

Géotechnologie et géosciences : outils d'aide à la décision dans la gestion durable des sols

Andrianaivo Lala¹ et Ramasiarinoro Voahanginirina²

¹ Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, Département Ingénierie Pétrolière,
Laboratoire de Géotechnologie, BP 1500 Antananarivo 101, Madagascar
andrianaivol@gmail.com & andrianaivo@univ-antananarivo.mg

² Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géotechnique, BP 906 Antananarivo 101
ramasiarinoro@yahoo.fr

Résumé

L'avancée des dunes vives entraîne un énorme problème environnemental et socio-économique dans l'extrême sud de Madagascar.

La région du Plateau Karimbola et plus particulièrement le secteur d'Androka enregistre la plus forte insécurité alimentaire, et subit également un des taux de dégradation des terres les plus élevés du pays, qui se manifeste par une forte migration des communautés locales en quête de nouvelles terres agricoles.

Pour accroître la productivité tout en empêchant l'empiètement sur des nouvelles terres, réduisant ainsi la dégradation, la déforestation et les conflits sur les ressources, le présent article a pour objectif principal l'élaboration de modèles de gestion durable des sols (GDS).

Les données géoscientifiques et climatiques ont été utilisées pour affiner le modèle de l'avancement des dunes dans les dix prochaines années. La première étape remplace chaque site à protéger dans la GDS, en tenant compte de la morphologie des dunes et aboutit à estimer la superficie à protéger. La seconde étape est la phase opératoire visant à réduire la force du vent à la surface du sol par des techniques mécaniques et biologiques. La dernière étape est la mise à la disposition des outils d'aide à la décision pour lutter contre la désertification.

Mots-clés : Dune, littoral, désertification, reforestation, gestion, sols, géotechnologie

Abstract

The progress of the vive dunes entails an enormous environmental and socioeconomic problem in south Madagascar.

The Plateau Karimbola, particularly the Androka sector, records the strongest food insecurity in the country, and shows also one of the most elevated rates of soil degradation, that appears by a strong migration of the local communities in quest of new agricultural earths.

To increase the productivity in reducing the overlapping on new earths, reducing the deterioration, the deforestation and the conflicts on resources, we are developing the present paper aimed at the development of models of sustainable land management (SLM).

Climatic and geologic data are used to refine the model concerning the advancement of the dunes for the next ten years. The first step replaces each site to be protected in the SLM, taking into account the morphology of the dunes and succeeds to estimate the surface to be protected. The second stage is the operative phase aiming at reducing the strength of wind at the surface of soil using mechanical and biologic techniques. The last stage is the implementation of the tools of help to the decision to fight against the desertification.

Keywords: Dune, coastline, desertification, reforestation, management, soils, geotechnology

1. INTRODUCTION

Dans l'extrême sud de Madagascar, et principalement le long du littoral de la commune rurale d'Androka (Figure 1), on note la présence d'un climat semi-aride (pauvre en précipitation), une forte évaporation et un tarissement quasi permanent des lits des rivières (Battistini, 1964 ; Raharijaona Raharison, 1997) ainsi que l'existence d'un vent dominant (Tsiok'Atimo). Ces facteurs climatiques favorisent le transport et le dépôt de sables formant un vaste complexe dunaire (Battistini, 1964 ; Tsoar, 2005).



Figure 1 : Carte de localisation du secteur d'Androka (Google Earth, 2012)

L'avancée des dunes vives et l'érosion éolienne des sols nus engendrent un énorme problème environnemental se traduisant par une grande fragilité des milieux et une dégradation des terres (perte de fertilité, réduction de la couverture végétale et arborée, perte de la capacité de rétention en eau des sols, difficulté d'accès à l'eau, réduction des terres disponibles pour l'agriculture, baisse des rendements agricoles, etc.)

L'utilisation irrationnelle des terres se traduit également par une forte fragmentation des forêts, l'érosion des sols, la sédimentation des rivières, l'inondation et la destruction des estuaires, des mangroves et des récifs coralliens.

En conséquence, le secteur est exposé de façon permanente à un grave problème socio-économique, entre autres une forte migration des communautés locales en quête de nouvelles terres agricoles, la baisse des revenus des habitants, l'augmentation de l'insécurité alimentaire et la diminution des niveaux de vie encore plus pauvres.

Le présent article se propose de mettre à la disposition des différents acteurs des informations scientifiquement vérifiables et qui tiennent compte des savoirs locaux, ainsi que de développer des approches de gestion durable des terres (GDT) afin de :

- réduire le besoin d'empiéter sur de nouvelles terres
- réduire la dégradation, la déforestation, l'avancée de sables et de conflits sur les ressources
- utiliser des principes d'écosystèmes appropriés et des techniques de gestion agricole pour augmenter la productivité

En choisissant la géotechnologie et les géosciences comme outils et méthodes de travail, notre mission consiste à :

- estimer la superficie à protéger
- réduire la force du vent à la surface du sol par des techniques mécaniques et biologiques
- mettre à la disposition des parties prenantes des outils d'aide à la décision pour lutter contre ce fléau.

2. METHODOLOGIE

L'étude utilise une approche multiscalaire (enquête et questionnaire, théorie, télédétection, Système d'Information Géographique, travaux de terrain et de laboratoire, exploitation des données, modélisation, etc.) du thème étudié. Cette recherche est donc pluridisciplinaire, repose sur des analyses multicritères et fait ainsi appel à diverses méthodes et disciplines incluant, la climatologie, la sédimentologie, la géomorphologie, la topographie, la pédologie, la géologie, l'hydrologie, la géomatique, les sciences de l'environnement, la géotechnique et ses disciplines affinitaires (géologie de l'ingénieur, hydrogéologie du génie civil, science des géomatériaux, géomécanique, hydraulique, planification, aménagement, gestion des risques et catastrophes).

En gros, la démarche globale se résume de la façon suivante :

- Regroupement des documents sur un même sujet et réinterprétation des données existantes pour l'obtention des informations relatives au thème, pour une meilleure appréhension de la problématique et pour une vision globale des secteurs étudiés
- Traitement d'images satellites pour l'obtention de cartes prévisionnelles
- Travaux de terrains comportant les mesures de la direction et de la vitesse du vent avec un appareil portable (anémomètre), la récolte d'échantillons de sable, l'identification des indicateurs du profil environnemental, le levé topographique, l'étude géomorphologique, l'étude sédimentologique, les travaux d'enquêtes et questionnaires, la vérification des travaux de stabilisation effectués antérieurement
- Analyse granulométrique en laboratoire pour rechercher l'origine des sables, les conditions de dépôt, le classement des grains par les agents de tri pour connaître la durée de transport
- Analyse morphoscopique pour mettre en évidence la nature des agents de transport des sables ainsi que la distance et la durée de transport des sables
- Exploitation des données, entre autres l'interprétation des résultats, le traitement informatique des données, le montage d'une base de données gérée par un système d'information géographique (SIG) ainsi que la modélisation de l'érosion éolienne et de l'évolution des systèmes dunaires.

Nous avons opté 4 quatre méthodes pour mesurer les vitesses d'avancement.

La première méthode concerne les enquêtes et questionnaires effectués au niveau de la population locale à Anandriana.

La deuxième méthode est la mesure des surfaces de terrains ensablés sur une période donnée à partir des piquetages sur des points repères dans la localité de Bemanateza.

Pour la troisième méthode, la mesure directe de la vitesse de déplacement des particules se fait au chronomètre dans les localités de Bemanateza, Anandriana, Lanirano, Ambohibola et Falimpasy ; l'analyse de la dynamique dunaire trouve leur importance dans cette étude.

La quatrième méthode concerne la comparaison des images satellites (Google Earth) entre les années 2000 et 2010, la vitesse d'avancement est obtenue en faisant une simple mesure à l'écran. Un premier modèle d'avancement des dunes vives pour cette période est estimé et la surface ensablée est calculée à partir du traitement de ces images satellites dont les principales opérations sont la digitalisation et la projection.

L'exploitation des données a été effectuée au Laboratoire de Géotechnique de l'Université d'Antananarivo et au Laboratoire de Géotechnologie de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

En faisant une comparaison des résultats obtenus à partir de ces quatre méthodes, et en faisant des opérations de projection à l'aide des outils informatiques, un premier modèle d'avancement des dunes vives entre les années 2010 et 2020 est estimé.

3. RESULTATS

Les formations dunaires (Figure 2) sont d'âge aépyornien (Ere Quaternaire, environ 1.8 million d'années à actuel). L'Aépyornien est subdivisé en trois grandes parties (Battistini, 1964) :

- l'Aépyornien inférieur ou dune tatsimienne
- l'Aépyornien moyen ou dune karimbolienne
- l'Aépyornien supérieur ou dune flamandienne et actuelle

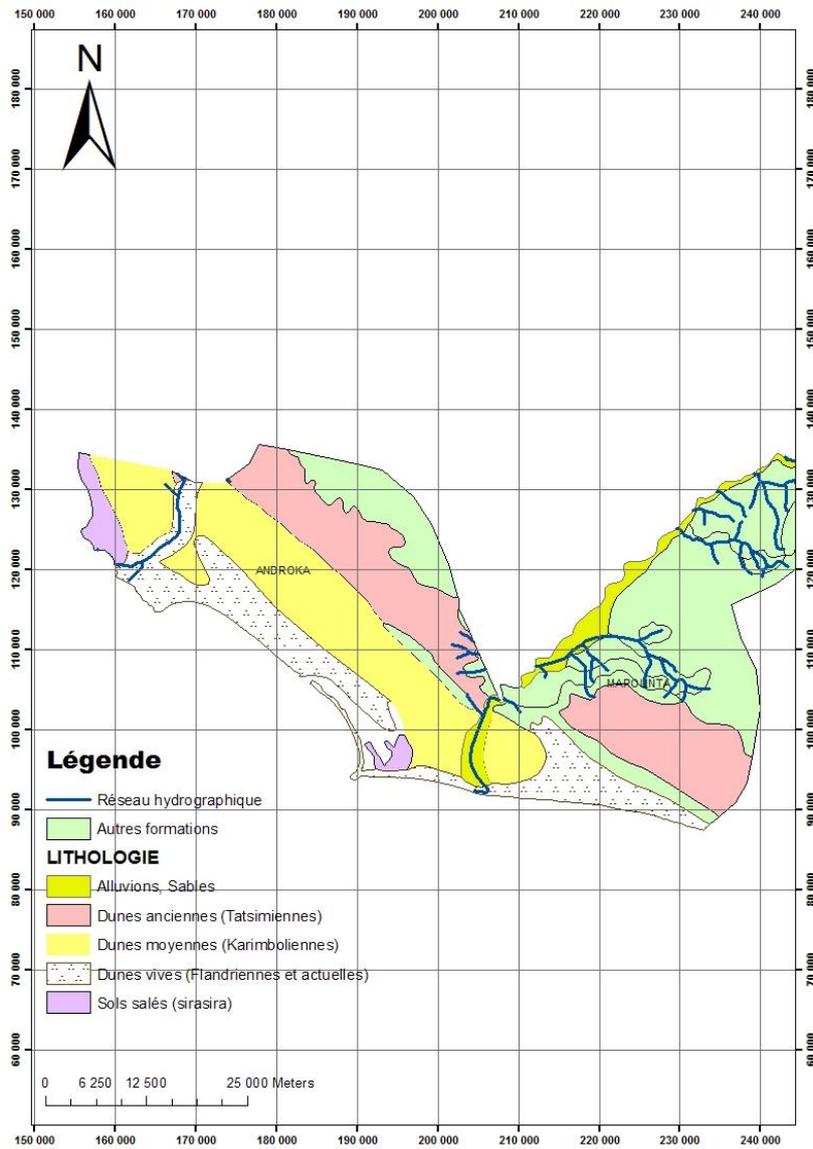


Figure 2 : Carte géologique du secteur d'Androka (Rarivoarison, 2013)

Deux catégories de dunes sont connues : la barkhane (Figure 3) et la nebka (Figure 4)



Figure 3 : Photo d'une barkhane



Figure 4 : Photo d'une nebka ou dune fixée

Le tableau 1 résume les caractéristiques des dunes (Rarivoarison, 2013).

Tableau 1 : Typologie et caractéristiques des dunes

Typologie	Résultats et commentaires	Localités
Dunes vives	<u>Barkhanes</u> : dunes vives associées en chaînes se plaçant derrière les dunes nebkaiques, <u>Dunes longitudinales</u> : langue de dunes marquant l'évolution des dunes vers la partie continentale	Toutes les localités
Dunes fixées	<u>Nebkas</u> : plus ou moins fixées se trouvant à quelques mètres de la ligne de rivage de la mer ou du fleuve Linta	Falimpasy Linta Anandriana

Selon la nature et la composition des sables, il existe des sables blancs (Figure 5) et des sables roux (Figure 6).



Figure 5 : Dune à sable blanc

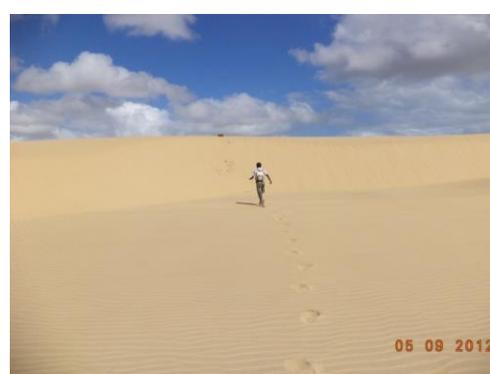


Figure 6 : Dune à sable roux

Les données obtenues sur les activités dunaires sont résumées dans le tableau 2 (Rarivoarison, 2013). Il s'agit de l'avancement des dunes en 10 ans, la localisation des dunes, la vitesse du vent, les conditions de transport et de dépôt, les obstacles au transport et au dépôt de sable.

Tableau 2 : Quelques données sur les activités dunaires

Localité	Avancement des dunes en 10 ans (en mètre)	Vitesse du vent (en m/s)	Obstacles au transport et au dépôt de sable	Localisation	Conditions de transport et de dépôt
Falimpasy	122	Moyen (8 m/s)	Nombreux	Sur les côtes	Peu favorables
Anandriana	191	Moyen (8 m/s)	Peu nombreux	En arrière pays	Favorables
Lanirano	734	Maximum (12 m/s)	Inexistants	Sur les côtes	Très favorables
Bemanateza	1147	Moyen (8 m/s)	Peu nombreux	Près des côtes (à 800 mètres de distance)	Très favorables
Ambohibola	554	Maximum (12 m/s)	Peu nombreux	Sur les côtes	Très favorables

Les données obtenues à partir de la comparaison des images satellites montrent un avancement des dunes vives d'environ 150 mètres en 10 ans entre les années 2000 et 2010. Ce fait est interprété comme la réalité de terrain.

Les données obtenues à partir des enquêtes montrent un avancement des dunes vives d'environ 150 mètres en 04 ans dans la localité d'Anandriana, soit 357 mètres en 10 ans.

Pour les données à partir des piquetages, en 26 jours un avancement des dunes vives d'environ 178 centimètres est enregistré, soit 1047 mètres en 10 ans (localité de Bemanateza).

Les données obtenues à partir des mesures de la vitesse de déplacement des particules montrent un avancement des dunes vives entre 122 et 191 mètres en 10 ans (pour une vitesse du vent de 08 mètres par seconde) ; soit en moyenne 156 mètres en 10 ans.

4. INTERPRETATION ET DISCUSSION

Dans l'ensemble, l'avancement général des dunes vives est de l'ordre de 150 mètres en 10 ans dans des conditions favorables de transport et de dépôt.

Dans certaines localités, l'avancement maximal des dunes vives peut aller jusqu'à 1047 mètres pour une période de 10 ans dans les conditions très favorables.

4.1. Modélisation

Dans la conception d'un premier type de modélisation, les images satellites Google Earth (Figures 7 et 8) des années 2001 et 2010 ont été digitalisées. La mesure des distances de l'avancement des dunes vives à partir des points repères est obtenue par digitalisation (Figure 9) et par comparaison de ces images.



Figure 7 : Image satellite Google Earth montrant la position des dunes en 2001

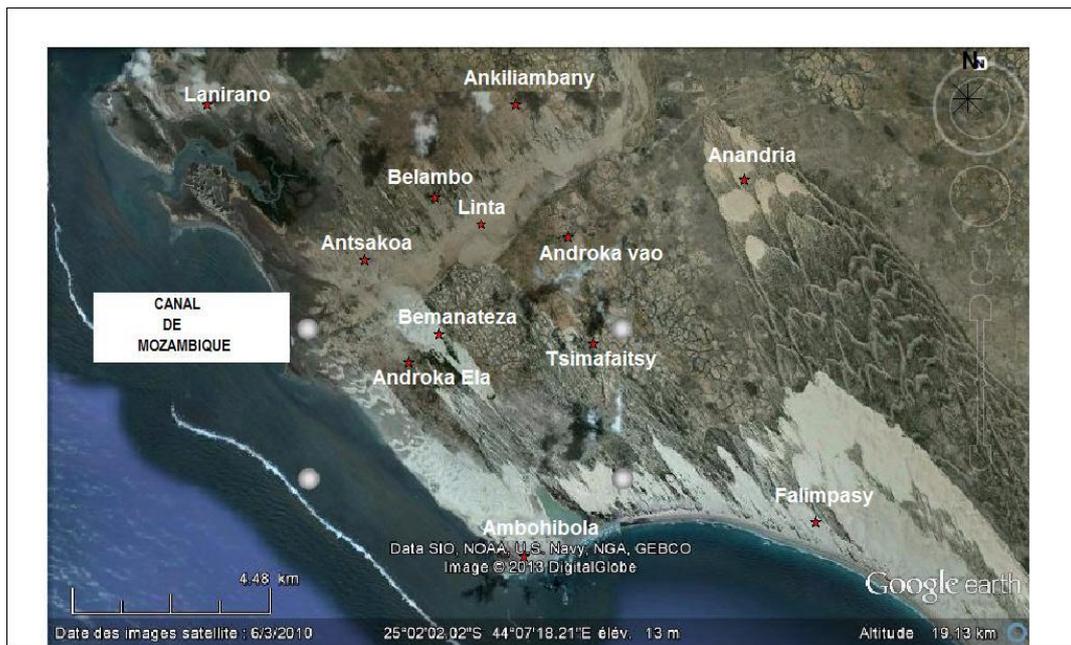


Figure 8 : Image satellite Google Earth montrant la position des dunes en 2010

Pour connaître les surfaces à protéger dans les dix prochaines années (2010 à 2020), une modélisation de l'avancement des dunes vives a été établie. L'évolution des dunes vives est obtenue par projection et par digitalisation (Figures 10 et 11) à partir de l'interprétation des données du tableau 2.

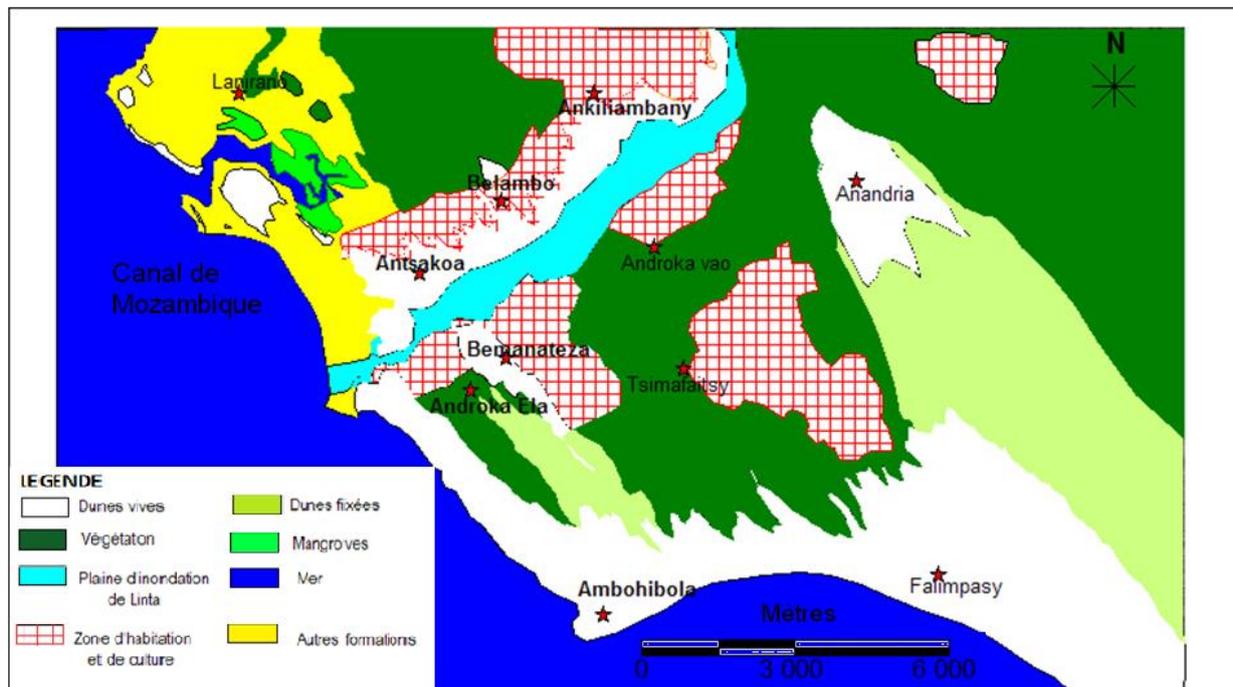


Figure 9 : Carte des dunes dans le secteur d'Androka pour l'année 2001

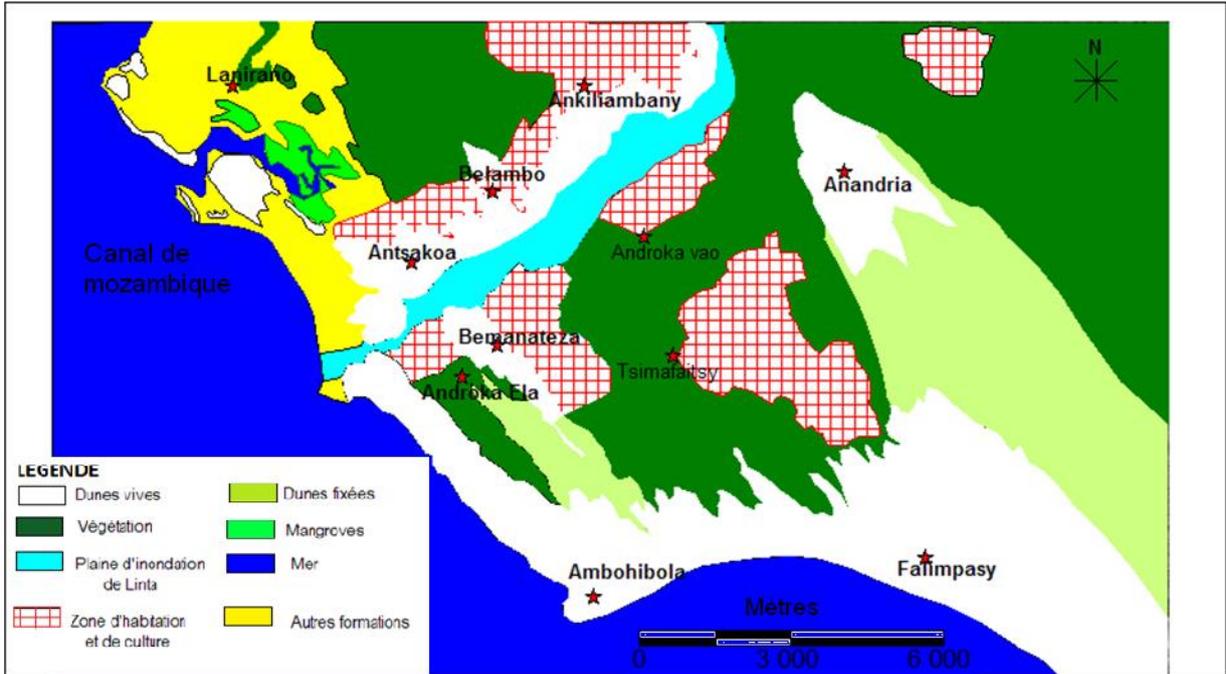


Figure 10 : Carte d'avancement des dunes dans le secteur d'Androka pour l'année 2010 (150m en 10ans)

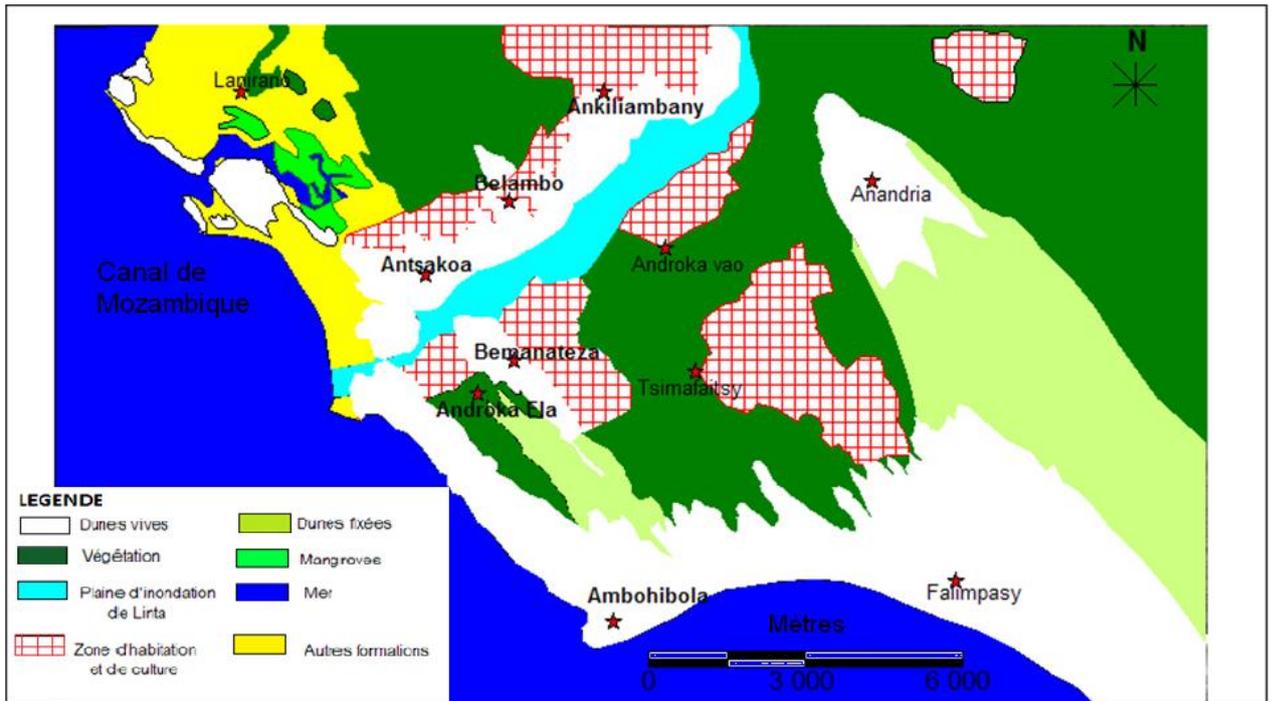


Figure 11 : Carte d'avancement des dunes dans le secteur d'Androka pour l'année 2020 (150m en 10ans)

4.2. Techniques de brises vents

Pour réduire la force du vent à la surface du sol des techniques mécaniques et biologiques seront utilisées. Le Tableau 3 résume le profil environnemental du secteur qui montre l'état actuel, les causes et les mesures déjà effectuées ou à entreprendre pour chaque thématique étudié (Andrianaivo et al, 2013 ; Rarivoarison, 2013).

Tableau 3 : Profil environnemental dans les zones dunaires

Thème	Etat (effet)	Pression (cause)	Réponse (remède)
Dune	Généralement vive (absence de végétation fixatrice)	- Activités anthropiques (piétinement) - Vent fort venant du sud - Erosion, transport et dépôt de sables	- Installation de palissade perpendiculaire à la direction du vent - Mise en place de contre-dune - Plantation de végétaux fixateurs
Végétation	- Dégradée - Surexploitée - Racines nues	- Ensablement - Activités anthropiques (bois de chauffage, pêche, surpâturage) - Sécheresse - Erosion éolienne (mise à nu des racines)	- Surveillance des bétails afin qu'ils ne piétinent ou mangent les plantes fixatrices - Plantation de végétaux fixateurs (filao, lalanda)
Route/piste	- Dégradée - Accès difficile	Ensablement	- Désensablement ou curage - Construction ou réouverture
Estran	Riche en dépôt de sables et de coquilles	- Érosion éolienne - Érosion marine - Ensablement	Plantation de végétaux fixateurs (lalanda) le long de la côte
Champs de culture	- Espaces réduites - Faibles rendements	- Ensablement - Sécheresse - Surpâturage	Utilisation de paillage de « Monjola » comme brise-vent
Village et habitation	- Risque d'ensablement - Insécurité	- Ensevelissement - Invasion de cactus et d'acacia	- Installation de brise vent temporaire (petits paillages d'environ de 30cm de hauteur) - Mainstreaming et activités associées - Déplacement des habitants vers des zones moins ou non affectées par l'ensablement
Fleuve Linta	- Asséché (tarissement) - Ensablé	- Réseau de failles profondes (fuite d'eau en profondeur) - Climat sec - Avancement de dune vive - Activités anthropiques	- Travaux de génie civil (dragage, digue de protection) - Fixation biologique
Mangroves	- Ensablées - Surexploitées	- Ensablement - Activités anthropiques	- Distribution de gros « fatana mitsitsy », pour limiter l'exploitation des ala honko, et pour combattre la famine
Baie de Manetsaka	- Ensablé, - Rétrécissement progressif de l'ouverture de la baie	- Ensablement - Érosion éolienne	- Travaux de génie civil (dragage)

Plus de détails concernant la gestion des risques et catastrophes ainsi que les outils d'aide à la décision pour lutter contre l'ensablement et la désertification peuvent être consultés et sont disponibles dans le Document Cadre d'Etudes Stratégiques (Andrianaivo et al, 2013).

5. CONCLUSION

La plaine littorale du secteur d'Androka est recouverte, en majeure partie, par des sables formant un vaste système dunaire issu de divers paramètres notamment l'alternance de l'érosion hydrique et de l'érosion éolienne, leur transport et leur dépôt.

La géotechnologie et les disciplines affinitaires constituent des outils qui mettront à la disposition des différents acteurs des informations scientifiquement vérifiables. La mise en œuvre des méthodes géoscientifiques et des techniques de l'ingénieur a permis de proposer un modèle d'évolution de la dynamique dunaire et de faire une estimation globale de la superficie à protéger. La projection et la modélisation ont montré une vitesse d'avancement globale des dunes de l'ordre de 150 mètres pour les dix prochaines années. L'évolution et la mobilisation des dunes vives sont conditionnées par des facteurs naturels et des facteurs anthropiques.

En plus des travaux de génie civil (mise en place de contre-dune, dragage de lagune, d'estran ou de baie ensablée, etc.) des techniques de brises vents mécaniques (installation de palissades, de piquets, de gaulettes) et biologiques (reboisement, plantation de végétaux fixateurs) ayant déjà montré leur efficacité sont proposées pour réduire la force du vent à la surface du sol.

Dans la gestion durable des sols, des outils d'aide à la décision (informations et communication, sensibilisation de la population, prévention des risques d'ensablement, techniques de travail, gestion des sites en danger, réhabilitation des sites dégradés, transfert de compétence, etc.) sont mis à la disposition des parties prenantes pour lutter contre la désertification.

BIBLIOGRAPHIE

Revue/Périodique

Raharijaona Raharison, L.J., (1997): Effets et conséquences sur le régime des aquifères des anomalies climatiques dans l'Extrême Sud de Madagascar: cas du bassin endoréique d'Ambovombe. Sécheresse n°2, **8**, 129-137

Tsoar, H., (2005): Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A* **357**, 50-56.

Livre/ouvrage scientifique

Andrianaivo, L., Ramasiarino, V.J., Rarivoarison, H. et Djaodimby, A.S., (2013): Document Cadre d'Etude Stratégique (DCES) - Stabilisation des dunes vives et mise à la disposition d'outils d'aide à la décision pour lutter contre l'ensablement". Premier draft, Partenariat Université d'Antananarivo – WWF, Madagascar, 33p

Thèse/mémoire

Battistini, R., (1964): Etude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar - Tome 1 : Le relief intérieur. Thèse de Doctorat, Editions CUJAS, Toulouse, 636p.

Rarivoarison, H.N., (2013): Les dunes actives de la zone littorale d'Androka, extrême sud de Madagascar : Analyse géomorphologique, étude sédimentologique et mise à la disposition des outils d'aide à la décision pour lutter contre l'érosion éolienne. Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo, 100p