellement sur toute la façade maritime, sur des vasières la plupart du temps, en continuité des nouveaux peuplements de palétuviers de 1987. Ces nouveaux peuplements présentent des densités variables, avec 24 ha de mangrove peu dense dans les deux extrémités nord et sud et 11.4 ha de mangrove dense à très dense au centre.

Il y a aussi des formations à palétuviers de 77.8 ha qui se sont maintenues, et qui sont surtout dominées par de la mangrove à forte densité (51.6 ha), localisée dans la partie centrale du site le plus massif. Quelques peuplements de mangroves de plus faible densité se sont aussi maintenus dans la partie sud étroite avec une position plus centrale. Sur cet ensemble de mangroves qui s'est maintenue ce sont 121.4 ha qui se sont densifiés depuis 1987, formant plus de 46% de la surface totale de la mangrove en 1998.

On note aussi 12.8 ha de dégradation et 44 ha de disparition de mangrove entre 1987 et 1998, qui se concentrent plus dans la partie nord et à proximité des villages, là où l'accès est facile, mais également dans des nouvelles zones au cœur de la forêt de palétuviers, dans certaines parties à substrat sablo-vaseux (Figure 116) (Tableau XII).

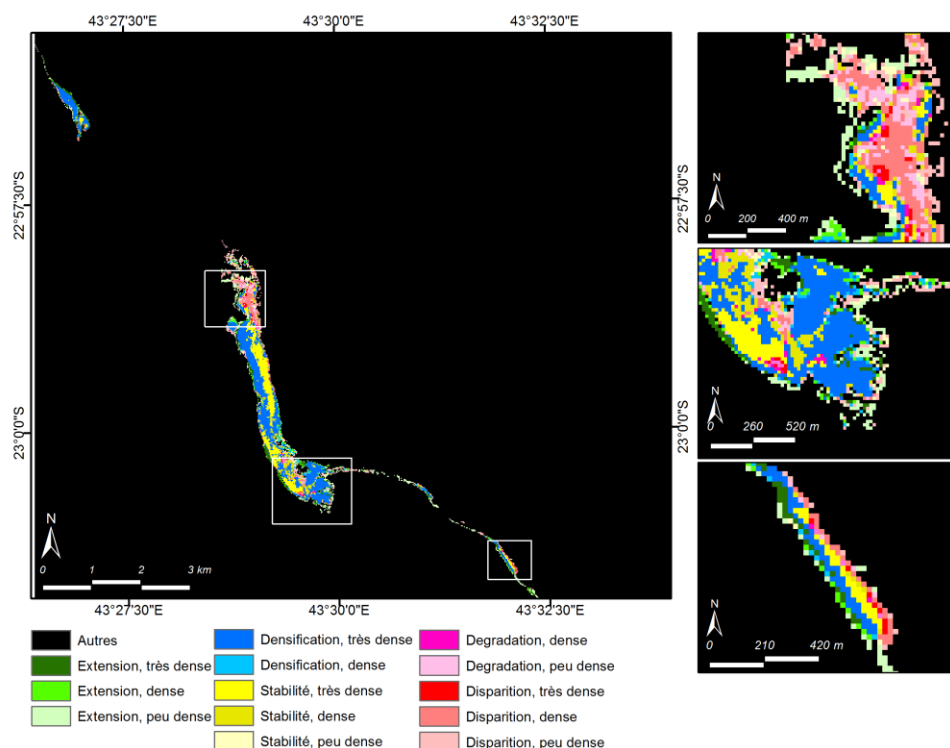


Figure 116 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Tableau XII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998

1998	Extension	Maintien		
		Avec densité stable	Avec Densification	Avec Dégradation
Peu Dense	24	6.8	-	9.7
Dense	11.4	19.9	9.6	3.2
Très Dense	15.8	51.6	111.8	-
Total	51.2	77.8	121.4	12.9

Le site de Manombo-Fitsitike est le seul étudié où l'on a pu identifier un vrai tanne (dans la région, il y a aussi des tannes dans un site au nord de la ville de Toliara mais qui ne fait pas partie de nos zones d'étude). De petite taille (entre 3 et 7 ha), il semblerait qu'il soit le résultat d'une coupe d'une centaine de pieds dont les souches sont toujours visibles (Figure 115). Son analyse diachronique entre ces deux dates montre une légère diminution de sa surface puisqu'il a perdu 2 ha en 25 ans (7.4 ha en 1987 et 5.4 ha en 1998). Cela est dû en grande partie à un recouvrement par des formations sableuses dans la partie sud. En effet, sur cette période a été observée une dynamique sableuse assez importante, liée aux apports du fleuve Manombo repris par la mer et le vent, avec un bilan de surface sableuse

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

vive légèrement excédentaire de 5 ha (Figure 117), l'ensablement s'effectuant principalement sur des vasières mais aussi sur d'autres écosystèmes et milieux comme le tanne.

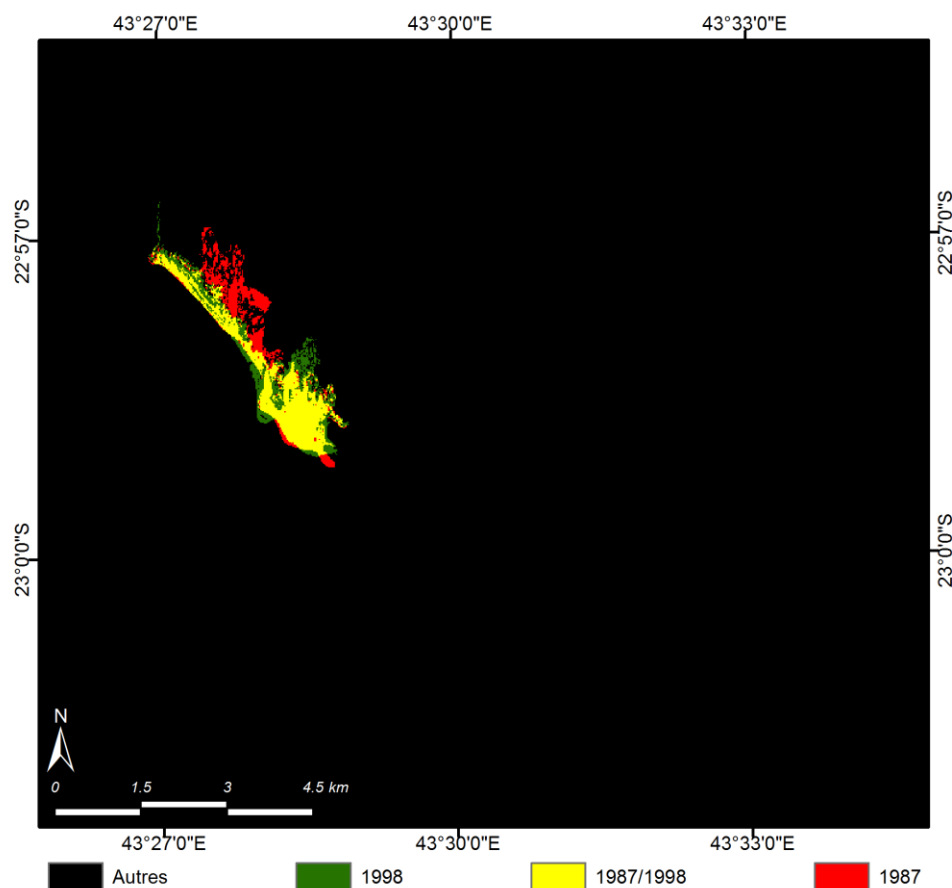


Figure 117 : L'analyse diachronique de la dune vive de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Les vasières ont également évolué au cours de ces années puisqu'elles sont passées de 1551.4 ha en 1987 à 2246.2 ha en 1998. Cependant, là encore, ces valeurs sont à prendre avec précaution en raison de l'impact des différences de marnage entre les deux dates. L'essentiel des nouvelles vasières observées se trouve dans la partie sud de la mangrove sur plus de 918.8 ha 5 (Figure 118).

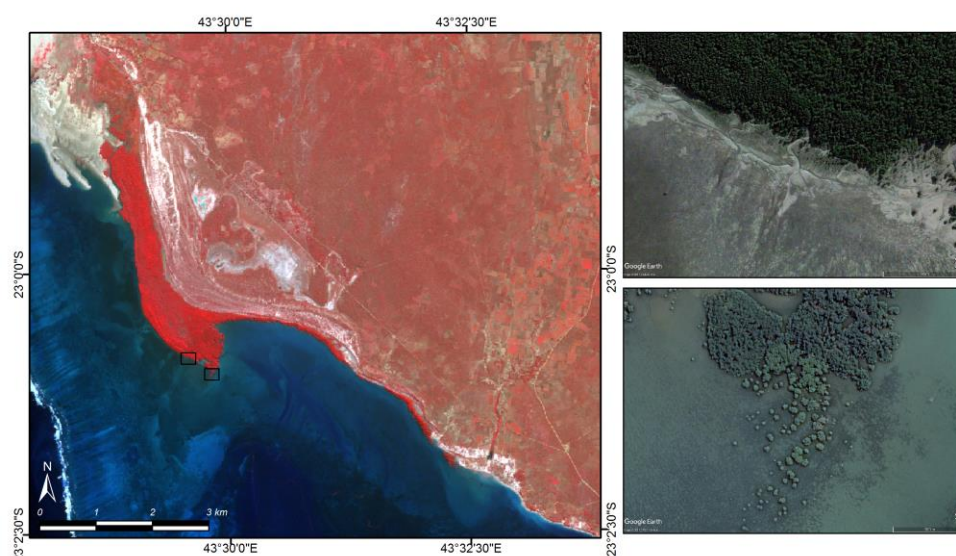


Figure 118 : Les vasières au sud de la mangrove de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image, Google Earth) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Sur la période suivante entre 1998 et 2012, la mangrove de Manombo-Fitsitike a connu une nouvelle phase de progression de sa surface encore plus forte avec environ 30 ha supplémentaires (Tableau XIII).

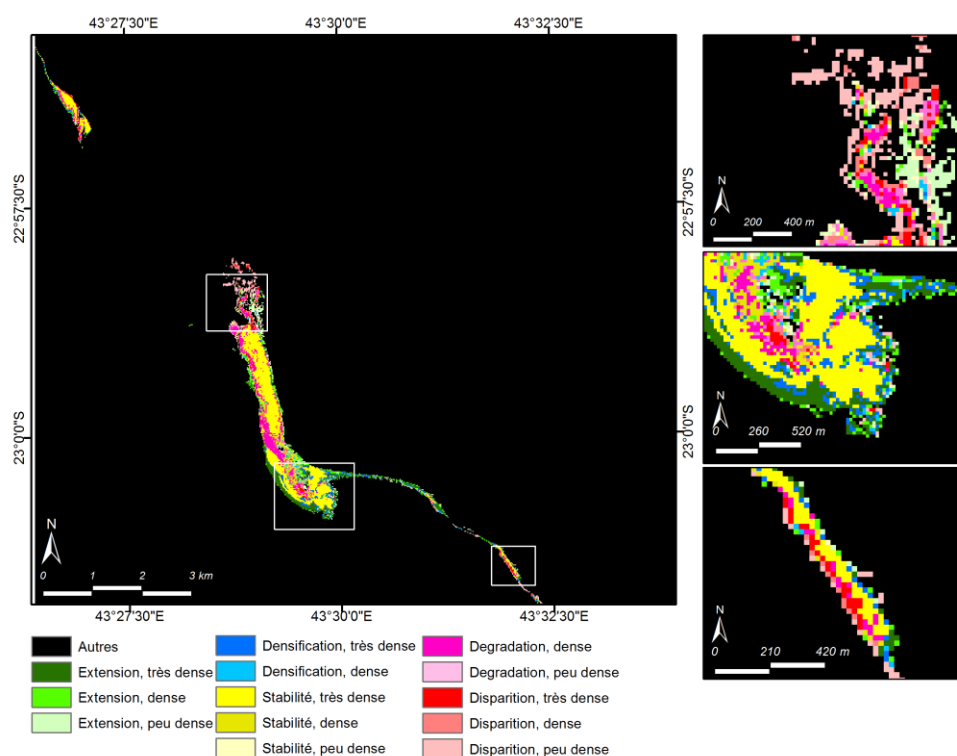
Tableau XIII : Un récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1998-2012

2012	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	15.2	03.7	-	08.2
Dense	24.8	19.2	7.4	45.2
Très Dense	32.2	119.9	17.72	-
Total	72.2	142.8	25.1	53.4

Bien qu'il y ait à nouveau une quarantaine d'hectares de mangrove disparus entre les deux périodes, l'extension s'avère plus forte (72.3 ha) et se localise dans la continuité des nouvelles mangroves de la période précédente, celles-ci ayant gagné en largeur sur la frange littorale en contact permanent avec la mer et/ou durant la marée haute. Cette extension s'est réalisée pour 25.2 ha sur des vasières. Le tanne apparaissant sur les images de 1987 est également en partie recolonisé dans sa partie nord par des palétuviers, le faisant diminuer de 1.6 ha en 11 ans (5.4 ha en 1998 et 3.8 ha en 2012). La surface qui s'est stabilisée (maintien sans variation de densité) entre 1998 et 2012 a doublé (142.8 ha) par rapport à la période précédente et elle est constituée en partie par les zones qui s'étaient densifiées en

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

1998. Sur cette période, 25.1 ha de mangroves se sont densifiées particulièrement au sud, en position interne et à proximité des nouvelles formations de palétuviers très denses (Figure 119).



**Figure 119 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1998-2012
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Ces extensions et densifications plutôt vers le sud s'expliquent par le fait que cette zone offre de bonnes conditions de développement grâce à la protection des récifs, aux eaux calmes, et aux dépôts de vases.

Parallèlement, il existe aussi en 2012 une forte dégradation de 53.4 ha de mangrove à proximité des zones de disparition. Cette dynamique peut résulter de la mort naturelle des vieux palétuviers, de la coupe des palétuviers matures et de l'ensablement (9.7 ha de mangrove ont été envahis par des dunes vives). Dans la partie nord, elle résulte aussi des pressions anthropiques directes comme les collectes de ressources forestières liées à la proximité des 3 villages de Manombo, Fitsitike et Tsihake, ainsi que d'une dynamique fluviale et éolienne.

La dynamique éolienne est en effet encore active sur cette période avec une progradation des dunes vives en 2012 de +38.4 ha en 11 ans (Figure 120). Pour les vasières, il y a encore une augmentation d'environ 640 ha de leur surface.

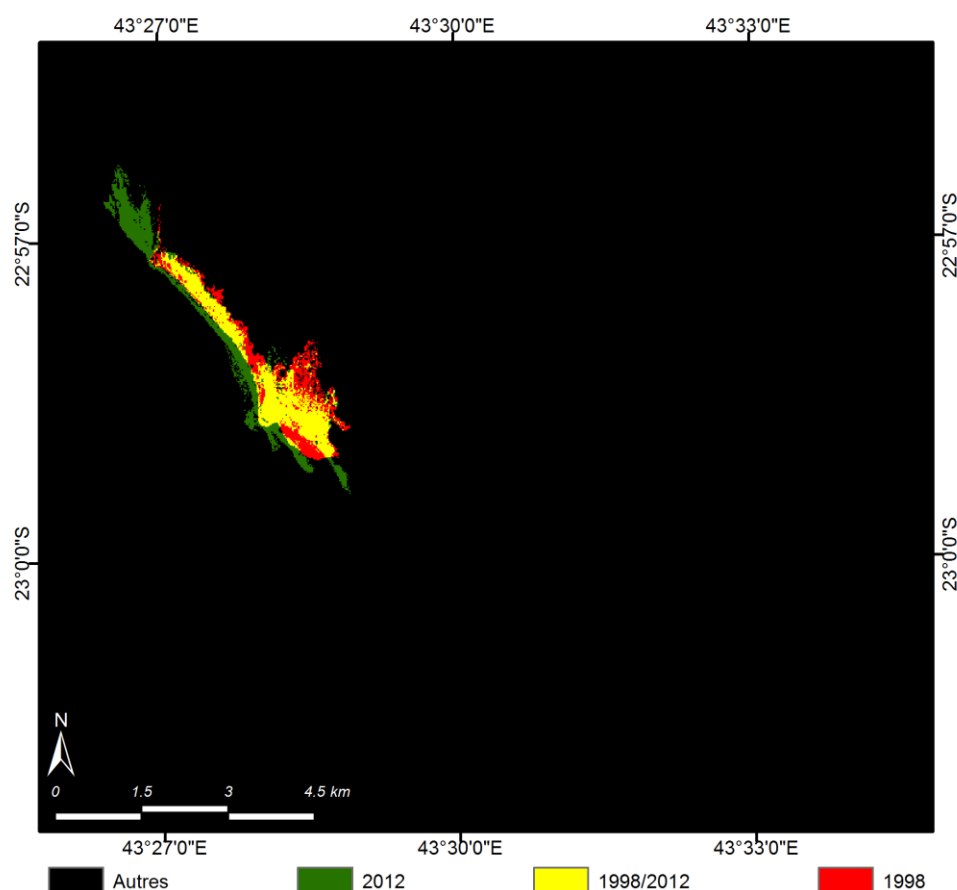


Figure 120 : Une analyse diachronique des dunes vives entre 1998-2012 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.2.1.2 La mangrove d'Ankiembe

Dans l'ensemble, le bilan sur 63 ans de la dynamique spatiale des deux entités de palétuviers d'Ankiembe (une entité massive au nord et une entité fine au sud) présente un excédent d'environ 30 % de sa surface initiale de 1949 (Tableau XIV).

Tableau XIV : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Ankiembe entre 1949-2012

	Disparition	Maintien			Extension	Surface totale (en ha)	Evolution globale
		Avec densité stable	Avec densification	Avec dégradation			
1949						143	
1949/1987	60.1		83.4*		98.8	182.2	↗
1987/1998	61.4	52.7	22.8	45.4	57.9	178.7	↘
1998/2012	63.1	55.3	35.4	24.9	62.6	178.2	→

* : L'impossibilité de différencier des degrés de densité en 1949, en raison de la mauvaise qualité des photographies, ne permet pas de distinguer ces 3 classes.

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Cette dynamique de progression générale se divise ici aussi en trois phases différentes avec une progression de 1949 à 1987, une légère régression de 1987 à 1998 et une phase de stabilité de 1998 à 2012 (Figure 121).

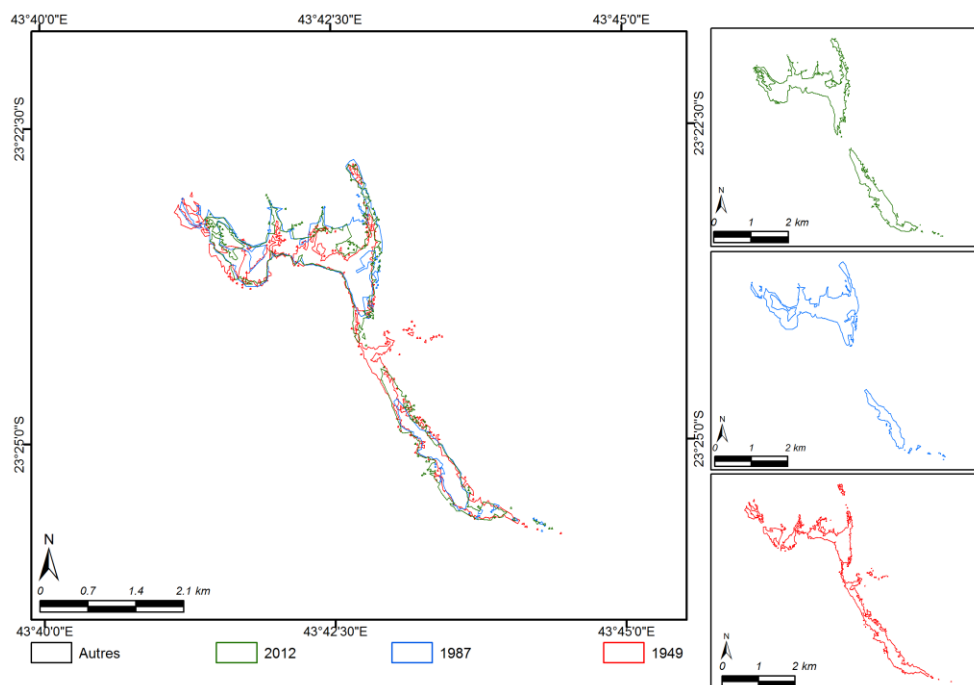


Figure 121 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Ankiembe (1949-1987-2012) (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

En général, les zones concernées par la progression des palétuviers concernent surtout celles inondées à marée haute ainsi que les salines abandonnées puis recolonisées par des palétuviers du moment où l'eau de mer arrive à inonder la zone à marée haute. Les disparitions sont observées des fois dans les parties où ont été aménagées de nouvelles salines, dans la partie nord de la mangrove où les pressions anthropiques (par coupe) et naturelles (par ensablement) sont fortes.

En 1949, la surface des mangroves était nettement moins grande (environ 143 ha) par rapport à son importance actuelle (178 ha). Par contre, les peuplements de palétuviers étaient denses et il n'y avait pas de salines dans la partie nord.

Entre 1949 et 1987, la mangrove d'Ankiembe a connu une dynamique de progression globale avec un gain d'environ 39 ha (Figure 122). Cependant en y regardant de plus près, cette progression masque une évolution plus complexe puisque sur les 143 ha de mangrove en 1949, 83.4 ha se sont maintenus en 1987, 98.8 ha correspondent à de nouveaux peuplements, dont 60 ha sur des vasières, et enfin, 60.1 ha ont disparu entre les deux dates,

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

dont 46.2 ha qui ont laissé place à des vasières, 7 ha à des zones en eau (ou certainement des vasières inondées par la marée), elles se localisent aussi dans la partie nord-ouest, plutôt ensablée ainsi que de part et d'autre de l'entité fine.

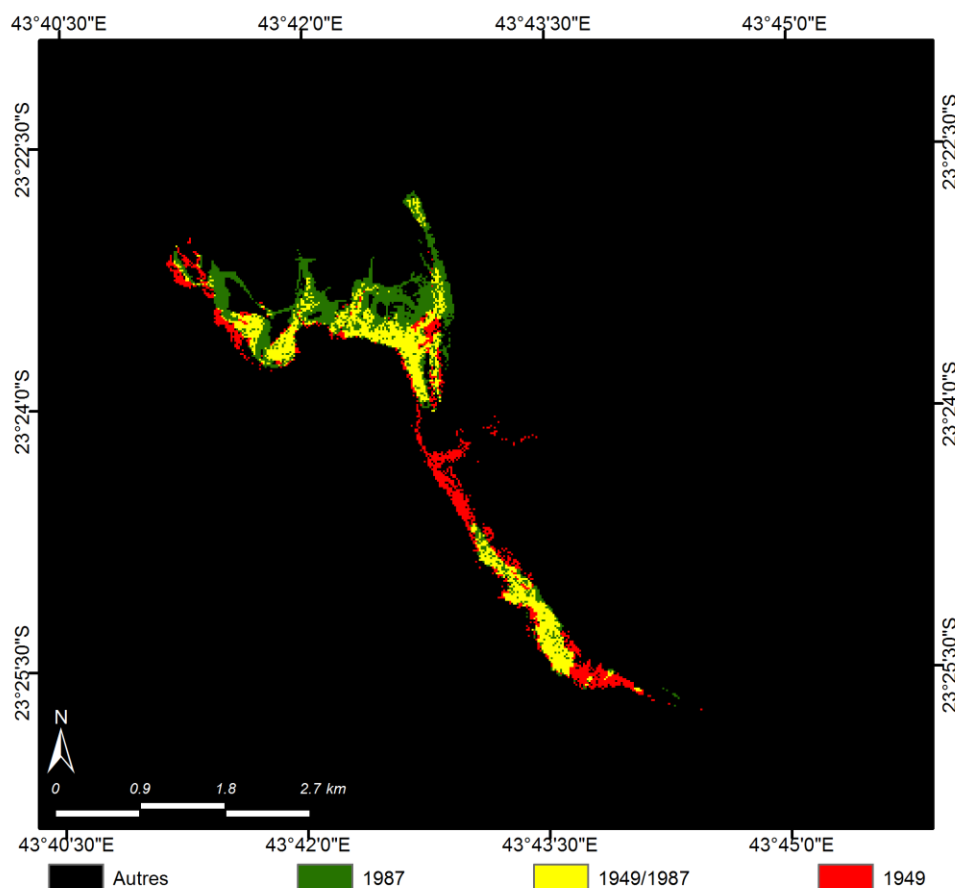


Figure 122 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Ankiembe entre 1949-1987 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Les mangroves les plus stables se trouvent essentiellement dans la partie sud de l'entité massive ainsi que dans la partie centrale de l'entité fine, tandis que celles en progression se trouvent du côté nord de l'entité massive, profitant de bonnes conditions biophysiques puisque ces zones étaient des vasières en 1949.

Entre 1949 et 1987, les vasières d'Ankiembe semblent avoir augmenté. Toutefois ce constat est peu certain étant donné que les vasières de 1949 sont difficilement quantifiables. Par contre, l'évolution vers le nord des mangroves entre ces deux dates, semble confirmer cette hypothèse.

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Par rapport à la période antérieure, la dynamique d'évolution générale des mangroves entre 1987 et 1998 montre une faible régression d'environ 3.5 ha dans le site d'Ankiembe, en passant de 182.2 ha à 178.7 ha (Tableau XV).

Tableau XV : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ankiembe en 1998 par rapport à 1987

1998	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	43.7	31	-	40.8
Dense	9	16.8	4.4	4.5
Très Dense	5.1	5	18.4	-
Total	57.8	52.8	22.8	45.3

Cette fois encore, cette évolution globale se décompose en 57.8 ha d'extension nouvelle (dont 43.7 ha sont peu denses), 61.4 ha de disparition complète (dont 31.1 ha étaient peu denses et 27.6 ha denses en 1987) et 120.9 ha de maintien (Figure 123). Cependant, si 52.7 ha de ces mangroves qui se sont maintenues ont conservé la même densité, et 22.8 ha se sont même densifiés, il y a aussi 45.4 ha, localisés au centre des formations, qui sont caractérisés par une dégradation puisque les mangroves y sont moins denses en 1998 qu'en 1987. L'extension et la disparition sont localisées dans les zones les plus excentrées de l'ensemble de la mangrove, qu'elles soient peu denses, denses ou très denses. Les zones d'extension se localisent plutôt dans les zones submergées à marée haute (4.4 ha), en recolonisation d'anciennes salines aménagées en 1987 et abandonnées depuis (1.9 ha) et sur des vasières (39.9 ha). Les zones où la mangrove a disparu, laissant place à des vasières, se trouvent dans les parties nord-ouest et sud, faciles d'accès, et résultent de la ponction de la population environnante (la proximité de la RN°7 en facilite l'accès).

De manière générale, les zones de changements montrent une organisation plus ou moins parallèle avec le trait de la côte.

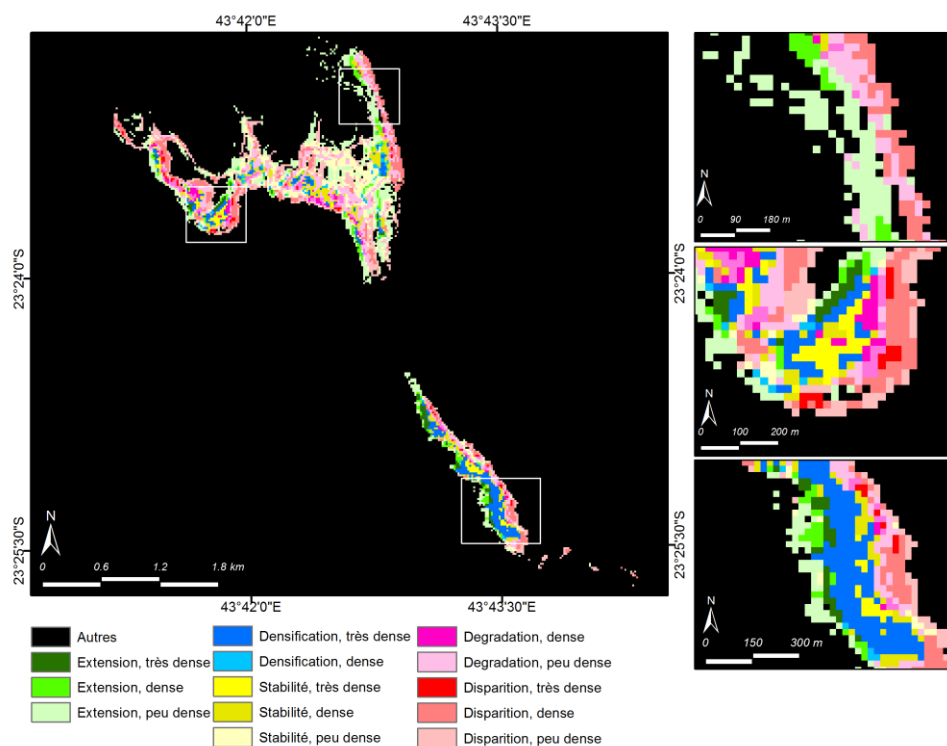


Figure 123 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Ankiembe entre 1987-1998
 (Source : Spot Image)
 (Andriatsiaronandroy, 2018)

L'analyse diachronique des salines révèle une nette diminution de leurs surfaces de 3.3 ha environ en 11 ans (Figure 124) ; elle est due soit au passage des cyclones, soit à des maladies comme le cholera dans la zone qui provoque l'arrêt temporaire (jusqu'à 5/6 ans après le cyclone) de leur activité. Même si dans la plupart des cas, l'installation des salines figure parmi les causes de la dégradation des palétuviers, il convient de noter que dans cette zone, l'abandon des salines favorise par contre la recolonisation des mangroves puisque ces 3.3 ha abandonnés ont été envahis par des nouveaux palétuviers. En effet, ces anciennes salines sont à nouveau submergées par la marée, et l'eau qui y circule librement permet le lessivage des sols sans énergie, réduisant la salinité de l'eau et du sol, augmentant l'humidité et les rendant biophysiquement adaptés à l'installation des mangroves (Selvam *et al.*, 2012).

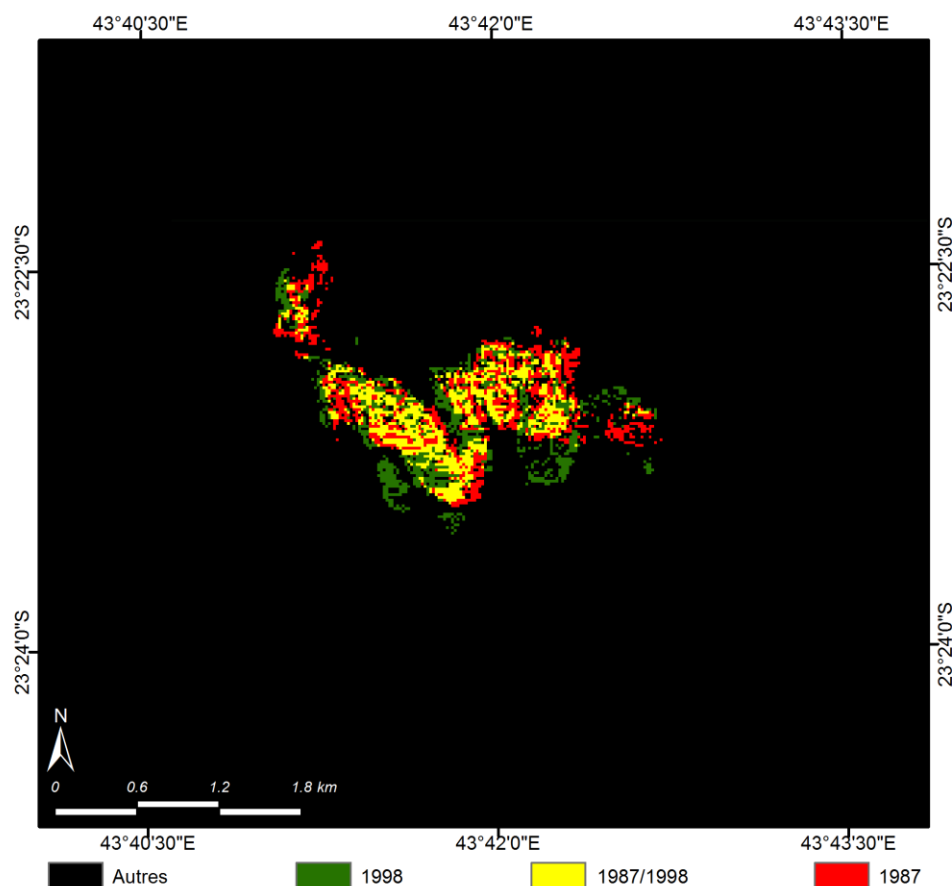


Figure 124 : L'analyse diachronique des salines d'Ankiembe entre 1987-1998 (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Contrairement à la période 1987-1998, la mangrove n'a connu aucun changement de surface totale de 1998 à 2012 puisqu'elle couvre toujours 178 ha (Tableau XVI).

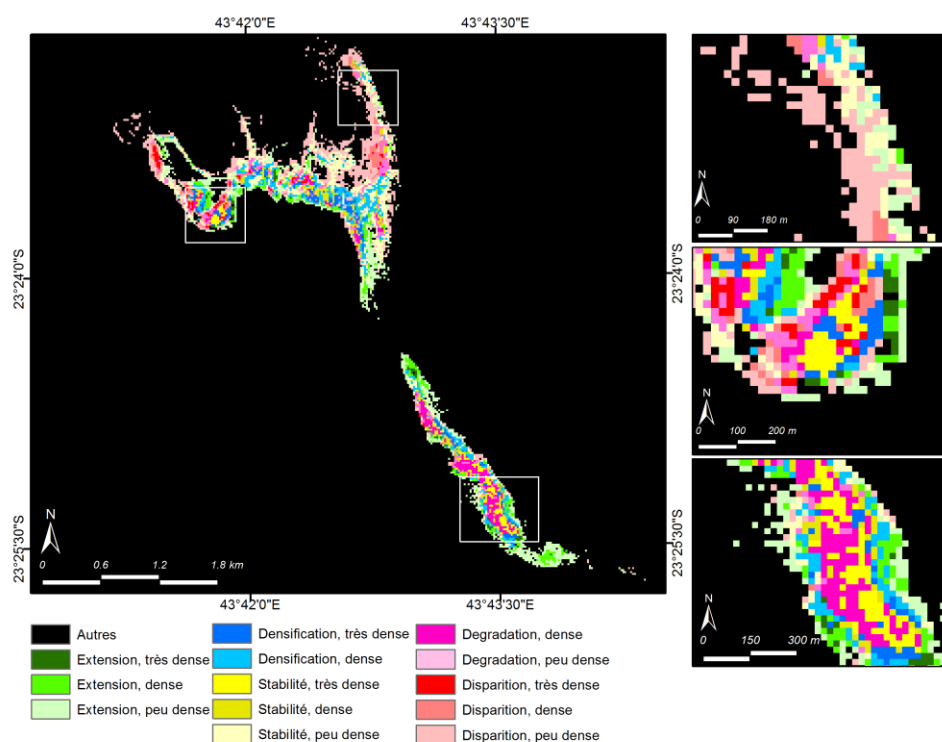
Tableau XVI : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ankiembe en 2012 par rapport à 1949

2012	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	42.7	35.1	-	11.3
Dense	17	13.1	24.6	13.6
Très Dense	2.9	7.1	10.9	-
Total	62.6	55.3	35.5	

Cependant, cette stabilité cache une évolution plus complexe, combinaison d'une extension de 62.6 ha (dont 42.7 ha sont peu denses) localisée dans le sud de part et d'autre de l'entité fine où les mangroves ont disparu en 1987, correspondant à une recolonisation là où la marée peut submerger la zone en plus d'un fort apport sédimentaire (46.5 ha de vasières ont été colonisés par des palétuviers depuis 1998), et d'une disparition de 63.1 ha

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

(dont 50 ha de mangroves qui étaient déjà peu denses en 1998) dans la partie nord-est, au niveau des salines et des zones soumises à ensablement. Ces mangroves disparues concernent surtout des palétuviers qui s'étaient développés entre 1987 et 1998 et que les habitants ont commencés à réutiliser, ainsi que des palétuviers qui étaient déjà peu denses et en difficulté de maintien en 1987 (palétuviers à proximité des villages et routes) (Figure 125). Les mangroves qui se sont maintenues entre les deux dates ont conservé la même densité sur une cinquantaine d'hectares, alors que 35.4 ha se sont densifiés et 24.9 ha se sont dégradés. Les mangroves qui se sont maintenues, surtout peu denses (35.1 ha), sont localisées plus à l'intérieur des formations à palétuviers, alors que les zones où la mangrove a disparu ou s'est étendue sont plutôt en périphérie, à proximité des salines et sur des zones ensablées. Celles qui se sont densifiées, localisées encore plus à l'intérieur, sont dominées par les mangroves denses sur 24.6 ha. Les mangroves dégradées se situent au milieu des autres.



Cette fois encore, les zones de changements s'organisent globalement en bandes plus ou moins parallèles avec le front de mer.

I.2.2 Les mangroves stables

I.2.2.1 La mangrove de Sarodrano

De manière générale, la dynamique d'évolution de la mangrove de Sarodrano peut être qualifiée de stable avec une surface aux alentours de 48 ha en 1949 et 2012 (Tableau XVII).

Tableau XVII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Sarodrano entre 1949-2012

	Disparition	Maintien			Extension	Surface totale (en ha)	Evolution globale
		Avec densité stable	Avec densification	Avec dégradation			
1949						48	
1949/1987	23.1		25.4*		13.9	39.3	↘
1987/1998	17.4	7.9	4.5	9.4	18.7	40.5	↗
1998/2012	11.3	12.6	12.5	4.1	19	48.2	↗

* : L'impossibilité de différencier des degrés de densité en 1949, en raison de la mauvaise qualité des photographies, ne permet pas de distinguer ces 3 classes.

Néanmoins, elle peut être divisée en 3 périodes de tendances différentes ; une tendance à la régression entre 1949 et 1987, une faible progression entre 1987 et 1998, une plus nette tendance à la progression entre 1998 et 2012 (Figure 126). Il faut noter que dans ce cas encore, à chacune de ces périodes, il y a toujours en même temps apparition, disparition et maintien de palétuviers.

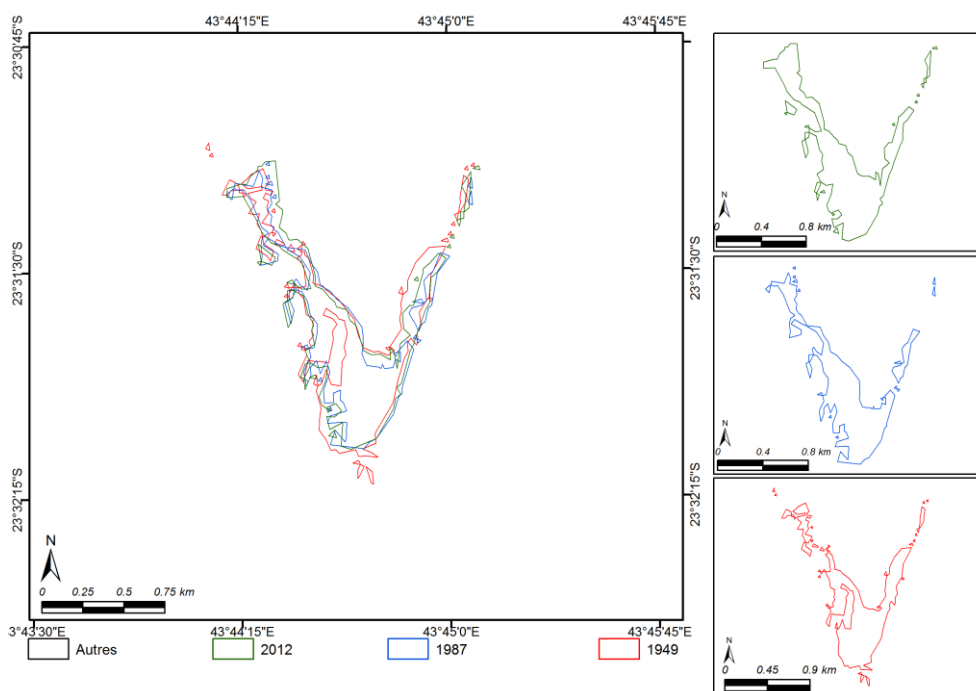


Figure 126 : L'évolution de la mangrove de Sarodrano (1949-1987-2012) (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

En 1949, la surface occupée par les palétuviers de ce site était d'environ 48 ha. Les parties sud-est et est de la mangrove de Sarodrano présentaient une plus forte densité, et étaient plus larges par rapport à l'actuelle. Au fil du temps, la mangrove de cette partie orientale s'est clarifiée. À noter aussi la présence d'une élévation dunaire plus ou moins végétalisée.

Entre 1949 et 1987, la dynamique de cette mangrove montre une régression globale de 9.3 ha, combinant une colonisation de 13.8 ha par de nouvelles mangroves entre les mangroves de 1949 et la falaise, ainsi qu'en arrière mangrove de la branche ouest, et une disparition de 23.12 ha essentiellement dans la mangrove de la branche est, en front de mer, où poussent actuellement quelques pieds de *Rhizophora* (Figure 127). Durant cette période, le fort recul d'une vingtaine d'hectares est surtout lié aux fortes pressions anthropiques sur les palétuviers en l'absence de programme de conservation et de protection à l'époque. Les palétuviers de la partie sud de Sarodrano ont également été ensevelis par des dunes vives.

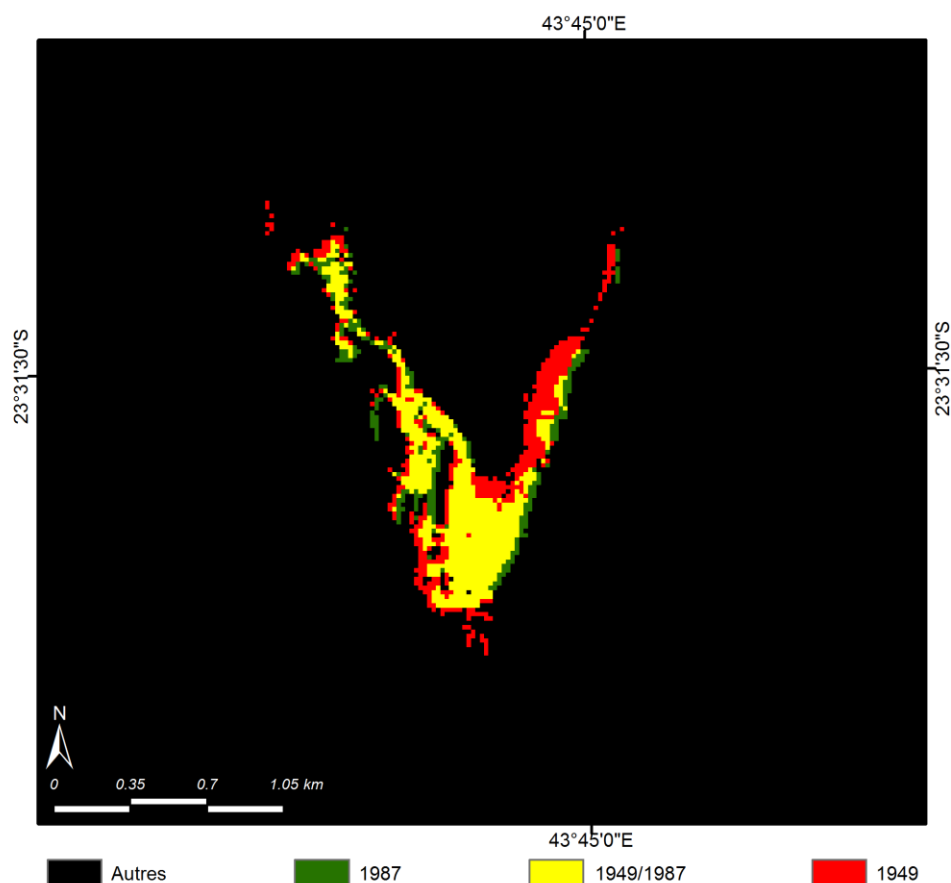


Figure 127 : L'analyse diachronique de la mangrove de Sarodrano entre 1949-1987 (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

En effet, l'analyse diachronique révèle un accroissement des surfaces dunaires vives de 30.6 ha en 25 ans (soit 1.2 ha/an) (Figure 128) dont 20.7 ha ont regagné la mer, se sont étendus sur des dunes végétalisées et sur des vasières, le tout vers le nord et sur des palétuviers. Par ailleurs, 25.4 ha de mangrove sont restés stables dans la partie centrale entre ces deux dates.

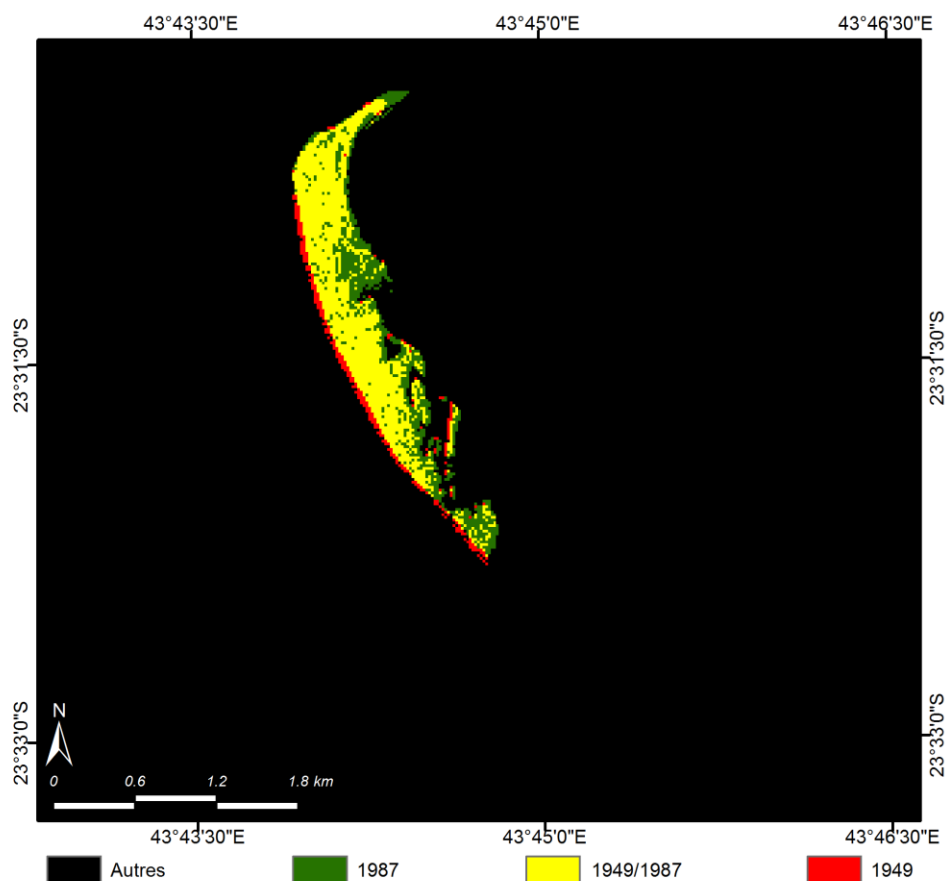


Figure 128 : L'analyse diachronique des dunes vives de la flèche sableuse de Sarodrano entre 1949-1987
 (Source : Spot Image)
 (Andriatsiaronandroy, 2018)

On aurait pu penser que la présence de l'embouchure de l'Onilahy aurait pu contribuer à l'augmentation de la surface de cette flèche sableuse, mais ce n'est pas du tout la cause principale étant donné qu'il y a un canyon de 300 m de profondeur au niveau de l'embouchure, lequel « avale » les sédiments émanant du fleuve. Par conséquent, l'augmentation est attribuée à l'association des houles australes et des vents dominants du sud.

Entre 1987 et 1998, la dynamique d'évolution générale des mangroves de Sarodrano, structurée d'avant à arrière mangrove, montre une faible régression à l'unité de 1.2 ha, avec 39.3 ha en 1987 et 40.5 ha en 1998, résultat de 18.6 ha d'extension, 14 ha de disparition et 21.9 ha de maintien (Tableau XVIII). Cette faible régression est due à la naissance d'une prise de conscience de la population sur les bienfaits et la dégradation des palétuviers.

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Tableau XVIII : Le récapitulatif de l'état de la mangrove de Sarodrano en 1998 par rapport à 1987

1998	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	14	3.4	-	7.9
Dense	3.1	2.4	1.2	1.5
Très Dense	1.6	2.1	3.3	-
Total	18.7	7.9	4.5	9.4

En 1998, les zones d'extension des mangroves, avant tout peu denses, se trouvent dans la partie sud où le quasi absence de pressions naturelles est donc supposé. Elles viennent aussi recoloniser la partie intérieure de la branche, laquelle est rattachée à la falaise qui avait disparu en 1987. Enfin, la mangrove de Sarodrano poursuit son développement dans la continuité des mangroves en augmentation en 1987, sur sa partie extérieure du côté de la flèche sableuse. Cette évolution est possible grâce au décalage de la flèche sableuse vers l'ouest (Figure 129) même si elle connaît par ailleurs une augmentation de 11 ha environ entre 1987 et 1998, donc toujours un développement de 1 ha/an qui s'est effectué en direction de la mer (26.3 ha).

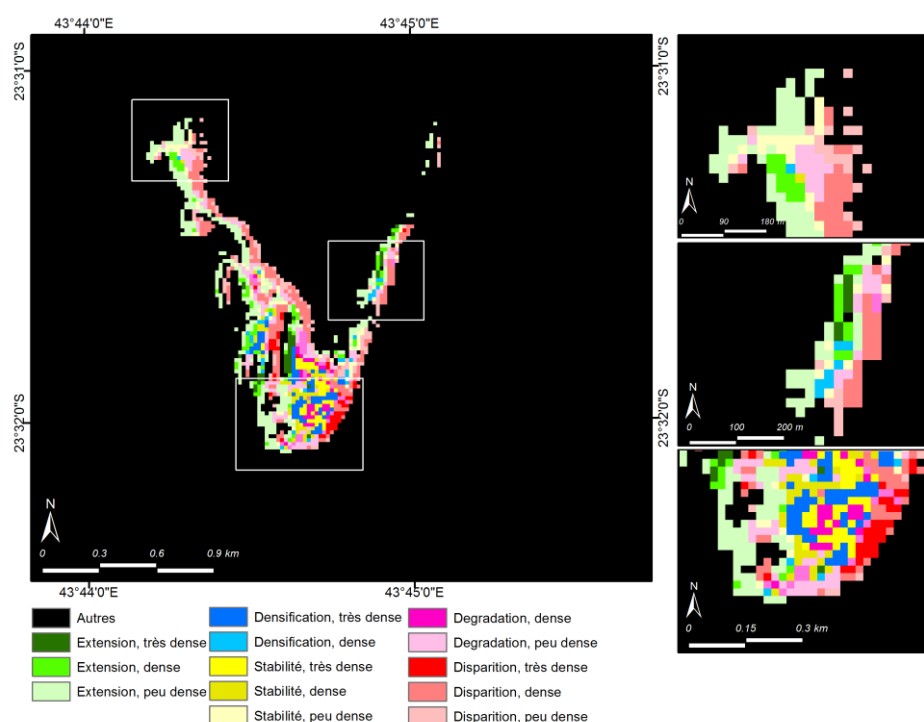


Figure 129 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Sarodrano entre 1987-1998
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

La disparition des mangroves, qui étaient avant tout denses en 1987, se localise le long de la falaise où elles s'étaient implantées en 1987. La présence actuellement de nombreux cailloux dans cette zone permet de déduire que c'est l'érosion de la falaise qui a provoqué la mort des palétuviers sur pied. Quant aux mangroves maintenues, elles sont plutôt localisées dans la partie centrale avec 8 ha, où elles se trouvent associées à 4.6 ha de mangrove densifiée (Figure 130). Les 9.4 ha de mangrove dégradée, tel un rideau, se localisent de manière intermédiaire entre les mangroves disparues et les autres classes (mangrove dense, stable, ...).

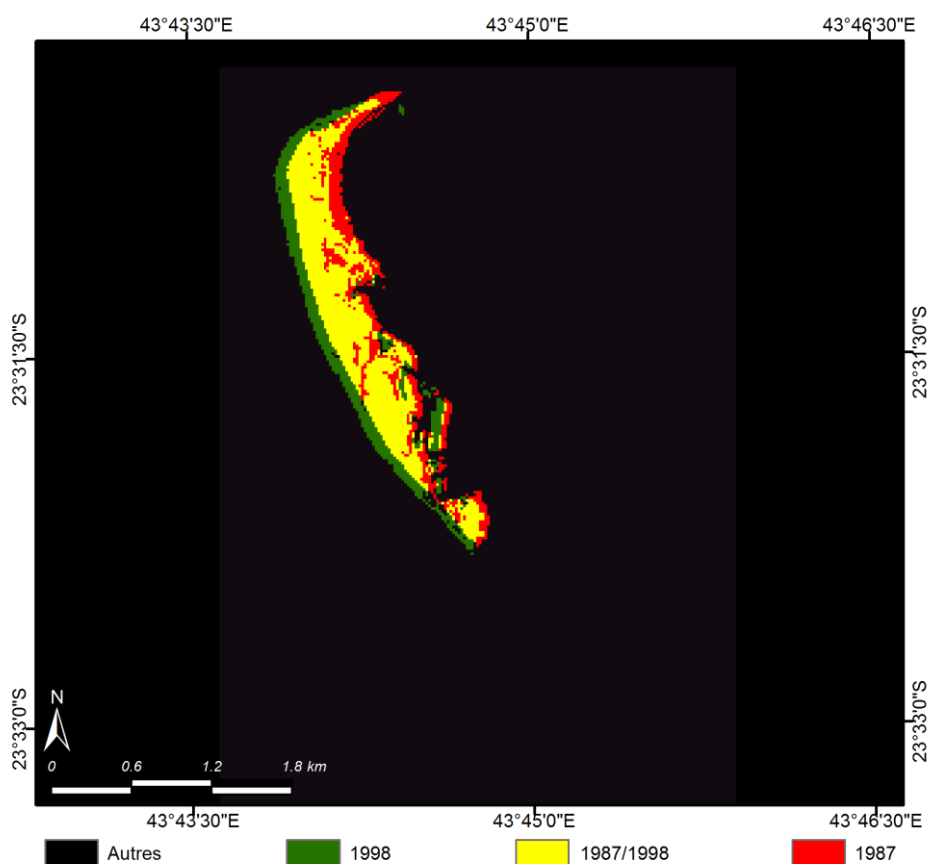


Figure 130: L'analyse diachronique de dune vive de Sarodrano entre 1987-1998
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Contrairement à la dynamique d'évolution de la période antérieure, les mangroves ont connu une nette progression de 7.7 ha de 1998 à 2012, avec une structure d'évolution organisée à nouveau d'avant à arrière mangrove pour les deux branches est et ouest. Cette progression se décompose en 11.3 ha de disparition, 19 ha d'extension et 29.2 ha de maintien (Tableau XIX).

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Tableau XIX : Le récapitulatif de l'état de la mangrove de Sarodrano en 2012 par rapport à 1998

2012	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	6.7	6	-	2.5
Dense	8.9	2.6	6.8	1.6
Très Dense	3.4	4.1	5.7	-
Total	19	12.7	12.5	4.1

La plupart des mangroves qui ont connu une extension concernent celles qui avaient disparu en 1998 dans la partie nord de la branche ouest abritée dans la baie. Cette recolonisation peut être la conséquence des campagnes de plantation de milliers de jeunes pousses de palétuviers réalisées par l'association « Tamia », associées à des pratiques de conservation et à la forte capacité de régénération dans cette zone. Pour les disparitions, elles concernent beaucoup les parties qui s'étaient développées en 1998 mais qui ont connu depuis un ensablement provoqué par une piste vers le village de Sarodrano, dans la partie en contact direct avec les dunes vives. Quant aux mangroves qui se sont maintenues, celles qui se sont densifiées se situent à proximité des mangroves qui se sont développées, tandis que les stables sont localisées beaucoup plus au centre. Les mangroves qui se sont dégradées se localisent surtout en arrière mangrove au niveau de la bande sableuse, même si la dégradation est présente un peu partout dans la zone (Figure 131).

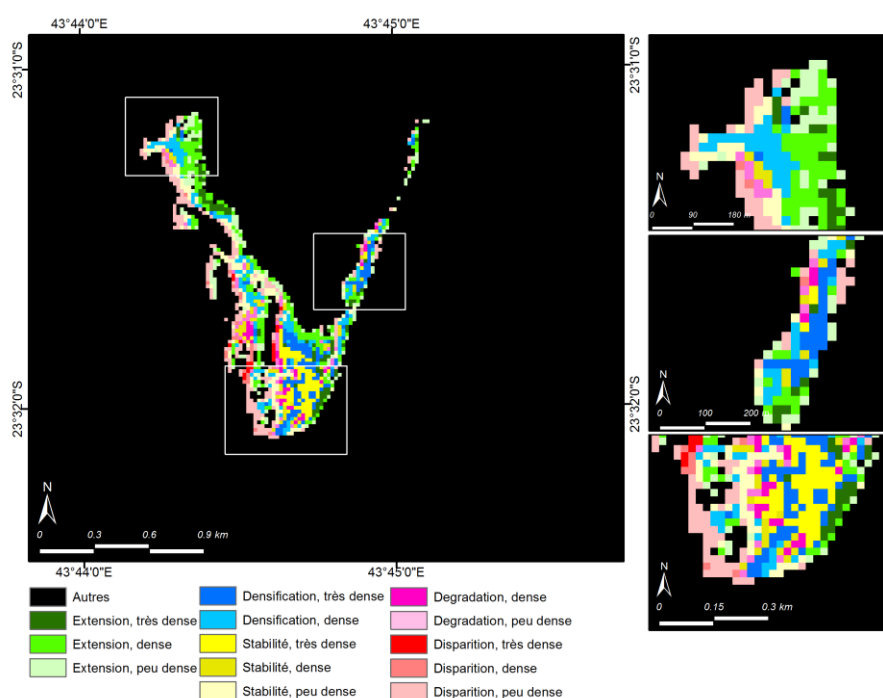


Figure 131 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Sarodrano entre 1998-2012
 (Source : Spot Image)
 (Andriatsiaronandroy, 2018)

L'analyse diachronique des sables vifs de la flèche de Sarodrano entre 1998 et 2012 montre une perte de surfaces de quelques 21.8 ha en 25 ans (Figure 132). Ils ont été remplacés par des vasières (11.6 ha) sur la lisère maritime de la partie sud de la flèche et parfois ils ont été végétalisés dans la partie nord-est de la flèche (14.4 ha). Cependant, la flèche sableuse s'est allongée vers le nord sur cette période.

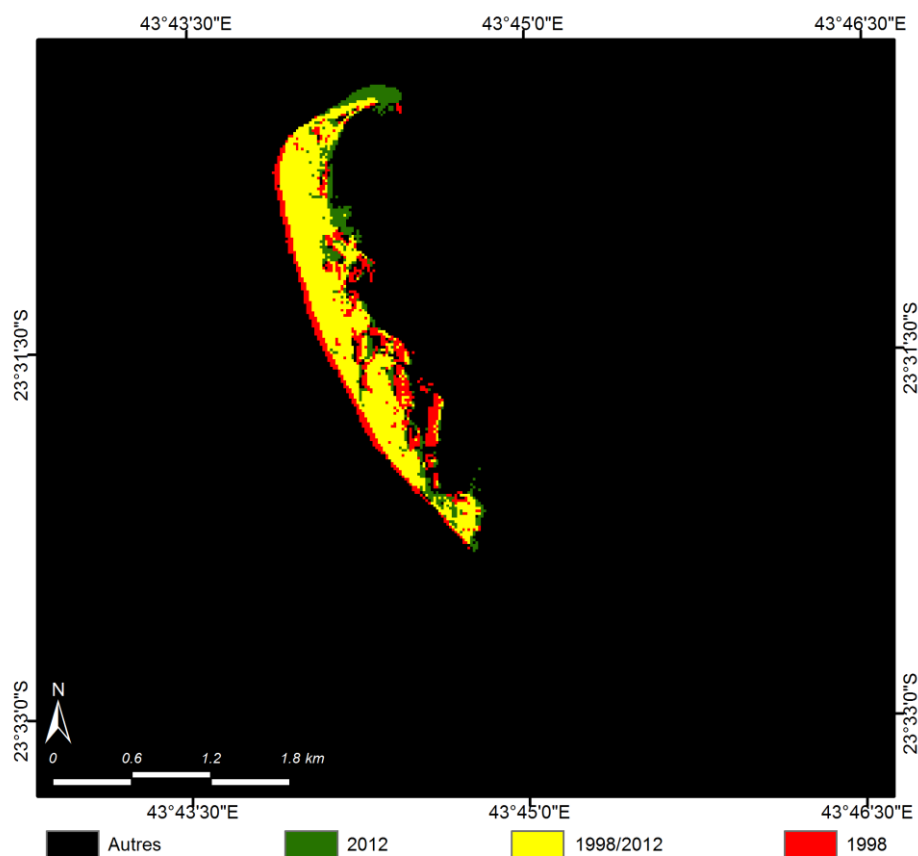


Figure 132 : L'analyse diachronique de la dune vive de Sarodrano entre 1998-2012
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

I.2.3 Les mangroves en régression

D'une manière générale, les deux sites d'Ambondrolava et d'Andriambe ont connu une dynamique d'évolution marquée par une nette perte de surface de la mangrove entre 1949 et 2012. Toutefois, en regardant de plus près, chaque site présente des tendances d'évolution différentes.

I.2.3.1 La mangrove d'Ambondrolava

Dans l'ensemble, la forêt de palétuviers d'Ambondrolava a perdu 40% de sa surface en 63 ans, indiquant une forte fragilité de ce site (Tableau XX).

Tableau XX : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Ambondrolava entre 1949-2012

	Disparition	Maintien			Extension	Surface totale (en ha)	Evolution globale
		Avec densité stable	Avec densification	Avec dégradation			
1949						278	
1949/1987	190.4		88.3*		66.1	154.4	↘
1987/1998	95	21	4.2	34.3	116.2	175.5	↗
1998/2012	108.4	42.2	14.7	10.4	102.4	169.6	↘

* : L'impossibilité de différencier des degrés de densité en 1949, en raison de la mauvaise qualité des photographies, ne permet pas de distinguer ces 3 classes.

Cette tendance régressive peut être divisée en trois phases : Une phase de régression très active, nette et forte de 124 ha environ entre 1949 et 1987, une phase de progression plus lente entre 1987 et 1998 et enfin une nouvelle phase régressive plus lente entre 1998 et 2012 (Figure 133).

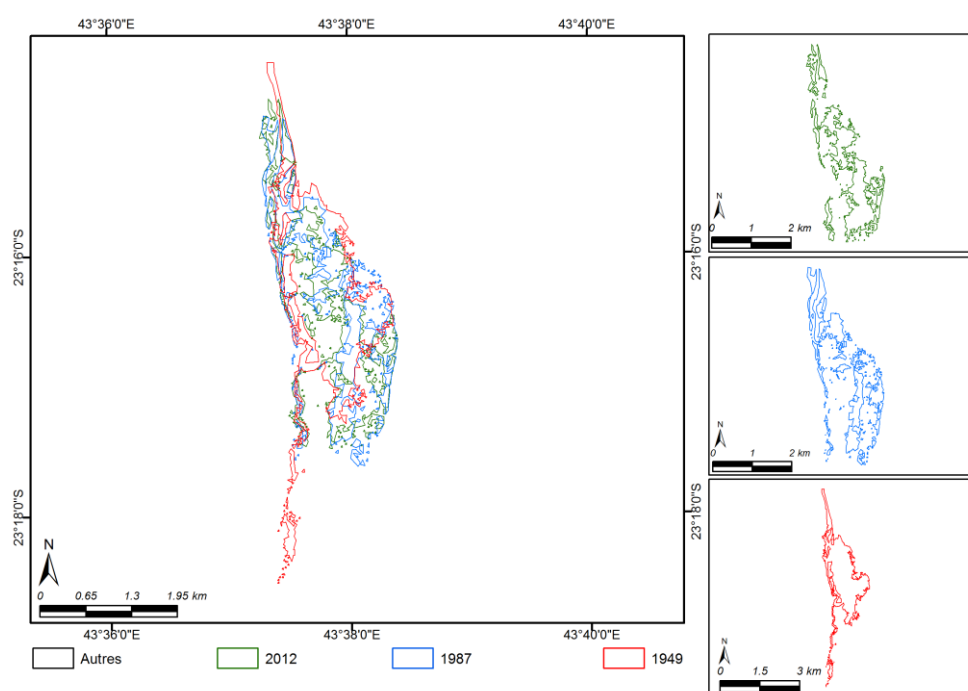


Figure 133 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Ambondrolava (1949-1987-2012) (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Comme celle de Manombo-Fitsitike en 1949, la mangrove d'Ambondrolava avec ses 278 ha était nettement plus importante qu'aujourd'hui, conséquence peut être de la quasi-

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

absence de pressions anthropiques et malgré la présence de quelques surélévations dunaires occupées par des fourrés. Les mangroves arrivaient notamment jusqu'au nord de l'embouchure du fleuve Fiherena, concentrées le long du bras de mer étroit qui les reliaient à la marée. Elles étaient composées de peuplements assez massifs.

Entre 1949 et 1987, la dynamique générale de la mangrove observée montre une régression nette et forte de 124 ha environ. Plus précisément, 190.4 ha de mangrove ont disparu (une moyenne annuelle de disparition de 5 ha) compensés par 66,1 ha de nouvelle mangrove (Figure 134). Ces évolutions se structurent avant tout du nord vers le sud et du centre vers la périphérie des peuplements. L'évolution correspond aussi à un morcellement des peuplements.

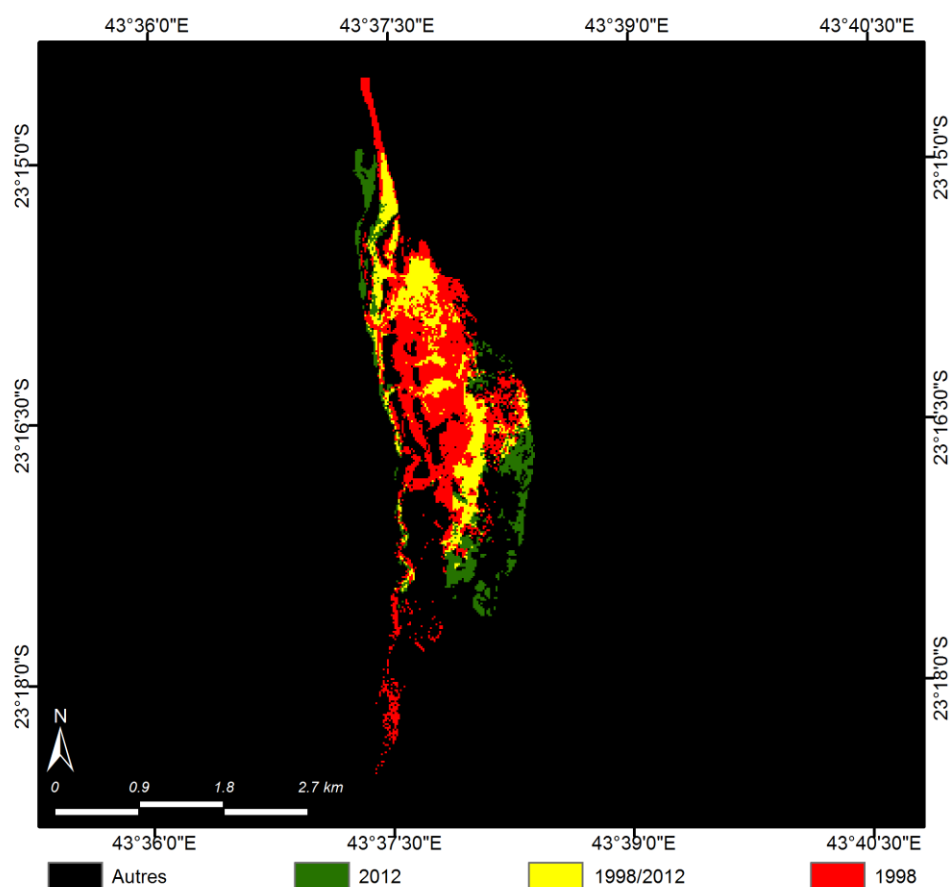


Figure 134 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Ambondrolava entre 1949-1987
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Les disparitions se situent à la fois aux deux extrémités nord et sud de ce peuplement, mais également dans sa partie interne. Elles résultent de l'association de pressions anthropiques liées aux ponctions de la population environnante ainsi qu'à des pressions naturelles, ce qui correspond à quelques 129 ha de formation sableuse, de

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

typha..., 8 ha occupés par l'eau et 52 ha devenus vasières. Cependant, il y a parallèlement une progression de 66.1 ha dans la partie nord-ouest au niveau de l'embouchure du bras de mer, et au sud-est dans des zones alimentées en eau douce par des résurgences. Ces nouvelles mangroves se sont développées pour 18 ha sur des vasières, 10 ha sur des zones en eau en 1949, mais correspondant probablement à des vasières couvertes par la marée, et 5 ha sur des zones qui correspondaient à des formations sableuses vives en 1949. Cependant cela ne signifie pas que les palétuviers aient directement colonisé les formations sableuses. En effet, la flèche sableuse d'Ambondrolava montre une dynamique très active pas forcément linéaire. Son analyse diachronique indique un net accroissement de sa surface de 127 ha environ entre 1949 et 1987 avec un déplacement de 1,4 km environ de sa pointe vers le nord, soit 36 mètres par an en moyenne, mais également une translation vers l'ouest (Figure 135). Les zones sableuses qui étaient vives en 1949, mais ne le sont plus en 1987 ont été végétalisées par des espèces de fourré xérophile.

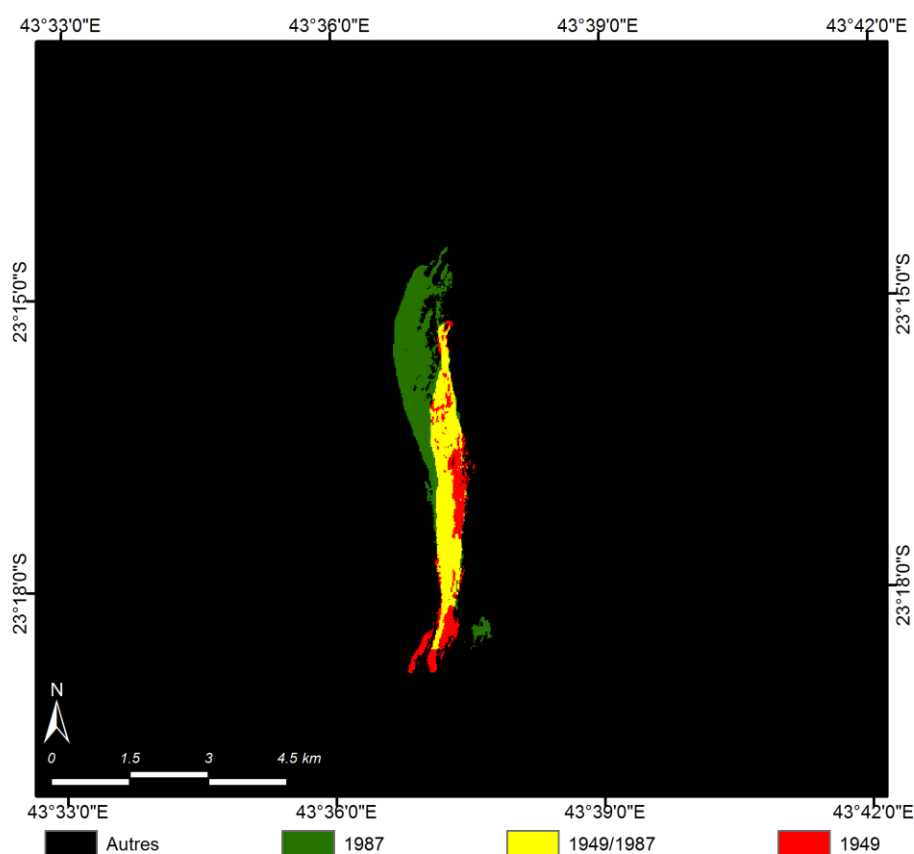


Figure 135 : L'analyse diachronique de la flèche sableuse d'Ambondrolava entre 1949-1987
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Le développement de cette flèche sableuse explique la disparition de 7 ha de mangrove sur cette période. Cette nette accrétion est à relier, comme sur le site de Manombo-Fitsitike, aux apports sédimentaires du fleuve Fiherena résultant de l'érosion intense de son bassin versant.

La dynamique d'évolution des mangroves entre 1987 et 1998 met en évidence une progression générale de 21.2 ha environ dans le site d'Ambondrolava (Tableau XXI). Si une structuration apparaît de part et d'autre du chenal de marée, et en partie du nord au sud et centre-périphérie, les changements sont surtout globalement dispersés sur tout le site.

Tableau XXI : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ambondrolava en 1998 par rapport à 1987

1998	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	100.6	10.3	-	32.9
Dense	10.6	9.4	0.9	1.4
Très Dense	4.9	1.2	3.2	-
Total	116.1	20.9	4.1	34.3

En regardant de plus près, la dynamique d'évolution de ce site est le résultat de la combinaison d'une extension de 116 ha environ, dont 86.6% de mangroves peu denses qu'on trouve dans l'ensemble des peuplements (les 27.2 ha restants denses et très denses sont localisés le long du chenal de marée et au cœur de la zone), et d'une disparition de 95 ha (72 ha pour les mangroves peu denses) particulièrement au sud-est, à proximité de la RN9 (la destruction augmente d'une manière inversement proportionnelle par rapport à la distance à la RN9). Par ailleurs, 34.3 ha de mangroves se sont dégradés sur l'ensemble de la zone dans une position plus spécifiquement intérieure. En ce qui concerne le maintien, 21 ha de mangrove sont restés stables entre ces deux dates, plutôt dans la partie centrale du site, dont 1.2 ha de mangrove très dense dans le nord, 10.3 ha de mangrove peu dense et 9.4 ha de mangrove dense au sud. Enfin, pour les quelques mangroves qui se sont densifiées (4.2 ha), ont été localisés dans la partie nord le long du chenal de marée, mais sans être en contact direct avec celui-ci (Figure 136). De manière générale, le morcellement des peuplements s'est encore accentué.

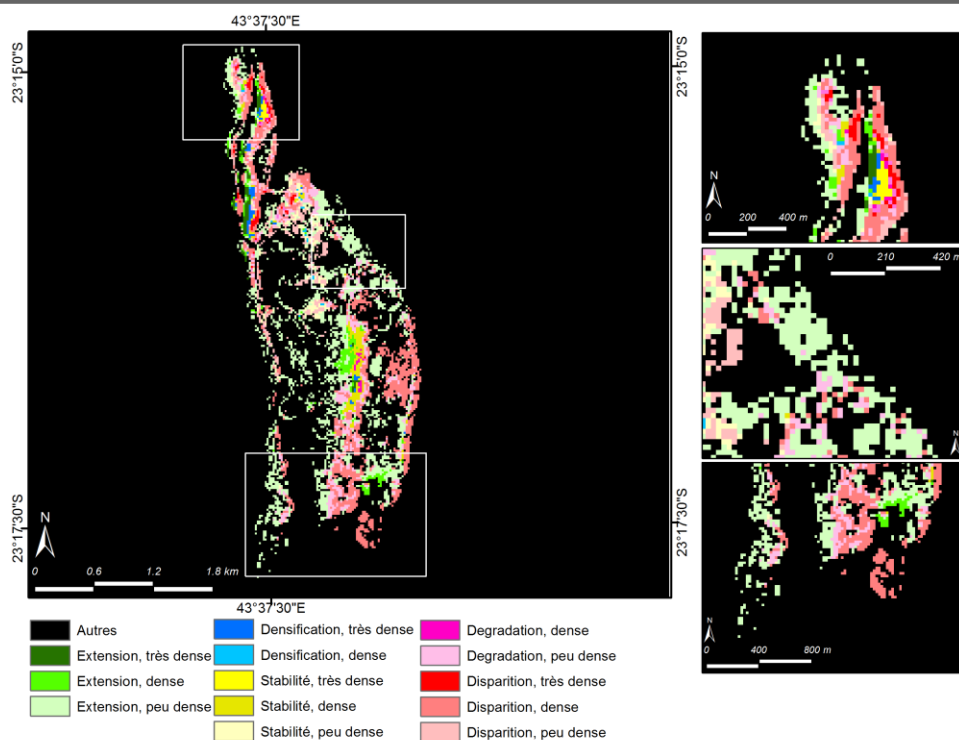
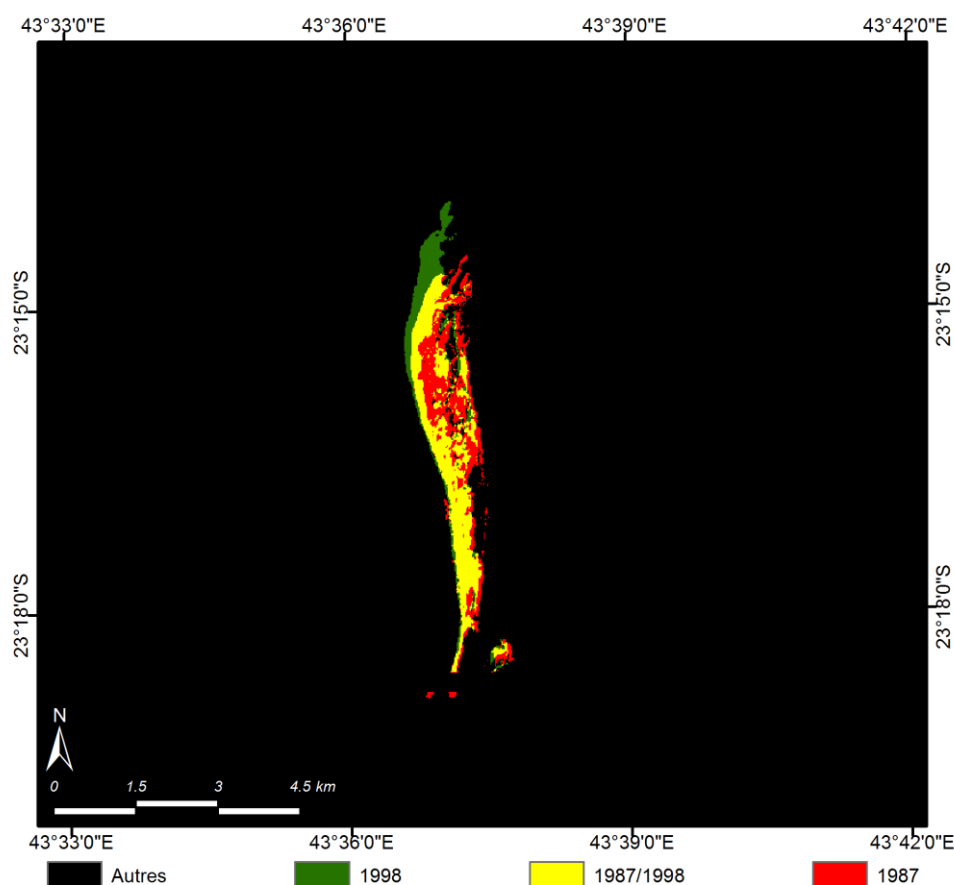


Figure 136 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove entre 1987-1998 (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Entre 1987 et 1998, ces évolutions sont en grande partie liées à la dynamique de la flèche sableuse. En effet, même si l'analyse diachronique des formations sableuses vives d'Ambondrolava révèle une diminution de leur surface de 77.3 ha (137), surtout par végétalisation de la dune vive nue (178 ha), par contre la pointe de la flèche s'est développée de 1 km vers le nord et s'est décalée vers l'ouest. En outre, le déplacement de la langue de sable de direction nord-est conduit à l'obstruction de l'eau de mer.



**Figure 137 : L'analyse diachronique des dunes vives entre 1987-1998 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

La période suivante 1998-2012, est caractérisée par une dynamique d'évolution régressive de la mangrove d'Ambondrolava avec un recul de 6.2 ha de sa surface initiale (Tableau XXII), valeur moyenne beaucoup plus faible par rapport à la période 1949-1987.

Tableau XXII : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ambondrolava en 2012 par rapport à 1998

2012	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	74.3	33.6	-	8.3
Dense	25.9	8	12.9	2.1
Très Dense	2.9	0.5	1.8	-
Total	102.4	42.1	14.7	10.4

Cette situation est liée à une combinaison complexe engendrée par une forte disparition (108 ha dont 96 ha de mangroves qui étaient peu denses), compensée par une extension de 102 ha (dont 74.3 ha de mangrove peu dense et 25.9 ha dense) et associée au maintien de 67.2 ha de mangroves.

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Les zones où la mangrove a disparu sont localisées dans la partie nord à proximité de la RN9, à cause de l'implantation de salines.

Les zones ayant connu une extension sont localisées dans celles où les mangroves avaient disparu en 1998. Cette extension est le résultat direct de l'effort de reboisement réalisé par l'association « Honko », ainsi que de bonnes capacités de régénération naturelle en partie liées à la présence de résurgences d'eau douce qui pallient la fermeture du bras de mer et favorisent l'épanouissement d'espèces telles que *Lumnitzera racemosa*.

Pour les mangroves maintenues, elles se composent de mangroves stables (42.2 ha) ayant avant tout une densité faible (33.6 ha) et se trouvant sur l'ensemble de la mangrove et au cœur du site, de mangroves qui se sont dégradées (10.4 ha) dont 83% qui étaient denses en 1998 et sont peu denses aujourd'hui et localisées à proximité du grand chenal, et enfin de mangroves qui se sont densifiées (14.7 ha) dont 13 ha sont des mangroves denses localisées au centre de la mangrove : une position qui rend difficile l'accès à la zone, et réduit donc les pressions anthropiques, mais les mangroves y sont alimentées par des chenaux de marée secondaires (Figure 138). Les peuplements sont par ailleurs toujours fortement morcellés.

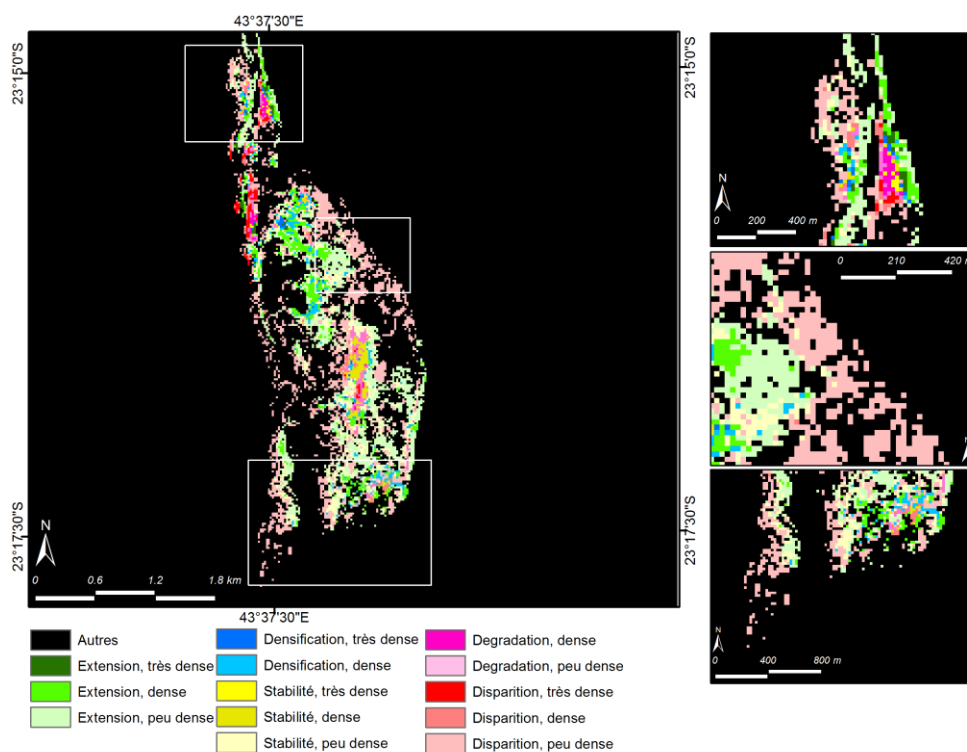
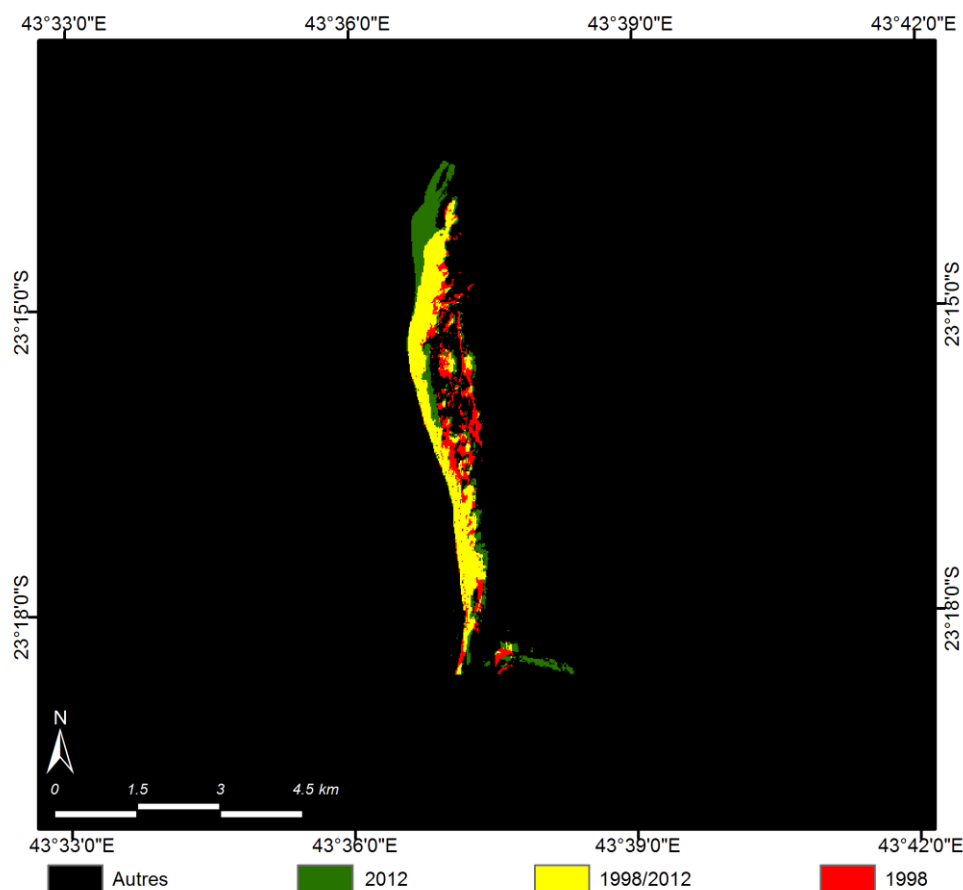


Figure 138 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Ambondrolava entre 1998-2012
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

Ces évolutions sont en partie liées à celle de la flèche sableuse d'Ambondrolava dont l'analyse diachronique entre 1998 et 2012 révèle une nouvelle progression de 41.1 ha (Figure 139) avec un déplacement vers le nord de 0,75 km environ de sa pointe, soit 30 mètres par an en moyenne.



**Figure 139 : L'analyse diachronique des dunes vives entre 1998-2012 (Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

I.2.3.2 La mangrove d'Andriambe

De manière générale, entre 1949 et 2012, la mangrove d'Andriambe a connu une importante perte de surface d'environ 15 ha soit une perte de plus de 50% de sa surface initiale (Tableau XXIII). Cette tendance régressive en 63 ans peut être divisée en deux phases :

- Une phase de développement très active de 19.4 ha entre 1949 et 1987
- Une phase de régression rapide entre 1987 et 2012

Tableau XXIII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Andriambe entre 1949-2012

	Disparition	Maintien			Extension	Surface totale (en ha)	Evolution globale
		Avec densité stable	Avec densification	Avec dégradation			
1949						28	
1949/1987	6.3		22.1*		25.2	47.4	↗
1987/1998	25.9	13	4.2	4.2	6.1	27.5	↘
1998/2012	16.5	4.5	0.7	5.8	1.8	12.9	↘

* : L'impossibilité de différencier des degrés de densité en 1949, en raison de la mauvaise qualité des photographies, ne permet pas de distinguer ces 3 classes.

De premier abord, c'est la partie nord de cette petite mangrove qui se transforme rapidement et fréquemment à la fois. Installée dans le lit du fleuve Onilahy et en contact direct avec lui, cette zone est soumise à une importante érosion des berges à chaque crue qui génère ces transformations brutales. Les mangroves de ce site sont également contraintes par la falaise calcaire au sud qui ne leur permet pas de s'épanouir au-delà de cette falaise même. Cependant, la mangrove d'Andriambe montre également une forte résilience, en se reconstituant après chaque période de destruction (Figure 140).

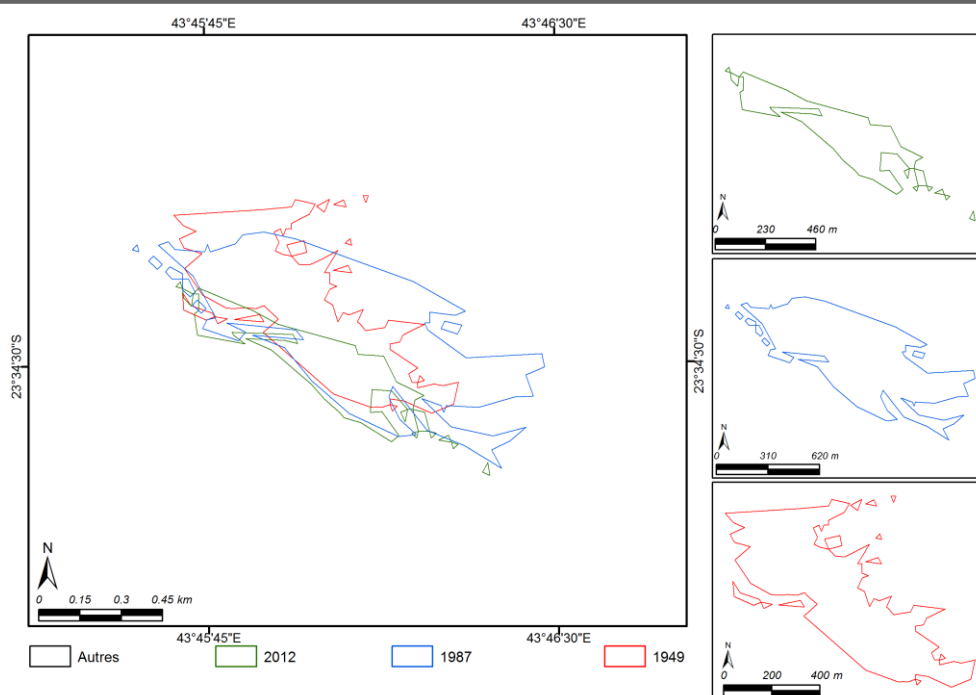


Figure 140 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Andriambe (1949-1987-2012) (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

En 1949, le site d'Andriambe s'étendait sur une surface d'environ 28 ha. Des pieds de palétuviers existaient sur la partie nord-ouest mais ont disparu depuis.

Entre 1949 et 1987, la dynamique de cette mangrove montre une progression globale de 18 ha, combinant une colonisation de 24.9 ha par de nouvelles mangroves dans sa partie nord-est, en direction de l'Onilahy et une disparition de 6.9 ha (dont 4 ha sont remplacés en 1987 par de l'eau) vers le Canal de Mozambique (Figure 141). Au-delà de la capacité de résilience de cette mangrove, l'importance de la surface développée sur cette période a été favorisée par la quasi-absence de pressions anthropiques. Il est à noter que c'est la partie centrale qui est la plus stable avec une surface d'environ 22.1 ha.

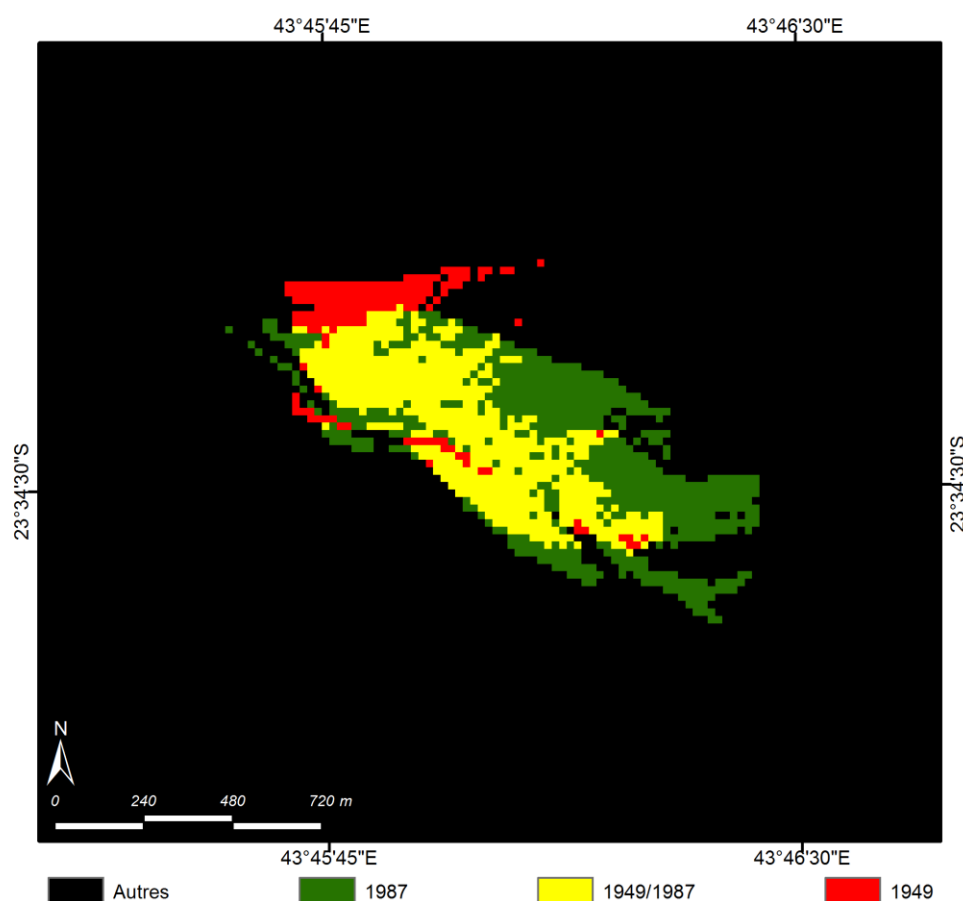


Figure 141 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Andriambe entre 1949-1987 (Source : Spot Image) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Contrairement à la période précédente, la dynamique d'évolution entre 1987 et 1998 des formations à palétuviers d'Andriambe montre une forte régression générale de 20 ha environ, résultant de 26 ha de disparition, de 21.4 ha de maintien et néanmoins de 6.1 ha d'extension (Tableau XXIV).

Tableau XXIV : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Andriambe en 1998 par rapport à 1987

1998	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	2.1	0	-	2.9
Dense	1.4	1.5	0	1.4
Très Dense	2.6	11.5	4.2	-
Total	6.1	13	4.2	4.2

La disparition concerne principalement des mangroves très denses sur 17.4 ha qui se localisaient au nord à l'intérieur même du lit de l'Onilahy (16.2 ha sont remplacés en 1998 par de l'eau) tandis que les zones d'extension se trouvent plutôt au sud au pied de la falaise sur 4.92 ha. Contrainte dans cet espace restreint, la mangrove diminue de densité au fur et à

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

mesure qu'on s'approche de la falaise. Pour les mangroves maintenues, celles qui sont restées stables (13 ha), avant tout très denses, et celles qui se sont densifiées entre ces deux dates sont concentrées dans la partie centrale. Les mangroves qui se sont dégradées se trouvent entre les mangroves disparues et les mangroves stables et surtout le long des chenaux à l'intérieur des peuplements (Figure 142).

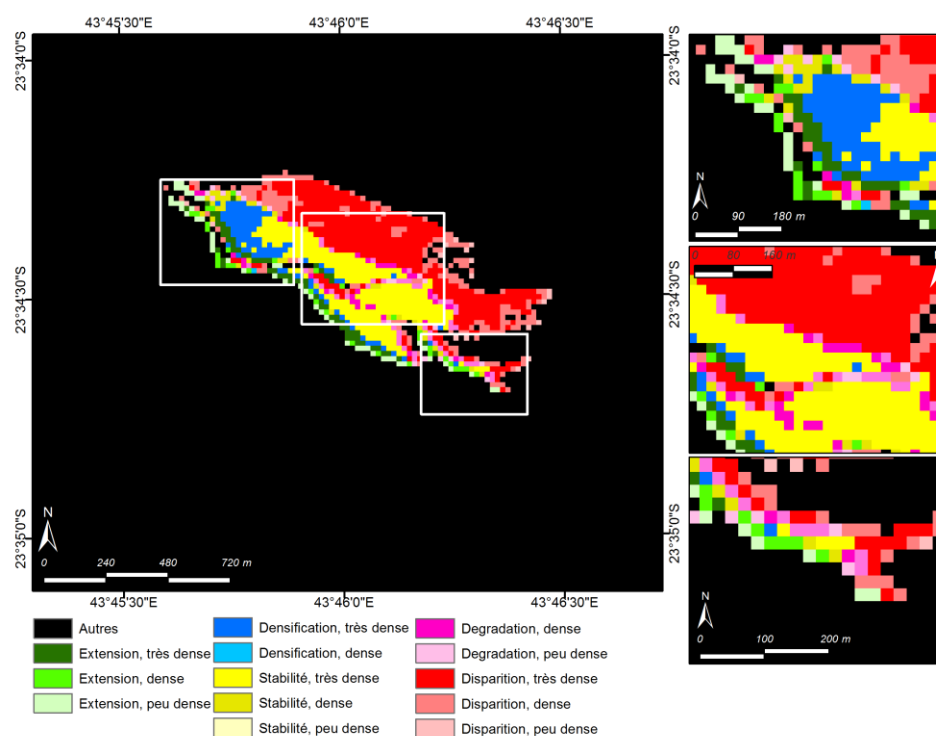


Figure 142 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Andriambe entre 1987-1998
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

Dans la continuité de la période précédente, la dynamique d'évolution entre 1998 et 2012 est caractérisée par une régression de 14.6 ha, soit une perte de plus de 50% de sa surface de 1998 (Tableau XXV).

Tableau XXV : L'analyse diachronique de densité de la mangrove d'Andriambe entre 1998-2012

2012	Extension	Maintien		
		Stabilité	Densification	Dégradation
Peu Dense	1.2	0.6	-	2.4
Dense	0.6	0.8	0.3	3.4
Très Dense	0.1	3.1	0.4	-
Total	1.9	4.5	0.7	5.8

TROISIÈME PARTIE - Les résultats

En réalité, cette évolution est composée d'une extension de 1.8 ha (avec une forte capacité de régénération naturelle le long des chenaux de marée à l'intérieur du peuplement), un maintien de 11 ha, et une disparition de 16.5 ha de palétuviers. La disparition concerne surtout les mangroves très denses (9.9 ha) de la façade fluviale, résultant de l'érosion des berges en 1998, dans la continuité de ce qui s'était produit durant la période précédente. Les zones d'extension, même si elles restent faibles et composées de mangrove à densité faible, se localisent surtout le long du chenal de marée principal, indiquant la bonne capacité de régénération de ce site lorsque la zone est protégée de l'érosion par les crues de l'Onilahy. Pour les mangroves maintenues, elles sont dominées par des mangroves dégradées (5.8 ha) localisées dans la partie sud, du côté de falaise, alors que les mangroves stables (4.5 ha) et les mangroves qui se sont densifiées (0.7 ha) sont situées beaucoup plus dans la partie centrale et occidentale de la mangrove (Figure 143), ces mangroves stables se trouvent être les plus abritées de l'érosion.

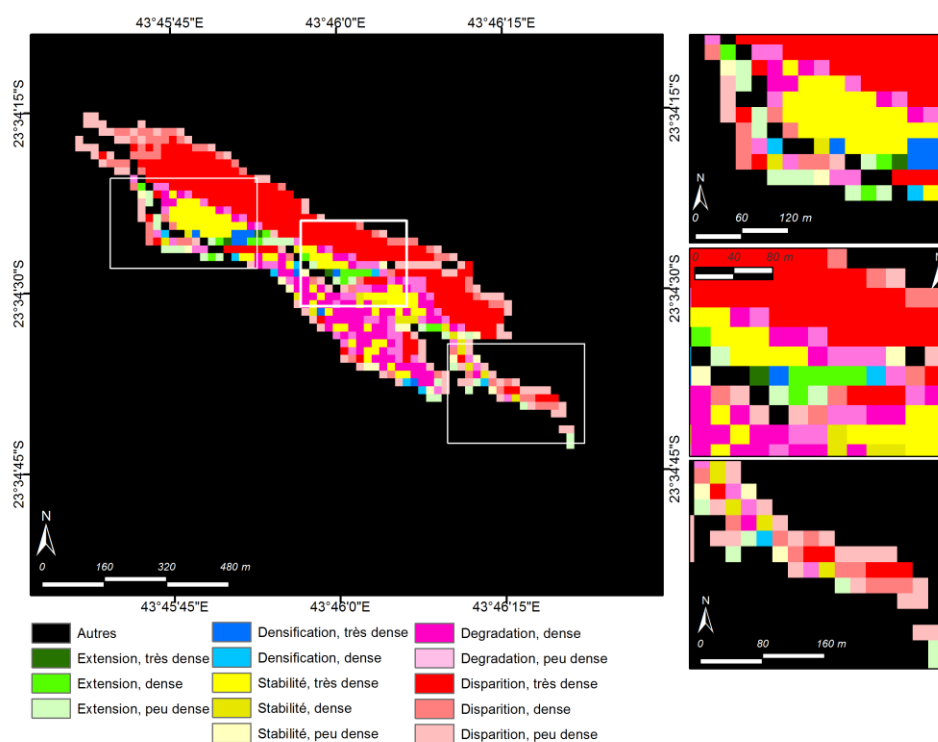


Figure 143 : L'analyse diachronique de densité de la mangrove d'Andriambe entre 1998 et 2012
(Source : Spot Image)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

La dégradation est soit engendrée par la ponction de la population d'Andriambe, soit par la mort sur pieds des gros individus dans cette partie.

Ce deuxième et dernier sous chapitre de la partie diagnostics et évolution a permis de montrer qu'à rebours des représentations les plus fréquentes de régression de la mangrove, les évolutions observées n'ont rien de linéaires à l'échelle de la région et ne rime en aucun cas avec une disparition systématique. Les régressions se concentrent sur quelques sites et seulement sur certaines périodes. Il est aussi important de ne pas seulement se focaliser sur l'évolution des surfaces, mais de prendre en compte aussi les variations de densité. Ainsi, compte tenu des résultats et devant ces dynamiques d'évolution aussi diversifiées dans le temps, il apparaît donc essentiel aujourd'hui de préconiser que chaque site fasse l'objet d'une approche personnalisée pour aider à résoudre de la façon la plus judicieuse les problématiques.

Chapitre II. Discussion

Dans le monde entier, la plupart des auteurs semble avoir adopté un point de vue commun au sujet des mangroves : bien que leur valeur soit inestimable, les mangroves mondiales ont subi un déclin alarmant sur les continents où elles se trouvent. Elles ont disparu plus rapidement que les récifs coralliens et les forêts tropicales terrestres, mais n'ont pas attiré pour autant l'attention publique ou politique (Valiela *et al.*, 2001). En 2000, Field a affirmé que les forêts de mangroves diminuaient de façon spectaculaire et bien que dans certaines régions du monde elles continuent d'être des forêts très étendues, la perte de mangroves a été importante au cours des dernières décennies (Spalding, 1998 ; Alongi, 2002 ; Nagelkerken *et al.*, 2015) et, en moyenne, les mangroves disparaissent trois à cinq fois plus vite que les autres forêts (PNUE, 2014). Cela fait d'elles l'un des écosystèmes qui décline le plus rapidement sur notre planète, et une grande partie de ce qui reste se trouve dans un état dégradé. On estime que la perte de forêts de mangroves originelles atteindrait 35% et pourrait atteindre 60% d'ici à 2030 (Valiela *et al.*, 2001 ; PNUE, 2006 ; Alongi, 2012) si les tendances actuelles ne sont pas modifiées.

Eu égard à ces affirmations, la dynamique qui prévaut dans le sud-ouest malgache semble être plus compliquée et ne peut être généralisée à l'ensemble des mangroves de Madagascar et mondiales. Ainsi, les cartes d'évolution des mangroves de la région de Toliara entre les périodes de 1949, 1987, 1998 et 2012 montrent une dynamique plus complexe que ce à quoi on pouvait s'attendre, notamment non linéaire et en dents de scie. Dans un premier constat, nous avons mis en évidence qu'à l'échelle de la région, les scénarios d'évolution propres à chacun des 5 sites sont surtout marqués par une alternance de phases de régression, de stabilité et de progression. Cependant, que ce soit en progression ou en régression, une perte se compense par une extension, manifestant ainsi un phénomène de translation ou de relocalisation. Le second constat que l'on peut faire est la nécessité d'analyser également les questions de densités des mangroves, car même si la surface d'une mangrove reste stable entre 2 périodes, elle peut s'être densifiée ou dégradée. Ce critère du milieu indique l'état de santé des mangroves d'une manière générale, et offre une information non négligeable sur leur évolution.

Après avoir pris en considération la difficulté d'œuvrer pour atteindre l'objectif qu'est la caractérisation de ces mangroves de la région de Toliara, en y associant leur dynamique durant les soixante-dix dernières années, l'originalité de ce travail a été de nous appuyer en premier lieu sur des travaux de terrain conséquents afin d'inventorier les essences, les coupes, les jeunes pousses, les morts sur pied, etc. et de disposer ainsi d'une banque de données fiables, et en deuxième lieu, de la coupler avec des traitements d'images satellites et aériennes. Les résultats des traitements de ces images donnent des informations spatiales sur l'occupation du sol en mettant en évidence les différents types de mangroves et leur évolution avec l'opportunité de revenir jusqu'à 70 ans en arrière.

Néanmoins, ce travail n'est pas parfait pour plusieurs raisons : primo, relativement à la télédétection, la diversité des résolutions des images satellites disponibles a nécessité des rééchantillonnages dégradants dont les plus précis sont à 10 m de 2014 par rapport aux dates antérieures (2012 à 1987) qui sont à 20 m (comme la résolution utilisée par Afidégnon *et al.* en 1999). Même si d'autres auteurs ont combiné de cette manière des données de natures différentes comme Green *et al.* (1997), Rasolofoharinoro *et al.* (1998) avec des scènes Landsat TM (30*30 m. de résolution) et Spot 3 (20*20 m), ou Ramsey et Laine (1997) utilisant des photographies aériennes associées à des données Landsat TM, ou Andriamalala (2007) qui a utilisé des images Landsat MSS de 1973 à 73 m de résolution et Landsat TM de 2003 à 30 m associées avec des images Aster de 2004 et 2005, cela ne garantit pas la précision des résultats. En effet, cette diminution de la précision fait perdre de l'information et relativise donc les résultats qui sont à utiliser avec précaution. Et secundo, une autre des faiblesses de cette étude réside dans le fait que certains critères n'ont pas pu être collectés lors des campagnes de terrain ou aussi de manière insuffisante, par manque de ressources, de temps ou de méthodologie inapplicable. C'est le cas pour le recouvrement et la densité des peuplements. Il faut aussi mentionner le prélèvement et l'analyse de carottes de substrat qui n'ont pas été réalisés sur l'ensemble des transects, et les mesures de salinité et du pH qui n'ont été que ponctuelles dans le temps et dans l'espace alors qu'elles auraient dû être entreprises d'une manière continue. Enfin, l'un des éléments qui a fait défaut dans ce travail est l'absence d'informations fiables et localisées concernant les reboisements de mangroves dans la région, qui auraient pu nous aider dans la compréhension de l'évolution de certaines surfaces de mangroves dans la même région.

Les mangroves de la région de Toliara montrent également des évolutions très contrastées. Elles sont très dynamiques, puisque la surface boisée varie beaucoup (régression et progression) entre deux ou plusieurs périodes, et même si parfois la surface reste stable d'une manière générale, une observation minutieuse révèle qu'elles n'occupent pas le même espace à des dates différentes. D'ailleurs, une mangrove peut garder la même surface entre plusieurs années mais jamais la même forme. Les mangroves se trouvent en perpétuel changement, que ce soit du fait d'une destruction irréversible ou d'un développement grâce à une santé florissante.

La qualification de progression affectée à la mangrove d'un site peut être liée à deux situations : la présence de nouveaux pieds de palétuviers, quelle que soit leur densité (à noter qu'une mangrove peu dense ne signifie pas obligatoirement dégradation) et/ou la densification des mangroves qui sont déjà présentes. La qualification de régression d'une mangrove correspond à la disparition des palétuviers et/ou la dégradation des mangroves qui sont déjà présentes. Par contre, quelle que soit la tendance d'évolution des mangroves, il est important de signaler que, la plupart du temps, elles sont toujours caractérisées par une combinaison entre disparition, développement, stabilité, densification et dégradation. Les facteurs de ces évolutions sont également variés et se combinent dans l'espace et dans le temps, expliquant cette complexité.

Cependant, il est nécessaire de préciser que l'analyse spatiale de ces changements fait apparaître des dynamiques complexes qui ne peuvent être que difficilement appréhendées et généralisées à l'échelle des mangroves de la Grande Ile. Les éléments que nous développons ci-dessous sont valables avant tout à l'échelle régionale où les conditions écologiques et climatiques sont relativement homogènes.

II.1. Les dimensions anthropiques et naturelles des pressions sur les mangroves

Pour Giri *et al.* (2015), les mangroves sont menacées par deux principaux stress : naturels et anthropiques. Dans la région de Toliara, il faut préciser que ces forçages ne se traduisent pas uniquement par des régressions, mais viennent expliquer les dynamiques d'évolution de manière plus générale. Il est donc important de bien cerner ces différents éléments de stress et de montrer leur impact sur les dynamiques d'évolutions des mangroves dans le sud-ouest malgache et dans les cinq sites étudiés.

Les types d'évolutions dans la région montrent que les pressions naturelles jouent un grand rôle dans la dynamique de ces écosystèmes, soit en se traduisant par leur disparition, soit en favorisant leur colonisation de nouveaux milieux. Si d'autres changements sont, quant à eux, liés à l'action de l'homme, en réalité ces deux pressions agissent ensemble la plupart du temps.

II.1.1 La dimension anthropique des pressions sur les mangroves

L'homme exerce des actions multiformes qui peuvent être incontrôlées et irrationnelles, engendrant des pressions sur les écosystèmes de mangrove et pouvant contribuer fortement à leur recul. La côte sud-ouest de Madagascar, comme pour la plupart des littoraux, concentre de nombreuses activités qui ont un lien direct avec la mer et peuvent aller jusqu'à son exploitation abusive. Les palétuviers sont ainsi utilisés par les autochtones depuis de nombreuses générations, toutefois cette utilisation s'est accentuée à cause de l'appauvrissement de la population. Les statistiques officielles affirment que 80,1% de la population de la Région vivait en dessous du seuil de pauvreté en 2012 (Enquête Nationale sur le Suivi des Objectifs du Millénaire pour le Développement à Madagascar) et que les taux d'incidence de la pauvreté en milieu urbain et rural sont respectivement de 65.9% et 87.4% dans la Région Sud-ouest (Tableau du Bord Environnemental de la Région Atsimo-Andrefana, 2013, selon l'INSTAT). Par ailleurs, des populations issues de l'intérieur de la Grande Ile se laissent attirer par le littoral et ses apparentes potentialités générant un exode rural important qui peut se traduire par la surexploitation des littoraux, leur dégradation, pollution et enfin épuisement. En outre, l'espace littoral fait l'objet de nombreuses et importantes mutations économiques et sociales, dont l'accroissement de la population. En effet, selon l'INSTAT, la population de la zone côtière de la région du Sud-ouest est passée de 466 352 personnes en 1993 à 894 885 en 2016. Elle a donc presque doublé en l'espace de 23 ans, avec parallèlement l'apparition de nouvelles formes de pratiques et d'utilisation des terres (installations hôtelières, extraction minière d'ilménite par exemple, ...) qui viennent s'ajouter à de nouveaux enjeux et défis comme le changement climatique. D'un autre côté, les mangroves malgaches évoluent aussi en étroite relation avec cet accroissement des populations quelles que soient leurs origines et leurs activités.

II.1.1.1 Une population en augmentation exerçant des pressions croissantes

La variable démographique, à Madagascar comme ailleurs, est souvent présentée comme étant à l'origine de la pauvreté et de la dégradation de l'environnement (Gastineau et Sandron, 2006). En général, la population du sud-ouest malgache a augmenté de 187.4% entre 1993 et 2015 (Tableau XXVI).

Tableau XXVI : L'évolution du nombre d'habitants dans la région du Sud-ouest et en zone côtière entre 1993 et 2015

Année	Population de la Région	Population en zone côtière	Source
1993	741 234	466 352	INSTAT/TBE 2013
2000	906 791	570 506	INSTAT/TBE 2013
2005	1 037 260	652 590	INSTAT/TBE 2013
2010	1 214 262	782 234	INSTAT/TBE 2016
2015	1 388 972	894 885	INSTAT/TBE 2016

Mais pour le district de Toliara I en particulier, la démographie galopante résultant de l'exode rural a fait passer la population de 20 000 habitants environ en 1930 (Fauroux et Koto, 1993) à 327 184 habitants en 2015 (INSTAT 2016), soit une augmentation de 1630% (Tableau XXVII). A beaucoup d'égards, ces augmentations de la population, que ce soit dans l'ensemble de la région ou au niveau de la commune urbaine de Toliara I, associées à l'absence de nouvelles technologies et à l'insuffisance des moyens innovants de production de l'énergie (malgré la présence de l'ADES ou Association du Développement de l'Energie Solaire, la seule entreprise qui fabrique des fours et des paraboles solaires), ainsi qu'à la pauvreté de la plupart de la population malgache (Selon la résolution du Parlement Européen sur Madagascar en 2017 : « considérant que la grande île est l'un des endroits les plus exceptionnels de la planète en termes d'environnement, mais aussi le pays en paix le plus pauvre du monde, avec 92 % de la population vivant avec moins de 2 dollars des Etats-Unis par jour, et qu'il figure à la 154^e place sur 188 pour l'indice de développement humain »), génèrent un accroissement des besoins en ressources forestières collectées sur les palétuviers, surtout lorsque les fourrés ne renferment plus suffisamment de ressources. Evidemment, les ressources de mangrove ont été exploitées traditionnellement à Madagascar pour la fourniture du bois de construction, pour les besoins de la médecine traditionnelle et pour la collecte des crabes, des poissons et du bois de chauffe, mais la

brusque augmentation de la population des zones côtières est venue rompre des équilibres qui avaient pu se mettre en place durant les siècles précédents. Cet accroissement de la population est notamment lié aux flux migratoires de diverses origines importants dans cette région puisque l'arrière-pays est parfois très montagneux, beaucoup plus aride et où règne surtout une insécurité grandissante et inadéquate pour les activités agricoles et l'élevage. A tous ces phénomènes vient s'ajouter la fermeture des industries du secteur textile de la Région comme les Sumatex (Sud Madagascar Textile) et Hasyrna (Hasy Malagasy) qui ont cessé leurs activités, provoquant la perte de plusieurs milliers d'emplois et le déplacement des personnes qui y ont travaillé. Une telle catastrophe économique provoque aussi des changements dans l'occupation du sol (apparition de zones de pâturage dans la ville et à proximité des mangroves, transformation de la culture de coton en culture de manioc).

Tableau XXVII : L'évolution du nombre d'habitants dans le district de Toliara I entre 1930 et 2015

Année	Toliara I	Source
1930	Env. 20 000	Fauroux et Koto, 1993
1960	Env. 30 000	Fauroux et Koto, 1993
1970	Moins de 40 000	Fauroux et Koto, 1993
1975	46 000	Fauroux et Koto, 1993
1991	150 000	Houssay-Holzschuch M. (1994)
1993	162 822	INSTAT/TBE 2016
2000	199 187	INSTAT/TBE 2016
2010	286 030	INSTAT 2016
2013	374 700	INSTAT/TBE 2013
2015	327 184	INSTAT 2016

Cette augmentation de la population s'est traduite par l'occupation croissante du littoral et l'extension de certains villages côtiers qui aboutit à la construction d'habitations aux alentours des mangroves. En vue de satisfaire les besoins en surfaces habitables et utilisables sans cesse en augmentation, les mangroves sont défrichées pour en faciliter l'accessibilité et l'exploitation. Les alentours des mangroves sont ainsi utilisés pour la construction des maisons, le remblayage des routes ou la création d'infrastructures hôtelières qui ne sont pas toutes de haut de gamme.

Enfin, le recul des mangroves peut également résulter de l'implantation d'infrastructures hôtelières (Figure 144) ou de l'occupation anarchique de plages publiques par des gens fortunés dans le but d'aménager des sites d'accueil touristique. Toutes ces activités contribuent au déséquilibre de cet écosystème.



Figure 144 : Une infrastructure hôtelière (l'Hôtel Restaurant Résidence Eden Écolodge) à Sarodrano (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.2 Des prélèvements croissants de bois de feu et de bois d'œuvre

Le bois de palétuviers a toujours été utilisé par les populations riveraines, notamment comme bois de feu ou d'œuvre pour des pièces particulières nécessitant des bois imputrescibles. Mais en raison de l'accroissement de la population, donc de la demande et du développement de nouvelles pratiques, leur consommation a changé ces dernières décennies.

En général, la coupe forestière pour la production du bois et du charbon est considérée comme le principal moteur de dégradation des écosystèmes (Jones *et al.*, 2014), voire de leur disparition. Les arbres sont en majorité exploités localement pour l'obtention de l'énergie combustible et la construction (support des maisons, enclos, pirogues). Parallèlement à l'accroissement de la demande en bois et charbon, la forte variabilité interannuelle des précipitations (jusqu'à 1600% en excédent et 90% en déficit) a obligé les autochtones à s'orienter vers de nouvelles activités (vente de typha, maraîchère, ...).

Ils se tournent alors vers l'exploitation du bois de mangrove, pour répondre à la demande de plus en plus insatisfaite dans les villes, et ce dans un contexte où le contrôle forestier est en défaillance chronique.

II.1.1.3 Le bois de feu

L'énergie fait partie intégrante d'une société et l'état de développement économique de toute région peut être évalué à partir de la qualité du modèle de consommation de son énergie (Ramachandran, 2010). Dans cette région du sud-ouest de Madagascar, en raison de la hausse du prix du baril de pétrole et du gaz sur le marché mondial, les bouteilles de gaz et autres produits dérivés du pétrole ne sont pas à la portée de la majorité de la population, à dominante pauvre, dont le pouvoir d'achat ne cesse de diminuer. L'utilisation de l'électricité exige aussi, quant à elle, l'achat d'appareils dont les prix sont exorbitants. Par ailleurs, si le charbon peut provenir de bois issu des fourrés ou forêts de la région, dans les zones littorales, le fort pouvoir calorifique des palétuviers incite la population à en faire une exploitation parfois abusive d'autant plus que de nombreuses zones rurales littorales ne sont pas alimentées en électricité. Dans ces conditions, le bois reste l'ultime recours pour la consommation énergétique quotidienne. Dans la région du sud-ouest de Madagascar, les combustibles traditionnels tels que le charbon de bois et le bois répondent encore en majeure partie aux besoins de la population dans les zones rurales. Mais le charbon de bois reste aussi la principale source d'énergie pour la majorité des ménages urbains. Selon le Tableau de Bord Environnemental de la Région Atsimo Andrefana (2016), le bois et le charbon de bois sont utilisés par plus de 99% des ménages encore en 2010, une consommation qui n'a pas cessé d'augmenter au cours de ces dernières décennies.

Par ailleurs, la ville de Toliara présente une consommation par habitant élevée qui est estimée à environ 150 kg de charbon, contre 100 kg pour les autres régions (Tableau de Bord Environnemental, 2013 ; Andriatsiaronandroy *et al.*, 2017). D'autre part, si en général, le rendement moyen du charbon de bois se situe entre 15 à 20 % de bois (Girard, 2002), le rendement n'est que de 10% environ dans la région d'après nos enquêtes, une valeur faible liée aux méthodes de production traditionnelles. Par conséquent, dans la mesure où les besoins de la population de Toliara s'élèvent à 49 077 tonnes de charbon de bois, cela signifie que 490 776 tonnes de bois ont servi à produire du charbon en 2015. D'autre part, pour la population vivant à proximité de la mangrove, même si les espèces *Avicennia marina* fournissent le meilleur bois de chauffage (Rakotomavo et Fromard, 2010), on peut dire que les espèces telles que *Rhizophora mucronata* et *Sonneratia alba* peuvent aussi être utilisées dans le Sud-ouest.

La fabrication de l'oxyde de calcium (CaO) ou chaux vive est une autre source de consommation de bois de palétuviers. Produite à partir de la calcination (à 825°C) du corail fossilisé ou des coquilles de *Terebralia palustris* (*Anadara* ou *Tsakody*), la chaux vive nécessite parfois le recours à du bois de palétuviers comme combustible parce que les produits du fourré, traditionnellement utilisés, commencent à manquer (Figure 145).



Figure 145 : Fabrication de chaux à Songeritelo. Les bois proviennent des palétuviers d'Ambodrolava. (Lebigre, 1989)

II.1.1.4 Les bois d'œuvre

Eu égard à la propriété d'imputrescibilité et à la droiture de leur bois, certaines espèces de palétuviers telles que *Sonneratia alba*, *Rhizophora mucronata* et *Avicennia marina* sont aussi exploitées pour la construction des cases traditionnelles en guise de traverses et supports ou vendues essentiellement dans les districts de Toliara I et Toliara II (Figure 146), pour la clôture des champs de culture (*baiboho*) et des parcs à zébus et la confection des flotteurs de pirogues. Habituellement, les paysans préfèrent les jeunes plants de diamètre variant de 1,5 à 2,5 cm (gaulettes). Ces prélèvements peuvent perturber les renouvellements du peuplement, car même si cette forêt peut se régénérer naturellement, il faudra attendre une quinzaine d'années pour que les sujets atteignent de nouveau le diamètre exploitable.



Figure 146 : Des cases à Fitsitike fabriquées avec des bois de palétuviers (*Rhizophora mucronata* pour les piliers, *Sonneratia alba* pour les traverses) et *Typha angustifolia* (Andriatsiaronandroy, 2018)

Cette coupe des palétuviers (Figure 147) qui constitue le facteur anthropique local le plus dégradant de la mangrove, peut perturber leur dynamique et leur renouvellement.

Ce sont notamment les palétuviers les plus accessibles, localisés le plus souvent le long des routes et pistes, qui sont soumis à des abattages systématiques, en lien surtout avec les importants flux migratoires de diverses origines dans cette région.



Figure 147 : Coupe des palétuviers à Manombo-Fitsitike (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.5 L'élevage, le surpâturage et la divagation des animaux dans et en arrière mangrove

Le surpâturage provoqué par le bétail est l'un des facteurs de pression dévastateur sur la mangrove (Miasa, 1992). Dans les villages à proximité des mangroves, les éleveurs envoient

leurs bêtes y divaguer pour se nourrir, évitant ainsi de les nourrir eux-mêmes et de construire des enclos. En arrière mangrove, à marée basse, les zébus coupent les jeunes plantules de palétuviers très appréciées, freinant ainsi la régénération naturelle de la mangrove (Figure 148). Par ailleurs, les animaux tels que les porcs provoquent aussi un impact négatif car ils errent partout dans les villages et aussi dans les mangroves à proximité à marée basse. Actuellement, il y a une conversion, encore lente certes, vers un élevage plus intensif pour réduire les pertes dues aux vols, mais l'élevage relève encore avant tout de ce modèle de type extensif.



Figure 148 : Divagation de bétail à proximité de la mangrove (sur un tanne herbeux)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.6 Les feux et le défrichement pour la mise en valeur agricole

Certaines zones de mangrove sont déboisées et brûlées afin de les transformer en champs pour la culture de *Typha angustifolia* et de *Saccharum officinale* (canne à sucre) notamment (Figure 149).

TROISIÈME PARTIE - Discussion

En règle générale, les agriculteurs défrichent avant tout les forêts continentales essentiellement pour la culture du maïs, mais on constate maintenant qu'ils pénètrent aussi dans les mangroves pour leurs cultures.



Figure 149 : Zone de plantation de *Typha angustifolia* dans les mangroves de Manombo-Fitsitike. À gauche des coupes de palétuviers avant la plantation ; à droite une nouvelle plantation après coupe et mise à feu des formations à *Lumnitzera* et mixte. (Andriatsiaronandroy, 2018)

C'est le cas de Manombo-Fitsitike et d'Ambondrolava. Dans ces deux sites, la culture de *Typha angustifolia* est l'une des causes majeures de la régression des formations à palétuviers. Les palétuviers sont coupés afin d'y planter le Typha destiné à la construction des maisons légères pour les personnes les plus démunies dans la ville de Toliara, dont la demande augmente sans cesse avec l'accroissement de la population. Signalons que dans la région d'Ambondrolava, la production est de l'ordre de 40 paquets contenant 45 à 50 bottes par ménage et par jour (Figure 150). Les pressions anthropiques liées au défrichement pour les Typhas s'exercent surtout aux alentours des villages Manombo, Fitsitike, Tsihake, Ambondrolava où la population de ces villages ne cesse d'augmenter. Cette augmentation est vérifiable par rapport à l'extension de Tsihake (vers le sud le long de la route « Lalambezo » reliant Tuléar à Manombo), de Belalanda et d'Ambondrolava, et la présence de routes importantes bordant la mangrove favorise également d'autres pressions (coupes,).



Figure 150 : Des bottes de *Typha angustifolia* destinées à la vente. À gauche des bottes provenant des plantations de Manombo-Fitsitike ; à droite des bottes provenant d'Ambondrolava (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.7 L'accroissement des pressions liées aux activités de pêche

La richesse en ressources faunistiques et floristiques du littoral sud-ouest de Madagascar, en grande partie liée aux mangroves et aux récifs coralliens, constitue un atout majeur qui en a fait une région attractive pour les populations de pêcheurs « Vezo » (Rejela, 2003 ; Falizanina, 2009). Les « vezo » qui sont les premiers occupants du littoral constituent la principale population de l'ensemble de la côte de la région. Leurs activités principales sont la pêche traditionnelle d'une manière artisanale et le ramassage des crabes, des coquillages et des trépangs ou concombres de mer (même s'il reste peu développer) qui se transmettent de génération en génération et sont exercés essentiellement par les hommes. A Madagascar, le secteur de la pêche comprend également la pêche maritime industrielle, la pêche continentale et la pêche maritime traditionnelle. D'une manière artisanale, cette dernière est pratiquée dans et à proximité des zones à mangroves dans la région de Toliara (Figure 151) ; elle peut provoquer des effets néfastes pour les palétuviers du moment où il y a surexploitation (exportation des crabes, y compris les juvéniles, vers les pays asiatiques, utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide non conformes à la réglementation quant aux dimensions des mailles des filets dont la norme ne doit pas être inférieure à 25mm, et capturant ainsi les poissons de tailles inférieure à cette norme). En outre, le fait que les pêcheurs utilisent des poisons (latex d'*Euphorbia laro*) nuit à la faune associée à la mangrove, puisque la faune elle-même joue un rôle très important dans le fonctionnement de l'écosystème (Kristensen, 2007 ; Lee, 2007, Cannicci *et al.*, 2008 ; Nagelkerken *et al.*, 2008). On peut citer à titre d'exemple les invertébrés épibiotiques qui influent sur les racines de la mangrove ; en effet, Ellison *et al.* (1996) ont démontré que les éponges qui poussent sur les racines de la mangrove peuvent augmenter considérablement leurs taux d'élongation

TROISIÈME PARTIE - Discussion

(Reef et *al.*, 2010). Aussi, les activités d'enfouissement de certains invertébrés benthiques ont des effets prononcés sur les propriétés sédimentaires et biochimiques en améliorant la porosité et le débit d'eau à travers les sédiments, aidant à éliminer les substances toxiques (Nagelkerken et *al.*, 2008).



Figure 151 : De gauche à droite : des pêcheurs marins traditionnels à Ankiembe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Dans et aux alentours des mangroves ainsi que sur les récifs coralliens, les « vezo » pratiquent une pêche traditionnelle, à mains nues ou grâce à des pirogues de petite taille, non motorisées, à voiles, à balancier et à rames, tout en utilisant des moyens rudimentaires comme des filets, des cannes, des harpons, des palangrottes, des casiers, des tulles moustiquaires ... Il s'agit d'une pêche avant tout d'autoconsommation qui assure la subsistance de la famille. Le surplus, qu'il soit transformé ou non, est vendu par les femmes aux marchés de la ville de Toliara, ou est collecté par des compagnies commerciales (COPEFRITO, MUREX ...) et des opérateurs chinois. Ces compagnies s'occupent de la préparation, de la congélation et de l'exportation vers l'Europe, la Chine et les îles voisines des produits comme les poulpes, calmars, langoustes, crabes, holothuries, coquillages (Figure 152), trépangs et poissons (thon, mérrou, etc.).

Suite à la fermeture des entreprises SUMATEX, HASIMA de Tuléar ainsi qu'à la sécheresse qui a fortement contraint les activités des agriculteurs, bien des paysans de la région et anciens ouvriers se sont aussi tournés depuis une vingtaine d'années vers la pêche saisonnière. Cependant, ces citadins ou villageois de l'arrière-pays ayant migré vers la zone côtière pour assurer leur survie, ne disposent pas du matériel approprié (filets à maille normale, ...) ainsi que des compétences nécessaires pour assurer la pérennisation des ressources côtières et marines. Ce phénomène est en grande partie responsable d'une

TROISIÈME PARTIE - Discussion

pêche abusive dans cette région, et c'est aussi un facteur de déséquilibre pour des écosystèmes sensibles tels que les mangroves.



Figure 152: De gauche à droite : ventes de coquillages par des enfants et des femmes à des collecteurs, acheteurs à Manombo-Fitsitike. (Andriatsiaronandroy, 2018)

L'augmentation du nombre de pêcheurs favorise la surpêche et à long terme impacte les stocks de poissons, de coquillages, de crustacés (Figure 153) et autres concombres de mer, et finit par diminuer la production de manière générale sur le littoral en impactant toute la chaîne trophique littorale. Ces nouveaux pêcheurs usent aussi parfois de techniques de pêche qui détruisent directement et indirectement les mangroves et ses écosystèmes associés à court et à long terme. L'utilisation de filets à mailles réduites ou très petites (comme les tulles moustiquaires), le recours aux végétaux pouvant être toxiques à l'instar des plantes laticifères comme l'espèce *Euphorbia laro* (par le biais de leur sève laiteuse ou latex) pour enivrer et tuer les poissons engendrent la disparition même des poissons de petites tailles, parfois même des alevins qui ont pour rôle le maintien de la bonne qualité de l'eau, et ont des répercussions négatives souvent irréversibles sur les milieux de mangrove. La mort des récifs coralliens suite au piétinement des pêcheurs peut aussi causer des dégâts indirects sur les mangroves puisque ces récifs jouent un rôle de brise lame en empêchant les vagues de les frapper directement.



Figure 153: Ramasseur de *Scylla serrata* dans la mangrove de Manombo-Fitsitike (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.8 L'extension des aménagements salicoles

L'aménagement salicole désigne la production de sel de cuisine de forme NaCl à partir de l'eau de mer. Le Sud-ouest fait partie des 3 régions où se concentre cette production de sel à Madagascar après le Nord (Diego) et l'Ouest (Morondava), en raison des conditions climatiques semi-arides chaudes favorables. Les produits sous forme de gros sel ou sel fin sont commercialisés dans la partie sud de Madagascar. Dans cette partie, on trouve des salines au nord de la mangrove d'Ankiembe, au nord de la mangrove de Toliara, et à Ifaty entre Toliara et Manombo-Fitsitike. Elles font vivre un millier de personnes, même s'il s'agit en général d'un travail d'appoint complémentaire pour les ouvriers. La production de sel varie de 10 000 à 20 000 tonnes par an et a tendance à augmenter avec la demande au fil des ans.

L'installation de nouveaux aménagements salicoles est observée dans et aux alentours des mangroves après les années 50 (les photographies aériennes de 1949 montrent l'absence de salines à cette période). La production est dominée par des petits sauniers issus de grandes familles (les Zafiry, les Mahavola, ...), des indiens et des européens, bien que quelques producteurs moyens soient présents (CoReSEL de Tuléar depuis 2005). Leurs produits sous forme de gros sel ou de sel fin sont commercialisés dans la partie sud de

TROISIÈME PARTIE - Discussion

Madagascar. Face à la croissance démographique entraînant une forte demande, l'installation des saliniers dans et aux alentours des mangroves peut être encourageante pour l'économie, mais le principal danger consisterait en une destruction massive des mangroves (Figure 154) afin de pouvoir satisfaire la demande sans cesse croissante de sel.



Figure 154 : Coupe des palétuviers pour la création de nouvelles salines au nord de Toliara (Andriatsiaronandroy, 2018)

Néanmoins, ce n'est pas vraiment le cas dans nos zones d'études, notamment à Ankiembe où on peut observer sur le terrain que lorsqu'une saline est abandonnée temporairement, elle constitue un terrain extrêmement favorable à la colonisation ou la recolonisation par des palétuviers sur les vases dans les anciens casiers salicoles inondés par la marée (Figure 155).



Figure 155 : Une recolonisation des salines abandonnées par des espèces *Avicennia marina*. À gauche recolonisation au nord de Toliara ; à droite recolonisation à Ankiembe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Il convient de noter que l'abandon d'une saline peut survenir en cas de d'épidémies telles que le choléra entre 1999 et 2000. En effet, le ministère de la santé se doit d'ordonner la suspension de la production du sel, vu que les autochtones ne disposent pas de latrines (les plages sont des lieux de défécation directe) et qu'il y a un risque de contamination par les éléments pathogènes par l'intermédiaire de l'eau de mer (Figure 156). Aussi, suite au passage d'un cyclone qui a touché de plein fouet les salines, il y a arrêt temporaire de l'activité pour une durée pouvant atteindre 5 à 6 ans afin de pouvoir réhabiliter le site (Cf la liste des cyclones en annexe ...).

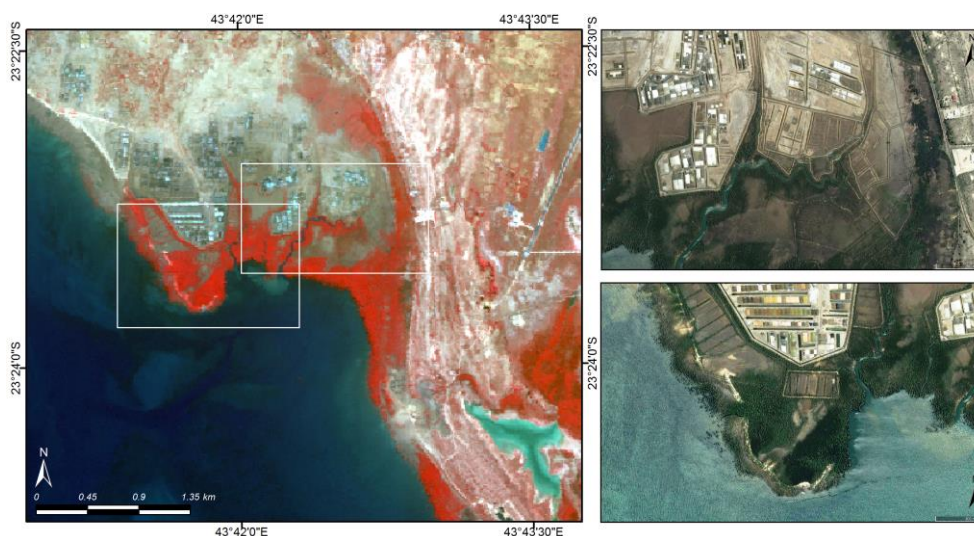


Figure 156 : Une illustration de l'organisation des salines en casiers en 2014 (Source : Spot Image, Google Earth)
(Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.1.9 Les pollutions

La population du littoral, et surtout de la ville, considère la mangrove comme un lieu de décharge des eaux usées, des ordures ménagères, des plastiques, des polluants, des hydrocarbures et de toutes les autres formes de déchets. Suite à l'extension des villages ainsi que des quartiers périphériques de Toliara et à l'accroissement de la population, l'augmentation des rejets des eaux usées, des ordures et de divers déchets directement dans l'environnement constitue la plus lourde menace pour l'équilibre du biotope lagunaire (Bernardie-Tahir et El-Mahaboubi, 2001) en modifiant les propriétés physico-chimiques des sols et en provoquant la mort des jeunes palétuviers.

Ces pollutions se font dans un contexte d'absence d'enlèvement des ordures ménagères et de système de traitement des eaux usées. Au niveau de la ville de Toliara, les

eaux usées, acheminées par un ancien collecteur souterrain, et les déchets journaliers des habitations et des hôtels édifiés tout le long de la plage, des entreprises valorisant les produits de la mer (COPEFRITO,...), sont déversées directement dans la mer ou y sont entraînés par le ruissellement au moment des inondations. Aucun site de décharges de déchets ni de traitement des déchets n'existe légalement dans la ville de Toliara. Les dépotoirs sont installés aléatoirement en dehors de la ville, soit à 19 km sur RN7, soit à l'ouest du quartier de Tsongobory sur la route vers La Batterie (Razakamanana *et al.*, 2014). Ces pollutions urbaines et industrielles, volontaires avec le déversement dans la mer des boues de lessivage des sites de traitement d'hydrocarbures, ou involontaires suite à des fuites industrielles ou à la proximité à des accumulations d'ordures, sont souvent peu visibles et pourtant irrémédiablement nocives pour les écosystèmes littoraux les plus fragiles comme les mangroves et les récifs coralliens (Desse, 2002). Les carburants couramment utilisés pour les véhicules et les machines sont reconnus comme un élément de grave menace pour les écosystèmes (Jagtap *et al.*, 2014 ; Ameen *et al.*, 2015) et notamment les mangroves. Compte tenu des passages de plus en plus fréquents des bateaux pétroliers au large de la côte de la région de Toliara, le risque de pollution par les hydrocarbures constitue une menace certaine. Au total, 700 millions de tonnes de pétrole brut traversent annuellement les eaux des îles voisines de Madagascar, dont 350 millions de tonnes passent par le Canal de Mozambique (Midi Madagasikara, 2014). Ainsi, un tanker pétrolier accoste au port de Toliara une fois par mois et même si la pollution marine semble inévitable, il convient de mentionner que des mesures de précaution ont été prises par les responsables du port de Toliara afin de réduire la quantité d'hydrocarbures déversée en mer. Par contre, les dépôts d'hydrocarbures du groupe Logistique Pétrolier (ex-Solima : Solitany Malagasy) et de la Sopagri (Société de produits agricoles) mis en place au nord d'Ankiembe (Figure 157), représentent une menace directe vis-à-vis des mangroves, puisque les eaux de nettoyage, de rinçage et les boues de fond de bac sont déversées à l'extérieur des cuves directement dans l'environnement. Les produits toxiques de ces étangs de plusieurs mètres cubes formés par ces eaux sales et ces boues nauséabondes parviennent jusqu'aux mangroves en période pluviale par le biais de ruissellements, d'autant plus que cette zone est soumise à des inondations annuelles.

Les effets indésirables de la contamination des mangroves par le pétrole, qui n'ont pas encore été investigués à Ankiembe, comprennent l'inhibition de la germination, la

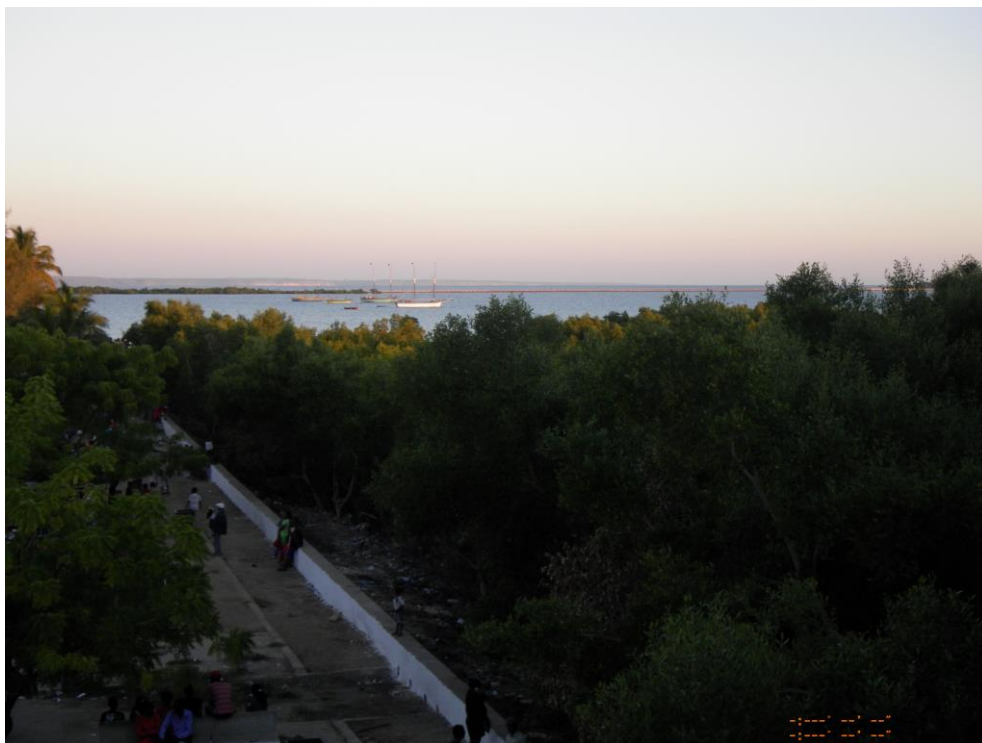
TROISIÈME PARTIE - Discussion

flétrissure des feuilles, la sénescence et la défoliation. Ces effets sont observés habituellement environ six mois après le déversement, et sont suivis d'une croissance réduite et de la mortalité des plantes en quelques années (Duke *et al.*, 1997 ; Garrity *et al.*, 1994 ; Levings *et al.*, 1997 ; Zhang *et al.*, 2007 ; Naidoo *et al.*, 2010).



**Figure 157 : Dépôts d'hydrocarbures de Logistique Pétrolier au nord d'Ankiembe
(Systec Sarl Madagascar, 2007)**

En même temps, les mangroves reçoivent aussi une quantité non négligeable de matières fécales de milliers d'habitants tout le long du bord de la mer (Figure 158) et des gens des quartiers de Toliara (Besakoa, Champs de foire, Ankiembe, Mahavatsy, ...) situés à proximité du littoral, et surtout des « vezo », qui considèrent que la construction de cabinets d'aisance est une pratique taboue.



**Figure 158 : Décharge dans la mangrove à Toliara
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Les impacts anthropiques ne procèdent pas seulement par des processus de dégradation mais peuvent aussi se traduire par un développement des mangroves.

II.1.1.10 Les reboisements

Définie comme la plantation d'arbres sur une zone déboisée ou non suivant un objectif bien défini, les reboisements des mangroves sont des pratiques habituelles dans le Sud-ouest de Madagascar. Malheureusement, ils sont considérés par tous les acteurs comme un moyen de restauration efficace des mangroves même s'ils n'étaient pas basés généralement sur des principes écologiques bien compris. Ces dernières années, avec ses partenaires techniques (WWF, ONG Honko, ONG Bel Avenir, Reef Doctor, Conseil diocésain pour le développement à Toliara, Projet PASSAT de la WeltHungerHilfe, GIZ-PAGE ou Programme d'appui à la gestion de l'environnement, Projet Ambatovy, FID ou Fonds d'Intervention pour le Développement, Club Vintsy, Association Projecteur, ...), la Direction Régionale chargé l'environnement et des forêts ont procédé à des campagnes de reboisement intensif parfois à outrance (des centaines de milliers de plants et des propagules, ...). Même si on a trouvé des résultats palpables dans certaines zones comme à Ambondrolava, Andrevo, ... les taux de survie restent généralement infimes. Les raisons

pourraient être : la sélection inappropriée des sites (ensablés comme le cas des reboisement à Sarodrano ou Saint-Augustin ...), le choix d'espèces inadéquates (*Xylocarpus granatum* avec des espèces *Typhas angustifolia* à Ambondrolava,...) et la non prise en compte des conditions physiques spécifiques aux sites telles que l'hydrologie (Primavera et Esteban, 2008, Samson et Rollon, 2008, Friess et *al.*, 2012, Brown et *al.*, 2014b ; Oh et *al.*, 2017) : tel est le cas des reboisements réalisés au niveau de la mangrove d'Ambondrolava ; pourtant, un consensus s'est dégagé au sujet du fait qu'une compréhension de l'hydrologie des mangroves s'avère la plus importante pour une restauration réussie (Wolanski et *al.*, 1992). A vrai dire, la justification de la restauration des mangroves a très peu évolué au cours des années, de la simple sylviculture à la reconnaissance des mangroves comme une ressource diversifiée (Bosire et *al.*, 2008) ; ainsi, il est essentiel d'examiner dans quelle mesure la restauration des mangroves contribue à la recolonisation des faunes.

II.1.1.11 Le transfert de gestion

Parmi les actions qui ont contribué à la pérennisation de la mangrove dans le Sud-ouest en donnant des résultats relativement probants, figure le transfert de gestion. Par définition, le transfert de gestion des ressources naturelles est un mode de transfert de gestion des forêts et de tout ce qui s'y trouve, aux communautés de base en vue d'une gestion locale durable et sécurisée des ressources forestières. Il place les communautés locales au cœur même du processus de gestion durable. D'ailleurs, évaluer et constater le problème de la déforestation dans les zones de mangroves oblige à reconnaître que beaucoup de gens dans les zones côtières tropicales et subtropicales subsistent grâce aux mangroves (Ramírez-García et *al.*, 1998). C'est le cas dans la plupart des sites tels que Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Sarodrano et Andriambe où il s'agit d'un transfert de gestion et de compétence et non d'un transfert de propriété, car seul le pouvoir de gestion est transféré à la population locale mais la forêt reste propriété de l'Etat malgache.

A noter que pendant longtemps, les politiques de gestion des ressources naturelles à Madagascar ont marginalisé les organisations paysannes, pourtant fortes de leurs règles traditionnelles connues sous des dénominations diverses selon la région : *lilin-tane*, *lilin-draza*, *fomban-tany* (Samisoa, 2012). Au temps du Roi Andrianampoinimerina (1787-1810), il avait déjà pris conscience de l'importance de la forêt malgache qui est un moyen de subsistance surtout pour la population vulnérable, et qui requiert une bonne gestion

(Montagne et Ramamonjisoa, 2006). Ensuite, le 29 mars 1881, la Reine Ranavalona II (1868-1883) publie un nouveau code dit « des 305 articles » contenant 305 articles dont 6 (art. 101 à 106) relatifs aux forêts dont voici ci-dessous les traductions selon Thébault en 1960 :

- Article 101 : les forêts ne doivent pas être incendiées ; ceux qui les brûleront seront mis aux fers pendant dix ans.
- Article 102 : les charbonniers et les sécheurs de bambous ne peuvent pas fabriquer leur charbon ou sécher au feu leurs bambous dans l'intérieur de la forêt, mais seulement dans les régions dénudées. Ceux qui se livreront à ces occupations, soit dans la forêt, soit aux abords immédiats de la forêt, seront punis d'une amende de trois bœufs et de trois piastres et, s'ils ne peuvent payer, seront mis en prison à raison d'un « *sikajy* » par jour jusqu'à concurrence du montant de l'amende.
- Article 103 : les charbonniers ne peuvent pas abattre les gros arbres pour la fabrication de leur charbon ; ceux qui agiront autrement seront punis d'une amende d'un bœuf et d'une piastre par gros arbre coupé et, s'ils ne peuvent payer, ils seront punis et mis en prison à raison d'un « *sikajy* » par jour jusqu'à concurrence du montant de l'amende.
- Article 104 : Il ne peut être construit de maison dans la forêt sans l'autorisation du gouvernement ; si des personnes érigent, pour y demeurer, des habitations dans la forêt, elles seront punies d'une amende de dix bœufs et de dix piastres, leurs maisons seront détruites et elles devront, en outre, payer une indemnité d'un bœuf et d'une piastre par arbre abattu. Si les délinquants ne peuvent payer, ils seront mis en prison à raison d'un « *sikajy* » par jour jusqu'à concurrence du montant de l'amende non payée.
- Article 105 : on ne peut défricher la forêt par le feu dans le but d'y établir des champs de riz, de maïs ou toutes autres cultures ; les parties antérieurement défrichées et brûlées, seules, peuvent être cultivées ; si des personnes opèrent de nouveaux défrichements par le feu ou étendent ceux déjà existants, elles seront mises aux fers pendant cinq ans.
- Article 106 : les arbres des forêts situées sur les bords de la mer ne peuvent être abattus ni endommagés inutilement, à moins que ce ne soit à propos d'un ordre donné par le gouvernement. Ceux qui endommageront inutilement la forêt seront punis d'une amende de dix bœufs et de dix piastres et, s'ils ne peuvent payer, seront

mis en prison à raison d'un « *sikajy* » par jour jusqu'à concurrence du montant de l'amende.

Ainsi, l'article 106 donne une importance particulière aux mangroves.

Au temps de la colonisation, les colons et les administrateurs ont déclaré être impressionnés par les forêts malgaches. D'ailleurs deux conférences publiques données à l'École coloniale en décembre 1911 sont particulièrement révélatrices de l'attitude des administrateurs à l'égard de la forêt (Bergeret, 1993). Les colonisés ont utilisé les ressources forestières pour leurs besoins quotidiens, tandis que les colonisateurs ont exploité la forêt à des fins industrielles et commerciales notamment les palétuviers pour ses écorces riches en tanin. C'est pour cette raison que l'arrêté du 3 juillet 1897 a été publié : il régleme l'exploitation des produits de la forêt (bois, gommés, caoutchouc, gutta-percha, matières textiles et tinctoriales) ainsi que la limitation des droits d'usage des indigènes (Bergeret, 1993). Il est suivi d'un rapport et d'un décret datant du 10 février 1900 établissant le régime forestier applicable à la colonie de Madagascar et dépendances avec notamment l'organisation du personnel forestier, le droit d'exploitation des massifs forestiers, l'interdiction de défrichement des bois appartenant aux particuliers sans avoir l'autorisation du gouverneur général,

Entre 1925 et 1930, la question s'est posée à Madagascar à propos de la place laissée aux populations rurales pour l'accès aux ressources renouvelables et à leur gestion (Bertrand et al., 2012). Dès les années 1980, l'État malgache, sous l'impulsion des institutions internationales, a mis en place une politique conversationniste (Dieudonné et Ramiarantsoa, 2012) et depuis 1996, L'Etat peut déléguer ses forêts aux populations locales par le biais du transfert de gestion ou la Gestion Locale Sécurisée (GELOSE) qui est une forme de gestion des ressources naturelles renouvelables. Elle consiste à confier aux communautés de base la gestion de certaines ressources naturelles qui sont comprises dans leur terroir. Dans la région du Sud-ouest, plusieurs associations des communautés locales (Selon la loi N° 2000-027 du 13/01/2000 portant la création des « *Vondron'Olona Ifotony* ou Communauté Locale de Base » qui sera en annexe) se sont créées sur le long du littoral afin de préserver les peuplements de mangroves: VOI Mamelo honko (Commune rurale Belalanda), VOI Andranotohake (Commune rurale Salary), VOI Mahasoia (Commune rurale Fiherenamasay), VOI Fikasoia (Commune rurale Andrevo bas), VOI Fiharatsy (Commune rurale Manombo Sud). Ces VOI sont composées de différents membres, à savoir : le président, le vice-président, le

trésorier, le commissaire au compte, les conseillers et enfin le secrétaire. Ces associations sont financées par la fondation Tany Meva, alors que la Direction Régionale chargée de l'environnement et des forêts (DREEF) effectue le suivi et le contrôle des actions menées.

Le transfert de gestion des ressources naturelles débute par une séance d'information et de sensibilisation de la communauté par les personnels compétents de la DREEF. Cette séance consiste à organiser des réunions au niveau de la Commune, entre les autorités administratives et les membres de la communauté locale, grâce à la vulgarisation de la procédure, des avantages (retombées financières : ristournes, amendes), des droits et des obligations.

Convaincues des avantages énumérés ci-dessus, les communautés de base créent des associations et manifestent leur intérêt par une demande faite au niveau de leur Commune. Après avoir eu un avis favorable de la part de la Commune, les membres de l'association vont réunir les conditions nécessaires (statut, règlement intérieur, ...). A partir du moment où ces conditions seront réunies, alors une autre demande sera adressée à la Direction Régionale chargée de l'environnement et des forêts pour que les membres du personnel de la Direction effectuent une descente sur terrain dans le but de faire une constatation sur place, consécutivement à l'acceptation de la demande.

Cette descente commence par la délimitation de la forêt que l'Association demande à être transférée, suivi du zonage, c'est-à-dire le partage de la forêt en différentes zones (la zone de conservation où est interdite toute exploitation, la zone de droit d'usage où la population locale exerce ses droits d'utilisation quotidienne de produits forestiers, la zone d'exploitation raisonnée où est autorisée l'exploitation à but commercial selon certaines prescriptions réunies dans le plan d'aménagement) et se termine enfin par l'élaboration du plan d'aménagement, du cahier des charges, du Dina (convention communautaire régionale conforme aux us et coutumes ayant force de loi aux yeux du Ministère de la Justice lorsqu'il sera homologué et ritualisé) et du plan annuel. Après avoir entamé toutes ces procédures, l'officialisation du contrat est assurée par la Direction afin de pouvoir le mettre en œuvre. Notons que la durée du contrat est de trois ans, un contrat renouvelable jusqu'à dix ans dans le cas où les observations des agents de la Direction y sont favorables dans les rapports de suivi-évaluation. Il est à noter qu'en cas de faute commise par une communauté de base dans l'exécution du contrat de gestion, le responsable de l'Administration forestière compétente peut prononcer à l'encontre de la communauté de base les sanctions ci-après

selon le cas : l'avertissement, la suspension du travail et peut être la résiliation du contrat. Ainsi, l'Association doit s'abstenir de délivrer des autorisations de défrichement, des permis de coupe à des personnes autres que ses membres et des permis de chasse à titre commercial. L'Association et ses membres sont obligés de respecter le *Dina* et le cahier des charges sous peine du *vonodina*.

Du fait de l'insuffisance des moyens matériels et financiers des Agents forestiers dans la réalisation du transfert de gestion, l'Administration forestière dépend totalement des financements liés à l'aide au développement des bailleurs de fonds internationaux. L'appui des bailleurs de fonds que ce soit bilatéral (Suisse, Allemagne, États-Unis et France notamment) ou multilatéral (Banque mondiale ou Nations Unies) est indispensable.

Les bailleurs regroupés dans de multiples instances de discussion et de décision posent souvent des problèmes d'exécution et entraînent des rapports de force avec les responsables de l'administration forestière. Le rôle de la Direction se trouve donc entravé, la pression continue et à court terme les bailleurs imposent des conditionnalités toujours plus pressantes.

D'une certaine manière les partenaires environnementaux et quelques agences d'exécutions passent outre les prérogatives octroyées à la Direction régionale chargée de l'environnement et des forêts. Des fois, les activités de Transfert de Gestion sont entreprises pour avoir des financements sans aucune réalisation palpable et durable.

Pour sa part, l'Etat utilise le transfert de gestion dans sa politique de désengagement de l'Etat de ses responsabilités, et il en découle que l'Administration forestière n'assure pas la plupart du temps le suivi du cahier de charge et de l'état financier de la COBA. Il est à noter que dans certains Cantonnements comme celui de Sakaraha le premier contrat de gélouse a duré 10 ans à cause du manque de suivi, d'insuffisance de moyens et d'absence de décision émanant du Ministère central.

II.1.2 La dimension naturelle des pressions sur les mangroves

De manière générale le littoral du sud-ouest de Madagascar est favorable au développement des mangroves, mais différents facteurs géomorphologiques, biotiques et climatologiques viennent intervenir sur leurs dynamiques d'évolution. On peut notamment citer les quatre aléas naturels principaux auxquels Madagascar est confronté : les cyclones et les tempêtes tropicales, les inondations et les sécheresses qui sont d'origine

météorologique, et les invasions acridiennes (BNGRC, 2000). Ces aléas naturels et le changement climatique interviennent beaucoup sur les propriétés physico-chimiques des mangroves (Roger, 2007). Il faut ajouter à ces forçages climatiques et biologiques l'impact des dynamiques sédimentaires côtières.

II.1.2.1 La dynamique sédimentaire côtière marine, fluviale et éolienne

La zone côtière du sud-ouest de Madagascar est soumise à une intense dynamique sédimentaire liée aux actions combinées de la mer, des fleuves et du vent. Cette dynamique impacte fortement les mangroves en modifiant notamment les substrats ou ses conditions d'alimentation en eau.

Si à l'échelle mondiale, des enquêtes menées depuis plusieurs décennies ont montré qu'environ 70 % des rivages étaient en recul (Paskoff, 1993 ; Pirazzoli, 1993 ; Salomon, 2009), par contre, Madagascar présente un bilan où l'accrétion l'emporte nettement sur le recul des côtes (Salomon, 2009). Ce sont notamment les apports en sédiments par les fleuves qui expliquent cette situation, les fleuves liés eux-mêmes à l'érosion de sols sur leurs bassins versants continentaux (Salomon, 2009), une érosion accélérée par les changements d'occupation des sols. Sous l'effet de la déforestation, de la culture sur brûlis et du surpâturage, les sols nus sont érodés sur les bassins versants. Cela se traduit par une perte en terres et le lessivage des éléments minéraux et organiques après les averses puis leur transport vers la côte et dans le lagon. On estime cette érosion sur les Hautes Terres à 40 à 50 millions de tonnes de sols arables par an entraînés vers la mer (Rabesandratana, 1984). Cette surcharge en sédiments entraîne un déséquilibre écologique des mangroves par envasement et ensablement, et menace les coraux et les mangroves ainsi que divers habitats et peut amener à la destruction des ressources halieutiques (UNESCO, 1985).

Cette hypersédimentation aux embouchures des fleuves de la région de Toliara favorise la construction de structures sédimentaires sur la côte de type flèches sableuses, cordons dunaires et vasières, et menace non seulement les récifs de la région (Payet *et al.*, 2012) mais également les mangroves. Si les vasières ont un rôle direct évident avec les mangroves, les accumulations sableuses interagissent aussi avec elles en les protégeant lorsqu'elles se développent à l'arrière des flèches sableuses comme à Sarodrano ou Ambondrolava, ou en les ensablant lorsque le sable est repris par le vent comme à Toliara en arrière de la plage de la batterie. Les formations alluviales, apportées par les fleuves à la côte, y sont en effet

TROISIÈME PARTIE - Discussion

reprises par la dérive littorale qui résulte de l'action moyenne du déferlement de la houle sur les sédiments, et les déplace parallèlement à la côte. Ces sédiments participent à la construction des flèches sableuses et s'accumulent aussi à l'intérieur même des formations de palétuviers selon des modalités difficiles à définir (Figure 159).



**Figure 159 : De gauche à droite : ensablement des palétuviers genre *Avicennia* et *Sonneratia* à Manombo-Fitsitike
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Ensuite, ces sédiments sont également remaniés par le vent. Dans cette région du sud-ouest de Madagascar, c'est plus particulièrement l'alizé (vent régulier dans les zones intertropicales) ou « *Tsiok'antimo* » qui est à l'origine de la formation et du déplacement de dunes de type barkhane en direction du nord-nord-est (Figure 160).



**Figure 160 : Dunes vives de type barkhane au niveau de l'embouchure du Fiherenana
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

Appelé aussi *Tsiok'antimo*, ce vent est le principal vecteur de l'ensablement des palétuviers dans la région de Toliara. Ellison (1998) a noté qu'une fois que les mangroves sont soumises à un ensablement au-delà des taux « normaux » de 10 cm par an, elles risquent d'être gravement stressées, n'arrivent pas à repousser et meurent (Swiadek, 1997 ; Paling *et al.*, 2008). Ce phénomène mortel est dû à l'anoxie des sédiments et par conséquent à la non alimentation en oxygène des racines (l'absence d'oxygène diminue les potentiels redox et augmente la production de sulfures) (Smith *et al.*, 1995). C'est particulièrement le cas des *Avicennia* quand les sédiments recouvrent leurs racines au-delà d'une hauteur de 10 cm, même si les pneumatophores sont encore visibles (Paling *et al.*, 2008). Par ailleurs, avec l'ensablement, l'élévation du niveau topographique empêche la submersion quotidienne de la surface occupée par les mangroves (Figure 161). Les sels ont alors tendance à s'y concentrer par évaporation et dépassent les exigences écologiques des palétuviers, qui disparaissent.



Figure 161 : De gauche à droite : ensablement de la mangrove au nord de Toliara (Andriatsiaronandroy, 2018)

Si le littoral du sud-ouest de Madagascar est globalement dominé par l'accrétion, les processus d'érosion sont également présents sur certains secteurs. Ce sont surtout les zones à falaises au sud de la ville de Toliara jusqu'à l'embouchure de l'Onilahy et au-delà qui sont caractérisées par une érosion et un recul de la côte. Les vagues (en dissipant leur énergie sur les parois rocheuses), les fortes précipitations et le ruissellement érodent et ablatent les falaises calcaires (Figure 162), produisant des éboulements et des débris qui s'accumulent aux pieds des palétuviers et engendrent des conséquences néfastes à court et à long terme. A court terme, ces éboulements ravagent les troncs sur leur passage. A long terme, lorsque des précipitations et ruissellements accompagnent ces éboulements, il y a aussi une élévation du niveau topographique (les fortes précipitations amènent des pluies violentes généralement mal réparties dans l'année, les eaux de ruissellement provoquent le

TROISIÈME PARTIE - Discussion

phénomène de lessivage et emportent le sol et les coulées de boue) qui va empêcher la submersion quotidienne de la surface occupée par les mangroves. Or, sans cette submersion, soit les sels s’y concentrent par évaporation, soit les palétuviers seront asphyxiés, et dans tous les cas ils vont disparaître.



Figure 162 : De gauche à droite : érosion au pied de la falaise sur le site de Sarodrano (Andriatsiaronandroy, 2018)

L'érosion est également liée à la dynamique fluviale comme à Andriambe, où le recul de la mangrove résulte pour l'essentiel de l'action de la dynamique hydro-sédimentaire du fleuve Onilahy (Figure 163) combinée à la houle qui remonte dans le fleuve sur ce site proche de l'embouchure.



Figure 163 : De gauche à droite : érosion de berge au niveau du site d'Andriambe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Ce fleuve pérenne, est caractérisé par des crues puissantes qui érodent brutalement avec énergie et à intervalles réguliers les rives (Figure 164), les îles et créent les dépôts sédimentaires notamment à son embouchure où il débouche dans un profond canyon sous-marin. Les alluvions charriées par le fleuve servent aussi à reconstruire les rives tout aussi rapidement parfois. La recolonisation par la mangrove favorise alors les phénomènes de sédimentation. Le lit de l'Onilahy est ainsi remodelé en permanence au fil du temps en raison de sa puissance et des alluvions qu'il charrie. Son évolution morphologique est

conditionnée par l'équilibre dynamique qui s'établit entre le débit solide (mouvement des sédiments), le débit liquide (déplacement de l'eau), la taille des matériaux transportés et les phénomènes de dépôts, de transport et d'érosion.



Figure 164 : Le lit mineur dynamique de l'Onilahy dans sa partie aval (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.1.2.2 L'impact des extrêmes climatiques

Smith *et al.* (2014) indiquent que le changement climatique modifie la composition, la structure et les fonctions des espèces végétales dans les écosystèmes terrestres naturels, notamment les mangroves. Ce sont notamment les événements extrêmes comme les cyclones, que l'on présente comme en accrosissement, qui interviennent.

À l'échelle mondiale, il existe sept zones principales de cyclones tropicaux, dont le sud-ouest et le sud-est de l'Océan Indien, Madagascar faisant partie des pays les plus touchés par ces agents dévastateurs bien connus dans les tropiques. Selon le BNGRC (2000), chaque année, la région du Sud-ouest constitue une cible potentielle pour les cyclones tropicaux qui se forment dans le bassin du sud-ouest de l'Océan Indien. Ces cyclones, fréquents, peuvent endommager directement et indirectement les mangroves, celles-ci constituant une barrière créant un effet tampon entre les cyclones et la terre ferme.

En effet, les vents forts, les vagues de haute énergie, les niveaux d'eau élevés associés aux cyclones (Cahoon et Hensel, 2002; Paling *et al.*, 2008), ainsi que la dynamique des sédiments

TROISIÈME PARTIE - Discussion

(il est aussi fort probable que les actions d'érosion des fleuves Manombo, Fiherenana et Onilahy soient démultipliées lors des passages fréquents des cyclones) ont des effets directs à court terme ou indirects à plus long terme sur les mangroves.

Les dommages directs sont physiquement visibles sur les plantes ; ils sont en grande partie les résultats des vents violents, en particulier lorsque le cyclone les traverse directement. Ces dommages peuvent être : premièrement la diminution de la capacité d'ancrage, l'inclinaison (Figure 165), l'instabilité des arbres et parfois des chablis ; ensuite la défoliation (Macamo *et al.* en 2016 ont démontré que le *Rhizophora mucronata* est plus sensible aux impacts des cyclones, en montrant des taux de défoliation plus élevés et une incapacité à se refolier) provoquant la diminution à long terme de leur activité photosynthétique et enfin les changements qui apparaissent dans la structure de la population (y compris la régénération).



Figure 165 : Inclinaison des palétuviers suite au passage d'un cyclone : À gauche au niveau des palétuviers de Manombo-Fitsitike ; à droite au niveau des palétuviers d'Ankiembe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les dommages indirects sont la sédimentation, l'érosion (Smith *et al.*, 2009), les changements dans les caractéristiques du sol (Cahoon *et al.*, 2003) et l'ensablement des embouchures en empêchant l'échange eau salée-eau douce. Ainsi, des palétuviers peuvent encore mourir 2 ans après l'événement cyclonique, probablement à cause des effets de la sédimentation modifiant les caractéristiques des substrats ; le dépôt de sédiments peut notamment provoquer l'étouffement des racines respiratoires (Paling *et al.*, 2008). Comme les cyclones amènent une forte pluie qui va à son tour submerger les palétuviers sur une longue période et qui favorisera le pourrissement et la décomposition des racines, en même temps la forte pluie peut réduire l'apport d'oxygène par les racines, accabler les plantes de stress et provoquer une mort massive (Jiménez *et al.*, 1985 ; Macamo *et al.*, 2016).

D'ailleurs, Kitaya *et al.* (2002) ont constaté que la survie et la croissance des plantules de mangrove pouvaient être affectées même par une légère différence d'élévation du niveau de l'eau de 20 cm. Indirectement aussi, les inondations de fleuve peuvent aussi diminuer la salinité, et cette diminution va réduire les taux d'extension des racines et même causer le dépérissement de la pointe de la racine chez certaines espèces de palétuviers (McKee, 1996 ; Reef *et al.*, 2010).

La région du sud-ouest de Madagascar est située sous le vent des alizés qui définissent deux saisons bien distinctes : une saison sèche d'avril à octobre et une saison pluvieuse de novembre à mars. Cependant, cette saisonnalité est perturbée ces dernières années, et montre d'importantes fluctuations. L'irrégularité des pluies, caractéristique intrinsèque du climat semi-aride de cette région, s'est accentuée et les sécheresses sont beaucoup plus fréquentes et marquées. Or, de nombreux travaux de pédologues montrent que lorsque la sécheresse conduit à la tannification, les sols devenus hypersalés et hyperacides (Sow *et al.*, 1994) entraînent un ralentissement de la croissance des palétuviers et perturbent leur métabolisme (Ball, 2002 ; Vovides *et al.*, 2014), favorisant le développement d'une morphologie arbustive dans les conditions les plus défavorables (Feller 1995 ; Lovelock *et al.*, 2005 ; Feller *et al.*, 2010). Il faut aussi savoir que la sécheresse prolongée et l'excès de sel dû à l'évaporation peuvent aboutir à la pourriture des mangroves (Rakotomavo et Fromard, 2010).

Dans la région de Toliara, Rakotoarisoa (2017) a noté une certaine croissance de la tendance pour les températures moyennes maximales journalières entre 1960 et 2014. Pour les végétaux en général et les palétuviers en particulier, la photosynthèse et la respiration sont toutes deux très sensibles à la température. Pour les palétuviers, l'activité photosynthétique est généralement limitée par la température élevée des feuilles à la mi-journée (Cheeseman 1994 ; Reef *et al.*, 2010) puisque la température y atteint son optimum. L'élévation de la température peut aussi engendrer l'augmentation de la salinité des sols en provoquant la remontée capillaire de la nappe phréatique. En effet, après évaporation de l'eau, sous l'effet des fortes températures, les sels restent eux en surface. Dans le contexte du changement climatique global, on peut s'attendre à ce que le rehaussement du niveau de la mer, déjà effectif, vienne impacter également les mangroves. Le taux moyen d'augmentation du niveau de la mer était ainsi de $1,8 \pm 0,5$ mm/an entre 1961 et 2003 (IPCC, 2007). Selon le rapport entre la vitesse de l'élévation du niveau de la

mer et l'importance de la sédimentation, l'impact peut se traduire par une submersion, donc une disparition de la forêt de mangrove, une migration latérale vers la terre, le maintien ou l'extension aux dépens de la mer.

II.1.2.3 L'impact de facteurs biotiques

L'eutrophisation est un des facteurs biotiques affectant les mangroves. Elle est caractérisée par une croissance excessive des plantes et des algues due à la disponibilité accrue d'un ou plusieurs facteurs de croissance limitants nécessaires à la photosynthèse (Schindler, 2006), tels que la lumière du soleil, le dioxyde de carbone et les engrais nutritifs (Chislock *et al.*, 2013). C'est aussi de manière générale l'un des principaux changements auxquels les écosystèmes côtiers sont confrontés dans le monde (Cloer, 2001, Verhoeven *et al.*, 2006; Reef *et al.*, 2010) puisqu'elle conduit à une augmentation de la prolifération d'algues (Paerl, 1997), à la dégradation des récifs coralliens (Lapointe 1997), à la réduction de la couverture herbacée (Van Katwijk *et al.*, 2011), à la prolifération de phytoplancton nauséabond et malodorant qui réduit la clarté de l'eau et nuit à la qualité de l'eau (Chislock *et al.*, 2013). Aux niveaux des palétuviers, elle peut également les affecter négativement. Lovelock *et al.* (2009) ont affirmé que l'enrichissement en azote pourrait réduire la résilience des mangroves au stress environnemental, augmentant ainsi la mortalité. La forte activité photosynthétique des algues et plantes durant l'eutrophisation peut épuiser le carbone inorganique dissous et par conséquent augmenter le pH à des niveaux extrêmes pendant la journée, puis réduire la croissance des mangroves qui prennent alors une morphologie rabougrie. Cependant, lorsque ces efflorescences algales meurent, la décomposition microbienne épuise sévèrement l'oxygène dissous, créant une « zone morte » hypoxique ou anoxique qui manque d'oxygène pour supporter la plupart des organismes (Chislock *et al.*, 2013) et élève les taux de mortalité des palétuviers.

Un autre facteur biotique potentiellement impactant pour les mangroves est celui des espèces invasives et des espèces parasites. D'après nos descentes sur le terrain, ces espèces ne sont pas très répandues dans les écosystèmes de la mangrove dans la région de Toliara. Toutefois, des auteurs comme Lebigre (2011) ont publié des travaux indiquant que les *Kalanchoe* ou *Bryophyllum pinnatum* font partie des espèces envahissantes des mangroves à Madagascar. Pour les espèces parasites, il existe des espèces du genre « *Viscum* » qui vit sur l'arbre en exploitant la sève de ce dernier pour subsister.

II.2. Les facteurs d'évolution des mangroves par site

Les différents facteurs présentés précédemment se déclinent de manière spécifique pour les 5 sites d'étude du sud-ouest de Madagascar.

II.2.1 Le site de Manombo-Fitsitike

La mangrove du site de Manombo-Fitsitike est composée de mangroves ayant une forte densité (dense et très dense) à 95% de sa surface en 2014. Elle a aussi connu une progression générale depuis 1949 tant par sa surface que par sa densité (81.9% en 1987, 41% en 1998, 74.4% en 2012). Pourtant, les mangroves y sont soumises à diverses pressions à la fois, aussi bien anthropiques que naturelles.

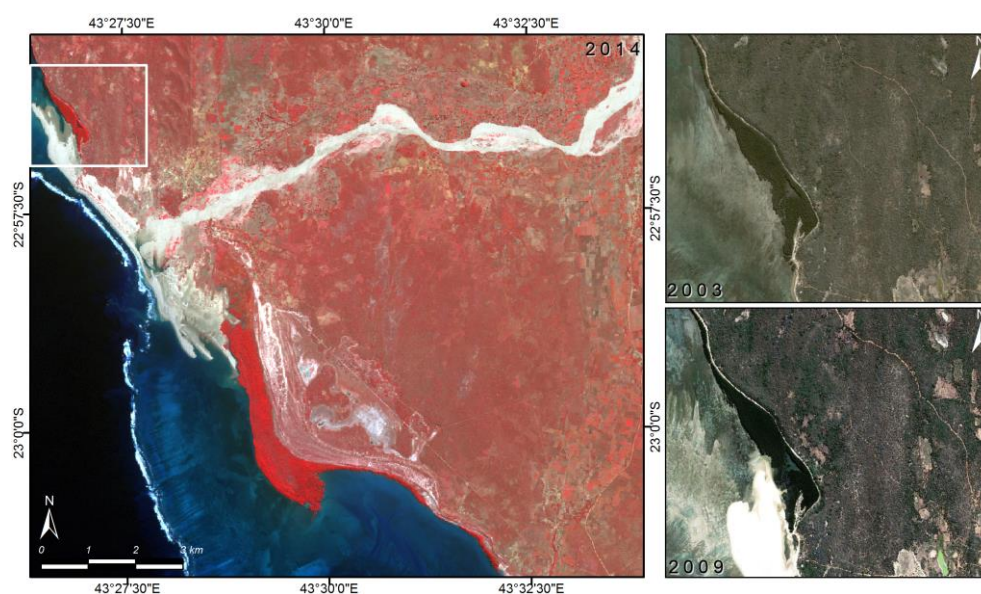
Les pressions anthropiques se manifestent ainsi par une mise en valeur des terres par la culture de *Typha angustifolia* pratiquée par les associations des femmes des villages et qui se concentre dans la partie nord de la mangrove. Il y a aussi le surpâturage provoqué par le bétail qui est un des facteurs de pression sur la mangrove (Miasa, 1992). Même si l'élevage reste encore à dominante de type extensif, on assiste actuellement à une conversion, encore lente certes, vers un élevage plus intensif, notamment pour réduire les pertes dues au vol à main armée, causées par les « *dahalo* ». Pour les villages à proximité des mangroves, les éleveurs envoient leurs bêtes y divaguer pour se nourrir. Les zébus coupent les jeunes plantules des palétuviers sur la bordure terrestre des mangroves à marée basse, freinant ainsi la régénération spécifique naturelle et constituant un des facteurs négatifs vis-à-vis de l'évolution de la mangrove. Les porcs aussi errent partout car les villageois rechignent à les mettre dans des enclos où l'on devrait les nourrir.

Même si la coupe forestière pour la production du bois et du charbon est considérée comme le principal moteur de dégradation de l'écosystème (Jones *et al.*, 2014), voire de disparition (Andriatsiaronandroy *et al.*, 2017), les coupes de bois destiné à d'autres utilisations (bois de construction, alimentation des bétails, fumage des poissons, ...) font partie des facteurs de dégradation de la mangrove dans cette zone. Cette utilisation de l'écosystème mangrove est spécialement intensive dans les zones localisées à proximité des routes et bordées par des villages. Le nombre de coupes de palétuviers augmente ainsi au fur et à mesure que l'on se rapproche des villages et des routes. Ainsi, nous avons comptabilisé en moyenne (5.3 coupes par bloc et un maximum de 33 coupes dans un bloc

TROISIÈME PARTIE - Discussion

sur l'ensemble de la zone. Les coupes les plus fréquentes s'observent dans le transect D (avec 8.4 coupes par bloc en moyenne), le transect le plus proche des villages. Cette valeur diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des villages de Manombo, Fitsitike et Tsihake. Ainsi, la moyenne des coupes est de 6.2 pour le transect C, 3.3 pour le transect B et 2.9 pour le transect A.

Les pressions naturelles sont générées principalement par l'ensablement, spécifiquement dans la zone périphérique nord-ouest et dans la partie centrale de cette mangrove. Il s'agit de processus strictement géomorphologique, la mangrove disparaissant au fur et à mesure de l'ensablement, même si certains individus s'adaptent parfois aux sables vifs pendant une période. Dans ce site de Manombo-Fitsitike, les apports sédimentaires du fleuve Manombo favorisent le développement de flèches sableuses de part et d'autre de l'embouchure. La flèche sableuse qui se développe vers le sud, associée à une dynamique éolienne active, vient recouvrir la partie nord des mangroves qui dépérissent rapidement (Figure 166 et Figure 167).



**Figure 166 : Evolution de la flèche sableuse à Manombo (2003-2009-2014). (Sources : Spot Image, Google Earth)
(Andriatsiaronandroy, 2018)**

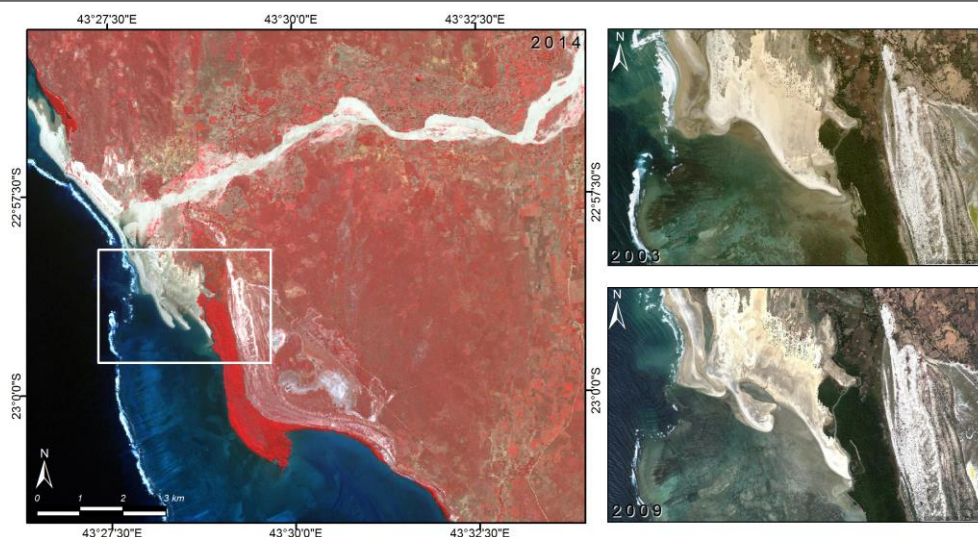


Figure 167 : Evolution de la flèche sableuse à Fitsitike (2003-2009-2014). (Sources : Spot Image, Google Earth) (Andriatsiaronandroy, 2018)

Les apports sédimentaires vers le sud semblent également modifier la granulométrie des substrats, plutôt vaseux, qui deviennent plus sableux dans la partie centrale de l'appendice formé par les mangroves de cette zone. Les formations à palétuviers y sont alors beaucoup plus ouvertes. De manière générale, cette dynamique sédimentaire active se traduit par une accrétion du littoral dans la zone de Toliara (Salomon, 2009), en lien avec une augmentation des processus d'érosion sur les bassins versants des fleuves.

Cependant, malgré ces différentes pressions qui se traduisent par la destruction des mangroves dans sa partie nord et centrale, en matière de surface, la mangrove de Manombo-Fitsitike se trouve en pleine progression, surtout vers le sud. Cette évolution se fait par translation vers le sud-est en coordination avec le développement des flèches sableuses. Cette dynamique progressive se concrétise par la présence de très nombreux juvéniles dans ces nouvelles mangroves, une preuve de leur bon état général, et également par les fortes densités dans ces zones en contact direct avec la marée.

II.2.2 Le site d'Ambondrolava

Le site d'Ambondrolava a perdu 40% de sa surface en 63 ans. Par ailleurs, les mangroves sont avant tout peu denses, et soit en phase de dégradation, soit stables, indiquant toute la fragilité de ce site.

Les deux principales pressions qui pèsent sur les mangroves d'Ambondrolava sont liées à la dynamique sédimentaire. D'une part, la flèche sableuse d'Ambondrolava est le principal perturbateur de l'évolution de la mangrove car, en s'allongeant vers le nord de la

bande de sable à partir de l'embouchure du fleuve Fiherenana, elle déconnecte de plus en plus les mangroves de l'océan alors, cette hydrologie est l'un des facteurs qui va faciliter le processus de régénération naturelle (mettre l'accent sur un rétablissement de l'hydrologie semble nécessaire, d'ailleurs des semis spontanés apparaissent sur place dans les 12 mois qui suivent les ajustements hydrologiques selon le GNF en 2015). Leur alimentation en eau de mer se fait par le biais d'un long chenal ouvert au nord, mais qui se renferme d'année en année avec la progradation de la flèche sableuse (50 m en moyenne par an depuis les années 1940), diminuant fortement l'arrivée de l'eau de mer à l'autre extrémité du site. Au fil du temps, une partie de cette flèche sableuse s'est végétalisée et elle est colonisée par des espèces telles que *Scaevola plumieri*, *Ipomea pescapaeae*, *Cyperus maritimus* et *Holopyrum mucronatum* qui peuvent se multiplier à grande vitesse. Ces apports hydrosalins s'étant fortement réduits, les formations à palétuviers sont progressivement remplacées par des formations à *Typha angustifolia* et *Acrostichum aureum* qui sont concentrées dans la partie est (le nom « Ambondrolava » vient d'ailleurs de « vondro » qui veut dire « typha » et « lava » qui veut dire « long »), dans ce qui devient des marais d'eau douce alimentés avant tout par les eaux de débordement du Fiherenana ou des sources.

D'autre part, la partie de la mangrove se trouvant en contact le long de la flèche sableuse d'Ambondrolava est soumise à un ensablement. Les sables de la flèche sableuse repris par le vent de direction dominante sud-ouest, viennent ensevelir les racines des palétuviers, empêchant ainsi la régénération naturelle de ces derniers.

Par ailleurs, le site d'Ambondrolava fait partie de ceux où les mangroves sont entourées par de nombreux villages : Ambondrolava, Belalanda, Belitsake Tanindraza, Belitsake Tanambao, Ambotsibotsike et Andranonakanga. Les habitants de ces villages exercent des pressions fortes sur les mangroves, favorisant leur dégradation soit directement par les coupes ou les défrichements pour la culture du typha, soit indirectement à cause de la divagation du bétail dans la partie nord ainsi qu'aux alentours de l'embouchure de Fiherenana et à proximité des villages cités ci-dessus. Il y a lieu de mentionner un autre facteur de recul des mangroves dans cette zone : on note ainsi à partir de 1987 le développement et la présence des petites surfaces de salines (2 ha en 1987; 5,13 ha en 1998 et 3 ha en 2012) dans la partie nord d'Ambondrolava ; ces salines sont concentrées le long de la RN9. En effet, des propriétaires ont aménagé des vasières et des mangroves pour mettre en place leur saline.

Cependant, c'est aussi dans cette zone que s'est implantée l'association « Honko » (un organisme belge travaillant avec les populations locales à la conservation des forêts de mangroves menacées en plantant des espèces de *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal* provenant de leurs pépinières dans la partie nord du site. En partenariat avec les membres du VOI locale « Mamelon Honko » qui ont pris conscience de l'utilité et de la fragilité de la mangrove, l'association « Honko » a pour mission de protéger cet écosystème en mettant en place des actions de reboisement de différentes espèces (Figure 168). Malgré l'absence de données cartographiques et de bilans recensant ces actions de reboisement et leurs résultats, elles semblent avoir réussi à ralentir la régression de la mangrove. Néanmoins, on peut s'interroger sur l'intérêt de continuer ces actions sur ce site, du fait qu'il soit irrémédiablement voué à disparaître en raison de l'interruption de l'alimentation en eau de mer à terme. Cette tendance pourrait peut-être inversée si les reboisements étaient accompagnés d'une correction hydrologique, mais à quel coût ?



Figure 168 : Des panneaux appartenant à l'association « Honko » à Ambondrolava. À gauche un panneau à l'entrée du site ; à droite un panneau expliquant les mangroves. (Andriatsiaronandroy, 2018)

II.2.3 Le site d'Ankiembe

Dans l'ensemble, le bilan des mangroves d'Ankiembe montre un excédent d'environ 30 % de leur surface initiale en 63 ans. Cette progression a été favorisée par les eaux calmes qui bordent le site, ainsi que par leur position à l'abri des vagues, puisqu'elles sont protégées par un récif corallien, « le grand récif de Toliara », qui s'étire le long du littoral entre les embouchures des fleuves Fiherenana et Onilahy. Cette position favorise le dépôt et le confinement des vases qui peuvent être colonisées par les palétuviers. De même, elle favorise de bonnes conditions biophysiques qui se traduisent par une bonne capacité de régénération, même si le site n'est pas directement alimenté par un fleuve comme la plupart

des zones à mangrove de cette région. Au contraire, cet éloignement de l'embouchure des fleuves protège finalement les mangroves contre l'ensablement qui affecte celles des autres sites.

Néanmoins, il faut noter que la proximité de la ville de Toliara crée des conditions de fortes pressions anthropiques. Même si les mangroves de ce site sont caractérisées par une dynamique globale de progression, cette position au sud de la ville de Toliara, qui a connu une explosion démographique ces dernières décennies, passant de 80 634 à 148 487 habitants entre 1993 et 2011 (INSTAT, 2013), génère différentes activités orientées vers la ponction de bois de palétuvier et le défrichement pour la création de salines particulièrement. Cela explique le fait que les mangroves soient majoritairement peu denses (entre 50 à 65% de la surface totale des mangroves) dans la zone. Cependant, même si les salines façonnent les paysages de cette zone, précisément dans la partie nord des mangroves, il apparaît aussi sur le terrain que nombreuses sont les salines recolonisées par des palétuviers.

Par ailleurs, ces mangroves sont aussi soumises à une pollution importante dont les effets sont difficilement visibles, mais qui altèrent les conditions biophysiques globales et qu'il serait intéressant d'étudier. En effet, dans le quartier d'Ankiembe au sud de Toliara, qui jouxte les mangroves, les ordures achetées auprès de la commune à raison de 20 000 Ar par bac de 7 tonnes, sont utilisées pour remblayer les terrains humides ouverts à l'urbanisation (précaire) après la construction fin 2009 d'une digue de protection de plusieurs kilomètres construite en blocs de calcaires stériles contre l'érosion marine (Razakamanana *et al.*, 2014), générant potentiellement une pollution diffuse.

II.2.4 Le site de Sarodrano

Les mangroves de Sarodrano, très denses, bien protégées à l'intérieur de la baie éponyme bien alimentée en vases, sont restées globalement stables sur la période étudiée. Bien que la population du village Sarodrano, situé à la pointe de la flèche sableuse, ait connu un accroissement ces dernières décennies, et que les sables vifs aient englouti une partie des palétuviers dans la partie sud, les pressions anthropiques exercées restent relativement faibles aujourd'hui, et les pressions naturelles ne semblent pas bloquer l'épanouissement de la mangrove. Au contraire, la mangrove de ce site est très dynamique. L'une des raisons de ce dynamisme pourrait être liée à l'effort mis en place de grandes organisations par la direction

régionale chargée de l'environnement et des forêts qui ont plus ou moins porté leurs fruits, et ce depuis une prise de conscience générale de la communauté locale de base de l'importance des forêts de palétuviers, de leur dégradation, de l'intérêt de la préservation et de la protection de cet écosystème afin de le pérenniser. Signalons aussi l'installation du village Tapadalan-dreviky en 2000 qui ravitaille la population de Sarodrano en bois issu des fourrés. Malgré les multitudes d'usage de la mangrove, la communauté a pris conscience que la mangrove fait partie des ressources épuisables et que par conséquent les activités pratiquées au sein de la communauté doivent être adaptées aux modifications de cet écosystème. Ainsi, le summum de cette prise de conscience générale s'est traduit par la mise en place d'une association locale TAMIA (Tahosoa Alandriake Mitambatse lanatsono Andatabo) en 2008 ayant des règles collectives de limitation, de délimitation (zone d'utilisation traditionnelle, zone de protection, zone de restauration), d'encadrement des utilisations (coupe, cueillette, chasse, pêche, ... à usage quotidien) et des usages qui ont permis à présent de s'orienter vers une meilleure préservation du milieu. La dynamique progressive de ces dernières années pourrait être liée à l'éducation et à la sensibilisation de la population locale sur les fonctions de la mangrove ainsi qu'à des actions de reboisement, de restauration et de conservation menée par des ONG et des associations depuis 2008. Par ailleurs, les vastes surfaces de vasière dans la partie centrale de la baie, bien alimentées par des chenaux de marée, ainsi que par les apports en eau douce depuis les résurgences karstiques de la falaise sont particulièrement favorables à la régénération active des palétuviers.

II.2.5 Le site d'Andriambe

Le site d'Andriambe a perdu plus de 50% de la surface de ses mangroves en 65 ans. Néanmoins, les mangroves montrent malgré tout une dynamique de régénération extrêmement active. Ainsi, elles sont composées majoritairement de formations à forte densité.

Dans la mesure où la mangrove d'Andriambe est gérée par l'association officielle locale Tahosoa depuis 2011 (dont le siège se trouve à Saint Augustin), elle est gérée durablement et protégée contre les coupes des palétuviers, le recours aux produits toxiques comme les « *laro* » ou *Euphorbia laro*, l'utilisation des filets à mailles réduites, l'exploitation abusive ... du 1^{er} avril au 30 septembre (Figure 169). La vulnérabilité de la mangrove de cette

TROISIÈME PARTIE - Discussion

zone provient principalement de sa position à l'intérieur même de l'embouchure du fleuve Onilahy. En période de crues, les actions combinées du fleuve et de la houle génèrent une forte érosion des berges composées de matériaux sablo-argileux particulièrement érodables, emportant ou déstabilisant les palétuviers (une situation impossible à résoudre car la possibilité d'éliminer les perturbations est utopique). Cependant, les individus qui ont réussi à résister à l'érosion sont aujourd'hui de gros et vieux palétuviers implantés sur un substrat argileux, indiquant des conditions favorables au développement des palétuviers, surtout des espèces *Xylocarpus granatum*. Ce sont les falaises au sud de ces peuplements qui bloquent l'expansion de nouveaux palétuviers.



Figure 169 : Un panneau d'interdiction à l'entrée du site d'Andriambe (Andriatsiaronandroy, 2018)

Ce chapitre a permis de faire la part des facteurs naturels et anthropiques dans la compréhension des dynamiques des mangroves dans cette région, et comme Cormier-Salem l'a indiqué en 1994, de montrer l'imbrication étroite assez systématique de ces deux facteurs. Le rôle unique et simplificateur de l'Homme comme facteur de dégradation est donc remis en question.

Enfin, l'intérêt de se focaliser sur les facteurs d'évolution des mangroves spécifiques par site et le meilleur discernement essentiel de ces facteurs responsables de leurs dynamiques,



TROISIÈME PARTIE - Discussion

permet d'envisager d'apporter des réponses plus appropriées pour une bonne préservation de la mangrove.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ces dernières décennies ont émergé un intérêt croissant pour les mangroves dans le monde scientifique et des organisations de protection de l'environnement, basé sur une perception généralement d'un état de régression continue. Les mangroves malgaches ne font pas exception, particulièrement celles du sud-ouest. Les autorités compétentes, les organismes non gouvernementaux ou les partenaires techniques et financiers ainsi que la population locale, y développent des discours relatant en général la destruction des mangroves. Toutefois, cette généralisation pose un réel problème surtout lorsqu'aucune preuve scientifique fiable telle que des cartes ou des travaux de recherche approfondis sur le terrain ne vient attester cette assertion.

Sur la base de ces représentations, différents programmes de conservation, de restauration et de protection des mangroves n'ont cessé de se multiplier dans la région de Toliara ces dernières années. Ils se traduisent généralement par des campagnes de reboisement sans études préalables qui permettraient la compréhension de la dynamique d'évolution de ces écosystèmes qui demeurent encore mal connus.

C'est notamment là que réside l'intérêt des différents objectifs définis au cours de ce travail, qui s'est attaché à montrer, à caractériser le plus précisément possible la dynamique d'évolution réelle de la mangrove du sud-ouest de Madagascar. Les différents sites de mangroves représentatifs de la région de Toliara ont été le point de départ de l'étude, avec le souci de restituer des informations aussi complètes que possible sur l'état du milieu actuel et à différents moments donnés passés. Ainsi, l'objectif principal et les objectifs secondaires énumérés au début de cette étude ont été atteints dans les différents résultats, avec la cartographie de l'état actuel de la mangrove (2014) et la dynamique d'évolution de la mangrove de la région de Toliara entre 1949 et 2012. Ces résultats apportent de nouvelles données plus fiables et utilisables concernant la mangrove de cette région de Toliara. Ces résultats visaient aussi à servir par la suite dans la quantification de l'évolution des mangroves dans le futur. En outre, ils ont permis d'amorcer la définition de modèles d'évolution de la mangrove dans le sud-ouest malgache.

Les dynamiques d'évolution de la surface boisée des mangroves des cinq sites représentatifs de la mangrove du sud-ouest de Madagascar (Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Sarodrano et Andriambe) sont plus complexes et contrastées que ce que l'on pouvait

Conclusion générale

imaginer au début de ce travail. Certaines montrent sur la période étudiée une progression globale comme pour le site de Manombo-Fitsitike (+16 ha soit +6 %) et d'Ankiembe (+35 ha soit +25 %), d'autres une stabilité comme pour le site de Sarodrano, ou une régression comme pour les sites d'Ambondrolava (-108 ha soit -61%) et d'Andriambe (-15 ha soit -53%). Par ailleurs, leur dynamique n'est pas linéaire et varient beaucoup entre les périodes 1949-1987, 1987-1998 et 1998-2012/14. En effet, au-delà d'une simple combinaison d'extension, de disparition et de maintien (avec densification ou dégradation), il faut noter aussi que dans la dynamique d'évolution des mangroves étudiées entre deux ou plusieurs dates, il y a toujours une alternance de phases de développement, de régression ou de stabilité d'une part et des variations de densité d'autre part. Autrement dit, même si on parle de régression/progression entre deux dates, cela ne signifie pas qu'il n'y ait pas eu une partie de mangrove qui se soit développée/rétractée. De même, on pourra parler de régression entre deux dates même si les surfaces des mangroves sont restées stables mais que leur densité a diminué, passant de très dense à dense ou de dense à peu dense. Enfin, la mangrove montre parfois un très fort dynamisme qui se traduit par une régénération dans certains sites déboisés durant les périodes précédentes, ou par une translation rapide au fur et à mesure de l'accrétion littorale. Quoi qu'il en soit, en aucun cas on ne peut appliquer de manière univoque le qualificatif de dégradation aux processus à l'œuvre dans cette région. La mangrove est par nature un écosystème forestier instable du fait de sa situation à l'interface continent/océan.

Par ailleurs, les facteurs de ces dynamiques d'évolution sont également variables, associant des facteurs anthropiques ou naturels à des degrés variables. En tout état de cause, nos résultats montrent qu'on ne peut pas incriminer de manière univoque les prélèvements humains. D'ailleurs, les impacts anthropiques peuvent tout autant prendre la forme de reboisements artificiels de palétuviers, efficaces lorsque les conditions permettent que les plantules s'installent (zone calme, installation des vases, ...). Les succès de ces actions sont d'ailleurs très aléatoires car leur mise en œuvre s'effectue souvent sans connaissance précise des dynamiques de fonctionnement réelles des écosystèmes.

Les résultats ci-dessus ont pu être obtenus grâce à l'utilisation croisée et en complémentarité de la télédétection satellitaire et aérienne et du terrain.

L'acquisition de données approfondies sur le terrain a été réalisée en plusieurs étapes et par différents moyens tels que les inventaires, les mesures et analyses physico-chimiques, les

Conclusion générale

enquêtes, La diversité des éléments investigués visait à collecter des données les plus exhaustives possibles permettant de comprendre ensuite les facteurs expliquant les dynamiques mises en évidence par télédétection. Concernant la télédétection, nous avons mis en œuvre de multiples traitements basés sur une approche très interactive. Ces données images ont ensuite été croisées avec les bases de données terrain.

Le fait d'avoir pu disposer de la programmation d'images Spot coïncidant avec une mission de terrain (2014) où ont été réalisés les inventaires floristiques sur transects, a permis la validation des classifications supervisées des mangroves. Au-delà de la caractérisation de l'organisation spatiale des mangroves de cette région et de la complexité des changements les ayant affectés ces 6 dernières décennies, puis de leur documentation et quantification plus précise, ces résultats ont aussi permis de mettre en évidence les caractéristiques structurales des écosystèmes étudiés sous une forme spatialisée.

Cette évaluation quantitative des mangroves et de certains de ses écosystèmes associés dans le sud-ouest de Madagascar avec un bon degré de précision met en valeur tout l'apport de la télédétection. Le seul travail de terrain n'aurait pas permis de spatialiser ainsi l'ensemble de ces écosystèmes, car cela aurait demandé un temps et un budget considérables. La télédétection s'avère donc un recours indispensable lorsque les données sont très lacunaires ou les surfaces à investiguer de grande envergure.

La caractérisation spectrale des différents types de mangroves par espèces et densité, laisse augurer des possibilités de suivis dans le temps et éventuellement de prévision de l'évolution de ces écosystèmes en intégrant les facteurs d'évolution passée identifiés.

Au final, en s'appuyant sur la cartographie des mangroves et les recherches sur terrain, il est possible à terme d'envisager de mettre à la disposition de tous un outil d'aide à la décision et à la gestion, particulièrement dans le contexte du changement climatique qui va impacter les dynamiques d'évolution naturelles et les forçages anthropiques. Ainsi, il est d'ores et déjà possible, en contribuant à une meilleure connaissance de ces écosystèmes, d'aider les populations locales et les pouvoirs publics, ainsi que les ONG et associations, à mieux orienter les plans de gestion futurs ou de protection / restauration mis en œuvre dans ces zones, dont les taux d'échecs sont souvent assez élevés, lorsqu'ils sont mis en application « à l'aveuglette ».

Cette thèse qui s'était fixée l'objectif de caractériser la structure et la dynamique des mangroves de la Région de Toliara, a été accomplie en produisant des informations aussi

Conclusion générale

fiables que possible sur l'état actuel des écosystèmes, mais aussi dans le but d'un suivi à long terme. Néanmoins, la dimension prospective du travail reste encore à réaliser. Les différents résultats ont notamment besoin d'être affinés par des mesures répétitives annuelles. La multiplication des dates de suivi diachronique montrerait aussi certainement des logiques de dynamiques d'évolution plus claires qu'avec les 5 dates actuellement utilisées.

Par ailleurs, des études de la relation sol-végétation, insuffisamment investiguée dans la thèse, permettraient de mieux saisir certaines dynamiques observées dans ces premiers travaux. De même, les dynamiques morphologiques littorales, qu'on peut bien appréhender pour ce qui est des flèches sableuses, devraient aussi faire l'objet d'études plus poussées. Celles-ci peuvent notamment être induites par des variations minimales du niveau marin (en lien avec les changements globaux ou avec les dynamiques locales, voire régionales à l'échelle des bassins versants). De manière plus générale, les liens avec le changement climatique, souvent invoqué dans la littérature grise ou plus spécialisée, est loin d'être aujourd'hui bien documenté et étayé. Il s'agit là d'un chantier d'avenir à envisager.

Certaines métriques caractéristiques des mangroves, comme la hauteur des arbres par exemple, n'ont pas pu être étudiées. L'utilisation d'autres types d'images (RADAR, LiDAR, Landsat, Sentinel, ...) pourrait permettre de fournir ces éléments fondamentaux pour caractériser ces écosystèmes. On peut aussi ajouter que l'ensemble des données acquises au cours de cette thèse pour les différents individus sur les transects investigués, offre encore la possibilité de multiples analyses, sur les répartitions interspécifiques et intraspécifiques par exemple qui n'ont pas été étudiées d'une manière approfondie jusqu'à présent par manque de temps.

Les résultats obtenus dans cette thèse constituent une avancée dans la connaissance scientifique des mangroves du SW de Madagascar, ils peuvent être utilement mobilisés par les acteurs de terrain dans les actions de préservation ou de restauration des écosystèmes littoraux. Ils montrent l'intérêt pratique d'une première démarche empirique, basée sur l'observation et la collecte systématique de données, pour comprendre des trajectoires d'évolution. Ils ouvrent aussi la voie à des approches moins empiriques, visant notamment la modélisation des processus et de simulation des évolutions, en vue d'une meilleure projection des actions et une prévision de leur réussite.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aksomkoe S. (1993) Ecology and Management of Mangroves, Bangkok : UICN
- Chapman V.J. (1976) Mangrove vegetation. Cramer Vaduz, Germany 447 p.
- Conand C. (1976) Les mangroves. Ecologie au Sénégal, 2, Université de Dakar, 136 p.
- Cormier-Salem M.C. (1999) Les rivières du Sud. Sociétés et Mangroves Ouest-Africaines. Paris, IRD, vol. I, 416 p et, vol. II, 288 p.
- Dufournet R. (1972) Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Répertoire des localités, lieux et régions cités dans le document n. 340 par alphabétique. Paris : GERDAT-IRAT, 15 p
- Fralit (équipe) (1981) Télédétection du marais Poitevin et de ses marges. Collection de l'Ecole Normale de Jeunes Filles, 13 : 311 p.
- Gachet (1959) Les Palétuviers de Madagascar. BM. 153, 24 p.
- Goodman S.M. (2008) Paysages naturels et biodiversité de Madagascar. Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 694 p.
- Hervieu J. (1968) Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. Mém. ORSTOM, 24, Paris, 465 p.
- Hoerner J.-M. (1986), Géographie régionale du Sud-ouest de Madagascar, Antananarivo, Association des Géographes de Madagascar.
- Ifremer (2015) L'acidification des océans révélée depuis l'espace. Communiqué de Presse, Paris, 2 p.
- Jenkins M.D. (1987) Madagascar : an environmental profile. IUCN Conservation Monitoring Centre, Switzerland, 374 p.
- Koechlin B. (1975) Les Vezo du sud-ouest de Madagascar. Contribution à l'étude de l'écosystème de semi-nomades marins, Paris / La Haye, Mouton / Éditions de l'École pratique des hautes études, coll. « Cahiers de l'Homme ».
- Lacerda L.d. D. (2001) Mangrove Ecosystems - Function and Management. Springer. 1st edition.
- Lebigre J.M. (2016) Petite encyclopédie du Grand Sud de Madagascar, Presses Universitaires de Bordeaux, 225 p.
- Lémée G. (1978) Précis d'écologie. Masson, Paris, 292 p.
- Maltby E., Hogan D.V., McInnes R.J. (1996) Functional analysis of European wetland ecosystems. Report to the European Commission, EC DGXII STEP-CT90-0084
- Mather P. (2004) Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. John Wiley & Sons, Ltd, third edition.

Références bibliographiques – Ouvrage (Monographie)

- Roger E. (2007) Etat de lieu de mangrove de Madagascar vis à vis du changement climatique. Rapport, Université d'Antananarivo, 30 p.
- Rönnbäck P. (2001) Mangroves and Seafood Production. The Ecological Economics of Sustainability. Akademitryck AB, Edsbruk, Sweden
- Saenger P. (2002). Mangrove ecology, silviculture and conservation. Kluvers Academic. The Netherlands, 351 p.
- Scanvic J. (1983) Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre. France: Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Manuel et Méthodes, no. 7
- Schnell R. (1971) Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Les milieux, les groupements végétaux (volume 1 et 2). Géobiologie écologie aménagement. Collection internationale. Paris, Gauthier-Villars, 951 p.
- Snedaker S. C. (1984) The Mangrove Ecosystem: Research Methods. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris, Unesco, 251 p.
- Thébault V.J. (1960) Code des 305 articles promulgué par la reine Ranavalona II, le 29 mars 1881. Texte malgache intégral avec traduction française et notes bibliographiques. 159 p.
- Thollot P. (1989) Les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de nouvelle Calédonie : caractérisation du peuplement et relation avec les autres communautés ichtyologiques du lagon. Résultats préliminaires : mangrove de Déama (avril-mai 1987). Nouméa : ORSTOM, (52), multigr. (Sciences de la Mer.Biologie Marine.Rapports Scientifiques et Techniques ; 52), 58 p.
- Tomlinson P. B. (1986) The botany of mangroves. Cambridge tropical Biology series. Cambridge University Press, U.K., 413 p.
- Tostain S. (2010) Espèce de palétuviers dans les mangroves de Toliara. Formad Environnement, Toliara, 32 p.
- Trochain J.L. (1980) Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique. Université Paul-Sabatier, Toulouse, 468 p.
- Trouchaud J.P. (1965) Contribution à l'étude géographique de Madagascar, la Basse plaine du Mangoky, Volume 2, Numéro 3, Cahiers O.R.S.T.O.M., Série Sciences Humaines, 95 p.
- Tsangandrazana J. (2007) Revue de littérature sur les impacts des changements climatiques sur la biodiversité terrestre et marine de Madagascar. 33 p.

- Besarie H., Collignon M. (1971) Géologie de Madagascar I. Les terrains sédimentaires : Annales Géologiques de Madagascar 35, 461 p.
- Blasco F., Tissot C., Giresse P., Fredoux A., Weiss H., Moguedet G., Caratini C. (1980) Les rivages tropicaux. Mangroves d'Afrique et d'Asie. Bordeaux, Centre d'étude de géographie tropicale, 246 p.
- Boulier J., Simon L., Maathai W. (2009) Atlas des forêts dans le monde : protéger, développer, gérer une ressource vitale. Paris : éditions Autrement, Collection Atlas Monde, 80 p.
- Caloz R., Collet C. (2001) Précis de télédétection ; vol. 3 : Traitements numériques d'images télédétection, Presses de l'Université de Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy (Québec), 386 p.
- Cellule de prévention et gestion des urgences (CPGU) - Primature de Madagascar (2012) Atlas de la vulnérabilité sectorielle de la Région Atsimo-Andrefana. Sary Tany, Someah, 69 p.
- Chaperon P., Danloux J., Ferry L. (1993) Fleuves et rivières de Madagascar. ORSTOM, Paris, 874 p.
- Chislock M.F., Doster E., Zitomer R.A., Wilson Eutrophication A.E. (2013) Causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems Nat. Educ. Knowl., 4 (4), p. 10
- Congalton R.G., Green K. (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 137 p.
- DasGupta R., Shaw R. (2017) Participatory Mangrove Management in a Changing Climate: Perspectives from the Asia-Pacific. Springer, Japan, 336 p.
- Doyen A., Agboba C. (1985) La mangrove à usages multiples de l'estuaire du Saloum (Sénégal), Dakar, 145 p.
- FAO (1994) Mangrove forest management guidelines. FAO Forestry Paper 117, Rome, 320 p.
- FAO (2003) Status and trends in mangrove area extent worldwide. Forest resources
- FAO (2007) The World's mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper 153, Rome, 89 p.
- FAO, UNEP (1981) Tropical Forest Resources Assessment, 586 p.
- Feller C-I., Sitnik M. (1996) Mangrove ecology: a manual for a field course. Washington, Smithsonian institution, 135 p.
- Giesen W., Wulffraat S., Zieren M., Scholten L (2007) Mangrove guidebook for Southeast Asia. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 769 p.
- Global Nature Fund/GNF (2015) Mangrove restoration guide - Best Practices and Lessons Learned from a Community-based Conservation Project. Handbook, 56 p.

- Jaccarini V., Martens E.E. (1992) The Ecology of Mangrove and Related Ecosystems: Proceedings of the International Symposium held at Mombasa, Kenya, 24-30 September 1990. Reprinted from *Hydrobiologia*, vol. 247. Developments in Hydrobiology, 80. Kluwer Academic: Dordrecht. ISBN 0-7923-2049-2. 266 pp.
- Kendall M.G., Stuart A. (1983) The advanced Theory of statistics. 1-3
- Koechlin J., Guillaumet J.L., Morat Ph. (1974) Flore et végétation de Madagascar. Edition Cramer, Vadez, 687 p.
- Mastaller M., Matthew J., Howes J.R. (1997) Mangroves: the forgotten forest between land and sea. Kuala Lumpur, Malaysia: Tropical Press, Malaysia, 200 p.
- Moldenke H.N., Humbert H. (1956) Flore de Madagascar et des Comores : plantes vasculaires, 174e famille. Verbénacées. 174e bis famille. Avicenniaceées. Impr. de Firmin-Didot et Cie, Paris, 274 p.
- Monographie de la Région Atsimo Andrefana, PNUD –Cabinet SARANDRA Conseil et Développement. 289 p.
- Ndour N., Dieng D.S., Fall M. (2012) Rôles des mangroves, modes et perspectives de gestion au Delta du Saloum (Sénégal). *Rev VertigO*, 11(3), 16p.
- Nguyen H.T., Stanton D.E., Schmitz N., Farquhar G.D., Ball M.C. (2015) Growth responses of the mangrove *Avicennia marina* to salinity: development and function of shoot hydraulic systems require saline conditions. *Ann. Bot.*
- ONE (2007) Tableau de Bord Environnemental National
- ONE (2013) Tableau de Bord Environnemental Région Atsimo Andrefana. 301 p.
- Perrier de La Bâthie H., Arènes J. (1954) Flore de Madagascar et des Comores: plantes vasculaires, 147e famille. Lythracées. 148e famille. Sonneratiacées. 149e famille. Lécythidacées. Par H. Perrier de La Bâthie,... 150e famille. Rhizophoracées, par J. Arènes, 151e famille. Combrétacées, par H. Perrier de La Bâthie. Impr. de Firmin-Didot et Cie, Paris, 84 p.
- Rabesandratana R.N., Rabesandratana H.D. (1970) La mangrove: fiche documentaire. Université de Madagascar, Tuléar. 18p.
- Rochotte D., Scaglia S., Willefert N. (2003) Dynamique de la mangrove d'Iracoubo, Mémoire du module «Forêt tropicale humide» de l'ENGREF, Kourou, 20 p.
- Skinner J., Beaumont N., Pirot J.Y. (1994) Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales. Gland (Suisse), VICN, xviii + 274 p.
- Smith R.D., Anman A., Bartoldus C., Brinson M.M. (1995) An approach to assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands and functional indices. Vicksburg, MS: US Army Engineers Waterways Experiment Station, Technical Report WRP-DE-9.
- Spalding M.D., Blasco F., Field C.D. (1997) World Mangrove Atlas. Okinawa (Japan), International Society for Mangrove Ecosystems, 178 p.



Références bibliographiques – Ouvrage collective

- Spalding M.D., Kainuma M., Collins L. (2010) World Atlas of Mangroves, Earthscan from Routledge, London, 319 p.
- Taureau F., Robin M., Debaine F. (2015) Guide méthodologique pour la cartographie des mangroves de l'Outre-mer français, IFRECOR, Version 1, 83 p.
- Teas H. J. (1984) Physiology and management of mangroves. Dr. X. Junk Publishers. 106 p.
- Woods-Ballard A.J., Rix C.E., Eibleis F. (2003) Mangrove Biodiversity Survey South of the Onilahy River: Lavadanora, Lovokampy and Mangoro Systems, Frontier Madagascar, Université de Toliary, Institut halieutique et des sciences marine, Society for Environmental Exploration, 47 p.

- Alatorre L.C., Sánchez-Andrés R., Cirujano S., Beguería S., Sánchez-Carrillo S. (2011) Identification of mangrove areas by remote sensing: the ROC curve technique applied to the Northwestern Mexico coastal zone using Landsat imagery. *Remote Sensing*, 3, pp. 1568-1583.
- Alongi D.M. (2012) Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Manage.*, 3 (3), pp. 313-322
- Alongi D.M. (2014) Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science* 6, pp.195–219.
- Ameen F., Moslem M., Hadi S., Al-Sabri A.E. (2015) Biodegradation of diesel fuel hydrocarbons by mangrove fungi from Red Sea Coast of Saudi Arabia, *Saudi Journal of Biological Science*, 23, pp. 211–218.
- Andréfouët S., Guillaume M.M.M., Delval A., Rasoamanendrika F.M.A., Blanchot J., Bruggemann J.H. (2013) Fifty years of changes in reef flat habitats of the Grand Récif of Toliara (SW Madagascar) and the impact of gleaning. *Coral Reefs*, 32, pp. 757-768.
- Andriatsiaronandroy O.R.R., Taïbi A.N., Davranche A., Ballouche A., Rejo-Fienena F. (2017) Dynamique de la mangrove de la région du Sud-ouest de Madagascar face aux actions anthropiques et au changement climatique. L'exemple des formations à palétuviers. *Territoires d'Afrique*, n° 9, pp. 41-52.
- Andrieu J., Mering C. (2008) Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest-africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum au Rio Geba. *Teledetection*, Editions scientifiques GB, 8 (2), pp.93-118.
- Aziz I., Khan M.A. (2001) Effect of seawater on the growth, ion content and water potential of *Rhizophora mucronata* Lam J. *Plant Res.* 114, pp. 369–373.
- Ball M.C., Pidsley S.M. (1995) Growth responses to salinity in relation to distribution of two mangrove species, *Sonneratia alba* and *S. lanceolata*, in northern Australia. *Funct Ecol* 9, pp. 77–85.
- Bandaranayake W.M. (1998) Traditional and medicinal uses of mangroves. *Mangroves and Salt Marsh* 2, pp. 133–148.
- Battistini R. (1995) La flèche de Sarodrano (côte sud-ouest de Madagascar). *Norois*, n°165, pp. 63-71.
- Battistini R., Jouann C., Maugé L.A. (1975) Morphologie et sédimentologie du Canyon sousmarin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar). *Cahier ORSTOM*, ser. Géol., vol. VII, no 2, pp. 95-110.
- Benfield S.L., Guzman H.M., Mair J.M. (2005) Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama. *J. Environ. Manage.*, 76, pp. 263-276.

- Bennett N.D., Croke B.F.W., Guariso G., Guillaume J.H.A., Hamilton S.H., Jakeman A.J., Marsili-Libelli S., Newham L.T.H., Norton J.P., Perrin C., Pierce S.A., Robson B., Seppelt R., Voinov A.A., Fath B.D., Andreassian V. (2013) Characterising performance of environmental models *Environ. Model. Softw.*, 40, pp. 1-20.
- Bergeret A. (1993) Discours et politiques forestières coloniales en Afrique et à Madagascar. In: *Revue française d'histoire d'outremer*, tome 80, n°298, pp. 23-47.
- Bernardie-Tahir N., El-Mahaboubi O. (2001) Mayotte : des parfums au tourisme. Les nouveaux enjeux du littoral, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 216, pp. 369-396.
- Bertrand A., Serpantie G., Randrianarivelo G., Montagne P., Toillier A., Karpe P., Andriambolanoro D., Derycke M. (2012) Contre un retour aux barrières : quelle place pour la gestion communautaire dans les nouvelles aires protégées malgaches ? *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 257, pp. 85-123.
- Binh T.N.K.D., Vromant N., Hung N.T., Hens L., Boon E.K. (2005) Land cover changes between 1986 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Environ. Dev. Sustain.* 7, pp. 519-536.
- Blasco F. (1991) Les mangroves. *La recherche* 22, pp. 443-453.
- Blasco F., Saenger P., Janodet E. (1996) Mangroves as indicators of coastal change. *Catena*, 27, pp. 167-178.
- Bosire J.O., Dahdouh-Guebas F., Walton M., Crona B.I., Lewis III R.R., Field C., Kairo J.G., Koedam N. (2008) Functionality of restored mangroves: A review. *Aquat. Bot.*, 89, pp. 251–259.
- Bunyard A., Ward A. (1992) Mangroves of Africa and Madagascar. CEC. Luxembourg, pp. 153-168.
- Cahoon D.R., Hensel P., Rybczyk J., McKee K.L., Proffitt C.E., Perez B.C. (2003) Mass tree mortality leads to mangrove peat collapse at Bay Islands, Honduras after Hurricane Mitch. *Journal of Ecology*, 91, pp. 1093–1105.
- Carney J., Gillespie T. W., Rosomoff R. (2014) Assessing forest change in a priority West African mangrove ecosystem: 1986-2010. *Geoforum*, 53, pp. 126-135.
- Chapman V. J. (1984) Botanical surveys in mangrove communities. *Monogr. oceanog. Methodol.* Vol. 8, pp. 53-80.
- Chauhan H.B., Dwivedi R.M. (2008) Inter sensor comparison between RESOURCESAT LISS III, LISS IV and AWiFS with reference to coastal landuse/landcover studies. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, pp. 181–185.
- Chauvaud S., Bouchon C., Manière R. (1998) Remote sensing technique adapted to high resolution mapping of tropical coastal marine ecosystems (costal reefs, seagrass beds and mangroves). *Int. J. of remote sensing* 19(8), pp. 3625-3639.

- Chauvaud S., Bouchon C., Manière R. (2001) Cartographie des biocénoses marines de Guadeloupe à partir de données SPOT (récifs coralliens, phanérogames marines, mangroves). *Oceanol Acta* 24, pp. 3–16.
- Chen G., Lin Y., Wen L., Vrijmoed L.L.P., Jones E.B.G. (2003) Two new metabolites of a marine endophytic fungus (No. 1893) from an estuarine mangrove on the South China Sea coast. *Tetrahedron*, 59, pp. 4907-4909.
- Chen Y., Ye Y. (2014) Effects of Salinity and Nutrient Addition on Mangrove *Excoecaria agallocha*. *PLoS ONE* 9(4): e93337.
- Chevalier A. (1924) L'exploitation des Palétuviers à tanin et leur valeur, d'après quelques travaux récents. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture tropicale*, p. 340-344.
- Conchedda G., Durieux L., Mayaux P. (2008) An object-based method for mapping and change analysis in mangrove ecosystems. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 63 (5), pp. 578–589.
- Congalton R.G., Oderwald R.G., Mead R.A. (1983) Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, pp. 1671-1678.
- Cook A., Ratomahenina O., Ranaivoson E., Razafindrainibe H. (2000) Chapter 60. Madagascar. In Sheppard, C.R.C (eds). *Seas at the millennium: an environmental evaluation*. Vol 2. Regional chapters: The Indian Ocean to the Pacific. Pergamon, Amsterdam, pp. 113-131.
- Courtin F., Kagbadouno M., Camara M., Bazzo D. (2011) Peuplements, mobilités et paysages en zone de mangrove guinéenne : le cas de la baie de Sangaréah (Guinée), *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 256, pp. 453-466.
- Dan T. T., Chen C. F., Chiang S. H., Ogawa S. (2016) Mapping and change analysis in mangrove forest by using Landsat imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume III-8, XXIII ISPRS Congress, pp. 109-116.
- Davis III S.E., Corronado-Molina C., Childers D.L., Day Jr. J.W. (2003) Temporally dependent C, N and P dynamics associated with the decay of *Rhizophora* mangle L. leaf litter in oligotrophic mangrove wetlands of the southern Everglades. *Aquat. Bot.*, 75, pp. 199-215.
- De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3), pp. 393-408.
- Del Vecchia A.G., Bruno J.F., Benninger L., Alperin M., Banerjee O., de Dios Morales J. (2014) Organic carbon inventories in natural and restored Ecuadorian mangrove forests *PeerJ*, 2, Article e388

- Derijard R. (1963) Note préliminaire sur la localisation et le peuplement de certains atterrissements sablo-vaseux et vaseux intertidaux de la Région de Tuléar (Madagascar), *Annales Malgaches* 1, pp. 201-219.
- Desse M. (2002) Pression anthropique et dégradation des littoraux haïtiens : l'exemple du golfe de la Gônave, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 219, pp. 325-344.
- Dieudonné P., Ramiarantsoa H.R. (2012) La Loi Gelose comme outil social de la ressource Forestière, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, n° 258, pp. 273-285.
- Dieye E. H. B., Diaw A. T., Sané T. et Ndour N. (2013) Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010. *Cybergeog : European Journal of Geography*, document 629.
- Diop, S., A. Soumaré, N. Diallo et A. Guissé, 1997, Recent changes of the mangroves of the Saloum River Estuary, Sénégal. In *mangrove and salt Marshes* 1, pp.163-172. édit. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Domergue C. (1973) Les eaux souterraines au Nord de Tuléar entre Onilahy et Mangoky (Zone Masikoro-Sud). *Bulletin de l'Académie Malgache*; 51, pp. 49-53.
- Donato D.C., Kauffman J.B., Murdiyarso D., Kurnianto S., Stidham M., Kanninen M. (2011) Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci.*, 4 (5), pp. 293-297.
- Duke N.C., Ball M.C., Ellison J.C. (1998) Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, Mangrove Special Issue 7, pp. 27-47.
- Ellison J.C. (1998) Impacts of sediment burial on mangroves. *Mar.Poll. Bull.* 37, pp. 420-426.
- Evans G. (1942) The origin of spits, bars and related structures. *Journal of Geology*, 50, pp. 846-865
- Fauroux E., Koto B. (1993) Les migrations mahafale dans le processus de ruralisation de la ville de Toliara (Madagascar), *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. 29, n° 2-3, pp. 547-564.
- Feller I.C., Lovelock C.E., Berger U., McKee K.L., Joyce S.B, Ball M.C. (2010) Biocomplexity in mangrove ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2, pp. 395-417.
- Field C.D. (2000) *Mangroves in Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation - Vol. 3*, ed. Sheppard, pp. 17-32.
- Fragkias M., Seto K.C. (2007) Modeling urban growth in data-sparse environments: a new approach. *Environ Plan B-Plan Des*, 34, pp. 858-883.
- Gao J. (1998) A hybrid method toward accurate mapping of mangroves in a marginal habitat from Spot multispectral data. *Int. J. of remote sensing* 19(10), pp. 1887-1899.

- Gastineau B., Sandron F. (2006) Démographie et environnement à Madagascar. Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires, pp. 294-295.
- Gilman E., Ellison J., Duke N., Field C. (2008) Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany* 89, pp. 237–250.
- Giri C., Long J., Abbas S., Murali R.M., Qamer F.M., Pengra B., Thau D. (2015) Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. *J Environ Manage* 148, pp. 101–111.
- Giri C., Muhlhausen J. (2008) Mangrove forest distributions and dynamics in Madagascar (1975-2005). *Sensors* 8, pp. 2104-2117.
- Giri C., Ochieng E., Tieszen L.L., Zhu Z., Singh A., Loveland T., Masek J., Duke N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology & Biogeography* 20, pp.154-159.
- Giri C., Pengra B., Zhu Z., Singh A., Tieszen L. (2007) Monitoring mangrove forest dynamics of the sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973–2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73, 1–2, pp. 91–100.
- Gledhill D. (1963) The ecology of the Aberdeen Creek Mangrove Swamp. *J. Ecol.*, 51, pp. 693-703.
- Green E.P., Clark C.D., Mumby P.J., Edwards A.J., Ellis A.C. (1998) Remote sensing techniques for mangrove mapping. *Int. J. Remote Sens.*, 19, pp. 935-956.
- Green E.P., Mumby P.J., Edwards A.J., Clark C.D., Ellis A.C. (1997) Estimating leaf area index of mangroves from satellites data. *Aquatic botany* 58, pp.11-19.
- Grubb P.J. (2003) Interpreting some outstanding features of the flora and vegetation of Madagascar. *Perspectives Plant Ecology Evolution Systematics* 6, pp. 125–146.
- Guéguen P., Langlais M., Foray P., Rousseau C., Maury J. (2011) A natural seismic isolating system: the buried mangrove effects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101 (3), pp. 1073-1080.
- Guilcher A. (1954) Dynamique et morphologie des côtes sableuses de l’Afrique atlantique. *Cah. Info. Géog.*, n°1, pp 57-67.
- Guilcher A. (1959) La région côtière du Bas-Dahomey occidental, in *Bulletin de l’IFAN*, Tome XXI, n° 3 et 4, pp. 357-424.
- Guillaumin A. (1928) La mangrove malgache et ses produits. *Agronomie coloniale - Etude et mémoires* N°126, pp. 212-213
- Guiral D., Albaret J.J., Baran E., Bertrand F., Debenay J.-P., Diouf P.S., Guillou J.-J., Le Loeuff P., Montoroi J.-P., Sow M. (1999) Les écosystèmes à mangroves. In: Comier-Salem, M.-C. (Ed.), *Rivières du Sud: sociétés et Mangrove ouest-africaine*, Paris, pp. 63–130.
- Hall F.G., Botin D.B., Strebel D.E., Woods K.D., Goets S.J. (1991) Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing. *Ecology*, 72, pp. 628-640

- Harmelin-Vivien M.L. (1983) Etude comparative de l'ichthyofaune des herbiers de phanérogames marine en milieux tropical et tempéré. *Revue Ecologique (Terre et Vie)*, 38, pp. 178-210.
- Heenkenda M.K., Joyce K.E., Maier S.W., Bartolo R. (2014) Mangrove species identification: Comparing WorldView-2 with aerial photographs. *Remote Sens* 6, pp. 6064–6088.
- Hervieu J. (1965). Contribution à l'étude du milieu fluvio-marin sur la côte occidentale de Madagascar. *Revue de géographie de Madagascar*. n°8, pp. 2-65.
- Hery P., Ducrot-Gambart D., Lopes A., Mougin E., Marty G., Fromard F., Blasco F., Rudant J.-P., Lointier M., Prost M.T. (1993) Cartographie de la végétation tropicale et suivi de la dynamique des mangroves de Guyane par SPOT et ERS-1., De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS, In Cépaduès eds, Paris, France, pp. 329-341.
- Houssay-Holzschuch M. (1994) La Cité sans la ville: Tuléar, Sud-ouest de Madagascar. *Géographie et Cultures*, vol. 11, pp. 63-84.
- Huang Y., Zhu C., Li X., Li X., Hu L., Tan F., Zhou R., Shi S. (2012) Differentiated population structure of a genetically depauperate mangrove species *Ceriops tagal* revealed by both Sanger and deep sequencing. *Aquat Bot* 101, pp. 46–54.
- Ibrahim S., Hashim I. (1990) Classification of mangrove forest by using 1:40 000-scale aerial photographs. *Forest Ecology and Management*, 33/34, pp. 583-592.
- Iltis J. (1995) Quelques aspects caractéristiques des mangroves de Madagascar. *Bull. Académie Nat. Malgache*, num spécial 1995, Antananarivo, pp. 61-67.
- Iltis J., Ranaivoson J. (1998) La mangrove à Madagascar : une richesse naturelle à ménager. *ORSTOM Actualités*, (55), pp. 2-7.
- Jian L., Junyi Y., Jingchun L., Chongling Y., Haoliang L., Spencer K.L. (2017) The effects of sulfur amendments on the geochemistry of sulfur, phosphorus and iron in the mangrove plant (*Kandelia obovata* (S. L.)) rhizosphere, *Marine Pollution Bulletin* 114, pp. 733–741.
- Jones J., Dale P.E.R., Chandica A.L., Breitfuss M.J. (2004) Distribution changes of the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) using large scale aerial color infrared photographs: are the changes related to habitat modification for mosquito control? *Estuar Coast Shelf Sci* 61(1), pp.45–54.
- Jones T.G., Ratsimba H.R., Ravaoarinorotsihoarana L., Crips G., Bey A. (2014) Ecological variability and carbon stock estimates of mangrove ecosystems in Northwestern Madagascar. *Forests* 15, pp. 177–205.
- Jones T.G., Ratsimba H.R., Ravaoarinorotsihoarana L., Glass L., Benson L., Teoh M., Carro A., Cripps G., Giri C., Gandhi S., Andriamahanina Z., Rakotomanana R., Roy P.-F. (2015) The Dynamics, Ecological Variability and Estimated Carbon Stocks of Mangroves in Mahajamba Bay, Madagascar. *J. Mar. Sci. Eng.*, 3, pp. 793-820.

- Kergomard C (2000) Pratique des corrections atmosphériques en télédétection: utilisation du logiciel 5s-PC. *Cybergeo : European Journal of Geography, Actes des Journées de Télédétection en Sciences humaines* 181, pp. 1–13.
- Kiener A. (1972) Ecologie, Biologie et Possibilités de mise en valeur des mangroves malgaches. *Bulletin de Madagascar n°308. Publication mensuelle du Service Général de l'Information*, pp. 49-84.
- Kitaya Y., Jintana V., Piriayotha S., Jaijing D., Yabuki K., Izutani S., Nishimiya A., Iwasaki M. (2002) Early growth of seven mangrove species planted at different elevations in a Thai estuary. *Trees* 16, pp.150–154.
- Koch B. (2010) Status and future of laser scanning, synthetic aperture radar and hyperspectral remote sensing data for forest biomass assessment. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens.*, 65, pp. 581-590.
- Kordi M.N.S, O'Leary M. (2016) A spatial approach to improve coastal bioregion management of the north western Australia. *Ocean & Coastal Management*, 127, pp. 26-42.
- Krauss K.W., Ball M.C. (2013) On the halophytic nature of mangroves. *Trees* 27, pp. 7–11.
- Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Quoc T.V. , Dech S. (2011) Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing* 3, pp. 878–928.
- Kuhnert M., Voinov A., Seppelt R. (2005) Comparing raster map comparison algorithms for spatial modelling and analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71, pp. 975-984.
- Lapointe B.E. (1997) Nutrient thresholds for bottom-up control of macroalgal blooms on coral reefs in Jamaica and southeast Florida. *Limnology and Oceanography*, 42(5), pp. 1119–1131.
- Lavitra T., Vaïtilingon D., Rasolofonirina R., Eeckhaut I. (2006) Abondance saisonnière des larves d'holothuries du grand récif de Toliara (Madagascar). *La bêche-de-mer - Bulletin de la CPS n° 24*, pp. 37-38.
- Lebigre J.-M. (1983) Les tannes, approches géographiques, Madagascar. *Revue de géographie*, n°43, pp. 41-63.
- Lebigre J.-M. (1984) Problématique des recherches sur les marais maritimes de Madagascar en vue de la protection et de leur aménagement. *Madagascar, Revue de géographique*, n°44, pp. 45-74.
- Lebigre J.-M. (1997) Les marais à mangroves du Sud-Ouest de Madagascar - Des palétuviers et des hommes au pays des épines. In *Milieux et sociétés dans le Sud-Ouest de Madagascar*. Talence, CRET, coll. 'Iles et Archipels' 23, pp. 135–242.
- Lebigre J.M., Marius C. (1984) Etude d'une séquence mangrove-tanne en milieu équatorial, baie de la Mondah (Gabon). *Bordeaux : CEGET*, (51), pp. 132-144.

- Lee S.Y. (1999) Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Aust. J. Ecol.*, 24, pp. 355-366.
- Lejot J., Piégay H., Hunter P.D., Moulin B., Gagnage M. (2011) Utilisation de la télédétection pour la caractérisation des corridors fluviaux : exemples d'applications et enjeux actuels. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, Groupe français de géomorphologie (GFG), 2, pp. 157-172.
- Lewis R.R. (1981) Economics and feasibility of mangrove restoration. *Proceedings of the Coastal Ecosystems Workshop*, U.S. Fish and Wildlife Service, pp. 88-94.
- Li S.H., Wang H., Jiang X.W. (2002) Application of CBERS-1 CCD in the mangrove Remote Sensing Survey. *Marine Science Bulletin* 22, pp. 30–35.
- Li X., Yeh A., Liu K., Wang S.G. (2006) Inventory of mangrove wetlands in the Pearl River Estuary of China using remote sensing. *J. Geogr. Sci*, 16, pp. 155–164.
- Lovelock C.E., Ball M.C., Choat B., Engelbrecht B.M.J., Holbrook N.M. (2006) Linking physiological processes with mangrove forest structure: phosphorus deficiency limits canopy development, hydraulic conductivity and photosynthetic carbon gain in dwarf *Rhizophora mangle*. *Plant Cell Environ* 29, pp. 793–802.
- Macamo C.C.F., Massuanguane E., Nicolau D.K., Bandeira S.O., Adams J.B. (2016) Mangrove's response to cyclone Eline (2000): What is happening 14years later, *Aquatic Botany* 134, pp. 10–17.
- Marius C. (1979) Effets de la sécheresse sur l'évolution phytogéographique et pédologique de la mangrove de Basse-Casamance. *Bulletin de l'IFAN. sér. A*, 41 (4), pp. 669-691.
- Mayaux, P., De Grandi, G.F., Malingreau, J.P. (2000) Central Africa forest cover revisited: a multi-satellite analysis. *Remote Sensing of Environment*, 71, pp. 183–196.
- Monserud R.A., Leemans R. (1992) Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, 62, pp. 275-293.
- Montagne P., Ramamonjisoa B. (2006) Politiques forestières à Madagascar: entre répression et autonomie des acteurs. *Économie Rurale* 294–295, pp. 9–26.
- Morat P (1969) Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'Emberger. *Cahiers ORSTOM. Série Biologie*, (10), pp. 117-132.
- Moreau N. (2004) Mise en évidence et cartographie de l'évolution des forêts de mangrove dans les Iles du Saloum au cours des trois dernières décennies (1972 à 2001), *Photo-Interprétation* 4, pp. 23-55.
- Mulekom L., Axelsson A., Batungbacal E., Baxtger D., Siregar R., De La Torre I., Seafish for Justice (2006) Trade and export orientation of fisheries in Southeast Asia: Under-priced export at the expense of domestic food security and local economies. *Ocean Coast. Manage.* 49, pp. 546–561.
- Nagelkerken I., Blaber S.J.M., Bouillon S., Green P., Haywood M., Kirton L.G., Meynecke J.-O., Pawlik J., Penrose H.M., Sasekumar A., Somerfield P.J. (2008) The

- habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review *Aquat. Bot.*, 89, pp. 155–185.
- Nagelkerken I., Connell S.D. (2015) Global alteration of ocean ecosystem functioning due to increasing human CO₂ emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 112, pp. 13272-13277.
 - Naidoo G. (2006) Factors contributing to dwarfing in the mangrove *Avicennia marina*. *Ann Bot-London* 97, pp. 1095–1101.
 - Naidoo G. (2016) The mangroves of South Africa: An ecophysiological review, *South African Journal of Botany* 107, pp. 101–113.
 - Naidoo G., Naidoo Y., Achar P. (2010) Faculty publications. Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorhiza* to oil contamination. *Flora* 205, pp. 357–362.
 - Nascimento W. R., Souza-Filho P. W. M., Proisy C., Lucas R. M., Rosenqvist A. (2013) Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 117, pp. 83–93.
 - Oh R.R.Y., Friess D.A., Brown B.M. (2017) The role of surface elevation in the rehabilitation of abandoned aquaculture ponds to mangrove forests, Sulawesi, Indonesia, *Ecological Engineering* 100, pp. 325–334.
 - Paerl H.W. (1997) Coastal eutrophication and harmful algal blooms: importance of atmospheric deposition and groundwater as “new” nitrogen and other nutrient sources. *Limnology and Oceanography*, 42(5), pp. 1154–1165.
 - Pagkalinawan E.H. (2015) Mangrove Forest mapping Using Landsat 8 Images.
 - Paling E.I., Kobryn, H.T., Humphreys G. (2008) Assessing the extent of mangrove change caused by Cyclone Vance in the eastern Exmouth Gulf, northwestern Australia. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 77, pp. 603-613.
 - Paradis G. (1979) Rôle de l'extraction traditionnelle de sel dans la formation des aires dénudées des mangroves de l'Afrique de l'Ouest. *Bull. ASEQUA*, pp. 56-57.
 - Payet E., Dumas P., Pennober G. (2012) Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *VertigO*. DOI: 10.4000/vertigo.12591
 - Pichon M. (1964) Contribution à l'étude de la répartition des Madréporaires sur le récif de Tuléar (Madagascar). *Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume*, fasc. hors série, sup- pl. 2, pp.79-203.
 - Pontius R.G., Millones M. (2011) Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment *International Journal of Remote Sensing*, 32 (15), pp. 4407-4429

- Prigent C., Aires F., Rossow W.B., Matthews E. (2001) Joint characterization of the vegetation by satellite observations from visible to microwavelengths: A sensitivity analysis. *J. Geophys. Res.*, 106, pp. 20665-20685.
- Proisy C, Coutron P, Fromard F (2007) Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images. *Remote Sens Environ* 109, pp.379–392.
- Proisy C., Mougin E., Fromard F., Karam M.A. (2000) Interpretation of polarimetric radar signatures of mangrove forests. *Remote Sensing of Environment*, 71, pp. 56-66.
- Provencher L., Dubois J.M. (2007) La photointerprétation au Québec: Historique et perspectives. *Téledétection*, 6 (1), pp. 57–70.
- Rabesandratana H.D. (1984) L'impact potentiel des activités socio-économiques sur l'environnement marin et côtier de la région de l'Afrique de l'Est, Rapport national pour Madagascar. In : PNUE, Rapports et Etudes des mers régionales, n° 51, pp. 151-226.
- Rakotomavo A., Fromard F. (2010) Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors. *Forest Ecology and Management* 259, pp. 1161–1169.
- Ramachandran T.V. (2010) Mapping of fuelwood trees using geoinformatics, *Renew Sustain Energy Rev*, 14. pp. 642–654.
- Ramasubramanian R., Gnanappazham L., Ravishankar T., Navamuniyammal M. (2006) Mangroves of Godavari—analysis through remote sensing approach. *Wetlands Ecology and Management* 14, pp. 29–37.
- Ramírez-García P., López-Blanco J., Ocaña D. (1998) Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery, *Forest Ecology and Management*, 105 (1–3) pp. 217–229.
- Ramsey E.W., Laine S.C. (1997) Comparison of Landsat Thematic Mapper and high resolution photography to identify change in complex coastal wetlands. *Journal of coastal research* 13(2), pp. 281-292.
- Ramsey E.W.III, Chappell D.K., Jacobs D., Sapkota S.K., Baldwin D.G. (1998) Resource management of forested wetlands: hurricane impact and recovery mapping by combining Landsat TM and NOAA AVHRR data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, pp. 733-738.
- Rasoanandrasana E., Rasolonjatovo M. Z., Ratsimbazafy H. (2013) Valorisation de déchets de crustacés pour l'alimentation des *Penaeus monodon* à Madagascar », *Dechets sciences et techniques*, N°63, pp. 16-24.
- Rasolofo V.M. (1993) Les mangroves de Madagascar, in: Diop, E.S. (Ed.), *Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique Latine et de l'Afrique*, II ITTO/ISME Project PD114/90 (F), pp. 248-265.

- Rasolofoharinoro M., Blasco F., Bellan M.F., Aizpuru M., Gauquelin T., Denis J., (1998) A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar. *Int. J. of Remote sensing* 19(10), pp. 1873-1886.
- Raven P.H., Axelrod D.I. (1974) Angiosperms biogeography and past continental movements. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 61, pp. 539-673.
- Razafimanjato G., Seing Sam T., Rakotondratsima M., René de Roland L.-A., Thorstrom RO (2014) Population status of the Madagascar fish eagle *Haliaeetus vociferoides* in 2005–2006. *Bird Conserv Int* 2, pp. 88–99.
- Reef R., Feller I.C., Lovelock C.E. (2010) Nutrition in mangroves. *Tree Physiology* 30, pp. 1148–1160.
- Robert E.M.R., Oste J., Van der Stocken T., De Ryck D.J.R., Quisthoudt K., Kairo J.G., Dahdouh-Guebas F., Koedam N., Schmitzet N. (2015) Viviparous mangrove propagules of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata*, where both Rhizophoraceae show different dispersal and establishment strategies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 468. pp. 45–54.
- Robin M., Renoux E., Debaine F., Hobialisoa D.R., Lamberts C. (2010) Cartographie de la mangrove du delta de la Mahajamba (nord-ouest de Madagascar) par classification d'une image Spot selon une approche orientée objet. *Télédétection, Editions scientifiques GB*, 9 (3-4), pp.195-208
- Rollet B. (1975) Les utilisations de la mangrove. Les usages forestiers. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, vol. 22, n°10-12, Octobre-novembre-décembre, pp. 297-340.
- Saenger P., Hegerl E. J., Davie J.D.S. (1983) Global status of mangrove ecosystems. *Environnementalist* 3, pp. 1-88.
- Saifullah S.M., Khafaji A.K. and Mandura A.S. (1989) Litter production in a mangrove stand of the Saudi Arabian Red Sea coast. *Aquatic Botany*, 36 pp.79-86.
- Salam M.A., Ross L. G., Beveridge C.M.C. (2007) The use of GIS and remote sensing techniques to classify the Sundarbans mangrove vegetation. *J. Agrofor. Environ.* 1(1), pp. 7-15.
- Salomon J.N. (2009) L'accrétion littorale sur la côte Ouest de Madagascar, *PhysioGéo*, Volume 3, pp. 35-59.
- Samisoa (2012) Organisations paysannes et Gestion Locale Sécurisée dans le Sud-Ouest de Madagascar, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, n° 258, pp. 233-248.
- Sari S. P., Rosalina D. (2016) Mapping and monitoring of mangrove density changes on tin mining area *Procedia Environmental Sciences* 33, pp. 436-442
- Satyanarayana B., Mohamad K.A., Idris I.F., Husain M., Dahdouh-Guebas F. (2011) Assessment of mangrove vegetation based on remote sensing and ground-truth measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Remote Sensing* 32, pp. 1635–1650.

- Satyanarayana B., Thierry B., Lo S.D., Raman A.V., Muthusankar G. (2001) Remote sensing in mangrove research – relationship between vegetation indices and dendrometric parameters: a case for Coringa, East coast of India. In Proceedings of the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, S.C. Liew (Ed.), pp. 567–572
- Schindler D. W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnol. Oceanogr.* 51 356–363. 10.1007/s13280-015-0755-4
- Selvam V., Ramasubramanian R., Ravichandran K. K. (2012) Genesis and present status of restoration practices in saline blanks in India. Regional Colloquium on Mangrove Restoration, Chennai 30-31 Aug.
- Seto K.C., Fleishman E., Fay J.P., Betrus C.J. (2004) Linking spatial patterns of bird and butterfly species richness with Landsat TM derived NDVI. *International Journal of Remote Sensing* 25, pp. 4309–4324.
- Sheue C.R., Liu H.Y., Tsai C.C., Yang Y.P. (2010) Comparison of *Ceriops pseudodecanda* sp. nov. (Rhizophoraceae), a new mangrove species in Australasia, with related species. *Botanical Studies* 51, pp. 237–248.
- Simard M., Rivera-Monroy V.H., Mancera-Pineda J.E., Castaneda-Moya E., Twilley R.R. (2008) A systematic method for 3D mapping of mangrove forests based on shuttle radar topography mission elevation data, ICESat/GLAS waveforms and field data: application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sens Environ* 112, pp. 2131–2144.
- Smith A.M.S., Kolden C.A., Tinkham W.T., Talhelm A., Marshall J.D., Hudak A.T., Boschetti L., Falkowski M.J., Greenberg J.A., Anderson J.W., Kliskey A., Alessa L., Keefe R.F., Gosz J. (2014) Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 154. pp. 322–337.
- Smith T.J. III (1988) Differential distribution between sub-species of the mangrove *Ceriops tagal*: competitive interactions along a salinity gradient. *Aquat. Bot.* 32, pp. 79–89.
- Smith T.J. III, Anderson G.H., Balentine K., Tiling G., Ward G.A., Whelan K.R.T. (2009) Cumulative impacts of hurricanes on Florida mangrove ecosystems: sediment deposition, storm surges and vegetation. *Wetlands* 29, pp. 24–34.
- Smits P.C., Dellepiane S.G., Schowengerdt R.A. (1999) Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20, pp.1461-1486.
- Sow M., Diallo A., Diallo N., Dixon C. A., Guissé A. (1994) Formations végétales et sols dans les mangroves des Rivières-du-Sud. In Cormier-Salem M. C. *Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du Sud*. Paris, O.R.S.T.O.M., pp. 51-57.
- Suarez N., Medina E. (2005) Salinity effect on plant growth and leaf demography of the mangrove, *Avicennia germinans* L. *Trees* 19, pp. 721–727.

- Thibaud B. (2012) Dans le Sud-Ouest de Madagascar, la ville se fait plus proche mais la terre change de mains. Bulletin de l'Association de géographes français, 89e année, Terres et tensions en Afrique. pp. 452-463.
- Thomasson M., Théodore G. (1997) La végétation des sols récents dans le Sud-Ouest malgache (exemple de Tuléar). IV - La série des sables jaunes. Acta Botanica Gallica, 144:2, pp. 195-208.
- Thornton S. R., Johnstone R. W. (2015) Mangrove rehabilitation in high erosion areas: Assessment using bioindicators. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 165, 176-184.
- Thu P.M., Populus J. (2007) Status and changes of mangrove forest in Mekong Delta: Case study in Tra Vinh, Vietnam. Estuarine Coastal and Shelf Science 71, pp. 98–109.
- Tian Y., Woodcock C.E., Wang Y., Privette J.L., Shabanov N.V., Zhou L., Zhang Y., Buermann W., Dong J., Veikkanen B., Hame T., Ozdogan M., Knyazikhin Y., Myneni R.B. (2002) Multiscale analysis and validation of the MODIS LAI product: I. Uncertainty assessment. Remote Sensing of Environment, 83, pp. 414-430.
- Todinanahary G.G.B., Lavitra T., Andrifanilo H.H., Puccini N., Grosjean P., Eeckhaut I. (2017) Community-based coral aquaculture in Madagascar: A profitable economic system for a simple rearing technique? Aquaculture, 467, pp. 225-234.
- Umroh, Adi W., Sari S. P. (2016) Detection of mangrove distribution in Pongok Island. Procedia Environmental Sciences 33, pp. 253 – 257.
- Vaiphasa C., Skidmore A.K., Boer, W.F. (2006) A post- classifier for mangrove mapping using ecological data. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 61, pp.1–10.
- Valiela I., Bowen J.L., York J.K. (2001) Mangrove forests: one of the world's most threatened major tropical environments. Bioscience, 51, pp. 807-815.
- Van Katwijk M.M., Van der Welle M.E.W., Lucassen E.C.H.E.T., Vonk J. A., Christianen M.J.A., Kiswara W., et al. (2011). Early warning indicators for river nutrient and sediment loads in tropical seagrass beds: a benchmark from a near-pristine archipelago in Indonesia. Marine Pollution Bulletin, 62(7), pp. 1512–1520.
- Van T.T., Wilson N., Thanh-Tung H., Quisthoudt K., Quang-Minh V., Xuan-Tuan L., Dahdouh-Guebas F., Koedam N. (2015) Changes in mangrove vegetation area and character in a war and land use change affected region of Vietnam (Mui Ca Mau) over six decades. Acta Oecol 63, pp.1–11.
- Varnell L.M., Evans D.A., Havens K.J. (2003) A geomorphological model of intertidal cove marshes with application to wetlands management. Ecological Engineering 19(5), pp. 339-347.
- Vasconcelos M.J.P., Mussa Biai J.C., Araujo A., Diniz M.A. (2002) Land cover change in two protected areas of Guinea-Bissau (1956-1998), Applied Geography, 22 (2), pp. 139-156.

- Vovides A.G., Vogt J., Kollert A., Berger U., Grueters U., Peters R., Lara-Dominguez A.L., Lopez-Portillo J. (2014) Morphological plasticity in mangrove trees: salinity-related changes in the allometry of *Avicennia germinans*, *Trees* 28(5), pp.1413–1425.
- Walter H., Steiner M. (1936) Die Ökologie der ostrafrikanischen Mangroven *Zeitsch. f. bot.*, t. 30, pp. 65-193.
- Ward R.D., Friess D.A., Day R.H., MacKenzie R.A. (2016) Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability* 2: e012111
- Wilkinson G.G. (2005) Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43, pp. 433-440
- Willis M., Hester M.W., Shaffer G.P. (2005) A mesocosm evaluation of processed drill cuttings for wetland restoration. *Ecological Engineering*, 25, pp. 41-50.
- Wolanski E., Mazda Y., Ridd P. (1992) Mangrove hydrology. In: Robertson, A.I., Alongi, D.M. (Eds.), *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 43–62.
- Yang Y., Zhang Y., Liu D., Li-Weber M., Shao B., Lin W. (2015) Dolabrane-type diterpenes from the mangrove plant *Ceriops tagal* with antitumor activities. *Fitoterap* 103, pp. 277–282.
- Zhang K.Q., Liu H., Li Y., Xu H., Shen J., Rhome J., Smith T.J. (2012) The role of mangroves in attenuating storm surges. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 102–103, pp. 11–23
- Zhou J. (2012a). Application de l'identification d'objets sur images à l'étude de canopées de peuplements forestiers tropicaux : cas des plantations d'Eucalyptus et des mangroves. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.

- Afidégnon D. (1999) Les mangroves et les formations associées du Sud-Est du Togo : Analyse éco-floristique et cartographie par télédétection spatiale. Thèse de doctorat, Université de Bénin (Togo), 237 p.
- Andriamalala C.A.J. (2007) Etude écologique pour la gestion des mangroves à Madagascar : comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Thèse de doctorat, Université de Bâle, Suisse, 227 p.
- Battistini R. (1964) Etude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar. Thèse de lettres, Cujas Edit., Paris, 636 p.
- Cadamuro L. (1999) Structure et dynamique des écosystèmes inondables (forêt marécageuse, mangrove) du bassin du Sinnamary (Guyane Française). Thèse de Doctorat en Ecologie Tropicale, Toulouse III, France, 222 pp.
- Chartier C.H. (1994) Perception, gestion et dynamique de l'environnement maritime et terrestre dans la région de Belo-sur-mer (côte ouest de Madagascar). Géographie. Paris, Université de Paris X-Nanterre, France, 114 p.
- Congalton R.G. (1981) The use of discrete multivariate analysis for the assessment of Landsat classification accuracy. MS Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 111 p.
- Faiyidati D. (2007) Etat de situation actuelle de la mangrove aux environs de Tuléar. Mémoire en D.E.A en Biodiversité et Environnement, option B.V, département des sciences biologiques, faculté des sciences, Université de Tuléar – Madagascar, 93 p.
- Falizanina J.P.N. (2009) Contribution à l'étude des mangroves de Lanirano (Androka), Mémoire de DEA en Biodiversité et Environnement, Université de Toliara, Madagascar, 61 p.
- Harmelin-Vivien M.L. (1979) Ichtyofaune des récifs coralliens de tuléar (Madagascar): écologie et relations trophiques. Thèse de doctorat ès-Sciences. Université D'Aix-Marseille.
- Ioniarilala R. (2000) Les impacts écologiques de la crevetticulture industrielle sur l'écosystème mangrove, cas de la région de Besalamy. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo, Madagascar, 68 p.
- Kamal M. (2015) Remote sensing for multi-scale mangrove mapping. Thèse de doctorat - University of Queensland, Australia 145 p
- Lebigre J.-M. (1990) Les marais maritimes de Gabon et de Madagascar. Contribution géographique à l'étude d'un milieu naturel tropical. Livre 1-2-3. Thèse de doctorat d'état. Institut de géographie, Université de Bordeaux III.
- Leopold A. (2012) Dynamique du carbone au sein des mangroves - Quantification spatio-temporelle des flux de CO₂ aux interfaces sol-air et eau-air. Thèse de doctorat, Université de La Nouvelle-Calédonie, Spécialité – Sciences de la Terre et de l'Environnement, 202 p.

- Marius C. (1985) Mangroves du Sénégal et de la Gambie : écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement. Paris : ORSTOM, (193), 357 p. (Travaux et Documents de l'ORSTOM ; 193). Thèse en Science Naturelle : Université Louis Pasteur : Strasbourg : 1984/03/30, ISBN 2-7099-0780-1
- Mensah C.J. (2013) Remote sensing application for mangrove mapping in the Ellembe district in Ghana. Mémoire de Master ne science de l'environnement et gestion, Université de Rhode Island, U.S.A, 27 p.
- Miasa S. (1992) Approche floristique et écologique de la mangrove et de l'arrière mangrove des environs d'Ankilibe (Sud de Tuléar). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Ecologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar.
- Ndour N. (2005) Caractérisation et étude de la dynamique des peuplements de mangrove du Delta du Saloum (République du Sénégal), Faculté des Sciences et techniques, Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 180 p.
- Payet É. (2015) Étude des dynamiques de dégradation des sols, à l'échelle des bassins versants côtiers de l'océan Indien. Thèse de doctorat en Géographie. Université de la Réunion, 269 p.
- Rakotoarisoa M.M. (2017) Les risques hydrologiques dans les bassins versants sous contrôle anthropique : modélisation de l'aléa, de la vulnérabilité et des conséquences sur les sociétés. Cas de la région Sud-Ouest de Madagascar. Thèse de doctorat en cotutelle, Université d'Angers-France et Université de Toliara-Madagascar, 328 p.
- Ralison H.O. (1999) Etude diachronique de la zone à mangrove de Boanamary-Mahajanga à l'aide de la télédétection. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Forêt, Ecole Supérieure de la Science Agronomique, Université d'Antananarivo, Madagascar, 94 p.
- Razafindramasy F. (2006) Suivi de l'évolution des mangroves de Boanamary à l'aide de la télédétection. Rapport de stage de DEA. Option Géophysique. Université d'Antananarivo. 62 p.
- Renoux E. (2011) L'impact des genres de vie littoraux sur les couverts végétaux du Nord-Ouest de Madagascar, Thèse de doctorat en cotutelle, Université de Nantes et Université d'Antananarivo, 375 p.
- Salomon, J.N. (1987) Le Sud-Ouest de Madagascar, étude de géographie physique. Thèse de doctorat d'Etat, Université d'Aix-Marseille, France, 996 p. + 3 cartes HT
- Taureau F. (2017) Cartographie harmonisée des mangroves de l'Outre-mer français. Thèse de Doctorat, Université de Nantes. 235 p.
- Thollot P. (1992) Les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de nouvelle Calédonie. Paris : ORSTOM Edition, collection études et thèses, Thèse de doctorat- Université d'Aix-Marseille II, 321 p.

- Cormier-Salem M.C. (1994) Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du sud, du Sénégal à la Sierra Leone. Actes de l'atelier de travail de Dakar, du 8 au 15 mai, ORSTOM, 353 p.
- Guillet M.; Renou E.; Robin M.; Debaine F.; Ratsivalaka S. (2008) Suivi et analyse de l'évolution de la mangrove de Mahajamba (Nord-ouest de Madagascar). In proceedings of the International Pluridisciplinary Conference, Lille, France, 16–18 January
- Iltis J. (1994) Compte rendu du séminaire CNRE-ORSTOM. Hommes et mangroves dans le Menabe. Morondava du 27 au 30 Juin 1994, 13 p.
- Noel J., Renoux E, Rakotonavalona D. (2008) Les dynamiques spatiales des mangroves de la région de Mahajanga (côte nord-ouest de Madagascar) : du milieu au(x) territoire(s), communication au XII e Journées de Géographie Tropicale à Bordeaux : Natures tropicales : enjeux actuels et perspectives, octobre
- Rasolofo M.V. (1997) Mangroves and coastal aquaculture development in Madagascar. A paper presented in SAREC-SIDA Regional Workshop on mangrove ecology, Physiology and Management. Zanzibar.
- Razakamakanana T., Ratsitohaina O., Tovondrafale T., Ramiharison R.C.D., Mong Y. (2014) Géologie urbaine et environnement de la ville de Toliara, Sud-ouest Madagascar : quelles politiques de gestion durable. Acte de colloque international : Eau, milieux et aménagement : Une recherche au service des territoires, Université d'Angers, France, pp. 205-223.
- Renoux E., Robin M., Debaine F. (2008) Suivi et analyse de l'évolution de la mangrove de Mahajamba (nord-ouest de Madagascar). Janvier, Lille, France. pp. Thème 4 - Séance 1.

- <http://www.eosd2c.com>
- <http://www.fao.org/docrep>
- Mangrove.mangals.over-blog.com
- <http://www.economie.gov.mg/atsimo-andrefana/>
- <http://www.seas-oi.org/>
- <http://www.intelligence-airbusds.com/fr/>
- <http://www.mareespeche.com/af/madagascar>
- <https://www.instat.mg/>
- <http://www.bnf.fr/fr/acc/x.accueil.html>
- http://australiasevereweather.com/tropical_cyclones/
- <http://www.bom.gov.au/cyclone/history/tracks/index.shtml>

Liste des illustrations

Figure 1 : Carte de localisation de Madagascar et zone d'étude	15
Figure 2 : La répartition globale généralisée des mangroves et la diversité des mangroves par 15° de longitude (Tomlinson, 1986 ; Kuenzer <i>et al.</i> , 2011)	22
Figure 3 : Formation à <i>Lumnitzera racemosa</i> associés à <i>Acrostichum aureum</i> et	24
Figure 4 : Carte de localisation des sites d'étude (Sources : BD 500 et Spot Image)	27
Figure 5 : Le site de Manombo-Fitsitike (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)	28
Figure 6 : Le village sur dune de Fitsitike, Manombo.....	30
Figure 7 : Le village de Tsihake	31
Figure 8 : Le site d'Ambondrolava (Sources : BD 500 et Spot Image)	33
Figure 9 : Le village d'Andranonakanga.....	34
Figure 10 : Le village de Belitsaky Tanindrazana	35
Figure 11 : Le site d'Ankiembe (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth).....	37
Figure 12 : Le site de Sarodrano (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)	39
Figure 13 : Le village de Sarodrano	40
Figure 14 : Une installation hôtelière à l'extrême sud de la flèche de Sarodrano.....	41
Figure 15 : Le site d'Andriambe (Sources : BD 500 et Spot Image)	42
Figure 16 : Le village de Saint-Augustin.....	43
Figure 17 : Adaptation particulière lors de l'investigation de terrain (utilisation d'un véhicule tout-terrain).....	47
Figure 18 : La carte de localisation des transects dans les sites d'étude (Sources : BD 500 et Spot Image).....	48
Figure 19 : Une représentation d'un transect de 5 blocs.....	49
Figure 20 : Une séance de mesure de la salinité et du pH au niveau d'une dépression dunaire	51
Figure 21 : Le montage de la tarière manuelle pour le prélèvement des échantillons de sol.	54
Figure 22 : L'acquisition des images satellites (Spot) par télédétection passive	61
Figure 23 : Une mosaïque des photographies aériennes datant de 1949 du site de Manombo-Fitsitike	63
Figure 24 : Espèce <i>Avicennia marina</i>	91
Figure 25 : Des individus <i>Sonneratia alba</i>	92
Figure 26 : Un pied de <i>Lumnitzera racemosa</i> au milieu de <i>Typha angustifolia</i>	93
Figure 27 : Un pied de <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	94
Figure 28 : Quelques pieds de l'espèce <i>Ceriops tagal</i>	95
Figure 29 : Un peuplement à <i>Rhizophora mucronata</i>	96
Figure 30 : <i>Xylocarpus granatum</i>	97
Figure 31 : Des racines échasses de l'espèce <i>Rhizophora mucronata</i>	98
Figure 32 : Les petits pneumatophores de l'espèce <i>Avicennia marina</i>	99
Figure 33 : Les gros pneumatophores de l'espèce <i>Sonneratia alba</i>	99
Figure 34 : Les pneumatophores à l'apparence de genoux de l'espèce <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	100
Figure 35 : Un système racinaire en contrefort de l'espèce <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	100
Figure 36 : Un système de racine en contrefort comprimés latéralement chez l'espèce <i>Xylocarpus granatum</i>	101
Figure 37 : Un début de germination chez l'espèce <i>Ceriops tagal</i>	102
Figure 38 : Carte des récifs coralliens du littoral du Sud-ouest de Madagascar (Sources : BD 500, Spot Image, Google Earth).....	104
Figure 39 : Les vasières en bordure de la mangrove d'Ankiembe	106
Figure 40 : Les herbiers à posidonies de Manombo-Fitsitike à marée basse.....	107

Liste des illustrations

Figure 41 : Un petit tanne ensablé à Manombo-Fitsitike.....	109
Figure 42 : Des formations à <i>Typha</i> , <i>Cyperus</i> , <i>Scirpus</i> et <i>Phragmites</i> . À gauche au niveau de Manombo-Fitsitike ; à droite au niveau d'Ambondrolava	110
Figure 43 : Les pelouses à chiendent de Manombo-Fitsitike	110
Figure 44 : Les principales zones d'accrétion de la côte Ouest de Madagascar	112
Figure 45 : La flèche sableuse de Saint Augustin	114
Figure 46 : La dune vive d'Ambondrolava.....	115
Figure 47 : La dune végétalisée de Manombo-Fitsitike	116
Figure 48 : Une dépression interdunaire à Manombo-Fitsitike	117
Figure 49 : <i>Didierea madagascariensis</i> à Sarodrano	118
Figure 50 : Des exemples de sites funéraires dans les fourrées : à gauche le site funéraire d'Ankirio à Ambondrolava; à droite le site funéraire de Sarodrano	118
Figure 51 : Un <i>crabier blanc</i> sur une branche de palétuvier d'Andriambe	119
Figure 52 : Un crabe violoniste de l'espèce « <i>Uca pugilator</i> » des palétuviers	120
Figure 53 : La variation des précipitations entre 1960 et 2012 dans la région de Toliara	124
Figure 54 : La moyenne annuelle de la température de l'air entre 1960 et 2012 de la région de Toliara	125
Figure 55 : Décomposition de la série des températures maximales journalières	126
Figure 56 : Les 3 fleuves de la région de Toliara	127
Figure 57 : Le fleuve Onilahy	128
Figure 58 : Le fleuve Fiherena	129
Figure 59 : Une résurgence au niveau des palétuviers de Sarodrano.....	131
Figure 60 : Une carte représentative : peuplement et activités dominantes des localités d'études (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)	141
Figure 61 : Des bottes de l'espèce <i>Typha angustifolia</i>	142
Figure 62 : La pirogue « vezo », une pirogue traditionnelle de la région de Toliara	144
Figure 63 : Le circuit pédestre dans la mangrove d'Ambondrolava.....	149
Figure 64 : Pourcentage des espèces relevées sur l'ensemble des 5 sites	154
Figure 65 : Caractéristiques granulométriques des substrats relevés à 3 profondeurs sur l'ensemble des sites.....	156
Figure 66 : Transects du site de Manombo-Fitsitike (Sources : BD 500, Spot Image et Google Earth)	157
Figure 67 : Pourcentage total par espèces de palétuvier de Manombo-Fitsitike.....	158
Figure 68 : Pourcentage des espèces relevées pour chacun des 4 transects de Manombo-Fitsitike.	158
Figure 69 : La partie centrale du transect B de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image)	159
Figure 70 : Une partie en lisière maritime du transect A de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image)	160
Figure 71 : Une partie en lisière maritime du transect B de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image)	160
Figure 72 : Coupe schématique de la mangrove de Manombo-Fitsitike	161
Figure 73 : Pourcentage des petits individus (1cm-10cm)	161
Figure 74 : Structure démographique des palétuviers de Manombo-Fitsitike	162
Figure 75 : Pourcentage par espèce des juvéniles	163
Figure 76 : Densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike en 2014 (Source : NDVI, Spot Image)	164
Figure 77 : Classification supervisée par espèce et densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike en 2014 (Source : Spot Image)	166

Liste des illustrations

Figure 78 : Les transects du site d'Ambondrolava (Sources : BD 500 et Spot Image).....	167
Figure 79 : Pourcentage des espèces d'Ambondrolava	168
Figure 80 : Les pourcentages des espèces relevées sur l'ensemble des transects d'Ambondrolava .	169
Figure 81 : Milieu du transect A d'Ambondrolava (Source : Spot Image)	169
Figure 82 : L'ensemble du transect D d'Ambondrolava (Source : Spot Image).....	170
Figure 83 : Une coupe schématique de la mangrove d'Ambondrolava	170
Figure 84: La structure démographique des palétuviers d'Ambondrolava.....	171
Figure 85 : La densité de la mangrove d'Ambondrolava en 2014 (Source : NDVI, Spot Image)	172
Figure 86 : La classification supervisée par espèce et densité de la mangrove d'Ambondrolava en 2014 (Source : Spot Image)	174
Figure 87 : Les transects du site Ankiembe (Sources : BD 500 et Spot Image)	175
Figure 88 : Le pourcentage des espèces à Ankiembe pour l'ensemble des transects	176
Figure 89 : Les pourcentages des espèces relevées sur chacun des transects d'Ankiembe	177
Figure 90 : Le début du transect E d'Ankiembe (Source : Spot Image)	177
Figure 91 : La coupe schématique de la mangrove d'Ankiembe.....	178
Figure 92: La structure démographique des palétuviers d'Ankiembe	178
Figure 93 : La densité de la mangrove d'Ankiembe en 2014 (Source : NDVI, Spot Image).....	180
Figure 94 : La classification supervisée par espèce et densité de la mangrove d'Ankiembe en 2014 (Source : Spot Image)	181
Figure 95 : Les transects du site de Sarodrano (Sources : BD 500 et Spot Image).....	182
Figure 96 : Le pourcentage des espèces à Sarodrano	183
Figure 97 : Le transect B de Sarodrano (Source : Spot Image).....	183
Figure 98: Le milieu du transect C de Sarodrano (Source : Spot Image).....	184
Figure 99 : Le pourcentage des espèces relevées sur chaque transects de Sarodrano	185
Figure 100 : La coupe schématique de la mangrove de Sarodrano	185
Figure 101: Structure démographique des palétuviers de Sarodrano.....	186
Figure 102 : La densité de la mangrove de Sarodrano en 2014 (Source : NDVI, Spot Image)	188
Figure 103 : La classification supervisée par espèces et densité de la mangrove de Sarodrano en 2014 (Source : Spot Image)	189
Figure 104 : Les transects du site d'Andriambe (Sources : BD 500 et Spot Image).....	190
Figure 105 : Le pourcentage des espèces à Andriambe pour tous les 4 transects	191
Figure 106 : Les pourcentages des espèces relevées sur chacun des transects d'Andriambe	191
Figure 107: Le transect A d'Andriambe (Source : Spot Image)	192
Figure 108 : La coupe schématique de la mangrove d'Andriambe	192
Figure 109 : Structure démographique des palétuviers d'Andriambe.....	193
Figure 110 : Densité de la mangrove d'Andriambe en 2014 (Source : NDVI, Spot Image)	194
Figure 111 : Classification supervisée de la mangrove d'Andriambe en 2014 (Source : Spot Image)	195
Figure 112 : L'évolution de l'emprise de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949 et 2012 (Source : Spot Image)	198
Figure 113 : L'analyse diachronique de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949-1987 (Source : Spot Image)	199
Figure 114 : L'analyse diachronique de la dune vive de Manombo-Fitsitike entre 1949-1987 (Source : Spot Image)	200
Figure 115 : Les salines dans les dépressions interdunaires et le tanne dans le site de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image, Google Earth).....	201

Liste des illustrations

Figure 116 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998 (Source : Spot Image).....	202
Figure 117 : L'analyse diachronique de la dune vive de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998	203
Figure 118 : Les vasières au sud de la mangrove de Manombo-Fitsitike (Source : Spot Image, Google Earth).....	204
Figure 119 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1998-2012 (Source : Spot Image).....	205
Figure 120 : Une analyse diachronique des dunes vives entre 1998-2012 (Source : Spot Image)	206
Figure 121 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Ankiembe (1949-1987-2012) (Source : Spot Image).....	207
Figure 122 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Ankiembe entre 1949-1987 (Source : Spot Image).....	208
Figure 123 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Ankiembe entre 1987-1998.	210
Figure 124 : L'analyse diachronique des salines d'Ankiembe entre 1987-1998 (Source : Spot Image)	211
Figure 125 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Ankiembe entre 1998-2012.	212
Figure 126 : L'évolution de la mangrove de Sarodrano (1949-1987-2012) (Source : Spot Image).....	214
Figure 127 : L'analyse diachronique de la mangrove de Sarodrano entre 1949-1987 (Source : Spot Image).....	215
Figure 128 : L'analyse diachronique des dunes vives de la flèche sableuse de Sarodrano entre 1949-1987 (Source : Spot Image)	216
Figure 129 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Sarodrano entre 1987-1998	217
Figure 130: L'analyse diachronique de dune vive de Sarodrano entre 1987-1998	218
Figure 131 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove de Sarodrano entre 1998-2012	219
Figure 132 : L'analyse diachronique de la dune vive de Sarodrano entre 1998-2012.....	220
Figure 133 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Ambondrolava (1949-1987-2012) (Source : Spot Image)	221
Figure 134 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Ambondrolava entre 1949-1987	222
Figure 135 : L'analyse diachronique de la flèche sableuse d'Ambondrolava entre 1949-1987	223
Figure 136 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove entre 1987-1998 (Source : Spot Image).....	225
Figure 137 : L'analyse diachronique des dunes vives entre 1987-1998 (Source : Spot Image)	226
Figure 138 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Ambondrolava entre 1998-2012 (Source : Spot Image)	227
Figure 139 : L'analyse diachronique des dunes vives entre 1998-2012 (Source : Spot Image)	228
Figure 140 : L'évolution de l'emprise de la mangrove d'Andriambe (1949-1987-2012) (Source : Spot Image).....	230
Figure 141 : L'analyse diachronique de la mangrove d'Andriambe entre 1949-1987 (Source : Spot Image).....	231
Figure 142 : L'analyse diachronique avec la densité de la mangrove d'Andriambe entre 1987-1998	232
Figure 143 : L'analyse diachronique de densité de la mangrove d'Andriambe entre 1998 et 2012 ..	233
Figure 144 : Une infrastructure hôtelière (l'Hôtel Restaurant Résidence Eden Écolodge) à Sarodrano	241

Liste des illustrations

Figure 145 : Fabrication de chaux à Songeritelo. Les bois proviennent des palétuviers d'Ambodrolava.	243
Figure 146 : Des cases à Fitsitike fabriquées avec des bois de palétuviers (<i>Rhizophora mucronata</i> pour les piliers, <i>Sonneratia alba</i> pour les traverses) et <i>Typha angustifolia</i>	244
Figure 147 : Coupe des palétuviers à Manombo-Fitsitike	244
Figure 148 : Divagation de bétail à proximité de la mangrove (sur un tanne herbeux)	245
Figure 149 : Zone de plantation de <i>Typha angustifolia</i> dans les mangroves de Manombo-Fitsitike. À gauche des coupes de palétuviers avant la plantation; à droite une nouvelle plantation après coupe et mise à feu des formations à <i>Lumnitzera</i> et mixte.	246
Figure 150 : Des bottes de <i>Typha angustifolia</i> destinées à la vente. À gauche des bottes provenant des plantations de Manombo-Fitsitike; à droite des bottes provenant d'Ambondrolava	247
Figure 151 : De gauche à droite : des pêcheurs marins traditionnels à Ankiembe	248
Figure 152 : De gauche à droite : ventes de coquillages par des enfants et des femmes à des collecteurs, acheteurs à Manombo-Fitsitike	249
Figure 153 : Ramasseur de <i>Scylla serrata</i> dans la mangrove de Manombo-Fitsitike	250
Figure 154 : Coupe des palétuviers pour la création de nouvelles salines au nord de Toliara	251
Figure 155 : Une recolonisation des salines abandonnées par des espèces <i>Avicennia marina</i> . À gauche recolonisation au nord de Toliara ; à droite recolonisation à Ankiembe	251
Figure 156 : Une illustration de l'organisation des salines en casiers en 2014 (Source : Spot Image, Google Earth)	252
Figure 157 : Dépôts d'hydrocarbures de Logistique Pétrolier au nord d'Ankiembe	254
Figure 158 : Décharge dans la mangrove à Toliara	255
Figure 159 : De gauche à droite : ensablement des palétuviers genre <i>Avicennia</i> et <i>Sonneratia</i> à Manombo-Fitsitike	262
Figure 160 : Dunes vives de type barkhane au niveau de l'embouchure du Fiherenana	262
Figure 161 : De gauche à droite : ensablement de la mangrove au nord de Toliara	263
Figure 162 : De gauche à droite : érosion au pied de la falaise sur le site de Sarodrano	264
Figure 163 : De gauche à droite : érosion de berge au niveau du site d'Andriambe	264
Figure 164 : Le lit mineur dynamique de l'Onilahy dans sa partie aval	265
Figure 165 : Inclinaison des palétuviers suite au passage d'un cyclone : À gauche au niveau des palétuviers de Manombo-Fitsitike ; à droite au niveau des palétuviers d'Ankiembe	266
Figure 166 : Evolution de la flèche sableuse à Manombo (2003-2009-2014). (Sources : Spot Image, Google Earth)	270
Figure 167 : Evolution de la flèche sableuse à Fitsitike (2003-2009-2014). (Sources : Spot Image, Google Earth)	271
Figure 168 : Des panneaux appartenant à l'association « Honko » à Ambondrolava. À gauche un panneau à l'entrée du site ; à droite un panneau expliquant les mangroves	273
Figure 169 : Un panneau d'interdiction à l'entrée du site d'Andriambe	276

Liste des tableaux

Tableau I : Tableau récapitulatif des images satellites utilisées	61
Tableau II : Les Canaux de chaque image satellite Spot.....	62
Tableau III : Les coefficients de corrélation entre NDVI et les 03 variables	76
Tableau IV : Les seuils de NDVI et densité de la mangrove en 2014.....	77
Tableau V : Le récapitulatif des seuils du NDVI pour la densité de la mangrove entre 1987-2012	77
Tableau VI : Nombre de blocs par classes (première étape).....	80
Tableau VII : Nombre de blocs par classe (deuxième étape) pour Ambondrolava.....	81
Tableau VIII : La liste des classes de mangrove par espèce et densité dans chaque site	83
Tableau IX : Matrice de confusion (présence/absence) avec le nombre de pixel pour les images de 2014.....	85
Tableau X : Matrice de confusion de la classification supervisée de 2014 avec le nombre de pixel pour l'ensemble des sites	86
Tableau XI : Récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1949-2012 ...	197
Tableau XII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1987-1998	202
Tableau XIII : Un récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Manombo-Fitsitike entre 1998-2012	204
Tableau XIV : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Ankiembe entre 1949-2012	206
Tableau XV : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ankiembe en 1998 par rapport à 1987	209
Tableau XVI : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ankiembe en 2012 par rapport à 1949	211
Tableau XVII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove de Sarodrano entre 1949-2012	213
Tableau XVIII : Le récapitulatif de l'état de la mangrove de Sarodrano en 1998 par rapport à 1987	217
Tableau XIX : Le récapitulatif de l'état de la mangrove de Sarodrano en 2012 par rapport à 1998...	219
Tableau XX : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Ambondrolava entre 1949-2012	221
Tableau XXI : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ambondrolava en 1998 par rapport à 1987	224
Tableau XXII : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Ambondrolava en 2012 par rapport à 1998	226
Tableau XXIII : Le récapitulatif de l'évolution de la mangrove d'Andriambe entre 1949-2012	229
Tableau XXIV : Le récapitulatif de l'état de la mangrove d'Andriambe en 1998 par rapport à 1987	231
Tableau XXV : L'analyse diachronique de densité de la mangrove d'Andriambe entre 1998-2012 ...	232
Tableau XXVI : L'évolution du nombre d'habitants dans la région du Sud-ouest et en zone côtière entre 1993 et 2015	239
Tableau XXVII : L'évolution du nombre d'habitants dans le district de Toliara I entre 1930 et 2015	240

ANNEXES

- **Anthropique** : ensemble d'élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme.
- **Fokontany (ou quartier)** : une subdivision administrative et économique de base à Madagascar. Il comprend un ou plusieurs villages et conduit par le chef fokontany.
- **Fruit sessile** : un fruit fixé directement sur le corps de la plante, sans élément intermédiaire.
- **Hygrosère dunaire** : dépressions interdunaires les plus basses où affleure la nappe phréatique.
- **Piastre** : une monnaie courante correspondant à une pièce de cinq francs en argent
- **Pneumatophore** : excroissance des racines de certains palétuviers qui se dressent à la verticale au-dessus des sols (la plupart du temps anoxique) afin de bénéficier de l'oxygène nécessaire pour la plante.
- **Sikajy** : une monnaie courante malgache correspondant à 1/8 d'une piastre.
- **Tanne** : étendue dénudée ou herbeuse derrière la mangrove dans les régions tropicales soumise à une longue saison sèche et repose généralement sur des sols sulfatés-acides.
- **Transect** : dispositif d'observation, d'échantillonnage ou d'inventaire de terrain sous forme d'un tracé linéaire.

SW Madagascar Toliara –

Enquête socio-économique des mangroves

Coordonnées GPS :

Date et heure :

Objet : étude des aspects socio-économiques relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et notamment de la mangrove

Questions générales

Aspect administratif :

Nom du village

Localité

Aspect historique :

Depuis quand les habitants se sont installés ?

Zone / village d'origine

Pourquoi se sont-ils déplacés ?

Pourquoi se sont-ils installés ici ?

Aspect démographique :

Combien y a-t-il d'habitants / familles dans le village ?

Quelles ethnies ?

Les villageois vivent-ils en permanence dans le village, si non, pourquoi ?

Les activités faites dans les mangroves et aux alentours

Qu'est-ce que vous faites dans les mangroves et aux alentours ? *Question ouverte*

Pêche:

Quelles sont les principales espèces capturées ?

En quelle quantité ?

Pêche/ramassage de crustacés ?

Situation de l'activité sur une carte mentale réalisée par les membres du focus group en commençant par placer le village par exemple (place centrale ou église, ou autre élément de repérage connu de tous) puis éléments majeurs comme route, rivière ... Cette carte n'est donc pas à l'échelle. Le plus simple est qu'ils la dessinent au sol avec un bâton dans le sable par exemple et

ANNEXE – Fiche d'enquête

plaçant les éléments avec des cailloux ou des ficelles ..., bref ce que l'on trouve, et que vous redessinez vous-même sur un papier (en effet, les faire dessiner directement sur un papier pose en général des problèmes car la feuille est limitée en surface ce qui n'est pas le cas au sol.

Culture :

Quels types de cultures ?

Superficie ?

Dates de cultures ?

La localisation des cultures reste-t-elle toujours la même ?

Elevage :

Où sont les pâturages ?

Sont-ils toujours les mêmes ?

Revenus nets des activités

Autres activités :

Quel type d'activité

Depuis quand

Où se localisent-elles ?

Sont-elles toujours au même endroit ?

Revenus nets des activités

Utilisation de la ressource :

Les constructions (habitations, clôtures,...) sont-elles en bois de palétuviers?

(Photos)

Quelle est la nature?

D'où provient-il ?

Utilisent-ils des mangroves comme bois de feu/chauffage?

Quelle autre utilisation offre la mangrove ?

Depuis quand elle est utilisée ou abandonnée ?

Autres :

Quelles évacuations pour les eaux usées ?

Quels types de wc ?

Mode principal d'approvisionnement en eau

Distance du point d'approvisionnement

Quantité utilisée par famille

Connaissances écologiques

Quelle définition de la mangrove ?

Laisser parler. Si difficile, orienter en proposant : seulement la forêt ? Associé à d'autres milieux (tannes, vasières, marais à halophytes...)

Associent-ils les tannes (en préciser la définition d'abord avec eux) aux mangroves ?

Associent-ils les marais à halophytes (en préciser la définition d'abord avec eux) aux mangroves ?

Que savez-vous des interventions externes en cours dans la région ? Leurs effets sur les zones humides ?

Pouvez-vous indiquer dans quel état se trouve la mangrove (bon, moyen, mauvais, ne sais pas)

Cet état est-il généralisé ou bien localisé ?

Si localisé, alors où ?

Situation sur une carte mentale

Carte mentale

Situation des activités sur une carte mentale à l'aide d'un GPS.

- Responsable des VOI dans les villages à demander à la DREEF
- GPS

- Se rendre au début de chaque transect (du côté mer ou fleuve), de préférence dans la matinée, au début de la marée basse (vérification dans le site <http://www.mareespeche.com/af/madagascar/toliara>)
- Se placer au début de chaque bloc, noter la coordonnée GPS et placer les jalons (deux jalons pour marquer le début et la fin de chaque cinq bloc, la corde de 50 m sert à mesurer et à aligner chaque bloc).
- Mesurer 2,5 mètres de part et d’autre de chaque bloc (de la corde) et les marquer à l’aide des rubans.
- L’agent forestier à l’aide de son pied à coulisse commence la mesure de la DHP par le début de chaque bloc et crie fort (le nom de l’espèce et son DHP: AM5 soit *Avicennia marina*: 5 cm) pour que le preneur de note puisse noter l’information.
- Le guide compte les juvéniles
- L’étudiant compte les nombres des individus morts sur pied et coupés.
- Le chef de mission note toutes ces informations et prend des photos afin de bien illustrer.

ANNEXES – Résultat de l'analyse des substrats

Site	Profondeurs (cm)			Coordonnées		Pourcentages (%)			Textures
	00-30	30-50	50- 100	X	Y	Argile	Limon	Sable	
AMBONDROLAVA	X			359348	7427797	5	8	87	Sableuse
		X		359348	7427797	7	10	83	Sableuse
			X	359348	7427797	7	10	83	Sableuse
	X			359242	7427797	9	10	81	Sableuse
		X		359242	7427797	5	6	89	Sableuse
			X	359242	7427797	3	4	93	Sableuse
	X			359093	7427797	5	6	89	Sableuse
		X		359093	7427797	5	4	91	Sableuse
			X	359093	7427797	5	4	91	Sableuse
	X			359435	7424499	3	6	91	Sableuse
		X		359435	7424499	4	6	90	Sableuse
			X	359435	7424499	3	6	91	Sableuse
	X			359480	7424499	12	10	78	Salbo-limoneuse
		X		359348	7424499	12	10	78	Salbo-limoneuse
			X	359348	7424499	8	6	86	Sableuse
ANDRIAMBE	X			373802	7392506	24	28	48	Limon sablo-argileuse
		X		373802	7392506	30	26	44	Limon sablo-argileuse
			X	373802	7392506	26	28	46	Limon sablo-argileuse
	X			373754	7392475	26	32	42	Limon sablo-argileuse
		X		373754	7392475	32	26	42	Argileuse
			X	373754	7392475	38	22	40	Argileuse
	X			373686	7392435	36	22	42	Argileuse
		X		373686	7392435	40	16	44	Argileuse
			X	373686	7392435	26	20	54	Argileuse
ANKIEMBE	X			366850	7412191	18	16	66	Sablo-argileuse
		X		366850	7412191	14	18	68	Sablo-limoneuse
			X	366850	7412191	14	12	74	Sablo-limoneuse
	X			366860	7412299	18	22	60	Sablo-argileuse
		X		366860	7412299	30	24	46	Limon sablo-argileuse
			X	366860	7412299	24	26	50	Limon sablo-argileuse
	X			367598	7412470	22	17	61	Sablo-argileuse
		X		367598	7412470	38	17	45	Argile-sableuse
			X	367598	7412470	40	14	46	Argile-sableuse
	X			367596	7412621	38	15	47	Argile-sableuse
		X		367596	7412621	40	14	46	Argile-sableuse
			X	367596	7412621	38	14	48	Argile-sableuse
MANOMBO- FITCHITSE	X			348391	7454242	8	10	82	Sableuse
		X		348391	7454242	8	12	80	Sableuse
			X	348391	7454242	10	10	80	Sableuse
	X			345291	7454333	10	22	68	Sablo-limoneuse
		X		345291	7454333	12	24	64	Sablo-limoneuse
			X	345291	7454333	12	24	64	Sablo-limoneuse

ANNEXES – Résultat de l'analyse des substrats

SARODRANO	X			345343	7454382	12	16	72	Sablo-limoneuse
		X		345343	7454382	8	40	52	Sablo-limoneuse
			X	345343	7454382	20	30	50	Sablo-limoneuse
	X			345537	7454460	9	12	79	Sablo-limoneuse
		X		345537	7454460	10	12	78	Sablo-limoneuse
			X	345537	7454460	9	12	79	Sablo-limoneuse
	X			345597	7454643	10	12	78	Sablo-limoneuse
		X		345597	7454643	9	12	79	Sablo-limoneuse
			X	345597	7454643	9	10	81	Sablo-limoneuse
	X			345689	7454934	8	16	76	Sablo-limoneuse
		X		345689	7454934	10	20	70	Sablo-limoneuse
			X	345689	7454934	12	18	70	Sablo-limoneuse
	X			344377	7457114	18	16	66	Sablo-argileuse
		X		344377	7457114	18	22	60	Sablo-argileuse
			X	344377	7457114	10	10	80	Sableuse
	X			344475	7457121	1	2	97	Sableuse
		X		344475	7457121	1	2	97	Sableuse
			X	344475	7457121	1	2	97	Sableuse
	X			344684	7457126	24	24	52	Limon sablo-argileuse
		X		344684	7457126	34	24	42	Argileuse
			X	344684	7457126	34	22	44	Argileuse
	X			344785	7457147	18	18	64	Sablo-argileuse
		X		344785	7457147	32	24	44	Argileuse
			X	344785	7457147	16	24	60	Sablo-limoneuse
	X			348189	7454209	3	6	91	Sableuse
		X		348189	7454209	4	6	90	Sableuse
			X	348189	7454209	3	6	91	Sableuse
	X			348288	7454223	9	10	81	Sableuse
		X		348288	7454223	8	10	82	Sableuse
			X	348288	7454223	9	10	81	Sableuse
	X			372144	7397687	8	18	74	Sablo-limoneuse
		X		372144	7397687	8	18	74	Sablo-limoneuse
			X	372144	7397687	8	18	74	Sablo-limoneuse
	X			372204	7397683	6	10	84	Sableuse
		X		372204	7397683	6	10	84	Sableuse
			X	372204	7397683	6	8	86	Sableuse
	X			371910	7397291	10	22	68	Sablo-limoneuse
		X		371910	7397291	10	22	68	Sablo-limoneuse
			X	371910	7397291	12	22	66	Sablo-limoneuse
	X			371877	7397187	4	8	88	Sableuse
		X		371877	7397187	4	8	88	Sableuse
			X	371877	7397187	6	10	84	Sableuse
	X			371834	7317053	3	6	91	Sableuse
		X		371834	7317053	3	8	89	Sableuse
			X	371834	7317053	3	6	91	Sableuse

ANNEXES – Résultat de l’analyse des substrats

	X			371782	7396915	3	8	89	Sableuse
		X		371782	7396915	3	6	91	Sableuse
			X	371782	7396915	3	6	91	Sableuse
	X			371200	7398187	3	4	93	Sableuse
		X		371200	7398187	3	4	93	Sableuse
			X	371200	7398187	3	6	91	Sableuse
	X			371290	7398258	3	4	93	Sableuse
		X		371290	7398258	3	6	91	Sableuse
			X	371290	7398258	3	4	93	Sableuse

ANNEXE – Matrices de confusion de la classification supervisée

- Site de Manombo-Fitsitike

Nombre de pixel		Image								Total Ligne	Précision réalisateur	Erreur d'omission
		Rm. mono. dens.	Rm. mono. peu dens.	Rm. dom. dens.	Am. mono. dens.	Am. mono. peu dens.	Am. dom. dens.	Sa. mono. peu dens.	Mixte dens.			
Référence	Rm. mono. dens.	61	3	1	1					66	61/66	5/66
	Rm. mono. peu dens.		4							4	4/4	0/4
	Rm. dom. dens.	1		21						22	20/22	2/22
	Am. mono. dens.				48	1	1		1	51	48/51	3/51
	Am. mono. peu dens.					13				13	13/13	0/13
	Am. dom. dens.						8			8	8/8	0/8
	Sa. mono. peu dens.							7		7	7/7	0/7
	Mixte dens.						2		20	22	20/22	2/22
	Total colonne	62	7	22	49	14	11	7	21	193		
	Précision utilisateur	61/62	4/7	20/21	48/49	13/14	8/11	7/7	20/22			
	Erreur commission	1/62	3/7	1/21	1/49	1/14	3/11	0/7	2/22			

- Site d'Ambondrolava

Nombre de pixel		Image								Total Ligne	Précision réalisateur	Erreur d'omission
		Am. mono. dens.	Am. mono. peu dens.	Rm. mono. dens.	Rm. mono. peu dens.	Sa. mono. dens.	Sa. mono. peu dens.	Lr. mono. peu dens.	Mixte dens.			
Référence	Am. mono. dens.	14	1							15	14/15	1/15
	Am. mono. peu dens.	2	44						4	50	44/50	6/50
	Rm. mono. dens.			7						7	7/7	0/7
	Rm. mono. peu dens.				11					11	11/11	0/11
	Sa. mono. dens.					7				7	7/7	0/7
	Sa. mono. peu dens.						3			3	3/3	0/3
	Lr. mono. peu dens.							6		6	6/6	0/6
	Mixte dens.								8	8	8/8	0/8
	Total colonne	16	45	7	11	7	3	6	12	107		
	Précision utilisateur	14/16	44/50	7/7	11/11	7/7	3/3	6/6	8/8			
	Erreur commission	2/16	1/50	0/7	0/11	0/7	0/3	0/6	4/8			

ANNEXE – Matrices de confusion de la classification supervisée

- Site d'Ankiembe

Nombre de pixel		Image												Précision réalisateur	Erreur d'omission
		Am. mono. dens.	Am. mono. peu dens.	Am. dom. dens.	Am. dom. Peu dens.	Ct. mono. dens.	Ct. mono. peu dens.	Ct. dom. dens.	Ct. dom. peu dens.	Sa. dom. peu dens.	Mixte dens.	Total Ligne			
Référence	Am. mono. dens.	24										24	24/24	0/24	
	Am. mono. peu dens.		55	1	6							62	55/62	7/62	
	Am. dom. dens.			17								17	17/17	17/17	
	Am. dom. Peu dens.				5							5	5/5	0/5	
	Ct. mono. dens.					32	1				1	34	32/34	2/34	
	Ct. mono. peu dens.						6					6	6/6	0/6	
	Ct. dom. dens.							11				11	11/11	0/11	
	Ct. dom. peu dens.								4			4	4/4	0/4	
	Sa. dom. peu dens.									11		11	11/11	0/11	
	Mixte dens.										2	2	2/2	0/2	
	Total colonne	24	55	18	11	32	7	11	4	11	3	176			
	Précision utilisateur	24/24	55/55	17/18	5/6	32/32	6/7	11/11	4/4	11/11	2/3				
	Erreur commission	0/24	0/55	1/18	1/6	0/32	1/7	0/11	0/4	0/11	1/3				

- Site de Sarodrano

Nombre de pixel		Image											Précision réalisateu r	Erreur d'omissio n
		Am. mono . dens.	Am. mono . peu dens.	Rm. mono . dens.	Rm. mono . peu dens.	Bg. dom. dens.	Bg. mono . peu dens.	Ct. dom. dens .	Sa. mono . peu dens.	Mixt e dens.	Total Lign e			
Référence	Am. mono. dens.	22	1								23	22/23	1/23	
	Am. mono. peu dens.		17								17	17/17	0/17	
	Rm. mono. dens.			6							6	6/6	0/6	
	Rm. mono. peu dens.				4						4	4/4	0/4	
	Bg. dom. dens.					12					12	12/12	0/12	
	Bg. mono. peu dens.						15				15	15/15	0/15	
	Ct. dom. dens.							6			6	6/6	0/6	
	Sa. mono. peu dens.								2		2	2/2	0/2	
	Mixte dens.									6	6	6/6	0/6	
	Total colonne	22	18	6	4	12	15	6	2	6	91			
	Précision utilisateur	22/22	17/18	6/6	0/4	12/12	15/15	6/6	2/2	6/6				

ANNEXE – Matrices de confusion de la classification supervisée

	Erreur commissio n	0/22	1/18	0/6	0/4	0/12	0/15	0/6	0/2	0/6	
--	--------------------------	------	------	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	--

- Site d’Andriambe

Nombre de pixel		Image						
		Xg. mono. dens.	Xg. dom. peu dens.	Sa. mono. peu dens.	Mixte dens.	Total Ligne	Précision réalisateur	Erreur d'omission
Référence	Xg. mono. dens.	27	1		2	30	27/30	3/30
	Xg. dom. peu dens.		7			7	7/7	0/7
	Sa. mono. peu dens.			1		1	1/1	0/1
	Mixte dens.				2	2	2/2	0/2
	Total colonne	27	8	1	4	40		
	Précision utilisateur	27/27	7/8	1/1	2/2			
	Erreur commission	0/27	1/8	0/1	0/2			

Décret N°2000 - 027

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana-Fahafahana-Fandrosoana

MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT

Décret N° 2000-027

**relatif aux communautés de base chargées de la gestion
locale de ressources naturelles renouvelables**

LE PREMIER MINISTRE, CHEF DU GOUVERNEMENT

- Vu la Constitution,
 - Vu la Loi n° 90-033 du 21 Décembre 1990 portant Charte de l'Environnement et ses modificatifs ,
 - Vu la Loi n° 96-025 du 30 Septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources naturelles renouvelables,
 - Vu le Décret n° 98-522 du 23 Juillet 1998 portant nomination du Premier Ministre, Chef du Gouvernement,
 - Vu le Décret n° 98-530 du 31 Juillet 1998 portant nomination des membres du Gouvernement,
 - Vu le Décret n° 98-962 du 18 Novembre 1998 fixant les attributions du Ministre de l'Environnement ainsi que l'organisation générale de son Ministère,
- Sur proposition du Ministre de l'Environnement, En Conseil de Gouvernement,

DECRETE :

Article premier. En application des dispositions de la Loi N° 96-025 du 30 Septembre 1996 relative à la gestion locale des ressources naturelles renouvelables, le présent Décret a pour objet de définir la structure et les règles de fonctionnement des communautés de base susceptibles de se voir confier la gestion des ressources naturelles renouvelables.

TITRE PREMIER
DISPOSITIONS GENERALES

Art. 2. La communauté de base est un groupement volontaire d'individus unis par les mêmes intérêts et obéissant à des règles de vie commune. Elle regroupe selon le cas les habitants d'un hameau, d'un village ou d'un groupe de villages. Elle est dotée de la personnalité morale.
La communauté de base, visée par le présent Décret, a pour objet la gestion locale des ressources naturelles renouvelables selon la Loi n° 96-025 précitée.

Art. 3. Le siège de la communauté de base est fixé au village, ou à l'un des villages ou hameaux de résidence des membres de la communauté. Il peut être transféré dans d'autres zones du lieu d'intervention après décision de l'Assemblée Générale.

Art. 4. La communauté de base doit être déclarée par ses fondateurs auprès de la commune de rattachement.
Cette déclaration d'existence doit être accompagnée par un exemplaire du procès-verbal de constitution de la communauté de base et de son statut. Il en sera délivré récépissé.
La déclaration d'existence est une condition de recevabilité de la demande de transfert de gestion locale des ressources naturelles renouvelables.

Art. 5. Peut être accepté comme membre tout habitant résidant dans les limites du terroir de la communauté de base. Il doit s'engager à respecter les règles de fonctionnement de la communauté et à exécuter les activités et les objectifs établis par la communauté de base.
La candidature pour devenir membre est soumise à l'Assemblée Générale, qui délibère dans les conditions fixées par le statut.
La candidature doit être posée volontairement.

Thème :
GELOSE

N° 7

Faha : 7

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana – Fahafahana – Fandrosoana

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

MINISITERAN'NY TONTOLO IAINANA

DECRET N° 2000-027

relatif aux communautés de base chargées de la gestion
locale de ressources naturelles renouvelables

DIDIM – PANJAKANA LAHARANA FAHA – 2000 – 027

mikasika ny vondron'olona ifotony miandraikitra
ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena
voajanahary mety havaozina

Promulgué le 13 janvier 2000/Avoaka hanankery ny 13 janoary 2000

Didim-panjakana laharana faha 2000 – 027

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana – Fahafahana – Fandrosoana

MINISITERAN'NY TONTOLO IAINANA

Didim-panjakana laharana faha : 2000 – 027
mikasika ny vondron'olona ifotony miandraikitra
ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena
voajanahary mety havaozina

Ny Praiminisitra sady lehiben'ny Governemanta

Araka ny lalàmpanorenana,

Araka ny lalàna laharana faha – 90 – 033 tamin'ny 21 desambra 1990 anaovana ny sata mifehy ny tontolo iainana sy ny fanovàna azy,

Araka ny lalàna laharana faha – 96 – 025 tamin'ny 30 septambra 1996 mikasika ny fitantanana eo an – toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina,

Araka ny didim-panjakana laharana faha – 98 – 522 tamin'ny 23 jolay 1998 manendry ny Praiminisitra sady lehiben'ny Governemanta,

Araka ny didim-panjakana laharana faha – 98 – 530 tamin'ny 31 jolay 1998 manendry ny mambra ao amin'ny Governemanta,

Araka ny didim-panjakana laharana faha – 98 – 962 tamin'ny 18 novambra 1998 mametra ny anjara raharahan'ny Minisitry ny Tontolo iainana, ary koa ny fandaminana ankapobeny ny minisiterany,

Araka ny tolo-kevitra naroson' ny Minisitry ny Tontolo iainana,

Eo am-pivoriana ny Governemanta,

Dia mamoaka izao didy manaraka izao :

Andininy voalohany. – Ho fampiharana ny fepetra voalazan'ny lalàna laharana faha – 96 – 025 tamin'ny 30 septambra 1996 mikasika ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina, dia izao didim-panjakana izao no manoritra ny firafitra sy ny fitsipika fampandehanan-draharahan'ny vondron'olona ifotony azo anankinana ny fitantanana ny loharanon-karena mety havaozina.

LOHATENY VOALOHANY
FEPETRA ANKAPOBENY

And. 2 Ny vondron'olona ifotony dia fikambanan'olon-tsotra manana zotom-po atambatry ny tombontsoa iraisany ary manaiky ho voafehin'ny fitsipi-piainana iombonana. Araka ny fisehon-javatra dia mivondrona ao anatin'ny mponina iray tanàna mitsitokotoko, iray vohitra na vohitra maromaro. Mizaka ny zo aman'andraikitra izy io.

Ny zava-kinendrin'ny vondron'olona ifotony, tondroin'izao didim-panjakana izao dia ny fitantanany eny an-toerana ny loharanon-karena mety havaozina araka ny lalàna laharana faha – 96 – 025 voalaza etsy ambony.

And. 3 Ny foibem-pikambanan'ny vondron'olona ifotony dia ferana ho amin'ny vohitra, na ao amin'ny iray amin'ireo vohitra na tanàna mitsitokotoko misy ny toeram-ponenan'ilay vondron'olona. Azo atao ny mamindra azy io an-toeran-kafa noho ilay irotsahany an-tsehatra aorian'ny fanapahan-kevitra raisin'ny Fivoriambe.

And. 4 Tsy maintsy anaovan'ireo mpamorona azy fanambarana ao amin'ny Kaominina iankinany ny fitsanganan'ny vondron'olona ifotony. Amparahina amin'io fanambarana ny fisiany io ny sosona iray amin'ny fitanana an-tsoratra ny fananganana ilay vondron'olona ifotony sy ny fitsipi-pikambanany. Hanomezana tapakila aharaiana azy izany.

Ny fanambarana ny fisiany dia fepetra iray ahazoa-mandray ny fangatahana famindram-piandraiketana ny fitantanana eo an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina.

And. 5 Azo ekena ho anisan'ny mpikambana ao anatin'ny olona rehetra miorim-ponenana ao amin'ny faritra misy ilay vondron'olona ifotony. Tsy maintsy manome toky izy fa ho toaviny ny fampandehanan-draharahan'ny vondron'olona ifotony sy ho tontosainy ny asa aman-draharaha ary ny tanjona ho tritarin'ilay vondron'olona ifotony.

Ny filatsahana ho anisan'ny mpikambana dia aroso eo amin'ny fivoriambe ka izy no mandray fanapahan-kevitra araka ny fepetra voasoritra ny fitsipi-pikambanana. An-tsitraro no ametrahana ny filatsahan-ko mpikambana.

Décret N°2000 - 027

Art. 6. Un membre peut démissionner de la communauté de base. Les responsabilités du membre démissionnaire sont fixées par le statut et le règlement intérieur et /ou *dina*.

Art. 7. La communauté de base doit être dotée d'un organe délibérant et d'un organe exécutif, de règles de fonctionnement et de gestion financière.

TITRE II DES ORGANES DE LA COMMUNAUTE DE BASE

Art. 8. Les organes de la communauté de base sont les suivants :

- l'Assemblée générale
- une structure de gestion

CHAPITRE PREMIER - DE L'ASSEMBLEE GENERALE

Art. 9. L'Assemblée Générale est l'organe délibérant de la communauté de base: Elle a pour fonction :

- d'adopter le statut de la communauté de base ;
- d'élaborer et adopter le Règlement Intérieur et /ou *Dina* régissant la communauté de base, conformément au modèle de règlement intérieur et /ou *dina* annexé au présent Décret, avec l'aide éventuelle du médiateur environnemental ~
- de fixer les objectifs à atteindre et le plan de travail annuel de la communauté de base ;
- d'élire les membres de la structure de gestion ;
- d'approuver les comptes de la communauté de base ;
- de décider de l'affectation des fonds au profit du développement communautaire.

Art. 10. L'Assemblée Générale se réunit en session ordinaire au moins deux fois par an ou chaque fois que les intérêts de la communauté l'exigent.

Une assemblée générale extraordinaire peut être convoquée à la demande de la structure de gestion ou du tiers des membres de la communauté de base.

Le Président de la structure de gestion convoque l'Assemblée Générale selon les us et coutumes locales.

Art. 11. Les décisions de l'Assemblée Générale sont prises par consensus. A défaut de consensus, elles sont prises à la majorité absolue des membres présents.

L'Assemblée Générale ne peut pas prendre de décision en l'absence de la moitié de ses membres. Si ce quorum n'est pas atteint, une nouvelle convocation est lancée et la décision est prise à la majorité des deux -tiers des membres présents.

CHAPITRE II - DE LA STRUCTURE DE GESTION

Art. 12. La structure de gestion est l'organe exécutif de la communauté de base. Il est composé d'un Président, d'un Vice-Président, d'un Trésorier et d'un Secrétaire élus par l'Assemblée Générale.

En cas d'absence du Président, la fonction de ce dernier est exercée par le Vice-Président

Art. 13. La structure de gestion prend toutes les mesures pour assurer l'exécution des objectifs fixés par l'Assemblée Générale. Elle est chargée de l'organisation des activités de la communauté de base.

Art. 14. Le Président de la structure de gestion représente la communauté de base auprès des différentes instances administratives et des partenaires privés de la communauté.

TITRE III DES REGLES DE FONCTIONNEMENT

Art. 15. Les règles de fonctionnement de la communauté de base sont fixées par son statut, son règlement intérieur et son *dina*.

Art. 16. L'élaboration, l'adoption et la modification du statut relèvent de la compétence de l'Assemblée Générale. Le statut adopté est déposé auprès du Maire de la commune de rattachement.

L'Assemblée Générale ne peut décider des modifications du statut de la communauté de base si le quorum des deux – tiers des membres n'est pas atteint. A défaut de quorum, une seconde convocation est lancée et la décision est prise à la majorité des deux – tiers des membres présents.

And. 6 – Azon'ny mpikambana iray atao ny miala tsy ho isan'ny vondron'olona ifotony. Ny sata mifehy ny fikambanana sy ny fitsipika anatin'ny ary / na ny dina no mamaritra ny andraikitra iantsoroan'ny mpikambana mametra-pialana.

And. 7 – Amin'ny vondron'olona ifotony dia tsy maintsy misy ny rantsana mandray ny fanapahan-kevitra sy ny rantsana mpanatanteraka ny fitsipika momba ny fampandehanan-draharaha ary ny fitantanam-bola.

LOHATENY II

RANTSA – MANGAIKA NY VONDRON'OLONA IFOTONY

And. 8 – Ny rantsa-mangaika ny vondron'olona ifotony dia ireto manaraka ireto :

- Ny Fivoriambe
- Ny draf-pitantanana

TOKO VOALOHANY - MIKASIKA NY FIVORIAMBE

And. 9 – Ny Fivoriambe no rantsana mpandray ny fanapahan-kevitra anatin'ny vondron'olona ifotony. Ny anjara asany dia :

- ny fandaminana ny fitsipi-pikambanan'ny vondron'olona ifotony,
- ny famolavolana sy ny fandanianana anatin'ny sy / na dina mifehy ny vondron'olona ifotony, araka ny modelin'ny fitsipika anatin'ny sy / na ny dina atovana ity didim-panjakana ity, ombàn'izay mety ho fanampiana entin'ny mpanelanelana momba ny tontolo iainana,
- ny famerenana ny tanjon-ko tratrarina sy ny fandaharanasa isan-taona tanterahin'ny vondron'olona ifotony,
- ny fifidianana ny mpikambana anatin'ny draf-pitantanana,
- ny fankatoavana ny kaontin'ny vondron'olona ifotony,
- ny fandraisana fanapahana mikasika ny fanokanam-bola hoenti-manana ny fampandrosoana iombonambe.

And. 10 – Ny fivoriambe dia miatrika fivoriana ara-potoana indroa ahay isan-taona na isaky ny misy ilàna izany hitandroana ny tombontsoan'ny vondron'olona ifotony.

Azo atao ny fanaikana Fivoriambe tsy ara-potoana raha mangataka izany ny draf-pitantanana na ny ampahatelon'ny mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony.

Araka ny fomba aman-panao eo an-toerana no anaikan'ny filohan'ny draf-pitantanana ny fivoriamben'ny mpikambana.

And. 11 – Teny miera no andraisan'ny Fivoriambe fanapahan-kevitra. Raha tsy misy ny lany era dia ny antsasa-manilan'ny mpikambana tonga manatrika ao no mandany azy.

Ny Fivoriambe dia tsy afa-mandray fanapahan-kevitra raha tsy eo ny antsasaky ny mpikambana ao anatin'ny. Raha tsy feno io isa tratrarina io dia alefa ny fanaikana fanindroany hivory ary ny roa ampahatelon'ny amin'ny mpikambana tonga eo no mandray ny fanapahan-kevitra.

TOKO II - Draf-pitantanana

And. 12 – Ny draf-pitantanana no rantsana mpanatanteraka amin'ny vondron'olona ifotony. Ao anatin'ny dia ahitana filoha iray, filoha-lefitra iray, mpitam-bola iray ary sekretera iray izay voafidin'ny Fivoriambe.

Raha tsy eo ny filoha dia ny filoha-lefitra no misahana ny asa aman-draharahan'ny.

And. 13 – Raisin'ny draf-pitantanana ny fepetra rehetra hoenti-manatanteraka ny tanjo-ko tratrarina noferan'ny Fivoriambe. Ampandraiketina azy ny fandaminana ny asa aman-draharahan'ny vondron'olona ifotony.

And. 14 – Ny filohan'ny draf-pitantanana no misolo tena ny vondron'olona ifotony anatrehan'ny ambaratongam-pitondram-panjakana sy ireo olon-tsotra na fikambanana mifarimbon'asa aminy.

LOHATENY III

FITSIPIKA FAMPANDEHANAN'ASA AMAN-DRAHARAH

And. 15 – Ny fitsipika momba ny fampandehana ny asa aman-draharahan'ny vondron'olona ifotony dia ny fitsipi-pikambanana, ny fitsipika anatin'ny ary ny dina ifanaovany no mametra azy.

And. 16 – Ny famolavolana, ny fandanianana ary ny fitsipi-pikambanana dia tandrifim-pahefan'ny Fivoriambe. Apetraka any amin'ny Ben'ny tanàna iankinany ny fitsipi-pikambanana tapaka.

Tsy azon'ny Fivoriambe atao ny mampiditra soso-panovàna ny fitsipi-pikambanan'ny vondron'olona ifotony raha tsy tonga manatrika eo ny roa ampahatelon'ny mpikambana. Raha tsy feno ny isa tratrarina dia atao ny fanaikana hivory ary amin'izay dia lany ny fanapahan-kevitra raisin'ny roa ampahatelon'ny mpikambana tonga.

Décret N°2000 - 027

Art. 17. Le statut de la communauté de base indique notamment :

- son objet ;
- son assise territoriale ;
- ses organes ;
- son fonctionnement sur la base des dispositions du présent Décret.

Il comprend en annexe la liste de ses membres et celle de ses représentants élus.

Art. 18. Le Règlement Intérieur et /ou *Dina* est établi, adopté et modifié par l'Assemblée Générale selon les règles coutumières régissant la communauté de base et en vertu de l'article 49 de la Loi N° 96-025 précitée. Le Règlement intérieur et /ou *Dina* ne peut comporter des mesures pouvant porter atteinte à l'intérêt général et à l'ordre public.

Ses dispositions doivent être conformes à la Constitution, à la législation et à la réglementation en vigueur, ainsi qu'aux usages reconnus et non contestés dans la Commune de rattachement.

Le Règlement Intérieur et /ou *Dina* ne devient exécutoire qu'après visa du Maire de la commune de rattachement, qui doit le délivrer dans un délai maximum de vingt (20) jours. Il fera l'objet d'un affichage par le Maire de ladite Commune.

Un modèle indicatif de Règlement Intérieur et /ou *Dina* est annexé au présent Décret.

Art. 19. Les sanctions des violations des règles de fonctionnement de la communauté de base sont fixées par le Règlement Intérieur et /ou *Dina*.

TITRE IV DE LA GESTION FINANCIERE

Art. 20. Les ressources financières de la communauté proviennent principalement :

- de la cotisation de ses membres ;
- des aides matérielles et financières provenant d'autres organismes ;
- des dons et legs ;
- des produits de ses activités.

Art. 21. La gestion financière de la communauté de base est régie par la tenue d'un cahier de recettes et dépenses.

Un commissaire aux comptes élu par l'Assemblée Générale procédera à chaque fin de l'année budgétaire au contrôle des comptes financiers de la communauté de base.

Les comptes sont approuvés par l'Assemblée Générale.

TITRE V DISPOSITIONS DIVERSES

Art. 22. En cas de démission de la majorité absolue des membres de la communauté de base, une procédure de réconciliation est engagée sous l'égide d'un médiateur environnemental et /ou du Maire de la commune de rattachement. En cas d'échec de cette médiation, la dissolution de la communauté de base est constatée par le Maire de la commune de rattachement.

Art. 23. La dissolution de la communauté de base peut aussi être décidée par l'Assemblée Générale. Une telle décision ne peut être prise, si le quorum des deux -tiers des membres n'est pas atteint.

A défaut de quorum, une seconde convocation est lancée et la décision de dissolution est prise à la majorité des deux -tiers des membres présents.

Art. 24. Dans les cas de dissolution prévus par les articles 22 et 23 du présent Décret, et si toutes les dettes ont été apurées, tous les matériels et dons reçus par la communauté de base sont transférés à la commune de rattachement qui les transmettra ensuite à d'autres communautés de base ayant des activités similaires dans ladite Commune.

Art. 25. Toutes les décisions prises lors des réunions doivent être rédigées par écrit et classées dans un livre réservé à cet effet.

Art. 26. Le Président ou l'un des membres de la structure de gestion se charge de toutes les rédactions écrites.

And. 17 – Voasoritra indrindra indrindra ao anatin'ny fitsipi-pikambananan'ny vondron'olona ifotony :

- ny anton'asa aman-draharaha imasoany,
- ny faritra iasany,
- ny rantsa-mangaika aminy,
- ny fampandehana ny asa aman-draharahany mifototra amin'ny fepetra voalazan'izao didim-panjakana izao.

Anatin'ny tovana dia ahitana ny lisitry ny mpikambana ao aminy sy ireo solontena voafidy.

And. 18 – Ny fandraiketana ny fitsipika anatin'ny sy / na dina, ny fandanianana sy fanovana azy dia atao araka ny fitsipika voalazan'ny fomba amam-panao mifehy ny vondron'olona ifotony sy araka ny andininy faha – 49 amin'ny lalàna laharana faha – 96 – 025 voalaza etsy ambony.

Ny fitsipika anatin'ny sy / na ny dina dia tsy afaka asiana fanapahan-kevitra mety hanozongozona ny tombontsoan'ny be sy ny maro sy ny fandriampahalemana. Ny fepetra ao aminy dia tsy maintsy mifanaraka amin'ny Lalàmpanorenana, ny lalàna sy ny fitsipi-pifehezana manan-kery, ary koa amin'ny fomba amam-panao fantatra ary tsy misy mandà ao amin'ny Kaominina iankinany.

Tsy azo tanterahina ny fitsipika anatin'ny sy / na dina raha tsy efa voazahan'ny Ben'ny tanàna iankinany, izay tokony hanome tapakilam-paharaisana ao anatin'ny fe-potoana roapolo (20) andro. Hataon'ny Ben'ny tanàna amin'io Kaominina io peta-drindrana izany.

Mitovana amin'izao didim-panjakana izao ny modely fanondrotondroana ny momba ny fitsipika anatin'ny sy / na dina.

And. 19 – Ny sazy ahatra amin'ny fandikana ny fitsipika fampandehanan'ny vondron'olona ifotony dia feran'ny fitsipika anatin'ny sy / na dina.

LOHATENY IV NY AMIN'NY FITANTANAM – BOLA

And. 20 – Izao avy indrindra indrindra ny loharanom-bolan'ny vondron'olona ifotony :

- ny latsakemboka avy amin'ny mpikambana ;
- ny fanampiana ara-pitaovana na ara-bola avy amin'ny antokon-draharaha hafa ;
- ny tolotra sy fanomezana ;
- ny vokatra ny asa aman-draharaha nosahaniny.

And. 21 – Ny fitantanam-bolan'ny vondron'olona ifotony dia voafehin'ny bokin'andraikitra tanàna momba ny vola miditra sy mivoaka.

Misy ny mpanamarin-kaonty iray nofinidin'ny Fivoriambe, hatao isaky ny mifarana ny taom-piasana ara-bola, ny fanaraha-maso ny kaontim-pitantanam-bolan'ny vondron'olona ifotony.

Toavin'ny Fivoriambe ny kaonty momba ny fitantanam-bola.

LOHATENY V FEPETRA SAMIHAFI

And. 22 – Raha misy ny fametraham-pialana ataon'ny ankamaroan'ny mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony dia raketina ny fampihavanana eo ambany fiahian'ny mpanelanelana momba ny tontolo iainana sy / na ny Ben'ny tanàna iankinana. Raha mandamoka ny vokatr'io fanelanelanana io, dia ny Ben'ny tanàna iankinana no mizaha fototra ny faharavan'ilay vondron'olona ifotony.

And. 23 – Azon'ny Fivoriambe atao ihany ny manapaka ny momba ny faharavan'ny vondron'olona ifotony. Tsy azo raisina ny fanapahan-kevitra toy izany raha tsy eo ny roa ampahatelon'ny mpikambana.

Raha tsy feno io isa tratarina io dia alefa ny fanaikana hivory fanindroany ary ny ankamaroan'ny roa ampahatelon'ny mpikambana tonga eo no mandray fanapahan-kevitra ny amin'ny faharavan'ny fikambanana.

And. 24 – Raha misy ny faharavana voalazan'ny andininy faha – 22 sy faha – 23 amin'ity didim-panjakana ity, ary raha toa ka voalao daholo ny trosa, ny fitaovana rehetra sy ny fanomezana voarain'ny vondron'olona ifotony dia afindra ho amin'ny Kaominina iankinana izay mandefa azy ireo indray any amin'ny vondron'olona ifotony hafa manana sahan'asa mitovy amin'io Kaominina voalaza io ihany.

And. 25 – Ny fanapahana rehetra raisina eo am-pivoriana dia tsy maintsy adika an-tsoratra sy sokajiana ao anaty boky natokana ho amin'izany.

And. 26 – Ny filoha na ny iray amin'ireo mpikambana ao amin'ny drafy-pitantanana no miandraikitra ny fampandriana an-tsoratra.

Décret N°2000 - 027

Art. 27. Des arrêtés pourront être pris en application du présent décret.

Art. 28. Le Vice-Premier Ministre chargé du Budget et du Développement des Provinces Autonomes, le Ministre de Eaux et Forêts, la Ministre de la Population, de la Condition Féminine et de l'Enfance, le Ministre de la Justice, Garde des Sceaux, le Ministre de la Pêche et des Ressources Halieutiques, le Ministre de l'Intérieur, le Ministre de l'Aménagement du Territoire et de la Ville, le Ministre de l'Elevage, le Ministre de l'Agriculture et le Ministre de l'Environnement sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du Présent Décret qui sera publié au Journal Officiel de la République de Madagascar.

Fait à Antananarivo, le 13 Janvier 2000

Le Premier Ministre et Chef du Gouvernement

Tantely ANDRIANARIVO.

Le Vice-Premier Ministre chargé du Budget du Développement des Provinces Autonomes

Pierrot RAJAONARIVELO.

Le Ministre des Eaux et Forêts

Rija RAJOHNSON.

Le Ministre de la Population Ny Minisitry ny Mponina sy ny toe-piainan'ny vehivavy ary ny ankizy,

Noëline JAOTODY.

Le Ministre de la Justice et Garde des Sceaux,

Anaclet IMBIKI.

Le Ministre de la Pêche et des Ressources Halieutiques,

Abdallah HOUSSEN.

Le Ministre de l'Intérieur

Jean Jacques RASOLONDRAIBE.

Le Ministre de l'Aménagement du Territoire de la Ville,

Herivelona RAMANANTSOA.

Le Ministre de l'Elevage,

RAKOTONDRA SOA.

Le Ministre de l'Agriculture,

Marcel Théophile RAVELOARIJAONA.

Le Ministre de l'Environnement,

ALPHONSE.

And. 27 – Mety hisy ny didim-pitondrana afaka ho raisina ho fampiharana ity didim-panjakana.

And. 28 - Ny Praiminisitra lefitra miandraikitra ny Tetibola sy ny Fampandrosoana ny Faritany mizaka tena, ny Minisitra miandraikitra ny Fitantanam-bola sy ny toekarena, ny Minisitry ny Rano sy ny Ala, ny Minisitry ny Mponina sy ny Toe-piainan'ny vehivavy ary ny ankizy, ny Minisitry ny Fitsarana, ny Mpitahiry ny kasem-panjakana, ny Minisitry ny Fanjonoana sy ny haren'ny atirano, ny Minisitry ny Atitany, ny Minisitry ny Fanajariana ny Tany sy ny Tanan-dehibe, ny Minisitry ny Fiompiana, ny Minisitry ny Fambolena, ny Minisitry ny Tontolo iainana no miadidy, araka ny tandrify azy avy, ny fanatanterahana izao didim-panjakana izao, izay havoaka amin'ny *Gazetim-panjakanan'ny Repoblika*.

Natao tao Antananarivo, ny 13 janoary 2000.

Avy amin'ny Praiminisitra sady lehiben'ny Governemanta :

Tantely ANDRIANARIVO.

Ny Praiminisitra lefitra miandraikitra ny Tetibola sy ny Fampandrosoana ny Faritany mizaka tena,

Pierrot RAJAONARIVELO.

Ny Minisitry ny Rano sy ny Ala,

Rija RAJOHNSON.

Ny Minisitry ny Mponina sy ny toe-piainan'ny vehivavy ary ny ankizy,

Noëline JAOTODY.

Ny Mpitahiry ny kasem-panjakana, ny Minisitry ny Fitsarana,

Anaclet IMBIKI.

Ny Minisitry ny Fanjonoana sy ny haren'ny atirano,

Abdallah HOUSSEN.

Ny Minisitry ny Atitany

Jean Jacques RASOLONDRAIBE.

Ny Minisitry ny Fanajariana ny Tany sy ny Tanan-dehibe,

Herivelona RAMANANTSOA.

Ny Minisitry ny Fiompiana,

RAKOTONDRA SOA.

Ny Minisitry ny Fambolena,

Marcel Théophile RAVELOARIJAONA.

Ny Minisitry ny tontolo iainana,

ALPHONSE.

Décret N°2000 - 027

**B. Annexe au Décret n° 2000-027 du 13 Janvier 2000
relatif aux Communautés de Base chargées de la gestion locale
des ressources naturelles renouvelables**

**MODELE DE RÈGLEMENT INTÉRIEUR ET /OU DINA
REGISSANT LES COMMUNAUTÉS DE BASE ET RELATIF A
LA GESTION LOCALE DES RESSOURCES NATURELLES RENOUVELABLES**

Le présent Règlement Intérieur et /ou *Dina* est délibéré et adopté par les membres de la communauté de base de

..... de la Commune, Sous-Préfecture de..... au cours de leur Assemblée Générale en date du.....,

présidée par M

assisté par M Secrétaire

M

M

Article premier . Le présent Règlement Intérieur et /ou *Dina* a pour objet d'édicter des mesures en vue de la gestion locale des ressources naturelles renouvelables dans la localité de Commune, Sous-Préfecture de, Province de en vertu du contrat de transfert de gestion entre

A cet effet, les membres de la communauté de base sus -mentionnée s'engagent à :

- gérer selon le plan d'aménagement les ressources naturelles renouvelables ;
- respecter les lois et règlements de la République ainsi que les us et coutumes qui ne sont pas contraires à la protection de l'environnement ;
- respecter les règles de fonctionnement régissant la communauté de base.

Art.2. Le Règlement Intérieur et /ou *Dina* a force de loi entre les membres de la communauté de base. La communauté de base peut faire appel à l'administration pour faire respecter les dispositions du présent Règlement Intérieur et /ou *Dina*.

Art. 3. En application de l'article 13 du Décret n° 2000-027 du 13 Janvier 2000 relatif aux communautés de base chargées de la gestion locale des ressources naturelles renouvelables, la mise en application du Règlement Intérieur et /ou *Dina* est assurée par la structure de gestion.

Art.4. Tous les membres de la communauté de base doivent participer à l'exécution des tâches fixées par le plan de travail annuel adopté par l'Assemblée Générale.

Art. 5. Tout membre de la communauté de base bénéficie d'une priorité pour l'exécution des travaux décidés par l'Assemblée Générale.

Art. 6. En application de l'article 53 de la Loi n° 96-025 relative à la gestion locale des ressources naturelles renouvelables, tout membre de la communauté de base qui ne se sera pas conformé aux dispositions du Règlement Intérieur et /ou *Dina* est passible des "vonodina" qui y sont prévus, sans préjudice des réparations pécuniaires qui peuvent être stipulées dans ledit Règlement Intérieur et /ou *Dina* au profit de la communauté de base et de toute poursuite pénale, en cas d'infraction à la législation et à la réglementation en vigueur.

Tout membre de la communauté de base qui ne se sera pas conformé aux dispositions du statut et du règlement intérieur est également passible de "vonodina".

Le "vonodina" consiste en des réparations pécuniaires, en une remise en état des dégâts causés ou en l'exécution par équivalent d'accord parties au profit de la communauté de base.

Tovana amin'ny didim-panjakana laharana faha 2000 – 027 tamin'ny 13 janoary 2000
Mikasika ny vondron'olona ifotony miandraikitra ny fitantanana
eny an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina.

**MODELIN'NY FITSIPIKA ANATINY SY / NA NY DINA
MIFEHY NY VONDRON'OLONA IFOTONY ARYMIKASIKA NY FITANTANANA
ENY AN – TOERANA NYLOHARANON – KARENA VOAJANAHARY METY HAVAOZINA**

Izao fitsipika anatiny sy / na dina izao dia nifampidinihana sy lany eran'ny mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony ao anatin'ny Kaominina Fivondronana tamin'ny Fivoriambe nataony ny izay notarihan'Atoa nampian'Atoa isany :
..... sekretera,

Andininy voalohany. – Ny antonanton'izao fitsipika anatiny sy / na izao dia ny hanoritana ireo fepetra enti-misahana ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina ao amin'ny faritra Kaominina Fivondronana Faritany

Araka ny fifanekena momba ny famindram-pitantanana ifanaovana amin'ny Amin'izany ny mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony voalaza eto ambony dia manaky fa :
• hitantana araka ny drafitra fanajariana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina ;
• hanaja ny didy aman-dalàna ary fitsipika manan-kerin'ny Repoblika ary koa ny fomba amam-panao izay tsy mifanipaka amin'ny fiarovana ny tontolo iainana ;
• hanaja ny fitsipika fampandehanan'asa aman-draharaha mifehy ny vondron'olona ifotony.

And. 2 – Ny fitsipika anatiny sy / na dina dia zary lalàna mifehy ny mpikambana ao anatin'ny vondron'olona ifotony. Azon'ny vondron'olona ifotony atao ny miantso ny fitondran-draharaham-panjakana mba hampanaja ny fepetra raketin'ny fitsipika anatiny sy / na dina.

And. 3 – Ho fampiharana ny andininy faha – 13 ao amin'ny didim-panjakana laharana faha – 2000 – 027 tamin'ny 13 janoary 2000, mikasika ny vondron'olona ifotony miandraikitra ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina na ny rafi-pitantanana no miantoka ny fampiharana ny fitsipika anatiny sy / na dina.

And. 4 – Ny mpikambana rehetra ao amin'ny vondron'olona ifotony dia tsy maintsy mandray anjara amin'ny fanatanterahana ny lahasa voafetran'ny drafitr'asa aman-draharaha isan-taona lany tamin'ny Fivoriambe.

And. 5 – Izay rehetra mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony dia manana tombon-dahiny amin'ny fanatanterahana ny lahasa notinapakin'ny Fivoriambe.

And. 6 – Ho fampiharana ny andininy faha – 53 amin'ny lalàna laharana faha – 96 – 025 tamin'ny 30 septambra 1996 mikasika ny fitantanana eny an-toerana ny loharanon-karena voajanahary mety havaozina, izay rehetra mpikambana ao amin'ny vondron'olona ifotony tsy manaja ny fepetra soritan'ny fitsipika anatiny sy / na dina dia iharan'ny vonodina voalaza ao anatiny, tsy tohinina ny fanoneram-bola mety ho voasoritra ao amin'izany fitsipika anatiny sy / na dina izany ho an'ny vondron'olona ifotony sy ny ifanarahana noho ny heloka vita, raha misy ny fandikan-dalàna sy ny didy amam-pitsipika manan-kery. Izay rehetra mpikambana aminà vondron'olona ifotony tsy manaja ny fepetra voalazan'ny fitsipi-pitondrana sy ny fitsipika anatiny dia mety iharan'ny vonodina ihany koa. Ny vonodina dia karazanà fanoneram-bola, famerenana amin'ny laoniny ny simba na fanatontosan'asa mifandraika aminy ifanarahana'ny andaniny sy ankilany ho an'ilay vondron'olona ifotony.

Décret N°2000 - 027

Art. 7. Les réparations pécuniaires doivent être payées dans un délai fixé par l'Assemblée Générale. Une fois ce délai expiré, un délai supplémentaire peut être accordé au membre fautif moyennant une majoration du "vonodina" à payer.

A l'issue de ce nouveau délai, le membre fautif qui n'a pas payé le "vonodina" est exclu de la communauté de base.

Art. 8. En cas de remise en état des dégâts causés ou de l'exécution par équivalent d'accord parties au profit de la communauté de base, la non-exécution de ses engagements par le membre fautif sera sanctionnée par une exclusion de la communauté de base.

Art. 9. L'exclusion d'un membre de la communauté de base ne peut cependant être prononcée qu'après que le membre fautif ait pu plaider sa cause devant l'Assemblée Générale.

Art. 10. Le recours devant la justice ne doit être engagé qu'après épuisement des procédures prévues par le Règlement Intérieur et /ou *Dina*.

Art. 11. Le membre démissionnaire ou exclu demeure solidaire des actes accomplis par la communauté de base, à l'actif et au passif, jusqu'à la date de sa démission ou de son exclusion. A compter de cette date, il ne bénéficie plus des droits accordés aux membres.

Art. 12. Le présent Règlement Intérieur et /ou *Dina* entre en vigueur à compter de la date d'obtention du visa du Maire de la commune de rattachement.

A, le

Le président de la communauté de base

Didim-panjakana laharana faha 2000 – 027

And. 7 – Ny fanoneram-bola dia tsy maintsy efaina ao anatin'ny fe-potoana noferan'ny Fivoriambe. Raha dila io fe-potoana io dia azo omena fe-potoana amboniny ilay mpikambana nanao hadisoana kanefa izany dia tovonana vonodina haloany.
Rahefa dify io fe-potoana vaovao io dia alàna tsy ho anisan'ny vondron'olona ifotony ny mpikambana nanao hadisoana tsy nahalao ny vonodina.

And. 8 – Amin'ny famerenana amin'ny laoniny ny simba na fanatanterahana lahasa mifandraika aminy, ny tsy fanatontosan'ilay mpikambana nanao hadisoana ny fanomezan-toky nifanarahana dia ho saizana amin'ny fanalana azy tsy ho anisan'ny vondron'olona ifotony.

And. 9 – Tsy azo atao anefa ny fanalàna mpikambana iray tsy ho anisan'ny vondron'olona ifotony raha tsy efa avy nanamarin-tena teo anatrehan'ny Fivoriambe ilay mpikambana nanao hadisoana.

And. 10 – Tsy azo atao ny fampakaran-draharaha amin'ny fitsarana raha tsy efa tontosa daholo ny paika arahina voalazan'ny fitsipika anatin'ny sy / na dina.

And. 11 – Ny mpikambana nametra-pialana na noesorina dia mbola tompon'antoka amin'asa vitan'ny vondron'olona ifotony tamin'hetsika sy ramby, hatramin'ny vaninandro'ny fametraham-pialany na ny fanalàna azy tsy ho isan'ny mpikambana.
Manomboka amin'io vaninandro io, dia tsy misitraka intsony amin'ireo zo zakain'ny mpikambana izy.

And. 12 – Izao fitsipika anatin'ny sy / na dina dia manan-kery manomboka amin'ny vaninandro ahazoana ny fanamarinan'ny Ben'ny tanàna anankinana azy.

Tao, ny

Ny filohan'ny vondron'olona ifotony.



Article 4 : Le Ministre des Ressources Halieutiques et de la Pêche, le Ministre de l'Environnement, de l'Ecologie et des Forêts, sont chargés chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté.

Article 5 : En raison de l'urgence et conformément aux dispositions de l'article 4 de l'ordonnance 62-041 du 19 septembre 1961 relative aux dispositions générales de droit international privé, le présent arrêté entre immédiatement en vigueur à partir de sa publication par émission radiodiffusée et télévisée ou affichage, indépendamment de son insertion au Journal Officiel de la République.

Fait à Antananarivo, le 24 OCT 2014

Le Ministre de l'Environnement,
de l'Ecologie et des Forêts



RAMPARANY Ramanana
Anthème

Le Ministre des Ressources
Halieutiques et de la Pêche



AHMAD

ANNEXE – Liste des cyclones de 1945 à 2015

Début	Fin	Nom
04/02/1945	07/02/1945	Cyclone Tropical 194506
12/02/1948	14/02/1948	Cyclone Tropical 194813
05/01/1949	09/01/1949	Cyclone Tropical 194907
08/01/1951	02/02/1951	Cyclone Tropical 195108
31/01/1951	02/02/1951	Cyclone Tropical 195112
15/02/1951	03/03/1951	Cyclone Tropical 195120
11/01/1952	22/01/1952	Cyclone Tropical 195206
12/03/1952	24/03/1952	Cyclone Tropical 195218
18/03/1952	29/03/1952	Cyclone Tropical 195220
10/05/1952	28/05/1952	Cyclone Tropical 195224
20/12/1952	21/12/1952	Cyclone Tropical 195303
14/01/1953	21/01/1953	Cyclone Tropical 195307
18/02/1953	22/02/1952	Cyclone Tropical 195312
11/02/1956	13/02/1956	Cyclone Tropical 195620
20/02/1956	28/02/1956	Cyclone Tropical 195623
13/03/1957	15/03/1957	Cyclone Tropical 195727
18/12/1958	21/12/1958	Cyclone Tropical 195905
02/01/1959	15/01/1959	Cyclone Tropical 195910
01/01/1961	06/01/1961	Clara
19/12/1961	24/12/1961	Ada
27/02/1963	02/03/1963	Hilda
10/01/1964	16/01/1964	Christine
22/02/1964	22/02/1964	Gisèle
23/12/1964	25/12/1964	Doreen
06/01/1965	08/01/1965	Ginette
20/02/1966	23/02/1966	Hilary
22/12/1966	26/12/1966	Daphné
09/01/1968	31/01/1968	Georgette
07/01/1970	11/01/1970	Eliane
10/01/1970	19/01/1970	Geneviève
09/02/1970	02/03/1970	Jane
05/01/1971	10/01/1971	Edith
17/01/1971	06/02/1971	Félicie
15/02/1971	25/02/1971	Joëlle
24/01/1973	04/02/1973	Hortense
30/12/1973	06/01/1974	Esméralda
19/02/1975	26/02/1975	Helose
18/01/1977	23/01/1977	Domitile
17/02/1977	03/03/1977	Hervea

ANNEXE – Liste des cyclones de 1945 à 2015

16/12/1978	31/12/1978	Angèle
04/02/1979	12/02/1979	Dora
29/01/1981	06/02/1981	Hélyette
16/03/1982	27/03/1982	Justine
04/01/1984	10/01/1984	Caboto
23/12/1985	27/12/1985	Alifredy
18/02/1986	24/02/1986	Gista
09/03/1986	23/03/1986	Honorinina
11/01/1988	21/01/1988	Calidera
09/01/1989	17/01/1989	Calasanjy
25/02/1989	01/03/1989	Iana
16/12/1989	07/01/1990	Alibera
16/02/1991	19/02/1991	Cynthia
25/12/1991	10/01/1992	Bryna
16/01/1993	24/01/1993	Dessilia
07/01/1994	17/01/1994	Daisy
26/01/1994	09/02/1994	Géralda
02/01/1997	11/01/1997	Fabriola
19/01/1997	31/01/1997	Gretelle
03/02/1998	20/02/1998	Beltane
30/12/2001	03/01/2002	Cyprien
24/01/2003	02/02/2003	Fari
25/02/2003	05/03/2003	Japhet
16/01/2005	25/01/2005	Ernest
26/01/2005	03/02/2005	Felapi
20/01/2006	06/02/2006	Boloetse
15/12/2006	28/12/2006	Bondo
29/12/2007	05/01/2008	Elnus
05/02/2008	27/02/2008	Ivan
17/01/2009	26/01/2009	Fanele
22/03/2009	29/03/2009	Izilda
07/03/2010	15/03/2010	Hubert
22/05/2010	29/05/2010	Joël
05/01/2012	10/01/2012	Chanda
07/02/2012	22/02/2012	Giovanna
25/02/2012	12/03/2012	Irina
14/02/2013	28/02/2013	Haruna
14/01/2014	22/01/2014	Deliwe
05/02/2015	11/02/2015	Fundi

PRINCIPE

Pour mesurer la concentration des nitrates en colorimétrie, les nitrates doivent être réduits en nitrites. Selon Schnetger et Lehnert (2014), la réduction des ions nitrates peut être réalisée par une adjonction de chlorure de vanadium. A température ambiante la cinétique de cette réaction est très lente (10-12h), mais elle augmente à des températures plus élevées (45-80°C). Ensuite, à l'aide de la réaction de Griess, le dosage de l'ensemble des nitrites (les nitrites déjà présent dans l'échantillon, plus ceux formés par la réduction des nitrates) peut être effectué. Pour obtenir uniquement la concentration en nitrates, il suffit de déterminer la concentration en nitrites de l'échantillon et faire la soustraction $[\text{NO}_3^-]_{\text{ech}} = [\text{NO}_2^-]_{\text{total}} - [\text{NO}_2^-]_{\text{ech}}$.

REACTIFS

- (1) : Solution de chlorure de vanadium

Dissoudre à froid : 0,16 g de VCl_3 dans 20 mL d'eau milli-Q et ajouter 1,68 mL de HCl 37%

- (2) : Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide dans 250 mL d'eau milli-Q et ajouter 13 mL de HCl 37%

- (3) : Solution de diamine

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau milliQ. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

Le réactif est le mélange de (1), (2) et (3) dans les proportions suivantes :

5/7 (1) + 1/7 (2) + 1/7 (3)

Les solutions étant stables, elles peuvent être mélangées au préalable et conservées.

DOSAGE

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Puis, dans un tube adapté, on ajoute :

- 250 μL de réactif
- 300 μL d'échantillon ou d'étalon

Les tubes sont ensuite placés à l'étuve à 50°C pendant 60 minutes. Après refroidissement, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 543 nm. Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage.

PRINCIPE (Strickland and Parsons, 1972)

En milieu acide ($\text{pH} < 2$), les ions nitrites forment de l'acide nitreux HNO_2 qui réagit avec de la sulfanilamide pour former un complexe diazoïque. En présence de N-Naphtyl-1-éthylène diamine, il se forme un complexe rose dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 5%.

REACTIFS

- Réactif 1 : Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide avec 13 mL de HCl concentré et 250 mL d'eau milliQ

- Réactif 2 : Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau milliQ. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

DOSAGE

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Puis, dans une cuve pour spectrophotomètre, on ajoute :

10 μL de réactif 1

500 μL d'échantillon ou d'étalon

8 minutes d'attente

10 μL de réactif 2

Après 15 minutes d'attente, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 543 nm. Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage.

PRINCIPE (Murphy and Riley, 1962)

Les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium, en milieu acide et en présence d'antimoine, pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique en complexe bleu. L'intensité du bleu formé est proportionnelle à la concentration en phosphates et peut donc être mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 5%.

REACTIFS

- (1) : Solution de molybdate d'ammonium

Dissoudre à chaud (50°C) : 15 g de molybdate d'ammonium dans 500 mL d'eau milli-Q

A conserver à l'abri de la lumière.

- (2) : Solution d'acide sulfurique à 2,5 M

- (3) : Solution d'oxytartre de potassium et d'antimoine

Dissoudre à froid : 0,68 g de $K(SbO)C_4H_4O_6$ dans 500 mL d'eau milli-Q

- (4) : Solution d'acide ascorbique

Dissoudre à froid : 216 mg d'acide ascorbique dans 2 mL d'eau milli-Q

Le réactif est le mélange de (1), (2), (3) et (4) dans les proportions suivantes :

$1/5 (1) + (2) + 1/10 (3) + 1/5 (4)$

Les solutions (1), (2) et (3), étant stables, elles peuvent être mélangées au préalable et conservées au frais plusieurs mois (mélange MSA). La solution (4) doit être ajoutée au dernier moment.

DOSAGE

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Les étalons sont des solutions dont la concentration en phosphates est connue. On utilise une solution dite « stock », très concentrée en phosphates, qu'on dilue avec une solution qui ne contient pas de phosphates qui doit être de même matrice les échantillons analysés (ici, eau de mer acidifiée). Puis, dans une cuve pour spectrophotomètre, on ajoute :

50 μ L de réactif

500 μ L d'échantillon ou d'étalon

Après 5 minutes d'attente, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 885 nm. Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage établie à l'aide des étalons dont on a mesuré les valeurs d'absorbance.

Thèse de Doctorat

Ricardo Ratsimba ANDRIATSIARONANDROY O.

Dynamique récente d'évolution des mangroves de la région de Toliara (Madagascar)

Recent dynamics of mangrove in the Toliara region (Madagascar)

Résumé

Les mangroves présentent des fonctions et valeurs écologiques, socio-économiques et d'atténuation du changement climatique majeures et vitales pour la population littorale dans le monde et à Madagascar. Leur richesse en fait des milieux intensément exploités, les soumettant à de fortes pressions naturelles et anthropiques. Pourtant à Madagascar « les mangroves sont très mal comprises et nous n'avons pas en main les éléments nécessaires à un bon diagnostic » alors qu'on associe celles de la région Sud-ouest à un état de perpétuelle régression. Cette thèse a pour objectifs l'identification, la cartographie et la quantification de la dynamique d'évolution (depuis 1949) des mangroves de 5 sites du Sud-Ouest : Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Sarodrano et Andriambe. Elle vise aussi à diagnostiquer les différents facteurs d'évolution en faisant la part des pressions anthropiques et naturelles. Pour atteindre ces objectifs, deux approches ont été adoptées : la géomatique se basant sur l'analyse diachronique d'images Spot de 1987, 1998, 2012 et 2014 associées à des photos aériennes de 1949 et des recherches sur terrain avec des inventaires floristiques, des mesures physico-chimiques, des analyses granulométriques des substrats et des enquêtes. Les résultats montrent des dynamiques d'évolution complexes et contrastées entre progression, stabilité et régression. Au final, en s'appuyant sur les connaissances acquises sur les dynamiques d'évolution des mangroves sur plus de 60 ans, il est possible de mettre à la disposition de tous un outil d'aide à la décision et à la gestion durable et adéquate pour protéger et conserver ces écosystèmes, particulièrement dans le contexte du changement climatique qui va impacter les dynamiques d'évolution naturelles et les forçages anthropiques.

Mots clés

Dynamique récente, Evolution, Mangrove, Toliara (Madagascar), Télédétection, Systèmes d'Information Géographique, Facteurs anthropiques, Facteurs naturels

Abstract

Mangroves have many ecological, socio-economic and climate change mitigation values and functions vital for the littoral populations around the world and in Madagascar. This richness induce them intense exploitation, subjecting to strong natural and anthropogenic pressures. However in Madagascar "the mangroves are very poorly understood and we do not have the elements necessary for a good diagnosis", while they are presented as of perpetual regression in the Madagascar Southwest region. This study aims at identifying, mapping and quantifying the evolution (since 1949) of 5 mangrove's sites in the Southwest: Manombo-Fitsitike, Ambondrolava, Ankiembe, Sarodrano and Andriambe. It also aims the diagnosis of the different factors of evolution putting in perspective the anthropogenic and natural pressures. To achieve these objectives, two approaches were adopted: geomatics based on the diachronic analysis of Spot images from 1987, 1998, 2012 and 2014 associated with aerial photographs (1949) and field work with floristic inventories, physico-chemical measurements, particle size analyzes of substrates and surveys. The results show complex and contrasting trend evolution's dynamics between growth, stability and regression. In the end, based on the knowledge gained on the mangroves dynamic over more than 60 years, it is possible to make available to all a tool to help decision-making and sustainable and adequate management to protect and conserve these ecosystems, particularly in the context of climate change that will impact natural changes and anthropogenic forcing.

Key Words

Recent dynamics, Evolution, Mangrove, Toliara (Madagascar), Remote sensing, Geographic Information Systems, Anthropogenic factors, Natural factors